

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

На правах рукописи

**Козлов Владислав Сергеевич**

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ЗОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ  
НА ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОХОТСКО-  
ЧУКОТСКОГО ВУЛКАНОГЕННОГО ПОЯСА**

Специальность 1.6.7 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и  
грунтоведение»

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Абатурова Ирина Валерьевна

Екатеринбург, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Краткие сведения об истории изучения ИГУ месторождений полезных ископаемых .....	10
Выводы по 1 главе.....	13
2. Формирование инженерно-геологических условий золото-серебряных месторождений ОЧВП.....	14
2.1 Региональные факторы формирования инженерно-геологических условий золото-серебряных месторождений ОЧВП.....	15
2.1.1 Геологическое и структурно-тектоническое строение золото- серебряных месторождений, флюидно-гидротермальные проявления ..	18
2.1.2 Месторождение Приморское .....	18
2.1.3 Месторождение Невенрекан.....	22
2.1.4 Месторождение Ирбычан.....	25
2.2 Зональные факторы формирования инженерно-геологических условий золото-серебряных месторождений ОЧВП.....	31
Выводы по 2 главе.....	41
3. Инженерно-геологические условия массивов горных пород золото- серебряных месторождений ОЧВП (Приморское, Невенрекан, Ирбычан).....	43
3.1 Закономерности изменения физико-механических свойств пород золото-серебряных месторождений ОЧВП.....	45
3.1.1 Месторождение Приморское .....	46
3.1.2 Месторождение Невенрекан.....	62
3.1.3 Месторождение Ирбычан.....	77
3.2 Закономерности развития степени и характера трещиноватости в массивах горных пород золото-серебряных месторождений ОЧВП .....	91
3.3 Алгоритм оценки степени и характера трещиноватости по керну скважин неориентированного бурения.....	94
3.4 Характер трещиноватости массивах горных пород золото-серебряных месторождений ОЧВП.....	104

3.4.1	Приморское месторождение .....	104
3.4.2	Месторождение Невенрекан .....	113
3.4.3	Месторождение Ирбычан.....	121
3.5	Мерзлотно-гидрогеологические условия золото-серебряных месторождений ОЧВП.....	129
3.5.1	Месторождение Приморское .....	129
3.5.2	Месторождение Невенрекан .....	132
3.5.3	Месторождение Ирбычан.....	135
	Выводы по 3 главе.....	138
4.	Построение инженерно-геологической модели золото-серебряных месторождений ОЧВП.....	140
4.1	Алгоритм, получения информации для построения инженерно- геологической модели золото-серебряных месторождений ОЧВП .....	148
	Выводы по 4 главе.....	156
	Заключение .....	157
	Список сокращений .....	158
	Список литературы .....	159

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В последние десятилетия в связи с истощением запасов золота на месторождениях с благоприятными инженерно-геологическими условиями (ИГУ), вектор поиска, разведки и добычи направлен на Восток, где ИГУ являются сложными. Одним из таких направлений является Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП), в котором основу минеральной-сырьевой базы составляют в настоящее время разрабатываемые 15 месторождений золото-серебряного оруденения такие как: Дукат, Джульетта, Лунный, Гольцовый, Арылах, Эвенское, Валунистое, Хаканджа и многие другие. Около 10 месторождений находятся на этапах поисково-оценочных и разведочных работ.

Золото и серебро как стратегические металлы играют важную роль в экономике страны, поэтому регион с точки зрения поисков, оценки и разведки представляет огромный интерес.

В целом экономическая эффективность отработки месторождений зависит от огромного числа факторов и одним из важнейших являются инженерно-геологические условия. Именно этим и определяется актуальность работы.

**Цель работ** является изучение условий формирования массивов горных пород ОЧВП вмещающих золото-серебряные месторождения на стадии геологоразведочных работ.

**Идея работы** заключается в том, что для всесторонней и объективной оценки ИГУ месторождений полезных ископаемых (МПИ), кроме их индивидуальных особенностей, необходимо глубокое знание региональных и зональных факторов формирования рудовмещающих массивов горных пород, что впоследствии позволяет построить достоверную прогнозную модель ИГУ месторождений.

**Объект исследования.** Инженерно-геологические условия массива пород золото-серебряных месторождений ОЧВП на примере Приморского, Невенрекан и Ирбычан.

**Предмет исследования.** Компоненты инженерно-геологических условий, в том числе физико-механические свойства массива пород с учетом степени и характера трещиноватости, мерзлотно-гидрогеологические условия.

**Задачи исследования:**

1. Установить региональные и зональные факторы, формирующие современное состояние инженерно-геологических условий месторождений ОЧВП.
2. Определить основные компоненты инженерно-геологических условий, влияющие на условия вскрытия золото-серебряных месторождений ОЧВП.
3. Оценить зависимость прочности пород на одноосное сжатие и коэффициента размягчаемости от минерального состава на месторождениях ОЧВП.
4. Установить степень и интенсивность трещиноватости массива пород.
5. Изучить характер развития многолетнемерзлых пород в пределах каждого из месторождений.
6. Доказать, что месторождения отличаются друг от друга по ряду компонентов.
7. Обосновать использование методик оценки характеристической прочности для прогноза устойчивости природно-технической системы “геологическая среда (ГС) – подземные горные выработки” на этапе геологоразведочных работ.

**Научная новизна:**

1. Установлено, что история геологического развития, современное тектоническое состояние, этапы оледенения и климатические оптимумы привели к формированию ИГУ в пределах ОЧВП.

2. Доказано, что для золото-серебряных месторождений ОЧВП основными компонентами, определяющими условия их вскрытия являются: физико-механические свойства массива пород, степень трещиноватости, мерзлотно-гидрогеологические условия.

3. Определено и доказано, что прочностные свойства горных пород зависят от соотношения в их составе прочных минералов (кварца, полевого шпата, плагиоклаза и т.д.) и не прочных (талька, гидрослюд, хлорита и т.д.).

4. Установлены закономерности изменения степени и характера трещиноватости.

5. Выявлено, что месторождение Ирбычан характеризуется наличием таликовой зоны, тогда как Приморское и Невенрекан приурочены к сплошному развитию многолетнемерзлых пород.

6. Доказано, что несмотря на общие региональные факторы и общий генезис месторождений, каждое из них обладает собственными инженерно-геологическими особенностями.

7. Научно обосновано использование методики прогнозирования с применением регламентных классификаций для построения модели ИГУ МПИ.

#### **Защищаемые положения:**

1. В пределах эпитермальных золото-серебряных месторождений ОЧВП проявление региональных факторов предопределило структурно-пространственные закономерности формирования инженерно-геологических условий, выраженные в зональности изменения состава, свойств и степени трещиноватости вмещающих пород и пород рудной зоны. Изменение инженерно-геологических условий происходит под влиянием зональных факторов, зависящих от особенностей ландшафтно-климатических и палеогеографических условий территории, и проявляющихся прежде всего в формировании толщи многолетнемерзлых пород, ухудшении свойств пород в зоне гипергенеза и развитии экзогенных геокриологических процессов (п.п.н.с.\* – 2, 4, 13).

2. Инженерно-геологическая зональность золото-серебряных месторождений ОЧВП определяется закономерностями изменения физико-механических свойств вмещающих, околорудных пород и рудных тел, а также характером вторичных гидротермальных и метасоматических изменений. Нахождение месторождений в сходных структурно-тектонических условиях позволяет разработать единый алгоритм анализа степени трещиноватости, морфологических особенностей, минерального состава заполнителя, а также зон ослабления массивов горных пород и их влияние на инженерно-геологические условия (п.п.н.с. – 2, 4).

3. В основе построения прогнозной модели ИГУ отработки месторождений необходимо использовать методики оценки устойчивости массива по характеристической прочности, которые позволяют учесть общность структурно-тектонических условий, индивидуальность геологического строения, физико-механические свойства, степень и характер трещиноватости (п.п.н.с. – 12, 15).

**Практическая значимость.** Получены зависимости между физико-механическими свойствами и результатом метасоматического преобразования пород. Разработана база данных с алгоритмом анализа степени и характера трещиноватости горных пород. Установлены ослабленные зоны и зоны повышенной трещиноватости пород, влияющие на проведение горных работ. Предложена комплексная оценка мерзлотно-гидрогеологических условий. Даны прогнозные оценки устойчивости массива горных пород при вскрытии его горными выработками, которые могут быть использованы при проектировании и разработке месторождений.

**Степень разработанности темы.** К настоящему времени накоплен значительный потенциал информации по изучению ИГУ МПИ. Огромный вклад в науку внесли: Л.А. Ярг, В.Д. Ломтадзе, И.П. Иванов, Г.К. Бондарик, Г.А. Голодковская, В.И. Кузькин, В.И. Смирнов, Л.В. Шаумян, С.Г. Дубейковский, Э.И. Афанасиади, Г.Л. Фисенко, П.А. Красильников,

М.Е. Пермяков, В.П. Новиков, И.В. Абатурова, О.М. Гуман, А.Ф. Алексеев и другие.

**Фактический материал.** В основу диссертации положены материалы, полученные в ходе выполнения полевых работ, включающие в себя: инженерно-геологическую документацию керна скважин (6 700 п.м.); гидрогеологические исследования (6 кустовых откачек и 12 наливов), замеры температур пород в специализированных скважинах (25 скважин). Результаты проведения лабораторных работ по изучению физико-механических свойств пород (320 проб).

**Апробация результатов исследования.** Основные положения и результаты исследований были представлены на научных конференциях: 15-й научно-практической конференции и выставке EAGE «Инженерная и рудная геофизика 2019» (Геленджик, 2019 г.), 3-я научно-практическая конференция «Инженерная и рудная геофизика 2022» (Геленджик, 2022 г.), двадцать третьих Сергеевских чтениях «Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения» (Санкт-Петербург, 2022 г.); 7-я научно-практическая конференция «ГеоБайкал 2022» (г. Иркутск, 2023 г.); 19-я научно-практическая конференция и выставка «Инженерная и рудная геофизика 2023» (Санкт-Петербург, 2023 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 6 работ – в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией, в изданиях Ринц – 9 работ, из них 4 работы входит в базу Scopus.

**Личный вклад автора.** В работе использованы материалы, полученные автором в ходе выполнения полевых исследований на месторождениях Приморское, Невенреккан и Ирбычан. Автором произведен анализ и обработка результатов лабораторных исследований с выявлением их зависимости от минерального состава. Произведена обработка инженерно-геологической документации по разработанному алгоритму оценки степени и характера трещиноватости, учета трещиноватости по керну скважин



неориентированного бурения. Автором предложен алгоритм получения информации, которая используется для построения инженерно-геологической модели с последующим его применением на рассматриваемых месторождениях.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы с 148 наименованиями. Объем диссертации составляет 173 страницы машинописного текста и содержит 87 рисунков, 49 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю профессору, доктору геолого-минералогических наук И.В. Абатуровой за помощь в определении направления исследований, советы и наставления на каждом этапе исследования, поддержку, способствующую выполнению работы. Искренняя благодарность доценту кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии УГГУ, кандидату геолого-минералогических наук И.А. Савинцеву за готовность помочь и ответить на любые вопросы, доценту кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии УГГУ, кандидату геолого-минералогических наук И.А. Королевой за полезные и ценные замечания в ходе написания диссертации, заведующей кафедрой геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях УГГУ, доценту, кандидату геолого-минералогических наук Л.А. Стороженко за моральную поддержку, советы и действенную помощь в подготовке работы, а также всему коллективу ООО «ГИНГЕО» за оказанную поддержку, участие в проведении полевых и лабораторных работ, помощь в сборе и обработке обширного объема фактического материала.

## **1 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ИГУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Инженерная геология месторождений полезных ископаемых является сложившимся и успешно развивающимся разделом инженерной-геологии. Целью ее является обеспечение работы горнодобывающего предприятия. В состав инженерной геологии месторождений полезных ископаемых (МПИ) входит широкий круг научных и практических задач от решений которых зависит освоение МПИ. В современных условиях месторождения характеризуются сложными инженерно-геологическими условиями (ИГУ), что требует совершенствования науки.

Первыми, кто заговорил о необходимости разработки вопросов инженерной геологии (ИГ) применительно к задачам горного дела были ученые Ф.П. Саваренский, И.В. Попов, П.Н. Панюков, Е.М. Сергеев, В.Д. Ломтадзе, Г.Г. Скворцов, Н.В. Коломенский, И.С. Комаров, Г.А. Голодковская, В.В. Фромм и другие [35-38, 65-71, 88-89, 102-109].

И в 70-х годах прошлого столетия состоялось несколько всесоюзных совещаний в Белгороде (1975 г.) и Новом Раздоле (1977 г.) на которых рассматривался широкий круг вопросов изучения, оценки и прогноза ИГУ МПИ.

Авторы докладов анализировали теоретические и методические особенности инженерно-геологического обоснования условий разработки месторождений. Здесь же было указано, что обоснование является неотъемлемой частью геологической разведки и должно проводиться на всех ее стадиях.

В конце 70-х годов состоялся 26 Международный геологический конгресс на котором была принята «Декларация Международной ассоциации по инженерной геологии по вопросу окружающей среды». В ней утверждалось, что оценка инженерно-геологических условий и прогноз их

изменения под влиянием вскрытого месторождения, это и есть инженерно-геологические исследования геологической среды.

Для периода 70-90 х годов характерно огромное число опубликованных работ, которые отражают результаты теоретических и экспериментальных исследований в инженерной геологии месторождений полезных ископаемых. Среди них наиболее крупными являются труды: Г.Г. Скворцова, В.В. Фрома, В.В. Смирнова, В.Т. Глушко, Г.А. Голодковской, П.Н. Панюков, М.Е. Певзнера и других [32-33, 35-38, 82-84, 107-109].

В середине 80-х годов появляется ряд методических указаний по изучению ИГУ МПИ [19, 51, 55, 75, 76, 107, 129], в которых предложены методические аспекты их изучения. Кроме того, различные институты так же увлечены этой проблемой – ВНИМИ, ВНИИГРИуголь, ВИОГЕМ, ИГД, МГУ, ЛГУ, МГРИ, СГИ и другие.

Основополагающим при изучении ИГУ МПИ является комплексный подход к изучению и оценке компонентов инженерно-геологических условий, определяющих условия вскрытия месторождений.

Все составляющие ИГУ компоненты являются результатом генетических особенностей и тенденции процесса изменения геологической среды. Они взаимосвязаны и взаимообусловлены, имеют свое назначение, вес при формировании и развитии тех или иных геологических процессов в пределах МПИ [5].

Однако, как указывал Г.К. Бондарик: при изучении и оценке ИГУ МПИ, необходимо учитывать только те компоненты геологической среды, которые характерны для каждого из изучаемых месторождений и характеризуют его геологическую среду, изменяют ее состояние и свойства. К числу таких компонентов в целом относятся: геологическое строение, структурно-тектонические особенности, состав и свойства горных пород, развитие экзогенных и эндогенных процессов, мерзлотно-гидрогеологические условия.

Рассматривая месторождения в целом В.Д. Ломтадзе указывал, что геологическое строение месторождений как правило изучено хорошо. Однако,

вопросы необходимые в инженерно-геологическом аспекте освещаются неполно – это относится к трещиноватости и вторичным изменениям пород.

Значительное количество ученых И.В. Попов, Е.М. Сергеев, В.Т. Трофимов, Л.А. Ярг, Р. Гудман, Л.В. Шаумян, В.И. Кузькин посвящали свои работы изменению физико-механических свойств грунтов. Но, как известно, большинство МПИ являются следствием действия гидротермальных процессов, в результате которых формируются метасоматически измененные породы с отличными свойствами. И этот вопрос редко освещается в литературе. Авторами таких работ являются: А.В. Ворожев, О.Н. Грязнов, И.В. Абатурова, Г.А. Фролова и другие.

Процесс изменения характера и степени трещиноватости хорошо освещен в литературе авторами: В.В. Белоусов, 1971; М.В. Рац, С.И. Чернышев, Л.В. Шаумян, А.А. Варга [26, 35, 92-94]. Методика изучения трещиноватости при разведке МПИ широко освещена в работах коллектива авторов ВСЕГИНГЕО [75] и МГУ [54]. Однако, в виду экономических причин до сих пор сложно решается процесс о количественной оценке степени трещиноватости по керну ориентированного бурения. В последние годы появились и такие работы – С.А. Корчак.

Оценке существования, мощности, температурного режима многолетнемерзлых пород (ММП) в целом по Востоку России уделяется не мало внимания. Однако, МПИ – это особые объекты, где воздействие на ММП будет осуществляться до значительных глубин, возможен выход подмерзлотных вод, что требует особых методик для установления границ распространения ММП.

Одним из главных моментов на который необходимо обратить внимание – это влияние региональных и зональных факторов формирования ИГУ. Так как современные ИГУ территории формируются на протяжении всей геологической истории развития и все важнейшие ИГ компоненты тесно связаны с историко-генетическими, геолого-структурными,

палеогеографическими, климатическими особенностями той или иной территории [36].

### **Выводы по 1 главе**

1. основополагающим при изучении и оценке ИГУ является: комплексный подход учитывающий, как региональные и зональные факторы, так и индивидуальные особенности месторождений, что позволяет обосновать условия вскрытия месторождения.

2. Изучение и оценка ИГУ МПИ должны проводиться на каждой стадии геологоразведочного процесса, что позволит получить объективную информацию о компонентах ИГУ.

## 2 ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЧВП

Одним из главных теоретических положений современной инженерной геологии является: «современные инженерно-геологические условия любой инженерно-геологической структуры как открытой природной системы сформированы в результате совместного воздействия региональных и зональных геологических факторов» [119].

Впервые это положение было выдвинуто И.В. Поповым еще в 1961 г. [88]. Однако еще долгие годы эти факторы рассматривались не в совокупности, а отдельно. Значительно позже появились работы учитывающие совместное проявление этих факторов по Западной Сибири [53], Южной Якутии, Приморскому краю. Для условий ОЧВП (Колымы) особенно при анализе инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых это делается впервые.

Важность роли региональных и зональных факторов формирования ИГУ была обозначена В.Т. Трофимовым и Т.И. Аверкиной [116]. Ими же была разработана классификация компонентов ИГУ и факторов их формирующих (Таблица 2.1).

Согласно В.Т. Трофимову [116] под региональными факторами формирования ИГУ понимаются движущие силы различных процессов, реализованных в ходе геологической истории территории и ее современное тектоническое развитие, а именно геологическое строение, структурно-тектонические особенности, история геологического развития, флюидно-гидротермальные процессы, литолого-петрографические инженерно-геологические комплексы.

Зональные факторы – это экзогенно обусловленные климатические особенности территории, прежде всего теплообеспеченность, увлажненность территории, рельеф и их соотношение [116].

Таблица 2.1 – Компоненты ИГУ и факторы их формирующие (по В.Т. Трофимову, Т.И. Аверкиной [116], с дополнениями)

Компоненты ИГУ		Факторы формирования ИГУ	
Региональные	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мега- и мезорельеф.</li> <li>2. Состав, строение и свойства, степень литификации и метаморфизации пород, условия их залегания и распространения.</li> <li>3. Условия залегания, химический состав и агрессивность подземных вод глубоких горизонтов.</li> <li>4. Характер эндогенных и экзогенных геологических процессов.</li> </ol>	Региональные	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Совокупность геологических процессов, реализованных в ходе истории геологического развития территории.</li> <li>2. Современное тектоническое развитие территории.</li> </ol>
Зональные геологические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Современное состояние грунтов и их свойства (распространение мерзлых и талых грунтов, их температура, криогенное строение мерзлых толщ и т.п.).</li> <li>2. Глубина залегания, химический состав, агрессивность и другие особенности грунтовых вод.</li> <li>3. Характер и интенсивность экзогенных геологических процессов</li> </ol>	Зональные геологические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теплообеспеченность территории.</li> <li>2. Увлажненность территории.</li> <li>3. Соотношение теплообеспеченности и увлажненности территории.</li> </ol>

## **2.1 Региональные факторы формирования инженерно-геологических условий золото-серебряных месторождений ОЧВП**

ОЧВП представляет собой окраинно-континентальную геологическую структуру планетарного масштаба (Рисунок 2.1), сформировавшуюся на консолидированном гетерогенном основании и выделяется как область развития молодых позднемеловых и позднеюрско-раннемеловых вулканических образований.



Рисунок 2.1 – Схема расположения Охотско-Чукотской провинций

Согласно схеме тектонического районирования Северо-Востока ОЧВП разделяется на внешнюю и внутреннюю зону, которые отличаются по структурно-тектоническому строению (Рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Схема тектонического районирования Северо-Востока (составлена Н.А. Шилов, П.В. Бабкиным, В.Ф. Белым, В.М. Мерзляковым, М.И. Тереховым)



Внешняя зона характеризуется платообразно залегающими покровами, осложненными прогибами, просадками и грабенами. Внутренняя зона имеет более полный стратиграфический разрез вулканитов. Граница между зонами совпадает с системой сближенных разломов, вдоль которых отмечаются блоковые поднятия.

Образование ОЧВП происходило в несколько этапов, тесно связанных между собой. В период сеномана во внутренней зоне пояса образовались базальт-трахибазальтовая формация, слагающая грабены и приразломные прогибы. Во внешней зоне шло образование контрастных риолит (трахириолит)-базальтовой и риолит-андезит-базальтовой формаций, слагающих изометричные вулканоструктуры оседания, реже грабены. Интрузивы сиенито-диорит-щелочногранитной формации, связанной с заключительным этапом развития магматической деятельности пояса распространены на всей его территории. Эволюция пояса завершилась общим ослаблением вулканической активности, а также излиянием базальтов и андезит-базальтов.

Разломы вулканогенного пояса образуют систему дугообразных, кулисообразно расположенных трещин скола широтного и северо-восточного простирания. Амплитуда смещения в плоскости разломов достигает большой величины – от нескольких сотен до первых тысяч метров.

С продольными разломами сопряжены поперечные, которые также служили выводящими каналами для магматических расплавов. К ним принадлежат наиболее крупные: Коркодонский, Ульбейский и другие, прослеживающиеся в пределах мезозойских и жестких массивов на сотни километров. Этим двум системам основных разрывных нарушений сопутствуют многочисленные оперяющие разломы меньшего масштаба, игравшие важную роль в вулканической деятельности.

Основание вулканогенного пояса, будучи расчленено многочисленными разломами, характеризуется мозаичным строением и состоит из ряда блоков. Мозаичная структура основания пояса способствовала созданию высокой

проницаемости земной коры. Это предопределило присущие поясу структуры складчато-глыбового типа с развитием прерывистой складчатости, образованием грабенов и впадин, горстовидных поднятий, моноклиналей.

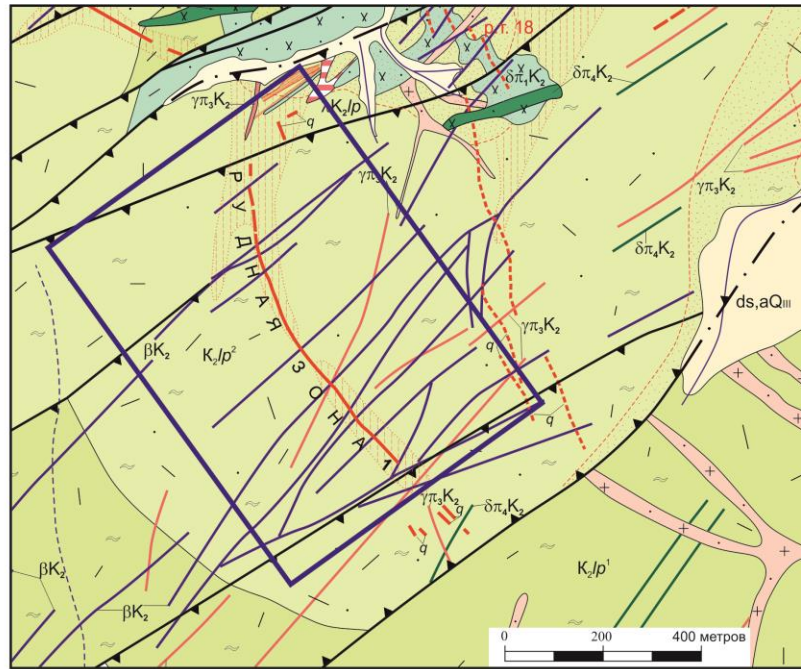
Формирование золото-серебряных месторождений ОЧВП происходило в позднеюрско-раннемеловую эпоху [111] и связаны они с процессами меловой тектоно-магматической активизацией, под которой понимается процесс резкого усиления тектонических движений и магматизма в стабилизированных участках земной коры [Щеглов А.Д.].

Таким образом, рассматриваемые нами месторождения регионально расположены во внешней зоне ОЧВП (Приморское, Неверенкан – Охотский сектор, Ирбычан – Пенжинский сектор) и относятся к эпитермальным золото-серебряным. По геологическому строению и золото-серебряному соотношению в рудах [111] месторождения расположены в двух металлогенических областях (Приморское – Омсукчанский рудный узел, Неверенкан и Ирбычан – Эвенский рудный узел).

### **2.1.1 Геологическое и структурно-тектоническое строение золото-серебряных месторождений, флюидно-гидротермальные проявления**

#### **2.1.2 Месторождение Приморское**

Представляет собой серию жил и прожилков северо-западного простирания в позднемеловой риолитовой толще ( $K_2lp$ ), слагающей Калалагинскую и Верхне-Калалагинскую вулканотектонические депрессии (Рисунок 2.3).



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Четвертичная система			
	Нерасчлененные образования. Делювиально-солифлюкционные и аллювиальные галечники, щебень, дресва, пески		
Поздний мел			
Липаритовая толща		Вторая пачка. Игнимбриты риолитов псефитовые с прослоями и линзами туфов андезитов, дацитов, туфопесчаников (480м)	<p>Разрывные нарушения достоверные (1), предполагаемые (2), в том числе сбросы (3)</p>
		Первая пачка. Игнимбриты риолитов псаммо-псефитовые, псаммитовые (400м)	
		Игнимбриты риолитов кристаллолитокластические, псефитовые (1), псаммитовые (2)	
		Граниты (1), гранит-порфиры (2)	
		Диориты, кварцевые диориты (1), диорит-порфиры (2)	
Субвулканические образования			
	Дайки базальтов (β) и андезибазальтов (αβ)	<p>Жилы-1; зоны прожилкования-2 кварцевого, карбонат-кварцевого, серицит-кварцевого, пирролизит-кварцевого, родонит-кварцевого, гематит-родонит-кварцевого, гематит-эпидот-кварцевого (с родонитом) состава (продуктивные); рудные тела - 3</p>	
	Штоки и дайки диорит-порфиров (δπ <sub>2</sub> ), гранит-порфиров (γπ <sub>3</sub> )		
			Контур месторождения Приморское

Рисунок 2.3 – Геологическая карта месторождения Приморское (по материалам В.Э. Митюкова, 1988 г.)

Калалагинская вулканогенно-тектоническая депрессия (просадка), классифицируется как структура с центральным ядром и интрузивным обрамлением, ядро которой разбито на узкие блоки с тенденцией ступенчатого их погружения в юго-восточном направлении. Эти зоны характеризуются широким развитием контактового, контактово-метасоматического, гидротермального метасоматоза (с пропилитизацией), березитизацией с формированием и жильных гидротермальных образований.

Геологическую структуру месторождения определяют две взаимоперпендикулярные системы нарушений северо-восточного и северо-западного направлений.

Разрывы СЗ простирания связаны с развитием Омсукчанского глубинного разлома, и являются более древними, дорудными. Наиболее крупные из них – это разломы Восточный и Центральный (Рисунок 2.4).

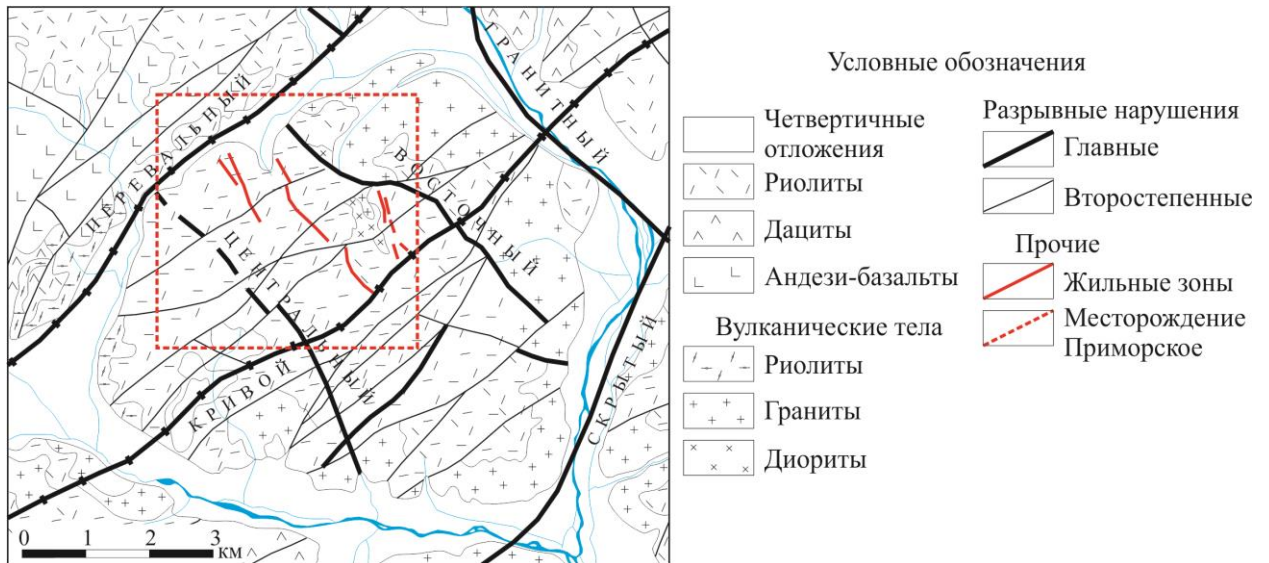


Рисунок 2.4 – Геолого-структурная карта месторождения Приморское (по материалам В.Э. Митюкова, 1988 г.)

Разрывные нарушения СВ простирания многочисленны. По времени образования эти разрывные нарушения более молодые – синрудные и пострудные. Наиболее крупные из них – это региональные разломы: Перевальный, Кривой (Рисунок 2.4). Кинематика разрывных нарушений право-сдвиговая, с амплитудами смещения блоков на сотни метров. С разрывными нарушениями этой системы связаны гидротермальные жильные образования, но значительно реже, чем с разрывными нарушениями СЗ простирания.

По простиранию жильная серия носит прерывистый характер. Рудные участки, образуя единую рудную зону, отделены друг от друга северо-восточными разломами, вдоль которых отмечается правостороннее смещение.

В геологическом строении месторождения Приморское принимают участие вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения верхнего мела, представленные: 1) псаммитовыми и псамопсефитовыми игнимбритами риолитов, с прослоями и линзами псефитовых кристаллокластических и литокластических игнимбритов, псаммитовых кристаллокластических туфов риолитов и туффитов ( $K_2lp^1$ ); 2) псефитовыми игнимбритами риолитов с прослоями базальтов, трахиандезитов, туфов андезитов, туффитов ( $K_2lp^2$ ).

Рудное тело на всей площади месторождения представляет собой жильную зону. Она приурочена к трещинной структуре северо-западного простирания. В начале формирования по ней происходило внедрение ранних, дорудных даек основного состава, на которые впоследствии была наложена рудная кварцево-жильная минерализация.

Рудные тела на месторождении имеют простирание в северо-западном направлении ( $330-340^\circ$ ), по падению – до горизонта 520 м (230 м от поверхности). Падение рудной зоны на юго-восточном фланге северо-восточное под углом  $60-65^\circ$ . Дальше к северо-западу жильная зона выполаживается до  $50-45^\circ$ .

По составу рудные тела представлены жилами кварцевого состава с интенсивной окисной и силикатной марганцевой минерализацией, пиролюзит-кварцевого и родонит-пиролюзит-кварцевого состава. В основном они имеют чёткие геологические границы.

### 2.1.3 Месторождение Невенрекан

Расположено в юго-западной части Туромчинского вулканогенного прогиба (В.К. Политов, 1968) в зоне сочленения его со складчатым основанием. В геолого-структурном отношении месторождение относится к Невенреканскому интрузивно-купольному поднятию, в котором выделяются серии дуговых и полукольцевых разломов, которые вмещают рудоносные жильные тела.

Разрывные нарушения имеют широкое развитие в пределах территории месторождения. Определяющими являются Вархаламский и Доктомычанский глубинные разломы, в зоне сочленения которых и расположено Невенреканское месторождение.

Вархаламский глубинный разлом, относится к долгоживущей разрывной системе, заложение которой произошло в палеозое (В.К. Политов, 1966; А.Г. Чернявский, 1978). Доктомычанский глубинный разлом имеет северо-восточное простирание и состоит из серии сближенных субпараллельных разломов (Рисунок 2.5).

В геологическом строении месторождения Невенрекан принимают участие эффузивные образования мела и палеогена и связанные с ними субвулканические интрузивные образования. В юго-восточной части площади в разрезе преобладают туфы дацитов с маломощными прослоями и линзам туфов и андезитов, лавобрекчии риолитов. В северо-западной части мощность дацитовых туфов изменяется до полного выклинивания. В то же время здесь резко увеличивается мощность ингимбритовой пачки. В целом пачка представлена ингимбритами риолитов, мелкообломочными туфами риолитов, дацитов и андезитов.



Рисунок 2.5 – Геолого-структурная схема Турумчинской ВТД, по Р.Б. Умитбаеву, 1986 г., с добавлениями в юго-западной части и упрощением, с использованием материалов А.Г. Чернявского, 1976 г., В.К. Политова, 1981 г., Н.Г. Шаповалова, 1982 г.

Палеогеновые образования ( $P$ ) развиты в центральной части месторождения, где занимают наиболее высокие гипсометрические уровни. Непосредственно на месторождении палеогеновые образования представлены второй толщей ( $P_2$ ), сложенной массивными, пористыми и миндалекаменными базальтами и их шлаками (Рисунок 2.6).

Магматические образования представлены субвулканическими интрузиями. Развиты в восточной части и представлены позднемеловыми интрузиями андезитов, андезито-дацитов.

Внедрение интрузий сопровождалось формированием зон приконтактных изменений, которые выразились в турмалинизации, окварцевании и сульфидизации в зоне мощностью в первые десятки метров.

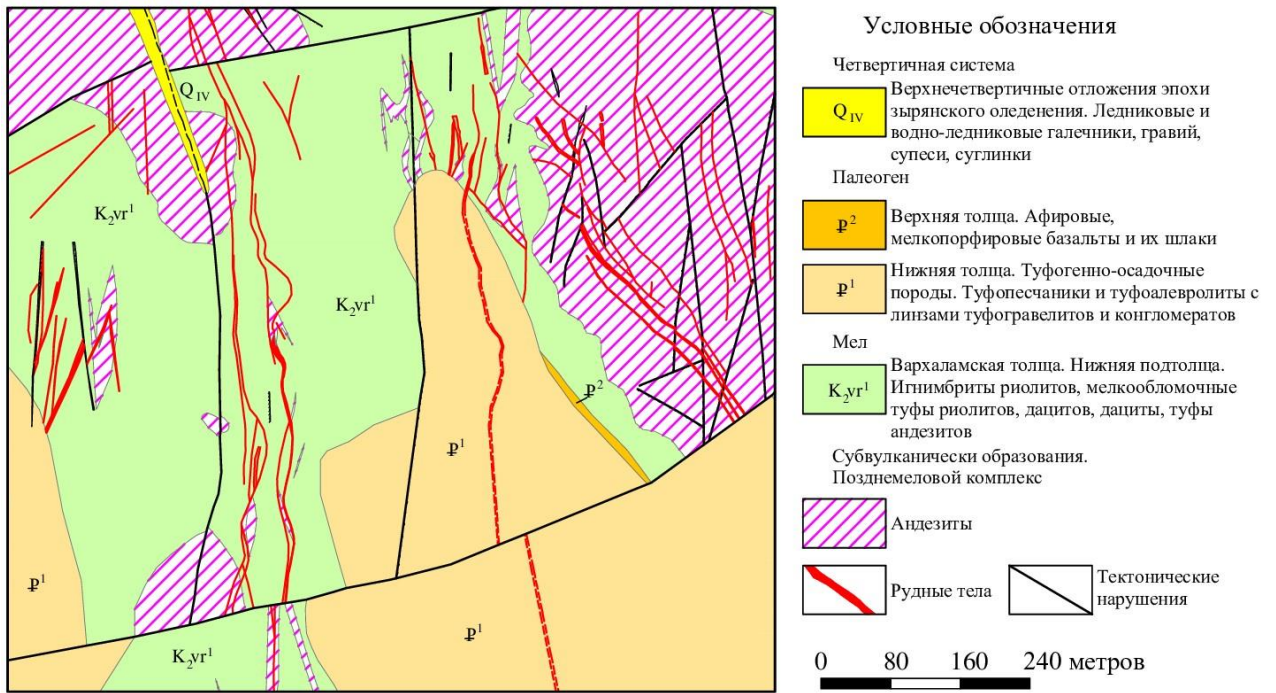


Рисунок 2.6 – Геологическая карта месторождения Невенрекан (по материалам Шаповалова Н.Г., 1982 г.)

На месторождении проявлены и гидротермальные изменения пород, которые в верхнемеловых породах выразились в формировании кварц-серицитовых, кварц-хлорит-серицитовых, карбонат-хлоритовых метасоматитов. Базальты практически не затронуты гидротермальными изменениями. Лишь вблизи тектонических нарушений в них наблюдаются зоны слабой пропицитизации, ожелезнения и цеолитизации.

Кварц-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые метасоматиты являются дорудными и развиваются по интрузиям андезитов. Карбонат-хлоритовые метасоматиты развиты в пределах зоны северо-западного простирания, сопровождают по простиранию жильные образования и разрывные нарушения, развиты в ингимбритах риолитов, риолитах и их туфах. Околожильные метасоматиты расположены вдоль зальбандов жил и прожилков и характеризуются большой степенью изменений.

Рудные зоны связаны с жильными образованиями, которые укладываются в две полосы северо-западного простирания (в соответствии с ориентировкой Вархаламского разлома). Морфология жильных тел очень



сложная. Распространены маломощные жилы и зоны прожилкования, часто выклинивающиеся по падению и простиранию. Глубина распространения жил прослеживается горными выработками до глубины 700-800 м. По минеральному составу выделяют 4 типа жил: кварцевые; карбонат-кварцевые; адуляр-кварцевые; сульфидно-кварцевые.

#### **2.1.4 Месторождение Ирбычан**

В структурном отношении территория месторождения находится в юго-западной части Пареньского вулканического поля и приурочено к зоне пересечения Гижигинского, Доктомычанского и Хивачского глубинных разломов – основных тектонических структур, предопределивших блоковое строение данной территории [139, 143, 146].

Геолого-структурная позиция Ирбычанского месторождения определяется приуроченностью его к юго-западному крылу Ирбычанской брахиантиклинали. В ядре брахиантиклинали вскрываются терригенно-карбонатные образования нижнего карбона, сменяющиеся на крыльях терригенными отложениями верхнего триаса.

В зоне сочленения ветвей Хивачского и Доктомычанского разломов, раскалывающих брахиантиклиналь на отдельные крупные блоки, сформировалась Хивгичанская кольцевая кальдера (Белоглазов, 1978), выполненная верхнемеловыми вулканитами и обрамленная образованиями нижнего карбона (Рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Геолого-структурная схема месторождения Ирбычан, составлена М.В. Болдыревым и Б.И Коваленковым, 1977 г.

В целом, в строении месторождения принимают участие вулканогенные и эффузивные породы верхнего мела (Рисунок 2.8), представленные 2 толщами: I ( $K_1$ ) – сложенная покровной фацией щелочного комплекса (не развита в пределах месторождения) и II ( $K_2$ ) – толща, представленная породами двух горизонтов:

- нижним – горизонтом лав андезито-дацитов;
- верхним – горизонтом риолитов, их туфов и метасоматитов.

Горизонт лав андезито-дацитов залегает с угловым несогласием непосредственно на сланцах аханджинской свиты. Мощность пород колеблется в пределах 40-100 м. Макроскопически – это породы серого, зеленовато-серого, бежевого цвета с большим количеством порфировых вкрапленников полевого шпата, плагиоклаза, в значительной мере карбонатизированного.

Горизонт риолитов, их туфов и метасоматитов залегает согласно на горизонте андезито-дацитов. Мощность пород по падению и простиранию довольно выдержана и достигает 150-300 м. Макроскопически риолиты это породы светло-серого цвета, массивной текстуры с большим количеством

порфировых вкрапленников, в том числе водяно-прозрачного первичного кварца. Часто содержат ксенолиты вмещающих пород.

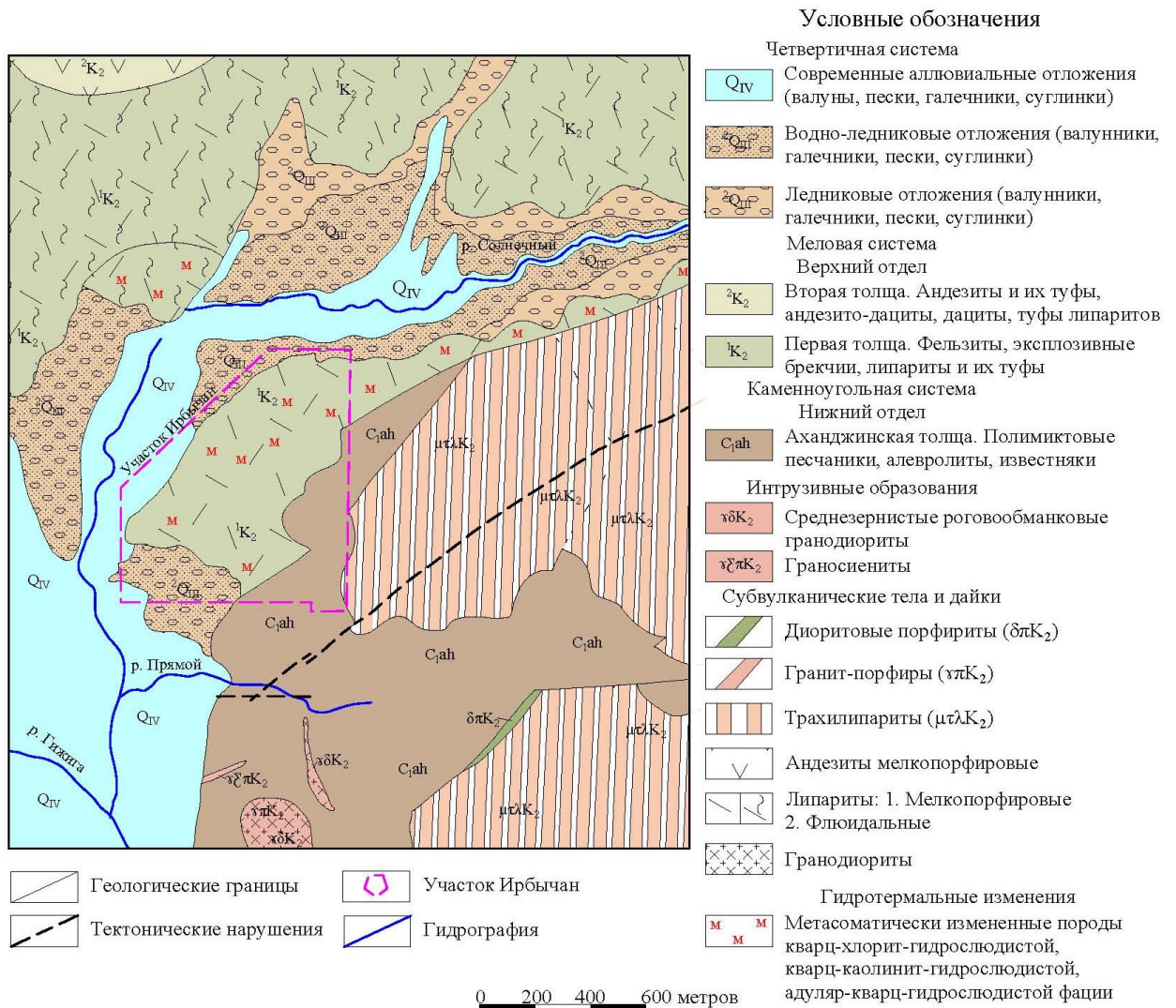


Рисунок 2.8 – Геологическая карта месторождения Ирбычан (по материалам Белоглазов Е.В., 1978 г.)

Туфы по петрохимическому составу и составу обломков подразделяются на полимиктовые кислого и среднего состава и мономиктовые кислого состава. Литокластические туфы кислого состава установлены на поверхности в центре и на юго-западном фланге месторождения. Литокластический материал представлен обломками риолитов, вулканического стекла. Обломки имеют расплывчатые очертания. Литокристаллокластические туфы среднего состава установлены в восточной

части месторождения. В пределах данного горизонта установлены внутриформационные угловые несогласия, которые возможно являются следствием изменения лав и извержения пирокластического материала из различных центров.

Гидротермально-метасоматическим изменениям подвержены все горные породы месторождения. Характер и интенсивность, которых зависела от состава и температуры гидротерм, структурно-тектонической обстановки, состава вмещающих пород, нередко эти изменения проявлены настолько глубоко, что первичная порода часто полностью «утрачивает свое лицо».

Для месторождения характерны 3 стадии метасоматоза:

1. *дорудная* – к этому типу метасоматитов отнесены пропилиты среднетемпературной эпидот-хлоритовой и низкотемпературной карбонат-хлоритовой фации, а также кварц-хлоритовые изменения с серицитом.

2. *предрудная* – кварц-адуляр-гидрослюдистая и аргиллизитовая формация. Метасоматиты кварц-адуляр-гидрослюдистой формации являются около трещинными и приурочены к субширотным и северо-восточным трещинам и наблюдаются в виде линейных зон, сопровождающих рудные тела.

3. *синрудные метасоматиты* – относятся к околожильному типу, располагаются в непосредственной близости от кварцевых жил.

Со становлением Хивгичанской кальдеры связано образование кварцевых жил и гидротермальных брекчий. Гидротермальные брекчии являются породами, образованными в результате взрывоопасного внедрения газожидкого флюида. Цемент брекчий кварц-сульфидный, кварц-полевошпатовый, кварцевый. Тела имеют субширотное (северо-восточное) простирание и подчёркивают простирание жильных зон. Форма тел линейно вытянутая длиной до 200 м с частыми раздувами до 40-50 м, наиболее широко развиты в районе Центральной и Северной жильных зон, жильные тела прослеживаются скважинами до горизонта 130 м.

Таким образом, рассмотренные региональные геологические факторы формирования ОЧВП, а именно история геологического развития, проявление различных этапов вулканической деятельности, тектонические движения, определили формирование инженерно-геологических условий рассматриваемых месторождений. К ним относятся:

1) Проявление в мелу тектоно-магматической активизации, привело к формированию эпитермальных золото-серебряных месторождений.

2) В результате проявленной совокупности в пределах ОЧВП геологических процессов сформировались современные массивы горных пород на изучаемых месторождениях, представленные вулканогенными, вулканогенно-осадочными, эффузивными породами мелового возраста. Тип и состав горных пород при этом определяется видами и степенью метаморфизма, метасоматоза. Под воздействием этих процессов меняется минеральный состав, структура и текстура пород, а также физико-механические свойства что послужило формированию отдельных литолого-петрографических инженерно-геологических комплексов (Рисунок 2.9).

3) Тектоническая активность в пределах ОЧВП способствовала формированию мозаичного структурно-тектонического строения и образованию прогибов, грабенов, кальдер и т.д. Что обусловило блочное строение месторождений состоящих из сети трещин, с различными типами поверхности, минерального заполнителя и степени трещиноватости, формирование зон ослабления различной мощности (Рисунок 2.9).

4) Распространение флюидно-гидротермальных рудообразующих процессов, в виде пропилитизации, беризитизации, аргиллизации, окварцевания, способствовало изменению минерального состава материнских пород, а также физико-механических свойств пород и формированию инженерно-геологической зональности пород с выделением зон – вмещающих, околорудных пород и рудных зон, отличающихся по минеральному составу и физико-механическим свойствам.

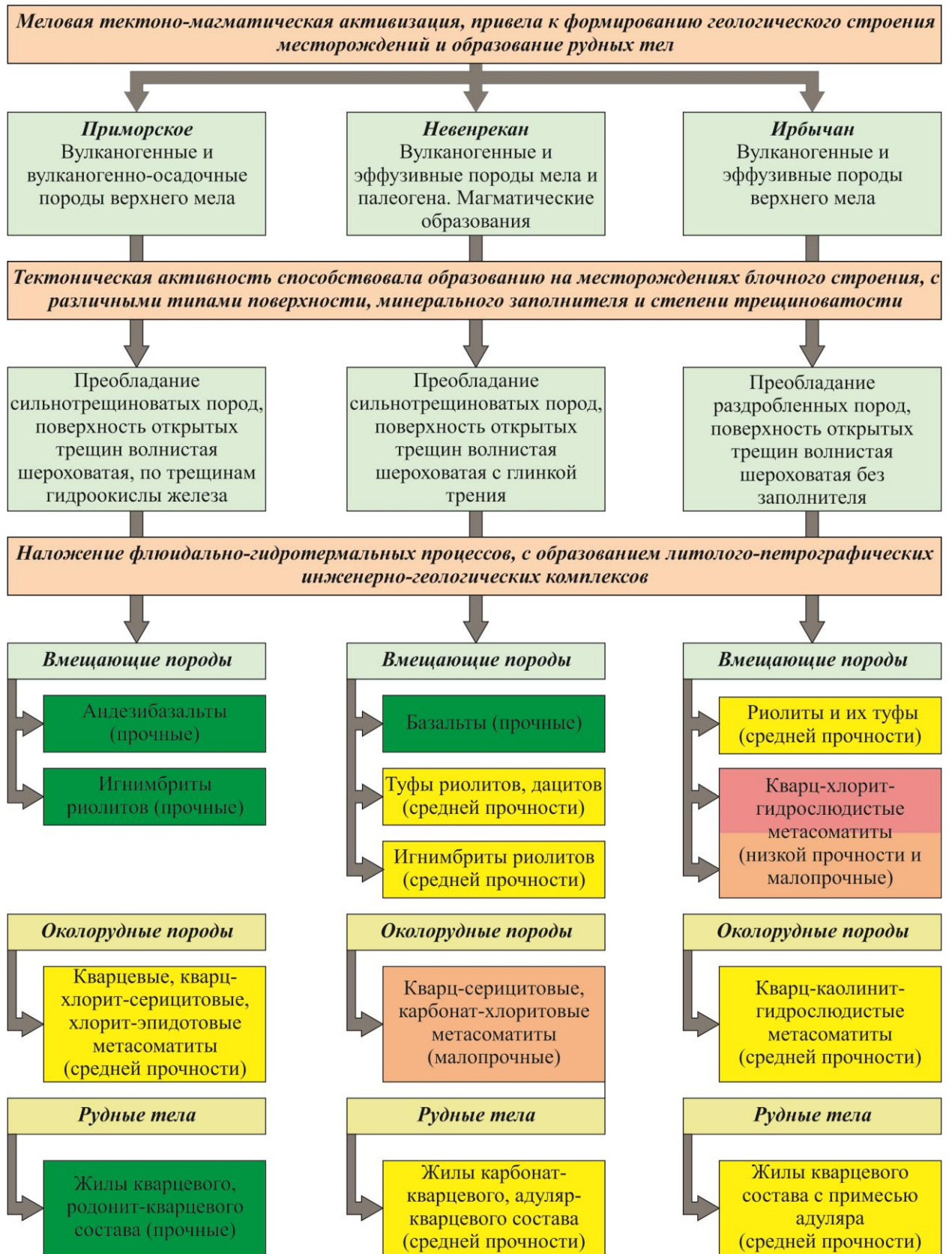


Рисунок 2.9 – Формирование ИГ условий золото-серебряных месторождений ОЧВП под влиянием региональных факторов

## 2.2 Зональные факторы формирования инженерно-геологических условий золото-серебряных месторождений ОЧВП

Значение слова «зональность инженерно-геологических условий» было введено В.Т. Трофимовым [114, 115]. Кроме того, существенный вклад в развитие проблемы внесли И.С. Комаров [67], Е.С. Мельников [74] и другие. Под зональностью ИГУ следует понимать [117] один из типов пространственного изменения ИГУ, выражающийся в их закономерной широтной трансформации в пределах равнинных или платообразных платформенных регионов континентов Земли и широтно-высотной (высотнопоясной) в пределах орогенных складчатых регионов.

Изучаемая территория – это площадь повсеместного распространения многолетнемерзлых пород формирование которой явилось результатом 3-х оледенений.

Первое – познеоплейстоценовое и ранне-неоплейстоценовое соответствовали глобальным эпохам похолодания [34] и формировались в локально поднятых массивах на фоне низкогорного рельефа. Ледники стекали на поверхности впадин и разгружали морены, которые становились частью континентальных осадков.

Второе – средне-неоплейстоценовое было самым крупным и по площади, и по длине отдельных ледников, которые заполняли межгорные впадины. Оледенение совпадает с этапом активизации восходящих тектонических движений, в течении которого оформился высотный уровень гор, благоприятный для возникновения крупномасштабного оледенения. Сочетание орогенетических и климатических факторов сформировало горнодолинный, горно-покровный тип оледенения.

Третье – поздне-неоплейстоценовое (зырянское) распространилось во впадинах, образуя в предгорьях крупные ледники подножий и поздне-неоплейстоценовое (сартанское) не выходило за пределы верхних ярусов горных сооружений.

Таким образом, локальные орографические факторы явились главным источником оледенения.

К настоящему моменту многолетнемерзлые породы имеют мощность от 50 м до 200 м, а температуры пород изменяются от минус 1°С до минус 3°С в зоне влияния Охотского моря, а в континентальной части от 50 м до 350 м.

Основными факторами, определяющими современное состояние ММП являются:

1) геоморфологические условия (рельеф земной поверхности, абсолютные отметки) так как чем выше абсолютная отметка, тем ниже температура воздуха; 2) географическая широта – определяет количество солнечного излучения, температурную неоднородность, радиационно-тепловой баланс, температуры воздуха; 3) характер подстилающей поверхности – является азональным элементом, так как тип поверхности (горы, равнины, впадины), определяет климат (микро-, макроклимат); 4) удаленность от моря – определяет характер климата. С удалением вглубь материка более ярким становится континентальный климат, увеличиваются температурные колебания, снижается облачность; 5) гидрологические условия.

Рассмотрим зональные факторы характерные для месторождений ОЧВП.

Изучаемые нами месторождения согласно схеме орографического районирования, расположены в Приохотско горно-вулканической области (Приморское) и Колымском нагорье (Невенрекан, Ирбычан) (Рисунок 2.10).



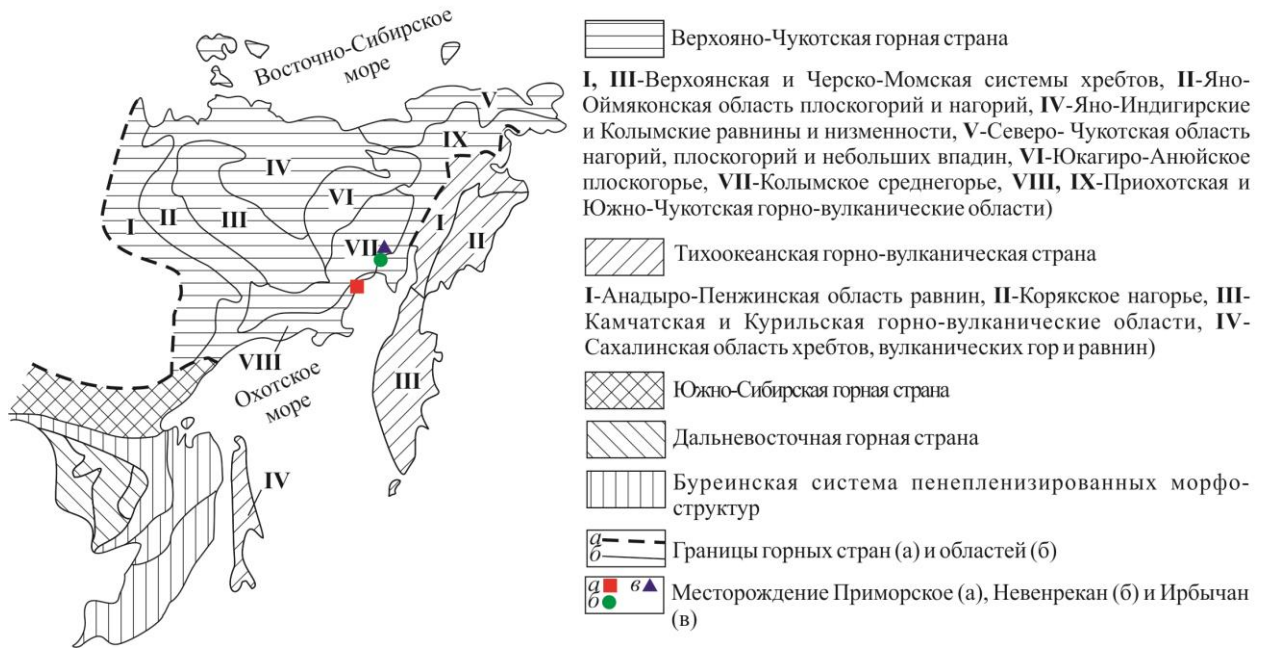


Рисунок 2.10 – Схема орографического районирования Восточной Сибири и Дальнего Востока (составил В.Е. Афанасенко)

Приохотская горно-вулканическая область сложена рядом параллельных горных цепей и отрогов, направленных перпендикулярно основному простиранию, разделённых межгорными впадинами. Область представлена в разной степени обособленными короткими массивами гор. Массивные куполообразной или пирамидальной формы в разной степени приострённые вершины этих горных сооружений достигают 1500-1600 м. Область гольцов здесь находится выше 1000-1100 м над уровнем моря. По направлению к побережью Охотского моря высота гор снижается до 800 м, они располагаются разобщёнными группами, и образуют водоразделы для рек, впадающих в Охотское море. Область гольцов занимает вершины, седловины и склоны выше отметок 700-800 м над уровнем моря.

Относительные превышения составляют 300-800 м. Характерны горно-ледниковые формы рельефа. Склоны северной экспозиции, как правило, крутые, изрезаны многочисленными эрозионными рытвинами. Склоны южной экспозиции более пологие, перекрыты чехлом делювиально-пролювиальных отложений, мощностью до 4-6 м, часто задернованы. Коренные обнажения чаще отмечаются на гребнях водоразделов, в бортах ложбин, расчленяющих

склоны, в тальвегах ручьев. Средние части и подножия склонов покрыты лишайниковыми лиственничными редколесьями, которые достигают пояса гольцов только по долинам и закрытым склонам. Месторождение Приморское характеризуется абсолютными отметками от 740 до 800 м (среднегорье).

Колымское нагорье, где расположены месторождения Невенрекан и Ирбычан, представляет собой среднегорье с короткими разноориентированными хребтами и куполовидными массивами (Рисунок 2.11). Горные сооружения нагорья отличаются пологими сглаженными формами. Встречаются и высокогорные участки с абсолютными отметками, достигающими 2600 м, глубина расчленения изменяется от 300 до 1000 м. Месторождения характеризуются абсолютными отметками: Невенрекан от 600 до 650 м (среднегорье), Ирбычан от 330-380 м (долина реки Гижиги).



Рисунок 2.11 – Фрагмент ландшафтной карты СССР (Гудилин И.С., 1980 г)

Речная сеть представлена преимущественно долинами горных рек отличающихся большой разветвленностью, сложным рисунком, значительной



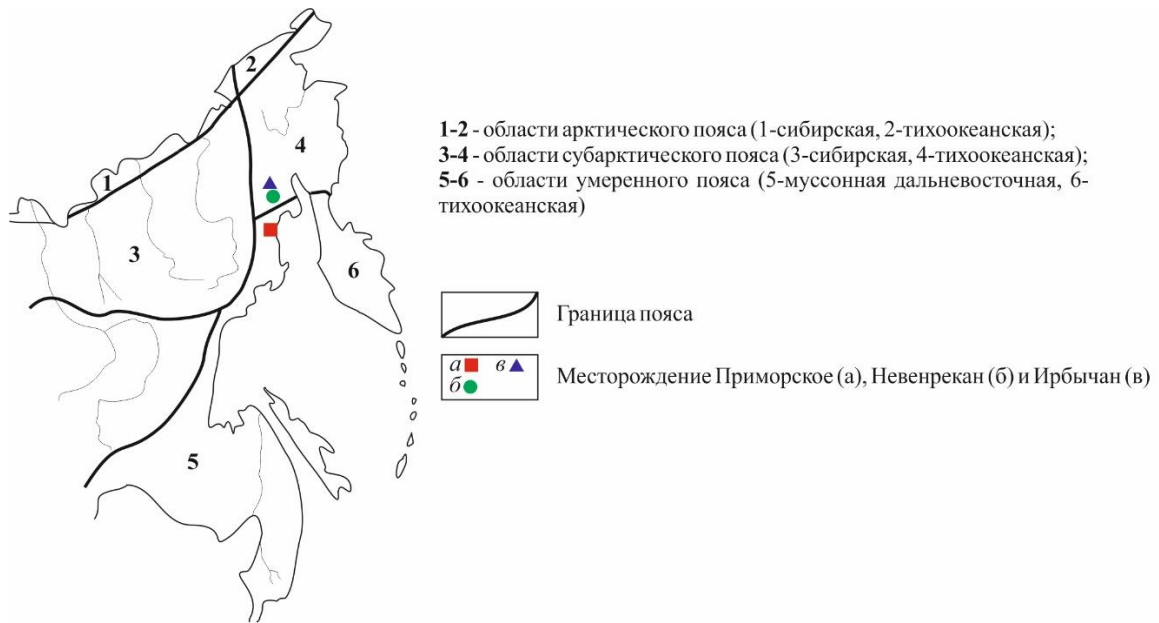


Рисунок 2.13 – Схема климатического районирования (по Б.П. Алисову с уточнениями Н.А. Маячковой)

Радиационно-тепловой баланс для данной территории не превышает  $20 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$ , причем с ноября по февраль он отрицателен ( $-1$ ,  $-2 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$ ). Весной радиационный баланс становится положительным задолго до апреля. В мае он имеет значение  $2-4 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{мес}$  в июне-июле  $6 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{мес}$ , а в сентябре  $0-1 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{мес}$ .

Затраты тепла на испарение составляют  $10-15 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{год}$ , зимой менее  $1 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{мес}$ . Турбулентный теплообмен зимой над сушей отрицательный, в июле над полосой, прилегающей к побережью он составляет  $2-4 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{мес}$ . В континентальной части  $0-2 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{мес}$ .

Таким образом, значительный спектр зональных факторов, существующих в пределах месторождений, обеспечивает наличие в пределах региона такого планетарного явления, как многолетнемерзлые породы. Их распространение и развитие зависит от общего теплового состояния Земли и его изменений, определяемых радиационно-тепловым балансом, который в свою очередь определяется региональным и локальным распределением приходящей энергии. Которую определяет рельеф земной поверхности и наличие поверхностных водотоков.

Кроме того, влияние моря привело к формированию узкой полосы островной мерзлоты (месторождение Приморское), далее простираются области сплошной мерзлоты (Рисунок 2.14). Формирование областей прерывистой и сплошной мерзлоты обусловлено проявлением трёх зональных факторов:

- ослабление влияния моря, вызывающее понижение температуры верхнего слоя литосферы по мере удаления от берегов на 4-5 км;
- распространение нагорий и резко обособленных низменностей;
- резко вертикальная зональность в распределении среднегодовых температур.

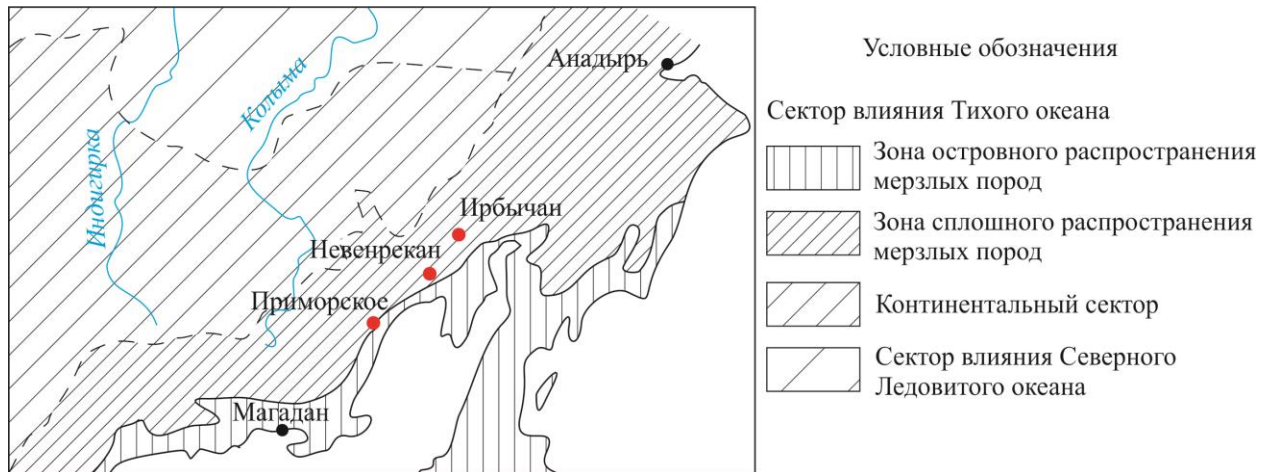


Рисунок 2.14 – Схема распространения многолетнемерзлых пород Северо-Востока и Дальнего Востока (составила С.А. Замолотчикова)

Для месторождений, расположенных в среднегорье (Приморское, Невенрекан) ММП представлены трещиноватыми скальными породами эпигенетического промерзания, которые подвержены морозному выветриванию. На склонах образуются глыбовые и щебневые развалы или крупнообломочные осыпи, курумы, под которыми залегают морозные породы.

Месторождение Ирбычан расположено в долине реки, где образуются крупные термоаномалии в которых мощность фильтрующего аллювия достигает 30 м. Незначительная льдистость и высокие фильтрационные свойства крупнообломочного аллювия способствуют быстрому накоплению

тепла, плюс повышенная снеговая изоляция способствуют формированию под долинами рек сквозных таликов. Основная часть месторождения Ирбычан представлена морозными породами.

Приуроченность территорий месторождений к провинции многолетнемерзлых пород определяет связанные с ними мерзлотно-гидрогеологические явления, такие как бугры пучения, образование наледей и таликовых зон, которые играют важную роль в гидрогеологической характеристике.

Устойчивые надмерзлотные талики разделяются на подрусловые речных долин и ручьев, подозерные конусов выноса. Они характерны для всех генетических типов рыхлых четвертичных отложений. Водоносные талики речных долин – это линейные в плане зоны переменной ширины, которые зависят от параметров речных долин. В пределах территорий месторождений выделяются несквозные подрусловые талики расположенных в долинах ручьев и рек.

Месторождения Приморское, Невенрекан и Ирбычан входят в состав Охотско-Чукотской системы вулканогенных супербассейнов с гидрогеологическими массивами и межгорными артезианскими бассейнами. Значительную роль в подземных водотоках месторождений играют безнапорные воды аллювиальных отложений речных долин и трещиноватых эффузивов, а также глубокозалегающие напорные воды. В гидрогеологическом разрезе на месторождениях согласно общепринятой классификации, выделены четыре гидрогеологических подразделения: надмерзлотные воды, воды несквозных таликов, грунтовые безнапорные воды; артезианские воды вулканогенного супербассейна [100].

Надмерзлотные воды сезонноталого слоя имеют широкое распространение в теплый период года. Водоносными являются аллювиальные, делювиальные, ледниковые, водно-ледниковые и морские четвертичные отложения, а также элювий и местами верхний трещинный слой выветривания подстилающих их коренных пород. Мощность обводненных пород невелика и определяется глубиной сезонного протаивания пород.

Питание надмерзлотных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и конденсации паров воды из воздуха.

Для несквозных таликов источником питания являются поверхностные воды сезонно-талого слоя и атмосферные осадки. Водообильность таких зон достаточно значительна. Разгрузка надмерзлотных вод осуществляется путем поверхностного стока в долинах рек и ручьев.

Грунтовые безнапорные воды не имеют распространение на месторождениях в связи распространением многолетнемерзлых пород, имеющих в разрезе однослойное строение и имеющих отрицательную температуру пород.

Подмерзлотные воды залегают непосредственно под ММП и относятся к трещинно-жильным, напорным. Рудные тела залегают выше кровли подмерзлотных вод и при отработке водопритоки за счет данных вод не прогнозируются.

Обобщенные данные по месторождениям представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Региональные и зональные факторы формирования инженерно-геологических условий

Факторы	Месторождения		
	Приморское	Невенрекан	Ирбычан
<b><i>Региональные факторы формирования инженерно-геологических условий</i></b>			
Условия и время формирования массива пород	Во внешней зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса		
	Охотский сектор	Пенжинский сектор	
Генезис месторождения	Полуоткрытые эпитегрмальные, субвулканического уровня		
Условия и время формирования	Связана с процессами меловой тектоно-магматической активизации		
Металлогеническая область	Дукатский рудный узел	Эвенский рудный узел	
Геологическая структура	Охотско-Чукотский вулканогенный пояс		
	Балыгычано-Сугойский грабенообразный прогиб	Слабоудлиненный в субмеридиональном направлении прогиб	
	Неоколчан-Калалагинский грабен	Туромчинский вулканогенный прогиб	Ирбычанская брахиантиклиналь
	Калалагинская вулканотектоническая депрессия (просадка)	Невенреканское интрузивно-купольное поднятие	Хивгичанская кольцевая кальдера

Факторы	Месторождения		
	Приморское	Невенрекан	Ирбычан
Генезис и возраст пород, слагающих месторождение	Вулканогенные и вулканоогенно-осадочные породы верхнего мела	Вулканогенные и эффузивные породы мела и палеогена. Магматические образования	Вулканогенные и эффузивные породы верхнего мела
Петрографический состав вмещающих пород	Игнимбриты риолитов, с прослоями и линзами туфов риолитов, трахиандезитов, базальтов, туффитов, туфов андезитов	Игнимбриты риолитов, туфы риолитов, дациты и андезитов. Базальты и их шлаки	Лавы андезито-дацитов, риолиты и их туфы, метасоматиты
Петрографический состав рудных тел (жил)	Кварцевого, пирролюзит-кварцевого и родонит-пирролюзит-кварцевого состава	Кварцевого, карбонат-кварцевого, адуляр-кварцевого, сульфидно-кварцевого состава	Кварцевого состава. Брекчии на кварц-сульфидном, кварц-полевошпатовом, кварцевом цементе
Залегание рудных тел	Крутопадающие		
	Рудные тела имеют простирание в северо-западном направлении		Рудные тела имеют простирание в северо-восточном направлении, до глубины 200-300 м от поверхности
	До глубины 230 м от поверхности	До глубины 300-400 м от поверхности	
<b><i>Зональные факторы формирования инженерно-геологических условий</i></b>			
Географическое положение	Магаданская область		
	Омсукчанский район	Северо-Эвенский район	
Орографические условия	Верхояно-Чукотская горная страна		
	Прихотская горно-вулканическая область	Колымское нагорье	
	Туманский хребет	Верхояно-Колымская геологическая область	
	Охотско-Колымское нагорье	На отрогах Колымского нагорья	
Абсолютные отметки месторождения	Среднегорье		Низкогорье
	от 740,0 до 800,0 м	от 600,0 до 650,0 м	от 330,0 до 380,0 м
Климатические условия	Области умеренного пояса (муссонная дальневосточная)	Области субарктического пояса (тихоокеанская)	
Геокриологические условия	Одноярусное строение, сплошное распространением ММП		Двухслойное строение, прерывистое распространение ММП



## Выводы по 2 главе

1. Основой формирования ИГУ крупного района ОЧВП являются: 1) образование ОЧВП; 2) длительность этапов развития высокоглиноземистых базальтов, андезит-базальтов и ингимбритов. Результатом явилось образование мощных толщ вулканитов. Сопутствующая этому процессу тектоническая деятельность определила системы крупных и мелких тектонических нарушений, что привело к формированию мозаичного строения массивов горных пород месторождений и способствовало формированию путей движения метасоматических растворов.

2. Проявление на рассматриваемых месторождениях различных типов метасоматоза, связанных с процессом меловой тектоно-магматической активизации, привело к формированию эпипермальных вулканогенных малосульфидных месторождений.

3. Развитие нескольких этапов промерзания и климатических оптимумов способствовали образованию толщ ММП, определили зональность их развития (сплошная, прерывистая, островная) и формированию геокриологических процессов. Наличие толщ ММП обусловило существование гидрогеологических подразделений: надмерзлотные воды, воды несквозных таликов, грунтовые безнапорные воды; артезианские воды вулканогенного супербассейна.

4. Инженерно-геологические особенности рассмотренных месторождений по региональным и зональным факторам схожи, что определяется такими факторами как общее историко-геологическое развитие, а отличительные признаки присущи в связи локальными особенностями каждого месторождения, которые будут рассмотрены во втором защищаемом положении.

5. Совокупность региональных и зональных факторов определили современные ИГУ месторождений (Таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Региональные и зональные факторы и компоненты формирования ИГУ золото-серебряных месторождений ОЧВП

Факторы и компоненты формирования ИГУ		ИГУ месторождений ОЧВП	
Региональные геологические	1. Совокупность геологических процессов	Региональные геологические	1. Формирование толщ вулканитов, представленных вулканогенными, вулканогенно-осадочными, эффузивными породами мелового возраста. С различными физико-механическими свойствами от прочных до малопрочных и их современное состояние
	2. Разломы, образующие систему дугообразных, кулисообразно расположенных трещин скоса широтного и северо-восточного простирания с образованием структуры состоящей из ряда прогибов, поднятий		2. Формирование блочного строения месторождений, фиксируемого сетью трещин, с различными типами поверхности, минерального заполнителя. А также образование участков с разной степенью трещиноватости от слабой до раздробленных
	3. Проявление флюидально-гидротермальных процессов, связанных с меловой тектоно-магматической активизацией		3. Изменение минерального состава первичных пород, а также физико-механических свойств и формирование инженерно-геологической зональности пород, отличающихся по минеральному составу и физико-механическим свойствам
Зональные геологические	1. Развитие нескольких этапов промерзания и климатических оптимумов 2. Геоморфологические условия 3. Географическая широта 4. Характер подстилающей поверхности 5. Удаленность от моря 6. Гидрологические условия	Зональные геологические	1. Формирование и сохранение на месторождениях мерзлых грунтов, их температура, криогенное строение мерзлых толщ, а также мерзлотно-гидрогеологических подразделений. 2. Проявление экзогенных геологических процессов их характер и интенсивность

### **3 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЧВП (ПРИМОРСКОЕ, НЕВЕНРЕКАН, ИРБЫЧАН)**

Современный подход к изучению инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых при проектировании и строительстве сооружений высокого уровня ответственности, таких как карьеры и шахтные стволы, требует полной оценки инженерно-геологических условий массивов горных пород, для последующего моделирования и расчёта его устойчивости при взаимодействии с инженерным сооружением.

Многие исследователи давали определение понятию инженерно-геологических условий, так И.В. Попов определяет «инженерно-геологические условия как всю совокупность геологической обстановки, имеющей значение для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений» [89].

Н. В. Коломенский относит к «инженерно-геологическим условиям любое геологическое явление, оказывающее влияние на сооружение» [65]. Аналогичное содержание вкладывает в это понятие и И. С. Комаров, понимающий под «инженерно-геологическими условиями единую взаимосвязанную систему компонентов геологической обстановки, рассматриваемую с позиции инженерной геологии» [66].

Г.К. Бондарик дает понятие инженерно-геологическим условиям – «такие свойства геологической среды и такие происходящие в ней процессы, которые оказывают влияние на принятие тех или иных решений, определяющих размещение сооружений, выбор их типов и конструкций, способов строительства (методов ведения горных работ), методов эксплуатации, способов оптимального управления геологической средой» [18].

Е.М. Сергеев [103, 104] определяет «инженерно-геологические условия как совокупность геологического строения горных пород, рельефа, гидрогеологических условий, геологических и инженерно-геологических процессов».

Применительно к месторождениям полезных ископаемых, имеющих одноэтажное строение, таких как Приморское, Невенрекан и Ирбычан, в пределах которых будет осуществляться строительство и эксплуатация горных предприятий, главными элементами инженерно-геологических условий будут являться физико-механические свойства пород, характер и степень трещиноватости, мерзлотно-гидрогеологические условия.

Как было указано выше, формирование изучаемых месторождений связано с проявлением гидротермального метасоматоза. Причем на разных этапах формирования месторождений было выделено 3 стадии метасоматоза: дорудная, прерудная, синрудная, что привело к образованию инженерно-геологической зональности, определяемой как изменениями физико-механических свойств, связанных с трансформацией минерального состава, так и со степенью и характером трещиноватости.

Согласно Д.С. Коржинскому, под метасоматозом понимается «всякое замещение горной породы, с изменением химического состава, происходящее как в эндогенных, так и в экзогенных условиях, при котором растворение старых минералов и отложение новых происходит почти одновременно, так что в течение процесса замещения порода все время сохраняет твердое состояние» (Коржинский Д.С, 1993).

Метасоматоз осуществляется под воздействием гидротермальных растворов при широком диапазоне температур. Для него характерен псевдоморфный характер замещения, когда вторичные минералы наследуют форму исходных. И как результат минеральный состав породы изменяется, а структура унаследуется.

Сложность изучения зонального строения месторождений, связанных с проявлением гидротермального метасоматоза заключается в том, что

наблюдаемая в массиве пород смена минеральных ассоциаций зависит от: градиента температур, давления, кислотности-щелочности, состава раствора, петрографического состава и фильтрационных свойств пород [90]. Поэтому на месторождениях полезных ископаемых зональность перехода от вмещающих пород к околорудным и рудным нередко затушевана.

Метасоматические процессы, воздействуя на вмещающие горные породы меняют и физико-механические свойства. Исходные породы постепенно переходят в гидротермальные метасоматические породы, пропилиты, аргиллизиты, кварц-адуляровые метасоматиты, которые характеризуются иным минеральным составом, строением и свойствами. При определенных условиях может измениться даже принадлежность породы к определенному классу или группе грунтов.

Вследствие наложения многочисленных метасоматических процессов на рассматриваемых месторождениях образовалась инженерно-геологическая зональность, на основании которой массив пород был разделен на: вмещающие породы (слагающие большую часть массива месторождения); околорудные породы (окаймляют рудные тела); рудные тела.

### **3.1 Закономерности изменения физико-механических свойств пород золото-серебряных месторождений ОЧВП**

Различные научные изыскания в области изучения физико-механических свойств горных пород неоднократно приводили к выводу, что они характеризуются непостоянством и изменяются в значительных пределах [Г.А. Голодковская, Г.К. Бондарик, В.Т. Трофимов]. Такая изменчивость обуславливается целым рядом факторов, среди которых главными являются: минеральный состав, структурно-текстурные особенности, степень проявления вторичных процессов, как эндогенных, так и экзогенных.

Закономерности взаимосвязи между свойствами и геолого-петрографическими особенностями пород, рассмотрены значительным количеством авторов такими как: Н.С. Красилова, Ю.В. Фролова, Г.А. Голодковская, Л.В. Шаумян, М. Матула. Однако, каждое вновь открытое месторождение, даже расположенное в пределах общих крупных геологических структур и имеющее общность геологического развития несут на себе различные черты и изменения, связанные с петрографическими особенностями пород и проявлениями вторичных изменений.

Особенно, это важно для МПИ генезис которых связан с эпитермальными процессами. Проявление таких процессов приводит к преобразованию пород в значительном спектре термодинамических и физико-механических условий. В результате первично сформированные породы преобразуются в гидротермальные метасоматиты, минеральный состав которых зависит от типа проявления метасоматоза. Геологами очень подробно изучены геохимические аспекты проявления гидротермально-метасоматических процессов и связанные с ними процессы оруденения [Аристов В.В., Андрусенко, Баруана Н.Ю. и др.], однако, не менее важным является вопрос изучения и оценки физико-механических свойств гидротермально измененных пород, как одного из факторов, определяющего условия устойчивости массива пород при вскрытии его горными выработками.

Выполненные исследования в пределах месторождений Приморское, Невенрекан и Ирбычан позволили установить ряд закономерностей, отражающих зависимости физико-механических свойств от таких факторов как, минеральный состав пород, характер вторичных изменений.

### **3.1.1 Месторождение Приморское**

Массив скальных горных пород месторождения сложен толщей эффузивных пород верхнемелового возраста. Процессы рудообразования на месторождении связаны с проявлением гидротермального метасоматоза березитовой фации, привели к изменению минерального состава первичных пород, формированию новых петрографических типов пород и появлению

зонального строения. Зональность выражена в последовательной смене петрографических типов пород, а значит и физико-механических свойств.

В строении массива пород месторождения выделены:

- вмещающие породы, сложенные андезибазальтами, игнимбритами риолитов;
- околорудные породы (околожилльные) – сформированные в результате процессов березитизации и представленные кварц-хлоритовыми, кварц-хлорит-серицитовыми метасоматитами;
- рудная зона – имеющая кварцевый, родонит-кварцевый состав.

### **Вмещающие породы**

*Андезибазальты* - породы от зеленовато-коричневого до зеленовато-серого цвета, массивной, флуктуационной текстуры, серийно-порфировой с пилотакситовой структурами (Рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Андезибазальты

Согласно петрографического описания шлифов: андезибазальты неполнокристаллические породы с порфировой структурой, фенокристаллы составляют от 5 до 20 % объема породы, представлены плагиоклазом, пироксеном, роговой обманкой. Вкрапленники часто замещены эпигенитическим эпидотом, хлоритом, альбитом, кварцем. В основной массе пород микролиты плагиоклаза разноориентированы, либо с субпараллельной ориентировкой. Вулканическое стекло между ними хлоритизировано. Основная масса нередко карбонатизирована, эпидотизирована, суммарное количество эпигенетических минералов в породе 20-30 % (Рисунок 3.2).

По результатам рентгеноструктурного анализа минеральный состав андезибазальтов включает в себя плагиоклаз от 55 до 69 %, кварц от 4 до 10 %, КПШ от 17 до 28 %, а также в небольших количествах иллит, гидратированные разновидности слюд и хлорита. Результаты рентгеноструктурного анализа андезибазальтов приведены в таблице 3.1.

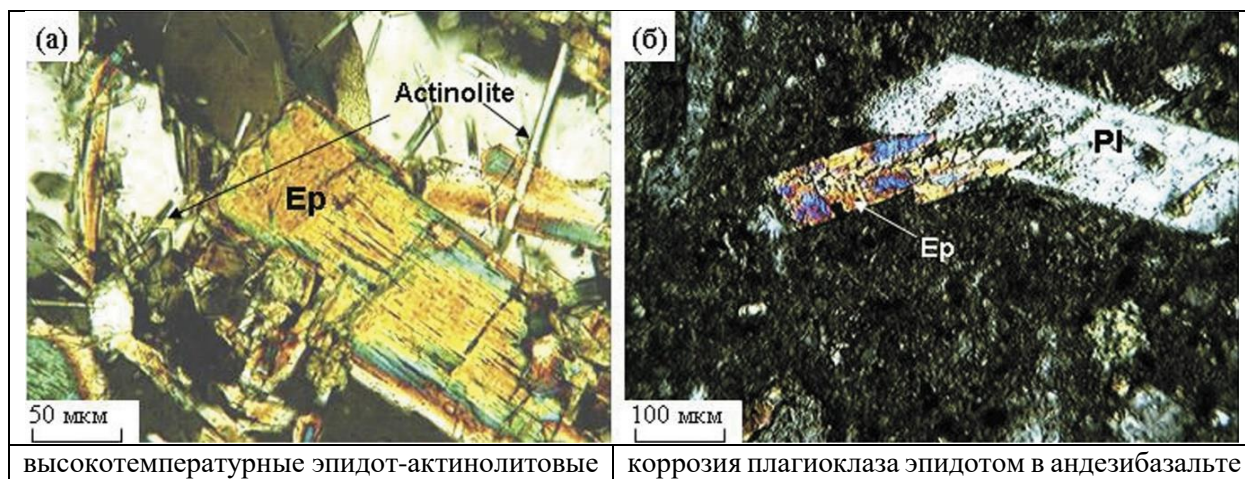


Рисунок 3.2 – Андезибазальты

Таблица 3.1 – Рентгеноструктурный анализ андезибазальтов

Минеральный состав (XDR) (масс %)						Плотность грунта, р, г/см <sup>3</sup>	Пористость, п, %	Пределы прочности, МПа		Коэффициент размягчаемости, д.е.
Кварц	Плагиоклаз	КПШ	Иллит*	Хлорит	Другие минералы			в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
4	69	18	3	5	Лимонит 1	2,67	0,7	77,8	58,3	0,75
10	66	19	сл	4	Доломит сл	2,75	1,1	94,5	87,8	0,93
5	68	17	сл	6	Пренит 4	2,73	1,1	75,6	60,6	0,80
5	55	28	3	4	Пренит 5	2,71	1,1	74,2	56,4	0,76
7	63	24	сл	5	Кальцит 1	2,69	0,7	90,1	80,2	0,89
5	66	22	сл	2	Пренит 5	2,72	0,9	78,5	74,6	0,95

Примечание: 1. \* - суммарно все слюдяные минералы, включая мусковит и его гидратированные разновидности. Во всех пробах и хлорит и слюда гидратированы; 2. КПШ – калиевые полевые шпаты; 3. сл – следы.

Анализ лабораторных данных показал, что андезибазальты относятся к группе прочных пород, так как величина предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии ( $R_c$ ) изменяется в пределах 53,6 - 85,7 МПа, при среднем значении 64,1 МПа. Породы неразмягчаемые, коэффициент размягчаемости ( $K_{sof}$ ) изменяется от 0,75 до 0,99 д.е., при



среднем значении 0,86. Среднее значение коэффициента крепости андезибазальтов по М.М. Протодяконову, определенного методом толчения, составляет 14 (III – крепкие породы). Статистические значения показателей физико-механических свойств андезибазальтов приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Статистические значения показателей физико-механических свойств прочных андезибазальтов

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,18	0,35	0,26	0,01	0,26
Водопоглощение, %	0,24	0,91	0,58	0,05	0,41
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,65	2,83	2,71	0,00	0,02
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,65	2,82	2,70	0,00	0,02
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,67	2,85	2,73	0,00	0,02
Пористость, $n$ , %	0,72	1,12	0,96	0,03	0,18
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	8,2	13,8	11,1	3,20	0,16
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	55,2	94,5	75,2	159,75	0,17
- в водонасыщенном состоянии	53,6	85,7	64,1	131,63	0,18
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,75	0,99	0,86	0,01	0,10
Уд.сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	14,6	23,4	19,5	10,85	0,17
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	39	43	41	1,81	0,03
Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову, $f$	10	19	14	6,22	0,06

Сопоставление результатов рентгеноструктурного анализа и физико-механических свойств в одних и тех же образцах, показало прямую связь. Так прочность породы определяется высоким суммарным содержанием прочных минералов: плагиоклаза, КПШ и кварца, что обеспечивает высокие ее значения в сухом состоянии с величиной от 55,2 до 94,5 МПа. Низкое содержание в породе гидратированных слюд и глинистых минералов обеспечило сохранение прочности породы после водонасыщения, потеря прочности породы при водонасыщении не превысила 25 % (Рисунок 3.3).

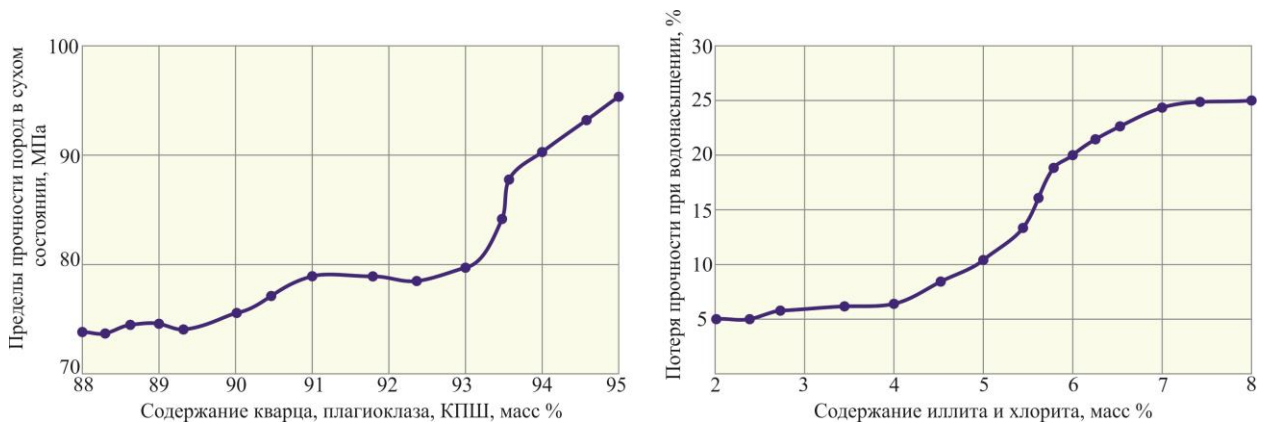


Рисунок 3.3 – Зависимость прочности андезибазальтов (слева) и потери прочности при водонасыщении (справа) от породообразующих минералов

*Игнимбриты риолитов* – это коричневатато-серые, зеленоватато-серые породы, псамито-псефитовой структуры (Рисунок 3.4). Обломочные минералы составляют 30-70 % объёма породы и представлены кварцем, плагиоклазом, калиево-натриевым полевым шпатом, висмутом. В связующей массе светлое кислое стекло в той или иной степени девитрифицировано с образованием фельзитовой, сферолитовой микроструктур. Порода эпигенитически изменена. Сумма вторичных изменений составляет 20-50 %. Пирокластический материал обычно подвержен эпидотизации, хлоритизации, окварцеванию, карбонатизации, альбитизации, серицитизации. Связующая масса замещена светлыми слюдами, хлоритом, кварцем, КПШ, альбитом.



Рисунок 3.4 – Игнимбриты риолитов

По результатам рентгеноструктурного анализа минеральный состав игнимбитов риолитов включает в себя кварц от 31 до 72 %, альбит от 10 до 53 %, КПШ от 8 до 25 %, а также иллит, гидротированные разности слюд и

хлорита от 3 до 25 %. Результаты рентгеноструктурного анализа игнимбриов риолитов приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Рентгеноструктурный анализ игнимбриов риолитов

Минеральный состав (XDR) (масс %)						Плотность грунта, ρ, г/см <sup>3</sup>	Пористость, n, %	Пределы прочности, МПа		Коэффициент размягчаемости, д.е.
Кварц	Альбит	КПШ	Иллит*	Хлорит	Другие минералы			в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
Неразмягчаемые породы										
55	22	21	сл	сл	Пирит 1, гипс 1	2,61	1,5	104,9	100,7	0,96
31	53	10	6	-	Доломит сл	2,62	1,5	69,9	59,9	0,86
38	41	18	сл	3	-	2,60	1,5	74,9	69,6	0,93
72	10	8	7	-	Кальцит 3	2,64	1,5	135,4	112,1	0,83
39	38	18	2	2	Кальцит сл	2,59	1,5	77,8	71,4	0,92
Размягчаемые породы										
40	16	19	10	15	Доломит сл	2,58	1,1	85,0	51,9	0,61
38	23	17	8	14	-	2,59	1,1	75,6	54,4	0,72
32	28	20	11	9	Кальцит сл	2,60	1,1	74,9	54,7	0,73
31	26	25	8	8	Кальцит 2	2,58	1,1	72,7	53,8	0,74

Примечание: 1. \* - суммарно все слюдяные минералы, включая мусковит и его гидратированные разновидности. Во всех пробах и хлорит и слюда гидратированы; 2. КПШ – калиевые полевые шпаты; 3. сл – следы.

Как видно из данных рентгеноструктурного анализа высокое содержание кварца, альбита, КПШ обеспечивает высокие значения прочности пород в сухом 56,3-135,4 МПа и в водонасыщенном 51,9-117,6 МПа состоянии, а также коэффициент крепости равный 13. Однако, в результате метасоматических изменений для массива игнимбриов риолитов встречаются повышенные значения гидратированных слюд, хлорита и глинистых минералов, что привело к размягчаемости пород при водонасыщении и потери прочности на 39 % (Рисунок 3.5).

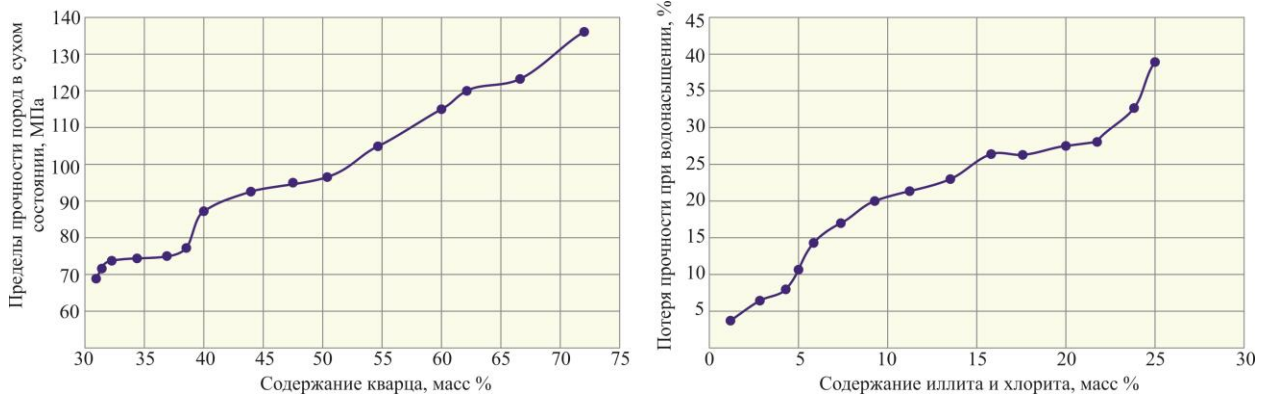


Рисунок 3.5 – Зависимость прочности игнимбритов риолитов (слева) и потери прочности при водонасыщении (справа) от породообразующих минералов

При лабораторных исследованиях было установлено, что коэффициент размягчаемости ( $K_{sof}$ ) составляет 0,61-0,99, при среднем значении 0,84 (Рисунок 3.6). В целом породы относятся к неразмягчаемым. Статистические значения показателей физико-механических свойств игнимбритов прочных приведены в таблице 3.4.

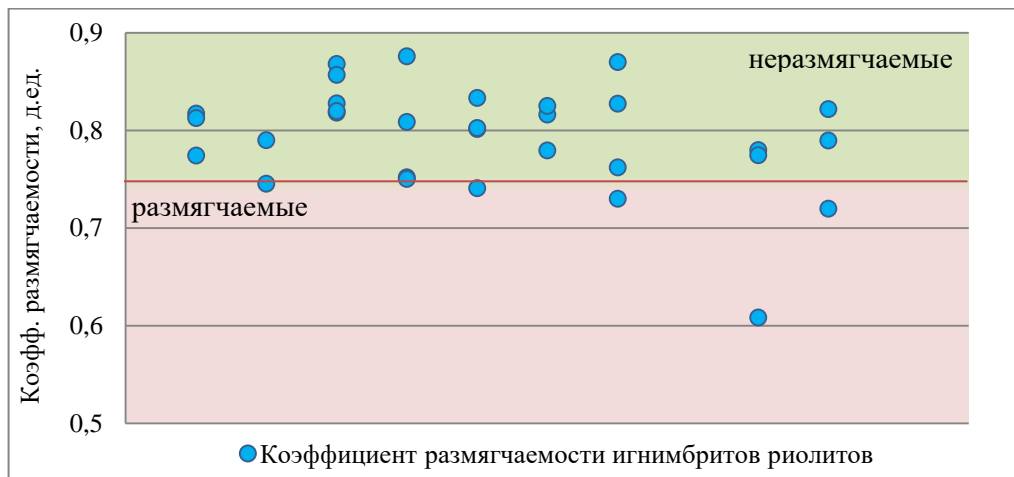


Рисунок 3.6 – Распределение значений коэффициента размягчаемости для игнимбритов риолитов

Таблица 3.4 – Статистические значения показателей физико-механических свойств прочных игнимбритов риолитов

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,10	0,36	0,24	0,10	0,34
Водопоглощение, %	0,14	1,29	0,55	0,10	0,58
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,55	2,73	2,62	0,00	0,01
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,54	2,73	2,61	0,00	0,01
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,57	2,77	2,65	0,00	0,01
Пористость, $n$ , %	1,11	1,54	1,36	0,03	0,13
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	9,7	20,1	13,0	4,74	0,16
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	56,3	135,4	84,8	219,83	0,17
- в водонасыщенном состоянии	51,9	117,6	71,0	207,50	0,20
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,61	0,99	0,84	0,01	0,10
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	15,6	35,8	23,6	17,18	0,18
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	37	43	40	2,47	0,04
Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову, $f$	7	20	13	10,2	0,24

**Околорудные породы (околожилльные)** – сопровождают все продуктивные рудные тела. В процессе рудообразования вмещающие породы (игнимбриты риолитов) были подвержены гидротермальному метасоматозу березитовой формации с образованием кварц-хлоритовых, кварц-хлорит-серицитовых ассоциаций, что и привело к формированию околорудных пород, мощность которых составляет от первых до 10 метров. В результате в породах появились новые минералы, такие как: карбонат, эпидот, мусковит, серицит и их гидратированные разновидности (Рисунок 3.7).

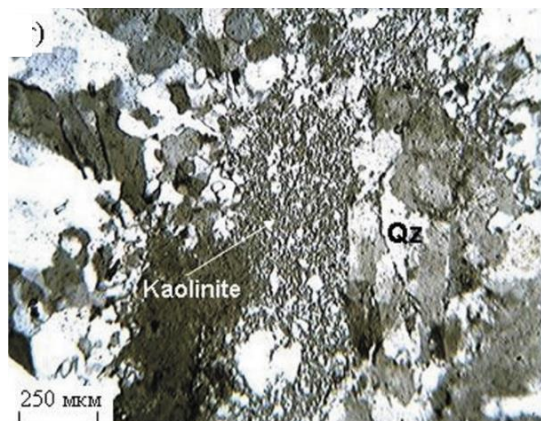


Рисунок 3.7 – Низкотемпературный кварц-каолинитовый метасоматит

Неоднородность минерального состава околорудных пород повлияла и на физико-механические свойства. По данным рентгеноструктурного анализа минеральный состав метасоматитов включает в себя кварц от 34 до 58 %, альбит от 15 до 48 %, КПШ от 8 до 23 %, а также иллит, гидратированные разности слюд и хлорита до 36 %. Результаты рентгеноструктурного анализа метасоматитов приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Рентгеноструктурный анализ околорудных пород

Минеральный состав (XDR) (масс %)						Плотность грунта, р, г/см <sup>3</sup>	Пористость, п, %	Пределы прочности, МПа		Коэффициент размягчаемости, д.е.
Кварц	Альбит	КПШ	Иллит*	Хлорит	Другие минералы			в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
Неразмягчаемые породы										
38	48	13	сл	-	Доломит 1	2,71	1,8	39,5	37,9	0,96
34	46	16	4	-	Пирит сл	2,68	1,9	35,2	32,0	0,91
Размягчаемые породы										
46	15	10	17	12	-	2,38	2,3	45,2	24,4	0,54
34	28	23	15	-	-	2,56	2,7	32,4	20,7	0,64
56	-	8	35	1	-	2,61	2,2	56,7	27,6	0,49
39	33	13	сл	15	-	2,59	2,3	40,7	24,4	0,60
35	34	15	4	12	-	2,63	2,1	36,4	21,4	0,59

Примечание: 1. \* - суммарно все слюдяные минералы, включая мусковит и его гидратированные разности. Во всех пробах и хлорит и слюда гидратированы; 2. КПШ – калиевые полевые шпаты; 3. сл – следы.

Сопоставление частных значений результатов рентгеноструктурного анализа и физико-механических свойств показало, зависимость прочности пород и ее потери после водонасыщения от минерального состава. Увеличение в минеральном составе гидратированных разностей до 20-35 % приводит к потере прочности пород при водонасыщении до 40-50 %, так же отмечается и снижение плотности по отношению к вмещающим породам. Содержание в породе глинистых минералов менее 10 % компенсируется высоким содержанием кварца, альбита и КПШ, в этом случае порода становится не размягчаемой и потери прочности породы после водонасыщения нет (Рисунок 3.8).

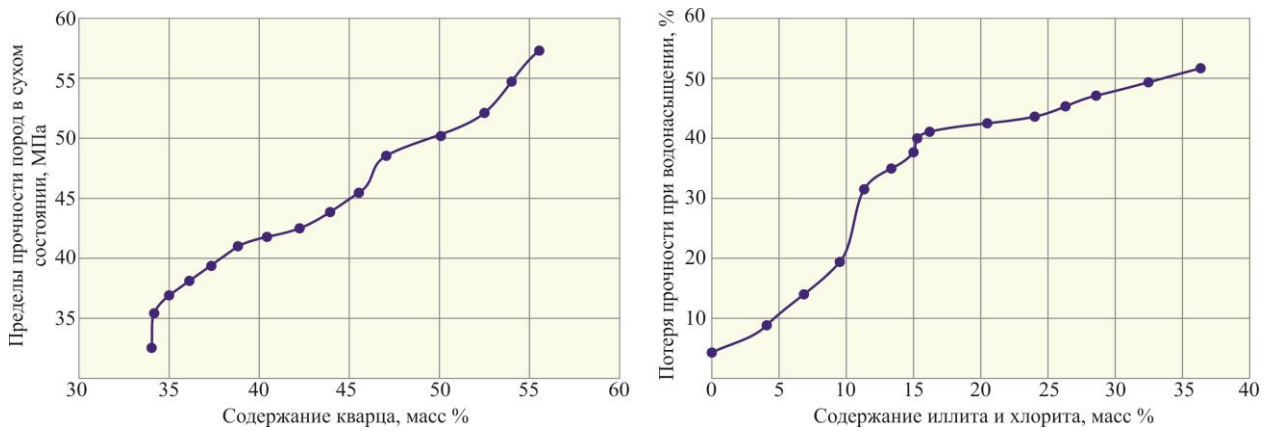


Рисунок 3.8 – Зависимость прочности околорудных пород (слева) и потери прочности при водонасыщении (справа) от породообразующих минералов

В целом по результатам лабораторных испытаний околорудные метасоматиты относятся к группе пород средней прочности как размягчаемых, так и неразмягчаемых (Рисунок 3.9). Статистические значения показателей физико-механических свойств метасоматитов средней прочности приведены в таблице 3.6.

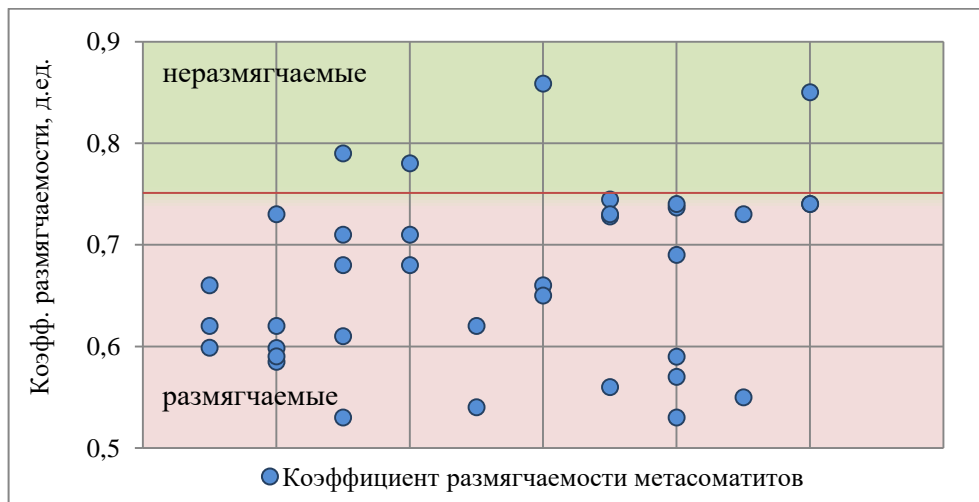
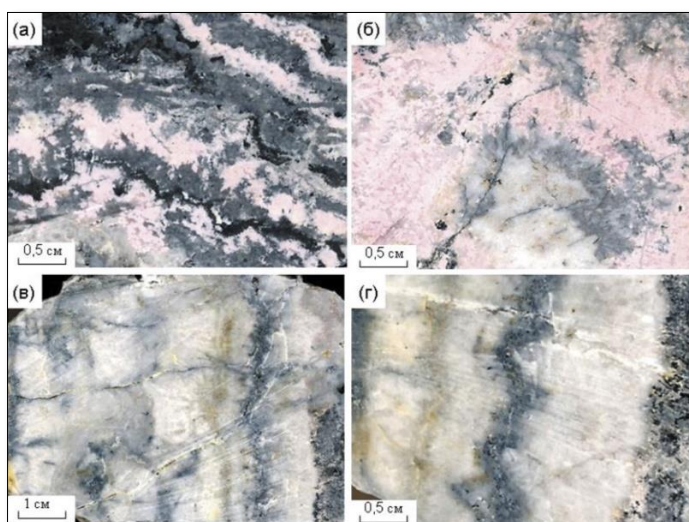


Рисунок 3.9 – Распределение значений коэффициента размягчаемости для околорудных пород

Таблица 3.6 – Статистические значения показателей физико-механических свойств околорудных пород средней прочности

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,12	0,54	0,36	0,02	0,37
Водопоглощение, %	0,43	5,79	1,38	1,78	0,97
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,38	2,71	2,59	0,01	0,03
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,38	2,71	2,59	0,01	0,03
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,43	2,76	2,64	0,01	0,03
Пористость, $n$ , %	1,81	2,67	2,22	0,10	0,14
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	5,2	13,6	8,8	6,34	0,29
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	25,0	73,2	51,3	219,14	0,29
- в водонасыщенном состоянии	15,6	46,2	35,1	95,19	0,28
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,47	0,91	0,65	0,02	0,20
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	7,3	20,7	13,7	16,12	0,29
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	35	42	38	3,44	0,05
Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову, $f$	5	14	11	9,19	0,29

**Рудные тела** – являются результатом проявления гидротермального метасоматоза и характеризуются существенно кварцевым составом, в качестве второстепенных жильных минералов отмечаются полевые шпаты, в том числе слюдисто-глинистые минералы (до 5%), родонит-бустамит (13 %) и родохрозит (2 %). Кварц – массивный, реже кавернозный, неяснополосчатой, друзовой текстуры. Структуры средне-крупнозернистые. Родонит-бустамит – локализуется в виде полос, линз (Рисунок 3.10).



Примечание: (а-б – термометаморфизованные кварц-родонит-пирролюзитовые руды, обогащенные акантитом; в-г – кварц-халцедон-адуляр-гидрослюдистые руды, со скоплениями тонко-вкрапленных сульфидов: галенита, акантита и полибазита в темных прослоях)

Рисунок 3.10 – Колломорфно-полосчатые текстуры руд



В строении жилы часто встречаются землистые разности пирролюзита, псиломелана, которые образуются при разложении родонита. Мощность жил составляет от 0,4 до 1,1 м (Рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Чередование рудных жил различного состава с околорудными метасоматитами

Согласно рентгеноструктурному анализу рудные тела состоят из кварца от 58 до 68 %, альбита от 10 до 28 %, КПШ от 7 до 14 %, а также в состав входят иллит, гидратированные разности слюд и хлорита от 1 до 8 %. Результаты рентгеноструктурного анализа рудных тел приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Рентгеноструктурный анализ рудных тел

Минеральный состав (XDR) (масс %)						Плотность грунта,р, г/см <sup>3</sup>	Пористость, п, %	Пределы прочности, МПа		Коэффициент размягчаемости, д.с.
Кварц	Альбит	КПШ	Иллит*	Хлорит	Другие минералы			в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
62	10	14	8	-	Кальцит 6	2,58	1,1	82,1	64,8	0,79
58	28	12	сл	2	Пирит сл	2,66	0,7	79,5	78,6	0,99
68	15	7	5	1	Пирит	2,66	0,7	91,1	89,3	0,98
65	20	12	сл	3	Пирит сл	2,63	0,8	74,4	62,4	0,84
59	18	22	сл	3	Пирит сл	2,65	0,7	91,1	72,4	0,79

Примечание: 1. \* - суммарно все слюдяные минералы, включая мусковит и его гидратированные разности. Во всех пробах и хлорит и слюда гидратированы; 2. КПШ – калиевые полевые шпаты; 3. сл – следы.

Анализ лабораторных данных показал, что рудные тела относятся к группе прочных пород, величина предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии ( $R_c$ ) изменяется в пределах от 62,4 до 120,0 МПа, при среднем значении 79,6 МПа. Породы неразмягчаемые, коэффициент размягчаемости изменяется от 0,76 до 0,99 д.е. Среднее значение коэффициента крепости по М.М. Протодьяконову, составляет 13 (III – крепкие породы). Статистические значения показателей физико-механических свойств рудных тел приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Статистические значения показателей физико-механических свойств прочных рудных тел

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,11	0,35	0,21	0,00	0,33
Водопоглощение, %	0,19	3,80	1,00	1,34	1,15
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,44	2,69	2,60	0,01	0,03
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,44	2,69	2,59	0,01	0,03
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,45	2,71	2,62	0,01	0,03
Пористость, $n$ , %	0,75	1,15	0,94	0,04	0,19
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	11,4	20,0	14,8	7,60	0,19
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	74,4	133,7	92,6	256,07	0,17
- в водонасыщенном состоянии	62,4	120,0	79,6	258,23	0,20
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,76	0,99	0,86	0,01	0,09
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	20,8	35,4	25,0	22,13	0,19
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	38	42	40,0	3,27	0,05
Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову, $f$	9	17	13	8,0	0,22

Гидротермальные процессы, проявленные при рудообразовании, привели к формированию новых типов пород (околорудных и рудных), которые характеризуются значениями физико-механических свойств отличными от вмещающих пород. Сопоставление данных рентгеноструктурного анализа и результатов физико-механических свойств так же указывают на их зависимость от минерального состава. Анализ плотности, прочности пород месторождения показал, что вмещающие породы и рудные тела относятся к категории прочных, однако для игнимбритов риолитов выделяются различия которые теряют прочность при

водонасыщении, околорудные метасоматиты относятся к категории средней прочности, с ее потерей при водонасыщении за счет присутствия значительного количества гидратированных слюд и глинистых минералов.

Высокие показатели прочностных свойств обусловлены наличием прочных контактов кристаллизационного типа между образованными в процессе метасоматоза зернами кварца, альбита, с участием эпидота, наличие «листочков» иллита, хлорита и других глинистых минералов, развивающихся между зернами кварца и по альбиту, ослабляет контакты и породы в отдельных участках могут размягчаться.

На месторождении Приморское значения физико-механических свойств пород напрямую зависят от минерального состава, степени преобразования пород в результате метасоматоза и процентного соотношения в породе вторичных минералов. Внедрение гидротермальных растворов привело к окварцеванию пород, с образованием минералов кварца и натриевого полевого шпата (альбит) и калиевого полевого шпата преобладание которых, увеличивает плотность и прочность пород до категории прочных. Кроме того, для околорудных пород характерно наличие в составе слюдистых минералов, включающих мусковит, хлорит и их гидратированные разновидности, наличие данных минеральных ассоциаций в породе приводит к увеличению пористости, уменьшению плотности и прочности пород, потере прочности при водонасыщении (Рисунок 3.13).

Таким образом, исследования показали, что для месторождения Приморское характерна зональность изменения физико-механических свойств, связанная с изменением минерального состава вмещающих пород, появлением нового типа пород – околорудных и рудных тел, пространственная неоднородность которых отражена на рисунке 3.12.

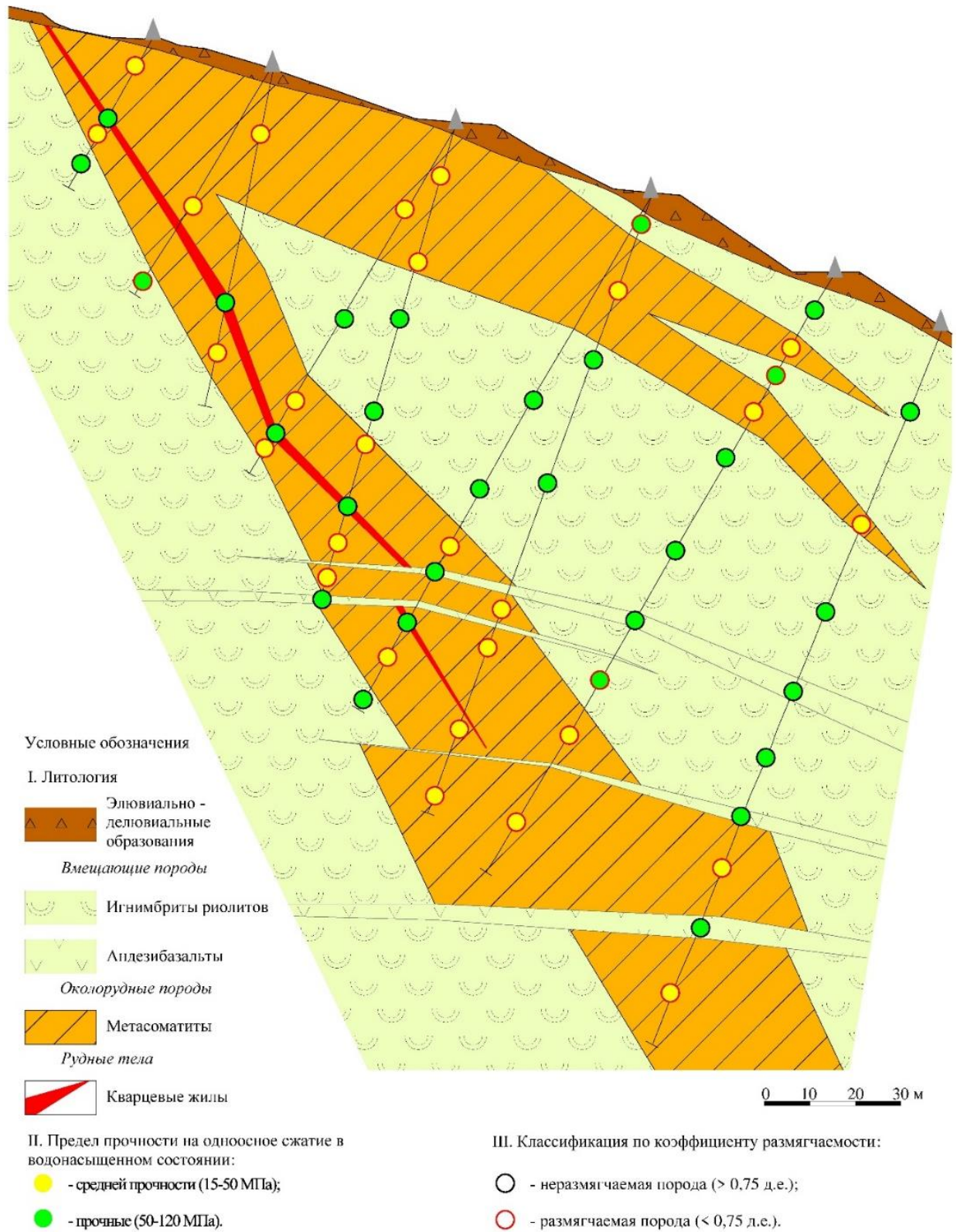


Рисунок 3.12 – Схема пространственной неоднородности прочности пород месторождения Приморское

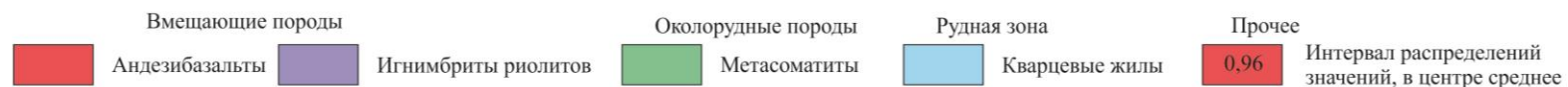
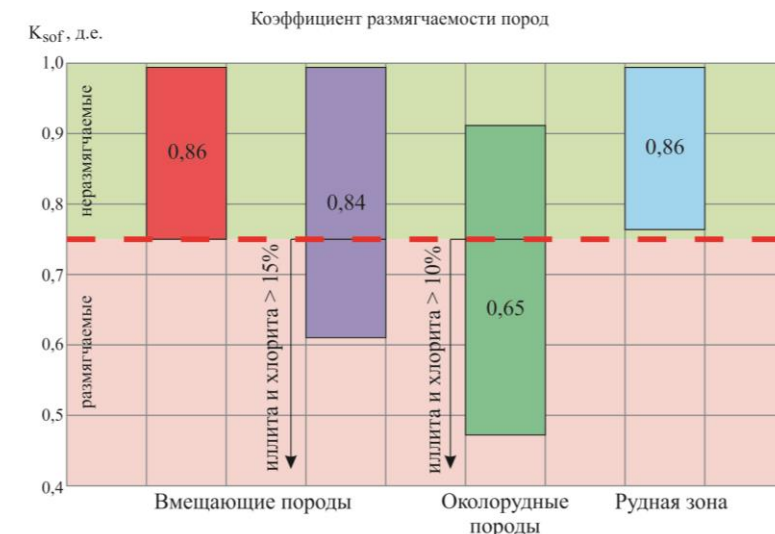
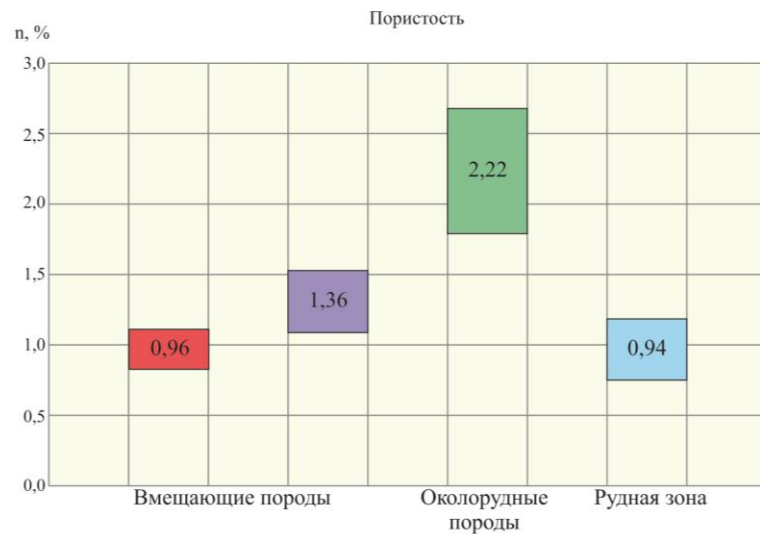
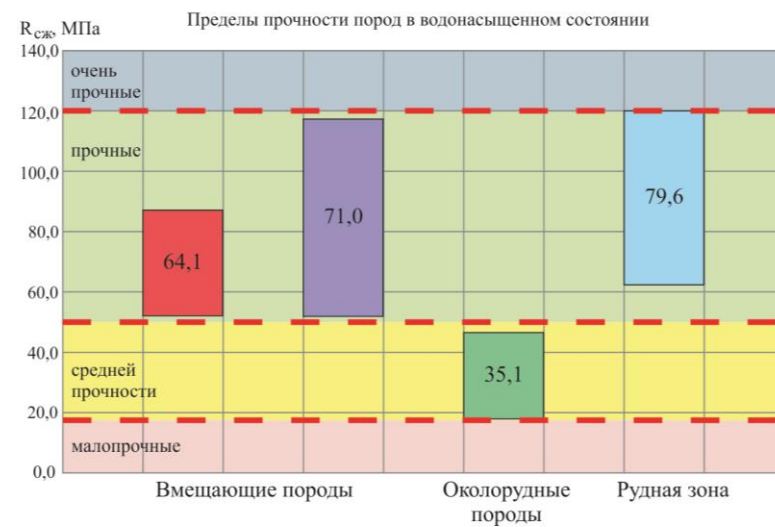
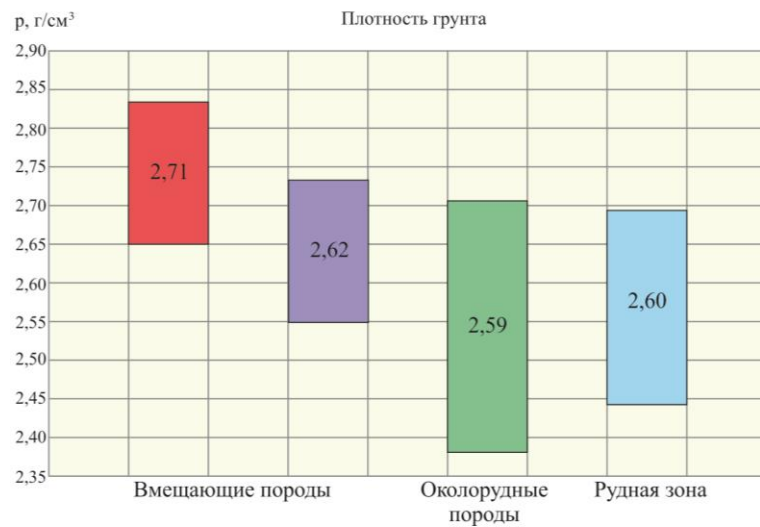


Рисунок 3.13 – Графики распределения свойств пород месторождения Приморское

### 3.1.2 Месторождение Невенрекан

Массив скальных горных пород месторождения представлен сложнопостроенной толщей эффузивных и вулканогенно-осадочных пород верхнемелового возраста, перекрытых в восточной части молодыми палеогеновыми базальтами. Процесс рудообразования с привлечением гидротермальных растворов привел к дифференциации первоначально существующих пород с образованием новых петрографических типов горных пород.

На месторождении все породы претерпели изменения, связанные с процессом контактового метаморфизма и оруденения. Контактный метаморфизм был проявлен в вулканогенно-осадочных породах и выражен в раскриссталлизации основной стекловатой массы, в замещении плагиоклаза калиево-натриевым полевошпатом, в образовании кварц-серицитовых порфиробласт, в биотизации и хлоритизации. Позже породы подверглись гидротермальным изменениям, что привело к образованию кварц-серицитовых, кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов. Вдоль зальбандов жил и прожилков сформировались кварц-серицитовые, карбонат-хлоритовые метасоматиты, степень изменений которых составляет 80-90 %. Процесс рудообразования связанный с проявлением гидротермального метасоматоза привел к образованию рудных тел, представленных кварцевыми, карбонат-кварцевыми, адуляр-кварцевыми, сульфидно-кварцевыми жилами.

Проявление многоэтапных вторичных изменений и последующим образованием нового массива пород, позволяет выделить, как и на предыдущем месторождении, следующие разновидности: вмещающие породы, околорудные и рудные тела.

**Вмещающие породы** на месторождении представлены вулканогенно-осадочными породами (базальтами, туфами риолитов, дацитов, игнимбритами риолитов).

*Базальты* – темно-серые, темно-коричневые, мелкопорфировой структуры, массивной текстуры (Рисунок 3.14). Во вкрапленниках пироксен,

плагиоклаз, оливин. Основная масса сложена вулканическим стеклом микролитовой, пилотакситовой структуры.



Рисунок 3.14 – Базальты

По результатам лабораторных испытаний базальты относятся к прочным породам, характеризуются величиной  $R_c$  от 50,4 до 81,2 МПа, при среднем значении 66,0 МПа. Породы неразмягчаемые  $K_{sof} > 0,75$  д.е. Коэффициент крепости изменяется от 7 до 10, при среднем значении 9, что позволяет отнести породу к категории крепких. Статистические значения физико-механических свойств представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Статистические значения показателей физико-механических свойств прочных базальтов

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,20	0,40	0,29	0,005	0,24
Водонасыщение, %	0,63	0,87	0,75	0,01	0,13
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,64	2,67	2,65	0,000	0,01
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,63	2,66	2,65	0,000	0,01
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,67	2,73	2,70	0,001	0,01
Пористость, $n$ , %	1,4	2,5	1,9	0,19	0,22
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	10,3	15,2	12,7	3,8	0,15
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	67,5	94,1	80,6	98,2	0,12
- в водонасыщенном состоянии	50,4	81,2	66,0	121,1	0,17
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,75	0,86	0,82	0,002	0,05
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	18,0	25,6	21,7	8,1	0,13
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	39	42	41	1,1	0,03
Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову, $f$	7	10	9	2,5	0,12

*Туфы риолитов* кристаллокластические, светло-серого цвета (Рисунок 3.15). Кластический материал (15-25 %) представлен обломками кварца, пелитизированного калишпата, серицитизированного плагиоклаза.



Рисунок 3.15 – Туфы риолитов

*Туфы дацитов* зеленовато-серого, темно-зеленого цвета литокристаллокластической структуры, текстура обломочная (Рисунок 3.16). Кластический материал составляет от 15 до 60% объема породы и представлен плагиоклазом (до 40 %), роговой обманкой (до 15 %), биотитом (5 %), обломками андезитов, вулканического стекла (до 40 %), реже кварца. Основная масса пепловая, окварцована, хлоритизирована.



Рисунок 3.16 – Туфы дацитов

*Игнимбриты риолитов* - массивные породы белого, серого, зеленовато-серого цвета (Рисунок 3.17). Структура ксено-кристаллокластическая, текстура обломочная, псевдофлюидальная. Кластический материал представлен плагиоклазом (20-50 %), кварцем (3-15 %), биотитом (до 5 %), обломки риолитов (10-15 %), вулканического стекла (10-30 %). Размер обломков от 0,1 до 2,0 см.





Рисунок 3.17 – Игнимбриты риолитов

Анализ лабораторных данных показал, что туфы риолитов, дацитов, игнимбриты риолитов относятся к группе средней прочности, размягчаемых пород. В дальнейшем с целью оптимизации была произведена проверка на возможность объединения по критериям Фишера и Стьюдента, расчеты показали, что условие выполняется, а значит породы средней прочности можно объединить в один расчетный геологический элемент. Таким образом, величина предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии ( $R_c$ ) изменяется в пределах 16,1-47,2 МПа, при среднем значении 27,0 МПа. Коэффициент размягчаемости ( $K_{sof}$ ) изменяется от 0,36 до 0,75 д.е., при среднем значении 0,64. Среднее значение коэффициента крепости по М.М. Протодьяконову, определенного методом толчения, составляет 5 (IVa – довольно крепкие породы). Статистические значения показателей физико-механических свойств вулканогенно-осадочных пород приведены в таблице 3.10.

На месторождении Невенрекан в процессе рудообразования метасоматическим процессам, подверглись вмещающие породы, что привело к образованию кварц-серицитовых, кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов по вулканогенно-осадочным породам.

Метасоматиты этого типа имеют широкое распространение и формируют не только линейно-вытянутые зоны, но и зоны площадного характера с очень высокой степенью измененности. Количество новообразованных минералов изменяется от 30 до 100 %. Определяющими минералами являются: кварц, серицит, КППШ, карбонат, хлорит, пирит, каолинит, монтмориллонит, гидрослюды, эпидот и т.д.

Таблица 3.10 – Статистические значения показателей физико-механических свойств вулканогенно-осадочных пород средней прочности

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,20	0,44	0,30	0,01	0,27
Водонасыщение, %	1,56	4,20	2,63	0,50	0,27
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,39	2,62	2,49	0,004	0,03
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,33	2,62	2,48	0,005	0,03
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,38	2,64	2,53	0,01	0,03
Пористость, $n$ , %	1,0	2,7	1,8	0,28	0,29
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	4,2	13,0	7,9	4,8	0,28
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	19,8	61,4	40,7	134,3	0,28
- в водонасыщенном состоянии	16,1	47,2	27,0	68,9	0,30
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,36	0,75	0,64	0,02	0,24
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	6,0	20,6	12,2	13,3	0,30
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	33	40	37	3,7	0,05
Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову, $f$	3	13	5	1,1	0,21

При серицитизации, серицит замещает порфиновые выделения плагиоклаза, темноцветных минералов, образует скопления в пепловых частицах, мелких пустотах и концентрируется на границе кварцевых зерен по принципу пленочного цемента. Вместе с серицитом в породе образуется каолинит, монтмориллонит, гидрослюды (гидробиотит).

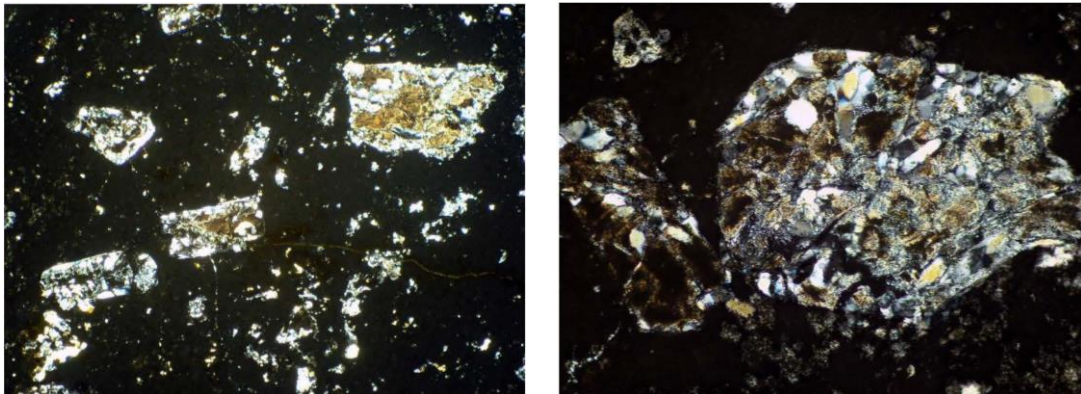
Окварцевание имеет площадной характер и охватывает все породы. Кварц развивается по основной массе пород, выполняет трещины и пустоты выщелачивания. Количество кварца изменяется в широких пределах от 3 до 95 %. Распространены мелкозернистые агрегаты гранобластовой структуры, образующие псевдоморфозы по плагиоклазу, темноцветные минералы. Каолинит встречается в основной массе, в пустотах выщелачивания в ассоциации с кварцем, серицитом, иногда замещает вкрапленники полевых шпатов. Количество каолинита составляет от 10 до 20 %.

Сформировавшиеся кварц-серицитовые и кварц-хлорит-серицитовые метасоматиты – светло-серые, серые породы, массивной текстуры (Рисунок 3.18).



Рисунок 3.18 – Кварц-хлорит-серицитовые метасоматиты

Согласно описанию шлифов ксенокристаллы представлены в основном полевыми шпатами (КПШ и плагиоклазом), замещенными практически нацело агрегатами вторичных минералов, среди которых преобладает тонкозернистый кварц, а также отмечаются иллит, каолинит, карбонат, цеолиты и гидроокислы железа. Во вкрапленниках нередко встречаются микровключения ярозита (Рисунок 3.19).



*Примечание: слева – ярозит (желтое) в ксенокристаллах полевого шпата; справа – замещение агрегатом вторичных минералов ксенокристаллов полевого шпата*

Рисунок 3.19 – Кварц-серицитовый метасоматит

По результатам рентгеноструктурного анализа минеральный состав кварц-серицитовых и кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов включает в себя кварц от 28 до 42 %, КПШ от 11 до 19 %, гипс от 10 до 17 %, а также иллит, каолинит, гидротированные разности слюд и хлорита от 31 до 36 %. Результаты рентгеноструктурного анализа метасоматитов приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Рентгеноструктурный анализ кварц-серицитовых и кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов

Минеральный состав (XDR) (масс %)						Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Пористость, $n$ , %	Пределы прочности, МПа		Коэффициент размягчаемости, д.е.
Кварц	КПШ	Гипс	Ярозит	Каолинит*	Другие минералы			в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
42	11	11	4	32	Хлорит сл	2,49	2,0	23,0	7,5	0,32
28	19	15	3	32	Кальцит 1, пирит 2	2,35	1,7	10,7	5,4	0,30
31	11	17	5	36	-	2,31	1,9	15,0	6,7	0,44
29	15	14	3	35	Кальцит 4	2,37	1,8	12,3	5,6	0,45
41	13	10	4	31	Пирит 1	2,48	2,6	22,5	6,7	0,30

Примечание: 1.\* - суммарно все слюдястые минералы, включая мусковит и его гидратированные разновидности. Во всех пробах и хлорит и слюда гидратированы; 2. КПШ – калиевые полевые шпаты; 3. сл – следы.

Данные породы отличаются низкой прочностью, относятся к группе размягчаемых, а также характеризуются довольно низкой плотностью (Рисунок 3.20). Статистические значения показателей физико-механических свойств кварц-серицитовых и кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов приведены в таблице 3.12.

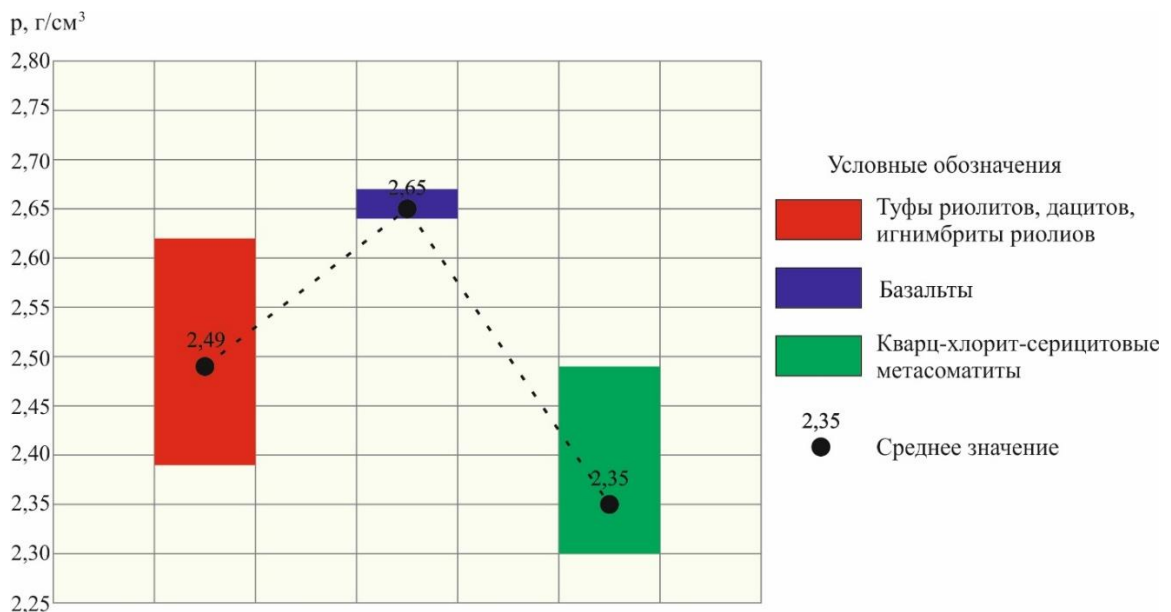


Рисунок 3.20 – Гистограммы распределения плотностей вмещающих пород

Таблица 3.12 – Статистические значения показателей физико-механических свойства кварц-серицитовых и кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов малопрочных

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,20	0,40	0,29	0,005	0,24
Водонасыщение, %	0,63	0,87	0,75	0,01	0,13
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,30	2,49	2,41	0,000	0,01
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,10	2,49	2,39	0,001	0,01
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,13	2,53	2,44	0,000	0,01
Пористость, $n$ , %	1,4	2,8	2,0	0,19	0,22
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	2,1	4,9	3,5	0,74	0,25
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	23,6	12,3	17,6	13,6	0,21
- в водонасыщенном состоянии	5,0	7,9	5,9	121,1	0,17
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,16	0,51	0,37	0,002	0,05
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	8,9	3,2	5,2	2,4	0,29
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	21	39	34	5,8	0,07
Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову, $f$	2	3	2	0,31	0,25

**Околорудные породы** – это кварц-серицитовые, карбонат-хлоритовые метасоматиты, светло-серого, серого цвета, массивной текстуры (Рисунок 3.21). Породы развиты вдоль зальбандов жил и прожилковых зон, характеризуются большой степенью изменений, достигающей 80 %.



Рисунок 3.21 – Кварц-серицитовые метасоматиты

Околорудные породы сложены кварцем, серицитом, хлоритом, в редких случаях каолинитом. Мощность таких зон небольшая и достигает 1-3 метра, иногда более, однако для них характерна одна особенность на расстоянии 0,1-0,3 метра от жил в породах резко увеличивается содержание кварца, что подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа.

Минеральный состав кварц-серицитовых, карбонат-хлоритовых метасоматитов включает в себя кварц от 46 до 54 %, КПШ от 5 до 12 %, гипс

от 3 до 11 %, а также иллит, каолинит, гидротированные разности слюд и хлорита от 25 до 29 %. Результаты рентгеноструктурного анализа метасоматитов приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Рентгеноструктурный анализ кварц-серицитовых, карбонат-хлоритовых метасоматитов

Минеральный состав (XDR) (масс %)						Плотность грунта, р, г/см <sup>3</sup>	Пористость, п, %	Пределы прочности, МПа		Коэффициент размягчаемости, д.е.
Кварц	КПШ	Гипс	Хлорит	Каолинит*	Другие минералы			в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
46	5	10	5	28	Кальцит 5, пирит 1	2,42	2,1	24,5	14,5	0,59
54	12	3	сл	27	Пирит 4	2,45	2,0	35,0	13,2	0,38
46	8	11	2	25	Кальцит 4, пирит 4	2,36	2,2	22,5	13,5	0,60
51	10	-	7	29	Пирит 3	2,40	1,8	33,7	12,8	0,38

Примечание: 1. \* - суммарно все слюдяные минералы, включая мусковит и его гидратированные разности. Во всех пробах и хлорит и слюда гидратированы; 2. КПШ – калиевые полевые шпаты; 3. сл – следы.

Анализ результатов лабораторных данных показал, что породы относятся к категории малопрочных, размягчаемых. Статистические значения показателей физико-механических свойств кварц-серицитовых, карбонат-хлоритовых метасоматитов приведены в таблице 3.14.

Околорудные метасоматиты отличаются от вмещающих метасоматитов (кварц-серицитовых и кварц-хлорит-серицитовых), увеличением содержания кварца и уменьшением содержания глинистых минералов, что отражается в увеличении прочности на одноосное сжатие в сухом состоянии (Рисунок 3.22).



Рисунок 3.22 – Зависимость прочности пород от породообразующих минералов вмещающих и околорудных метасоматитов

Таблица 3.14 – Статистические значения показателей физико-механических свойств кварц-серицитовых, карбонат-хлоритовых метасоматитов малопрочных

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,18	0,53	0,39	0,01	0,30
Водонасыщение, %	0,86	4,16	3,09	1,17	0,35
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,35	2,60	2,44	0,01	0,05
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,35	2,59	2,44	0,01	0,05
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,39	2,65	2,49	0,02	0,05
Пористость, $n$ , %	1,3	2,8	1,9	0,19	0,22
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	2,4	4,9	3,7	0,70	0,23
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	15,0	43,0	27,0	12,9	0,20
- в водонасыщенном состоянии	8,2	14,5	11,4	4,3	0,25
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,30	0,68	0,51	0,01	0,29
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	4,2	6,9	5,2	1,1	0,20
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	30	37	34	5,6	0,07
Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову, $f$	2	3	2	0,38	0,26

**Рудные тела** – представлены кварцевыми, карбонат-кварцевыми, адуляр-кварцевыми и сульфидно-кварцевыми жилами. Жилы серого и бело-серого цвета от мелко до крупнокристаллокластической структуры, брекчиевидной текстуры (Рисунок 3.23). По минеральному составу они преимущественно кварцевые, но встречаются и карбонат-кварцевые, адуляр-кварцевые и сульфат-кварцевые.



Рисунок 3.23 – Карбонат-кварцевая жила

Кварц – белый, серый, мелкозернистый и крупнозернистый, массивный, друзовой, реже брекчиевидный и пластинчатый. Рентгеноструктурным

анализом дополнительно определено наличие хлорита, ярозита, молибденита и т.д.

Карбонат-кварцевые жилы сложены крупнозернистым кальцитом, белым зернистым кварцем, родохрозитом. По петрографическому описанию кальцит (15-20 %) выполняет пустоты выщелачивания, гнезда, слагает линзы и прослой в кварце. Родохрозит (до 10 %) рыхлый, мягкий, образует гнезда в кварце и примазки по трещинам. Кварц (80-95 %) слагает сплошные и выщелоченные агрегаты. Рентгеноструктурным анализом определен хлорит, мусковит, гетит, пирролюзит.

Адуляр-кварцевые жилы – сложены белым халцедоноподобным кварцем и желтовато-белым адуляром. Количество адуляра достигает 30 %. По петрографическому описанию кварц слагает округлые, удлиненные зерна, адуляр образует вместе с кварцем зернистые агрегаты. Серицит слагает микрочешуйчатые выделения в промежутках между кварцевыми зернами.

Сульфидно-кварцевые жилы – сложены белым, светло-серым кварцем (50-80 %), сульфидами (5-20 %), в незначительных количествах отмечаются серицит, актинолит, хлорит. Для жил характерно наличие пустот выщелачивания, размером от 1 до 5 мм, иногда выполнены мелкими друзами кварца или заполнены гидроокислами железа, глинистым материалом. Сульфиды представлены в виде тонкозернистой вкрапленности, прожилков мощностью до 20 мм и представлены пиритом, арсенопиритом, сфалеритом и галенитом.

По результатам лабораторных испытаний рудные тела, характеризуются как породы средней прочности, величиной  $R_c$  от 24,5 до 41,6 МПа, при среднем значении 33,1 МПа. Породы, размягчаемые  $K_{sof}$  варьирует от 0,40 до 0,74, при среднем значении 0,59 д.е. Статистические значения физико-механических свойств представлены в таблице 3.15.

В целом рудные тела характеризуются высокими значениями прочности, что обусловлено прочной кварц-адуляровой цементацией, заполнителем пор и трещин вторичными минералами.



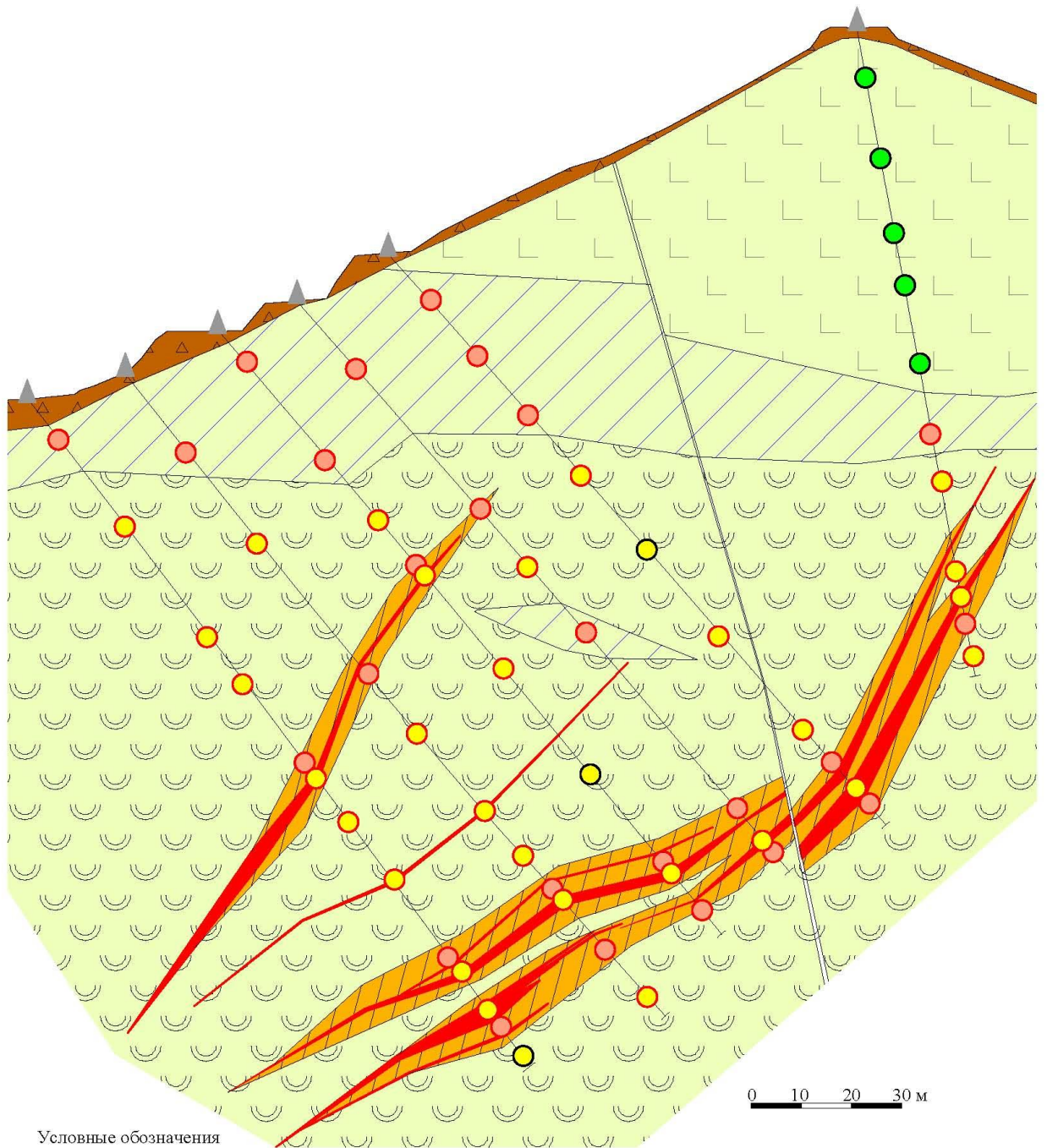
Таблица 3.15 – Статистические значения показателей физико-механических свойств рудных тел средней прочности

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,31	0,55	0,40	0,01	0,22
Водонасыщение, %	0,63	0,87	0,75	0,01	0,13
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,47	2,65	2,55	0,00	0,01
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,46	2,64	2,54	0,004	0,02
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,53	2,68	2,58	0,03	0,02
Пористость, $n$ , %	0,9	1,4	1,2	0,05	0,19
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	5,7	10,6	9,0	3,7	0,21
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	30,8	64,0	51,8	173,0	0,25
- в водонасыщенном состоянии	24,5	41,6	33,1	55,5	0,22
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,40	0,74	0,59	0,02	0,24
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	8,7	16,9	14,4	11,7	0,24
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	37	42	38	3,9	0,05
Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову, $f$	3	7	6	2,5	0,27

Таким образом, полученные свойства пород напрямую зависят от минерального состава. Внедрение гидротермальных растворов привело к изменению вмещающих пород и образованию кварц-серицитовых и кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов, для которых характерно большое содержание слюдястых минералов от 31 до 36 %, включающих мусковит, хлорит и их гидратированные разновидности, что приводит к снижению плотности, прочности и высоким значениям коэффициента размягчаемости. Кроме того, для околорудных пород так же характерно наличие в составе слюдястых минералов от 27 до 36 %. В сравнении с вмещающими метасоматитами они обладают большим количеством (более 45 %) в составе минералов кварца калиевого полевого шпата, что увеличивает их прочность в сухом состоянии, но наличие в составе глинистых минералов приводит к большой потере прочности при водонасыщении от 32 до 72 % что не позволяет перейти в класс средней прочности.

Сопоставление результатов физико-механических свойств и минерального состава рудных тел указывает на их прямую связь. Так высокое содержание в породах кварца обеспечивает их прочность, а присутствие в породах гидратированного мусковита, мягкого родохрозита, пирролюзита и каолинита определяет потерю прочности пород при водонасыщении. Поскольку соотношение глинистых минералов крайне неравномерное, именно это и объясняет присутствие в массиве размягчаемых и неразмягчаемых пород. Рассмотренные зависимости отражены на Рисунке 3.25.

Для месторождения Невенрекан установлена зональность изменения физико-механических свойств, связанная с проявлением гидротермального метасоматоза. Схема пространственной неоднородности отражена на рисунке 3.24.



Условные обозначения

I. Литология

Техногенные отложения

Вмещающие породы

Базальты

Кварц-серпичитовые, кварц-хлорит-серпичитовые метасоматиты

Туфы риолитов, дацитов, игнимбриты риолитов

Околорудные породы

Кварц-серпичитовые, карбонат-хлоритовые метасоматиты

Рудные тела

Кварцевые жилы

II. Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии:

○ - малопрочные (5-15 МПа);

● - средней прочности (15-50 МПа);

● - прочные (50-120 МПа).

III. Классификация по коэффициенту размягчаемости:

○ - неразмягчаемая порода (> 0,75 д.е.);

○ - размягчаемая порода (< 0,75 д.е.).

Рисунок 3.24 – Схема пространственной неоднородности прочности пород месторождения Невенрекан

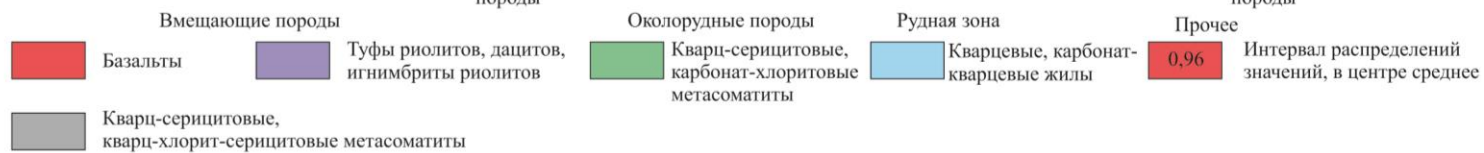
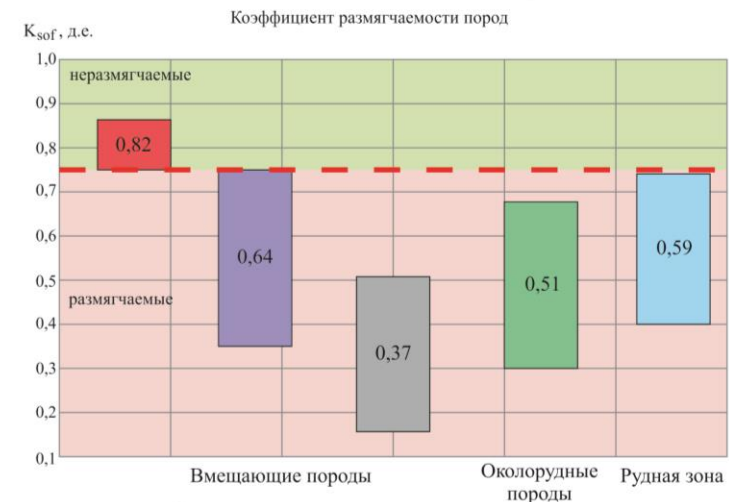
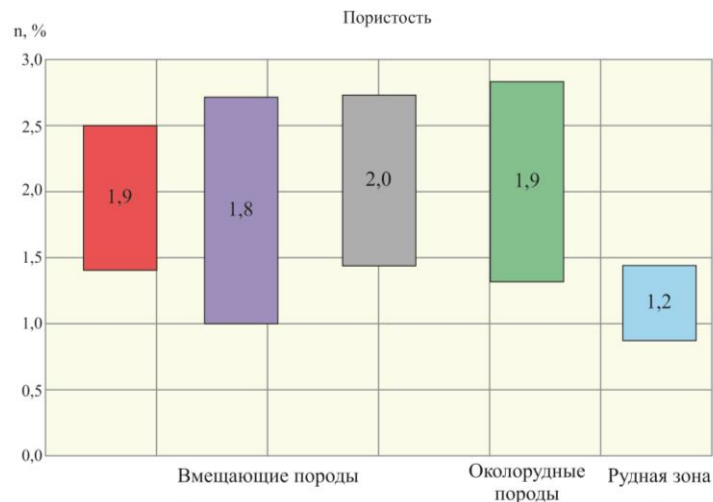
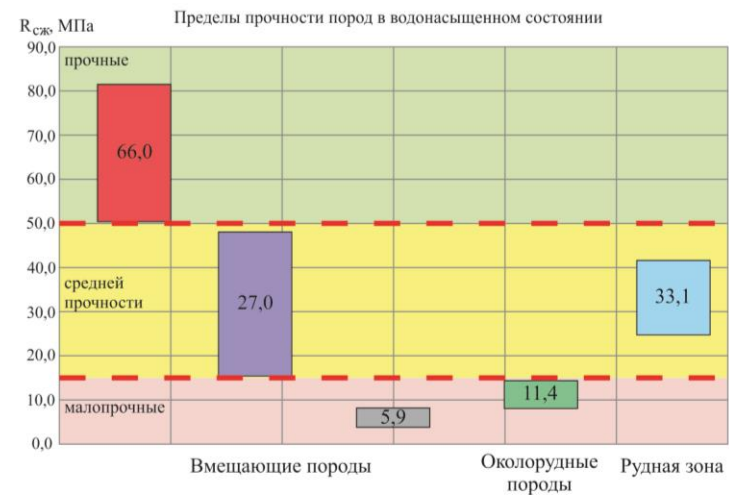
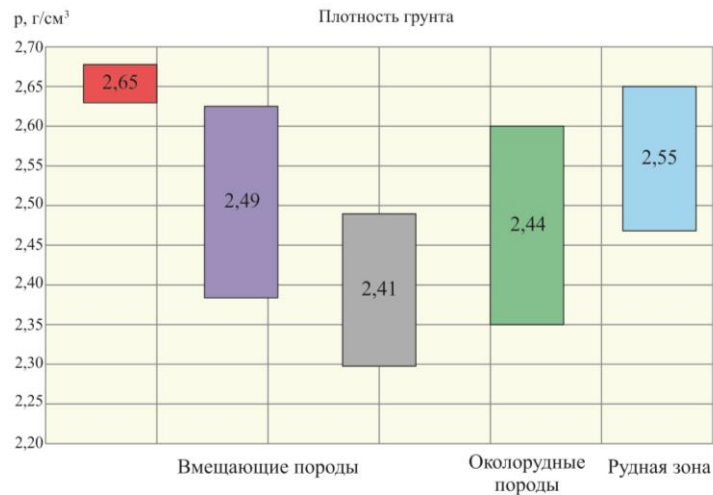


Рисунок 3.25 – Графики распределения свойств пород месторождения Невенрекан

### 3.1.3 Месторождение Ирбычан

Вмещающими породами месторождения являются сложнопереслаивающиеся толщи риолитов их туфов верхнемелового возраста ( $K_2$ ) и гидротермальных брекчий. Все породы в процессе своего существования претерпели те или иные изменения, связанные с проявлением гидротермального метасоматоза. Характер и интенсивность которого зависела от состава и температуры гидротерм, структурно-тектонической обстановки и состава вмещающих пород.

I этап (дорудный) – включал в себя проявление двух низкотемпературных стадий метасоматоза – пропилитизацию и аргиллизацию. Изменения пропилитового ряда коснулись всех первичных пород и выразились в развитии вторичных минералов: хлорита, эпидота, карбоната, серицита, альбита, кварца и сульфидов. Аргиллизация была наложена на пропилиты и способствовала формированию двух фаций: кварц-хлорит-гидрослюдистой и кварц-каолинит-гидрослюдистой. В строении массива аргиллизированных пород была выделена зональность. В краевых частях месторождения развиты кварц-хлорит-гидрослюдистые метасоматиты, которые к центру сменяются кварц-каолинит-гидрослюдистыми.

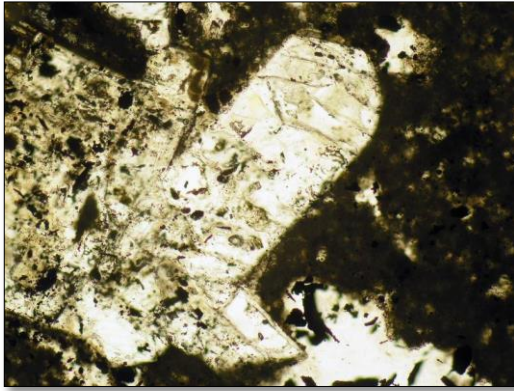
II этап (предрудный) – был связан с проявлением щелочного K-метасоматоза, при котором шли процессы окварцевания, приведшие к образованию кварца и КПШ. Процессы наложались на породы дорудного этапа. В этот период были заложены основные пути миграции основной массы рудного вещества, но проявился он в линейных зонах тектонических нарушений, охватил и зоны развития эксплозивных брекчий, и привел к формированию кварц-адуляр-гидрослюдистых метасоматитов.

III рудный этап – так же связан с проявлением K-метасоматоза и образованием кварцевых и адуляр-кварцевых жил.

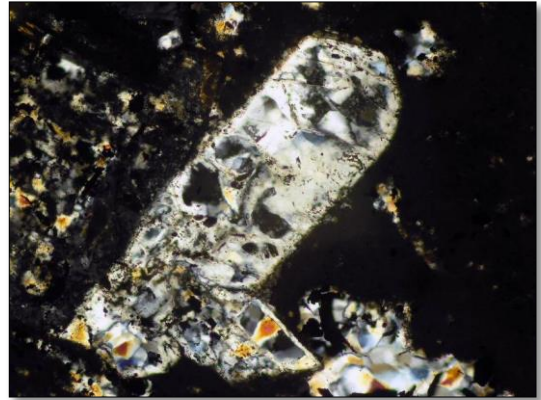
Таким образом, в строении массива горных пород месторождения Ирбычан можно выделить некую петрографическую зональность, которая способствует формированию зональности физико-механических свойств.

**Вмещающие породы** на месторождении представлены риолитами и их туфами в различной степени измененными до состояния пропилитов, кварц-хлорит-гидрослюдистых метасоматитов.

*Риолит пропилитизированный, окварцованный, аргиллизированный* – серая, зеленовато-серая порода с вкрапленниками. Структура псаммитовая, текстура пятнистая. Основная ткань состоит из обломков, представленных как отдельными минералами, так и минеральными агрегатами. Минеральный состав: кварц (25-30 %), КПШ (51-54 %), хлорит (3-5 %), гидрослюда (3-5 %), карбонат (2-3 %), цеолит (до 1 %), гидроокислы железа (3-5 %), пирит (2-3 %) (Рисунок 3.26).



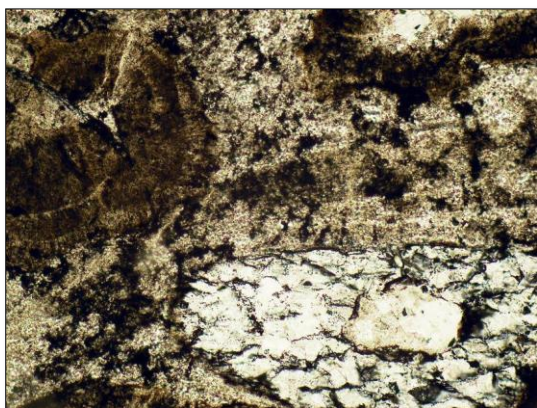
*без анализатора*



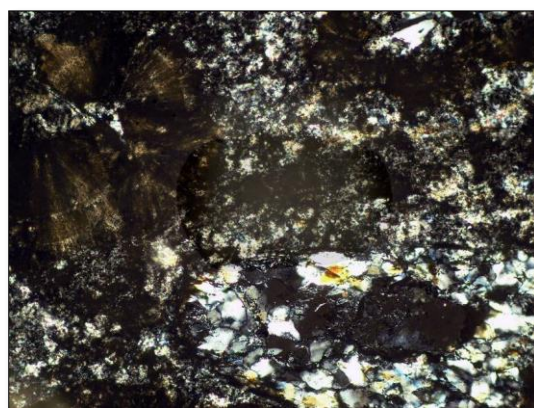
*с анализатором*

Рисунок 3.26 – Риолит пропилитизированный, окварцованный, аргиллизированный

*Туфы риолитов пропилитизированные, аргиллизированные* макроскопически – это серые, серовато-белые породы, обломочной структуры. Кластическая часть до 50 % представлена обломками риолитов округлой формы. Микроскопически структура кристаллокластическая. Структура базиса вторичная лепидо-гранобластовая. Текстура брекчиевидно-такситовая. Основная ткань раздроблена и перемята (Рисунок 3.27).



*без анализатора*



*с анализатором*

Рисунок 3.27 – Туфы риолитов пропилитизированные, аргиллизированные

Отмечаются прожилки мелкозернистого кварца, наряду с кварцем присутствует тонкодисперсный минерал с перламутровым блеском и более поздний, выделяющийся по трещинам в виде тонкодисперсных пленок. Минеральный состав: кварц (50-55 %), КПШ (15-20 %), хлорит (1-2 %), карбонат (5-7 %), гидрослюда (3-5 %), гидроокислы железа (2-5 %).

Карбонат – ассоциирует с эпидотом.

Хлорит – бледно-зеленого цвета образует микрочешуйки и тонковолокнистые выделения, замещает темноцветные минералы, концентрируется в пепловых частицах и слагает тонкие прожилки.

Гидрослюда присутствует в виде микрочешуйчатых выделений и образует скопления в обломках кристаллов плагиоклаза, пепловых частичках и как пленочный цемент на границах кварцевых зерен.

*Метасоматиты кварц-хлорит-гидрослюдистые.* Макроскопически породы светло-серого цвета, разбиты сетью трещин с примазками зеленовато-желтого и коричневого рыхлого минерала. Структура пелитовая, текстура массивная.

Основная ткань породы белая тонкозернистая масса, в которой присутствуют обломки прямоугольной формы, сложенные молочно-белым кварцем. В породе присутствуют первичные и вторичные поры и пустоты, заполненные глинистым минералом (Рисунок 3.28).

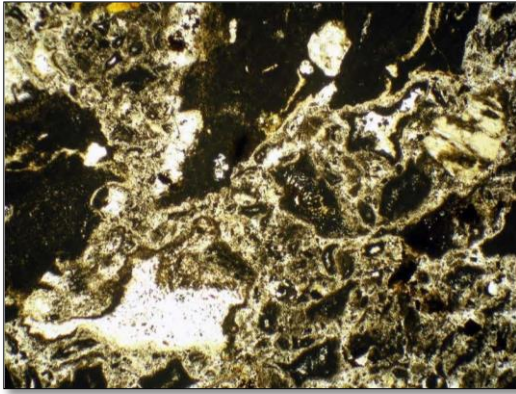
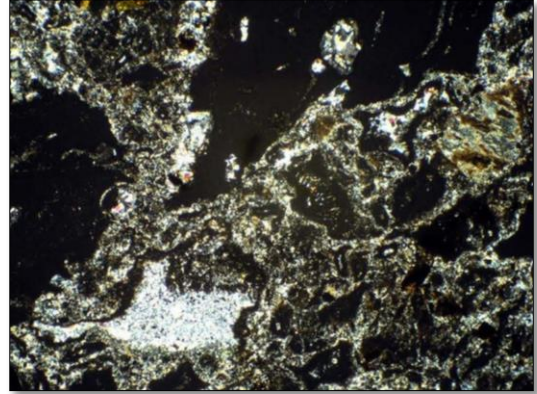
*без анализатора**с анализатором*

Рисунок 3.28 – Метасоматиты кварц-хлорит-гидрослюдистые

По минеральному составу: кварц (20-30 %), КПШ (60-68 %), плагиоклаз (2-3 %), гидрослюда (10-15 %), каолинит (5-10 %), гидроокислы железа (2 - 3 %), пирит (2-3 %), ярозит (1-2 %).

Гидрослюды присутствуют в виде микрочешуйчатых выделений, либо пленочного цемента. В выщелоченных порфировых выделениях гидрослюда ассоциирует с каолинитом.

Каолинит – образует псевдоморфозы по плагиоклазу и концентрируется на границах кварцевых зерен в виде мелкочешуйчатых агрегатов.

Происходящие при гидротермальной аргиллизации изменения состава и строения вулканогенно-осадочных пород приводят к их постепенному разуплотнению, увеличивается пористость. Разуплотнение породы, повышение пористости, образование глинистых минералов влияют на показатели прочности и деформируемости (Рисунок 3.29).



Рисунок 3.29 – Полная потеря прочности кварц-хлорит-гидрослюдистых метасоматитов при водонасыщении



Анализ результатов лабораторных испытаний физико-механических свойств показал, что кварц-хлорит-гидрослюдистые метасоматиты можно по величине прочности на одноосное сжатие разделить на 2 категории:

1) Породы низкой прочности, величина предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии ( $R_c$ ) изменяется в пределах 1,3-2,9 МПа, при среднем значении 2,2 МПа. Отмечаются высокие значения пористости от 9,8-16,2 (что относит их к категории средне пористых) и влажности от 2,06-5,11 %, не характерные для скальных пород (Таблица 3.16), кроме того отмечается полная потеря прочности при водонасыщении.

2) Малопрочные породы, величина предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии изменяется в пределах 5,2-14,4 МПа, при среднем значении 10,5 МПа. Породы плотные, пористость составляет 5,6-10,7 % (слабопористые), влажность 0,79-2,03 %. При водонасыщении происходит потеря прочности на 25-70 %, породы характеризуются как размягчаемые. Коэффициент крепости составляет 3-5 (Таблица 3.17).

Таблица 3.16 – Статистические значения показателей физико-механических свойств кварц-хлорит-гидрослюдистых метасоматитов низкой прочности

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	2,06	5,11	4,00	1,48	0,30
Водопоглощение, %	11,8	14,8	13,4	2,04	0,11
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,15	2,32	2,26	0,004	0,03
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,05	2,26	2,18	0,005	0,03
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,38	2,52	2,45	0,002	0,02
Пористость, $n$ , %	9,8	16,2	12,0	6,29	0,21
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	2,4	3,3	2,8	0,115	0,12
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	5,7	9,8	7,5	3,29	0,24
- в водонасыщенном состоянии	1,3	2,9	2,2	0,348	0,26
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,20	0,39	0,34	0,006	0,23
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	2,5	4,3	3,3	0,51	0,22
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	29	33	31	2,167	0,05
Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову, $f$	2	3	3	0,2	0,14

Таблица 3.17 – Статистические значения показателей физико-механических свойств кварц-хлорит-гидрослюдистых метасоматитов малопрочных

Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,79	2,03	1,32	0,15	0,29
Водопоглощение, %	3,87	8,41	6,0	3,3	0,30
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,19	2,47	2,32	0,01	0,04
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,13	2,44	2,29	0,01	0,04
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,30	2,65	2,49	0,01	0,04
Пористость, $n$ , %	5,63	10,67	8,0	2,5	0,20
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	3,7	7,2	5,4	2,31	0,28
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	14,1	36,3	22,6	43,7	0,29
- в водонасыщенном состоянии	5,2	14,4	10,5	8,2	0,27
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,30	0,75	0,50	0,02	0,27
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	5,2	10,5	7,2	4,81	0,30
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	29	36	33	6,0	0,07
Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову, $f$	3	5	4	3,9	0,26

Риолиты и их туфы средней прочности, величина предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии ( $R_c$ ) изменяется в пределах 15,3-47,6 МПа, при среднем значении 32,9 МПа. Это плотные ( $\rho = 2,22-2,58$  г/см<sup>3</sup>) породы с низкой влажностью ( $W = 0,34-0,85$  %), с пористостью ( $n = 3,7-12,6$  %) слабо, средне пористые, коэффициент размягчаемости составляет  $>0,75$  д.е., в этом случае породы относятся к категории неразмягчаемых (Таблица 3.18). Характер разрушения пород при приложении нагрузки показан на рисунке 3.30.



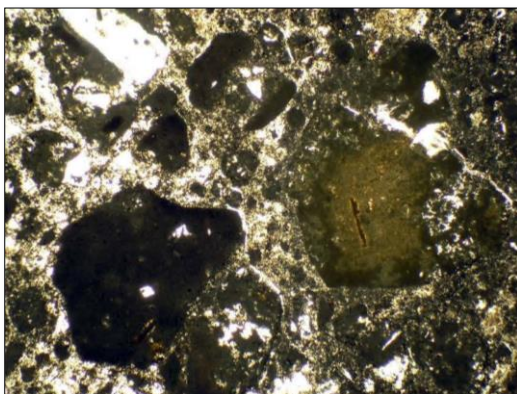
Рисунок 3.30 – Характер разрушения при одноосном сжатии риолитов и их туфов средней прочности

Таблица 3.18 – Статистические значения показателей физико-механических свойств пород риолитов и их туфов средней прочности

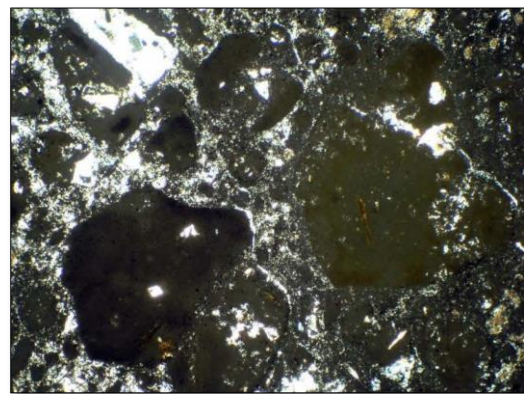
Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,34	0,85	0,58	0,02	0,26
Водопоглощение, %	1,5	4,1	2,8	0,6	0,28
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,22	2,58	2,39	0,01	0,03
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,21	2,57	2,38	0,01	0,03
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,46	2,73	2,56	0,01	0,03
Пористость, $n$ , %	3,67	12,64	6,8	4,2	0,30
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	6,9	11,5	8,5	3,0	0,20
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	19,5	60,7	42,2	135,2	0,28
- в водонасыщенном состоянии	15,3	47,6	32,9	75,0	0,26
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,75	0,91	0,79	0,01	0,10
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	9,5	17,2	12,5	6,5	0,20
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	30	39	37	11	0,09
Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову, $f$	4	9	6	2	0,27

**Околорудные породы** представлены кварц-каолинит-гидрослюдистыми метасоматитами. Макроскопически порода серого, кремового, серо-зеленого цвета кристаллокластической структуры, брекчиевидной текстуры.

Ксенокристаллы полевых шпатов и плагиоклаза замещены в разной степени агрегатом вторичных минералов – иллита, криптозернистого кварца и гидроокислов железа. Во вкрапленниках нередко встречаются микровключения кристалликов желтого цвета – ярозита и бесцветного апатита. Криптозернистый кварц развит по прожилкам (Рисунок 3.31).



*без анализатора*



*с анализатором*

Рисунок 3.31 – Метасоматиты кварц-каолинит-гидрослюдистые

По минеральному составу: кварц (30-35 %), КПШ (50-55 %), плагиоклаз (2-3 %), гидрослюда (5-7 %), каолинит (2-3 %), гидроокислы железа (2-3 %), пирит (3-5 %), ярозит (менее 1 %).

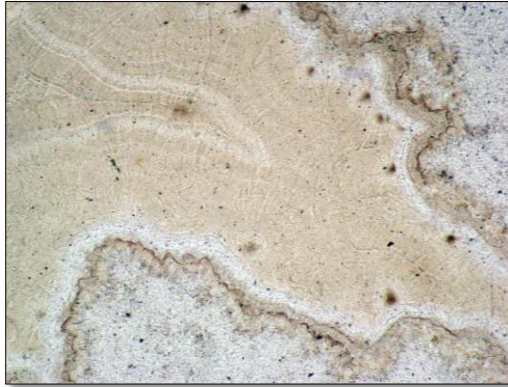
По данным лабораторных испытаний кварц-каолинит-гидрослюдистые метасоматиты относятся к группе средней прочности, неразмягчаемых пород, так как величина предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии ( $R_c$ ) изменяется в пределах от 19,1 до 48,4 МПа, при среднем значении 35,6 МПа. Коэффициент размягчаемости ( $K_{sof}$ ) составляет от 0,75 до 0,95 д.е. Среднее значение коэффициента крепости по М.М. Протодьяконову, определенного методом толчения, составляет 5 (III – довольно крепкие породы). Статистические значения показателей физико-механических свойств околорудных метасоматитов приведены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Статистические значения показателей физико-механических свойств околорудных метасоматитов средней прочности

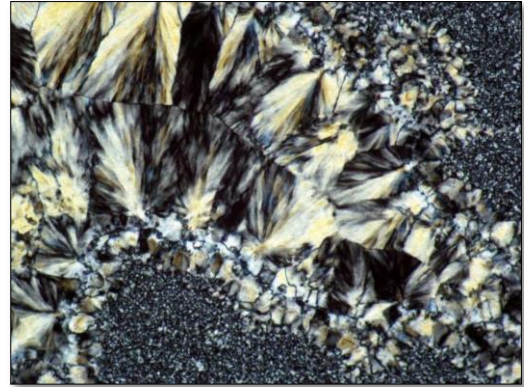
Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,22	0,65	0,41	0,01	0,29
Водопоглощение, %	1,50	4,74	3,2	0,9	0,30
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,16	2,43	2,33	0,004	0,03
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,16	2,43	2,32	0,004	0,03
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,38	2,67	2,48	0,004	0,03
Пористость, $n$ , %	3,1	8,4	5,9	2,9	0,29
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	4,7	13,4	9,3	6,1	0,26
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	23,8	62,4	44,5	169,9	0,29
- в водонасыщенном состоянии	19,1	48,4	35,6	105,7	0,29
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,75	0,95	0,80	0,004	0,29
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	7,0	22,6	14,4	17,0	0,29
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	33	40	37	3,00	0,05
Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову, $f$	4	8	5	1,00	0,22

**Породы рудных зон** – представлены жилами и прожилками белого сахаровидного, халцедоновидного или аметистоподобного кварцем, с примесью адуляра. Текстура жильной породы массивная, полосчатая или брекчиевидная с сульфидной минерализацией (Рисунок 3.32). Мощность жил

меняется от 1 до 20 м. Минеральный состав: кварц (90-95%), халцедон (3-5%), гидроокислы железа (2-3%).



*без анализатора*



*с анализатором*

Рисунок 3.32 – Жила кварца

Анализ результатов лабораторных испытаний физико-механических свойств показал, что рудные зоны по величине прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии ( $R_c$ ) относятся к категории средней прочности. Породы характеризуются как неразмягчаемые, коэффициент размягчаемости ( $K_{sof}$ ) составляет от 0,87 до 0,92 д.е. (Таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Статистические значения показателей физико-механических свойств рудных зон средней прочности

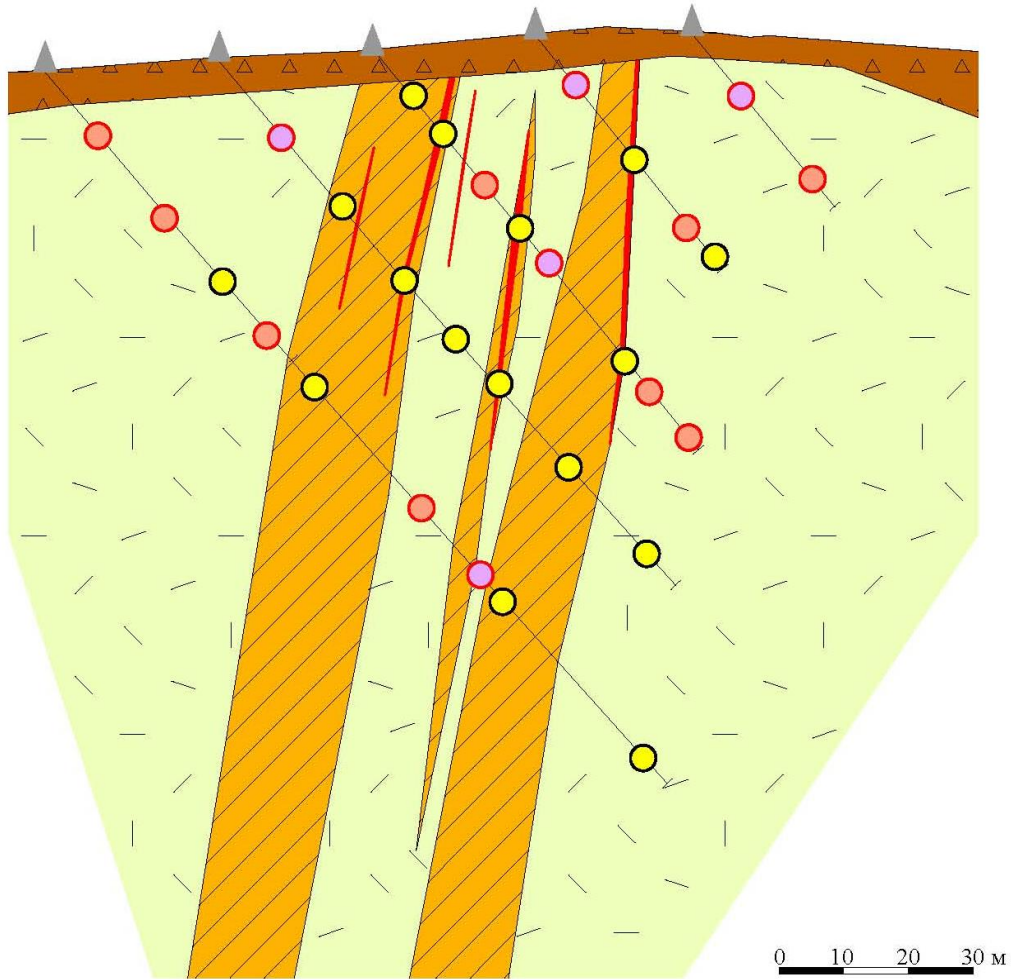
Показатели свойств	Значения		Средн. значение	Дисперсия	Коэф. вариации
	мин	макс			
Естественная влажность, %	0,65	1,05	0,82	0,03	0,20
Водопоглощение, %	1,0	1,3	1,2	0,00	0,12
Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,47	2,54	2,51	0,00	0,01
Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	2,45	2,52	2,49	0,00	0,01
Плотность частиц грунта, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,65	2,74	2,70	0,00	0,01
Пористость, $n$ , %	6,4	9,5	7,9	1,2	0,14
Пределы прочности при растяжении, МПа:					
- в сухом состоянии	8,9	9,8	9,4	0,18	0,04
Пределы прочности при сжатии, МПа:					
- в сухом состоянии	40,8	53,6	47,2	22,3	0,10
- в водонасыщенном состоянии	37,2	48,1	42,5	19,7	0,10
Коэффициент размягчаемости, д.е.	0,87	0,92	0,90	0,00	0,02
Уд. сцепление, МПа:					
- в сухом состоянии	11,4	14,4	13,3	1,88	0,10
Угол внутреннего трения, град.:					
- в сухом состоянии	33	36	35	2,3	0,04
Коэффициент крепости по М.М. Протоdjяконову, $f$	5	8	6	0,15	0,05

Неоднородность физико-механических свойств в массиве горных пород, связана с многоэтапным проявлением разнонаправленных типов метасоматоза. Каждый процесс привнес свою минерализацию, но наиболее негативной явилось развитие формации аргиллизитов, приведшей к образованию глинистых, гидрослюдистых минералов, таких как иллит, диксит, каолинит, в редких случаях монтмориллонит. Их присутствие в породе в виде основной массы, либо как заполнитель мелких полостей или порфировых выделений приводит к резкому снижению таких показателей как величина предела прочности на одноосное сжатие, образуя разновидности пород низкой прочности и малопрочных, снижает коэффициент размягчаемости до категории размягчаемых, а зачастую и полностью размокаемых, уменьшает плотность пород (Рисунок 3.34).

На схеме пространственной неоднородности свойств пород отчетливо видно отсутствие закономерности в изменении свойств с глубиной и по простиранию так как главным фактором определяющим их является минеральный состав, который явился результатом проявления многостадийного гидротермального метасоматоза (Рисунок 3.33).


Таким образом, физико-механические свойства пород рассматриваемых месторождений напрямую зависят от типа проявления гидротермального метасоматоза, температурных условий, кислотно-щелочного баланса и так далее, который в свою очередь на каждом из месторождений определяется минеральным составом пород, что в результате приводит к изменению физико-механических свойств пород. Проявление метасоматических изменений на Приморском месторождении привело к увеличению прочности вмещающих пород, а на месторождениях Невенрекан и Ирбычан к появлению размягчаемых пород, с низкой прочностью (Рисунок 3.35-3.36).

Сравнительная характеристика физико-механических свойств по рассмотренным месторождениям приведена в таблице 3.21.




Условные обозначения


## I. Литология

 Аллювиальные, элювиальные образования

*Вмещающие породы*

 Риолиты и их туфы, кварц-хлорит-гидрослоистые метасоматиты

*Околорудные породы*


 Кварц-каолинит-гидрослоистые метасоматиты


*Рудные тела*

 Кварцевые жилы

## II. Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии:


 - **низкой, пониженной прочности (>5 МПа);**

 - малопрочные (5-15 МПа);

 - **средней прочности (15-50 МПа);**

 - **прочные (50-120 МПа).**

## III. Классификация по коэффициенту размягчаемости:

 - неразмягчаемая порода (> 0,75 д.е.);


 - размягчаемая порода (< 0,75 д.е.).

Рисунок 3.33 – Схема пространственной неоднородности прочности пород месторождения Ирбычан

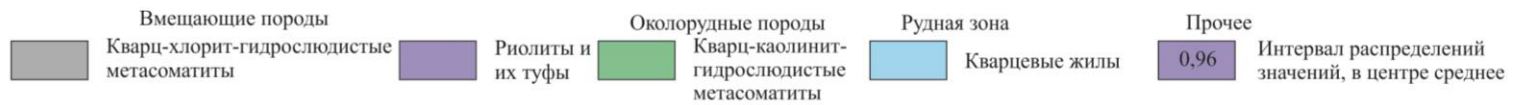
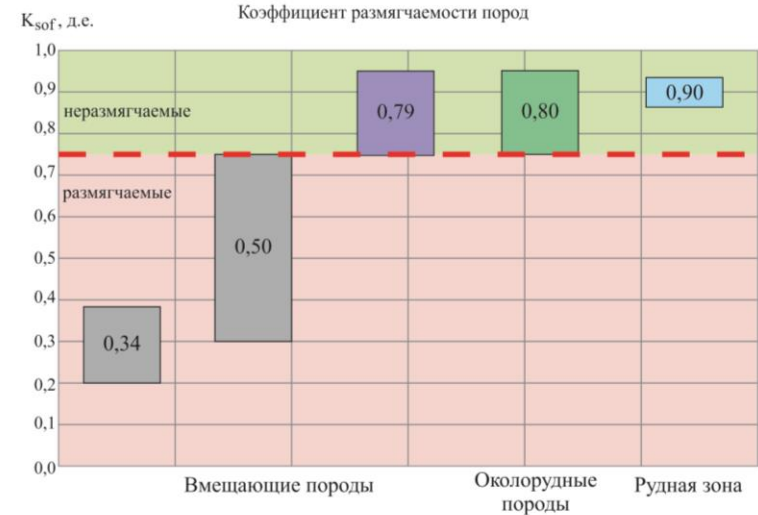
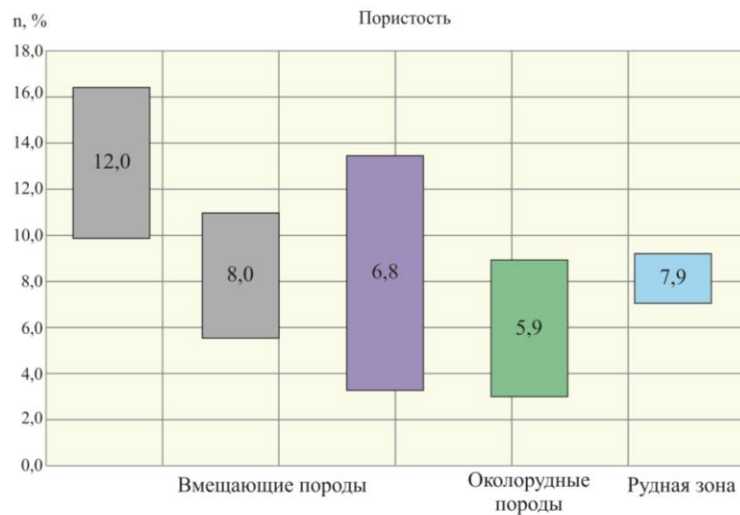
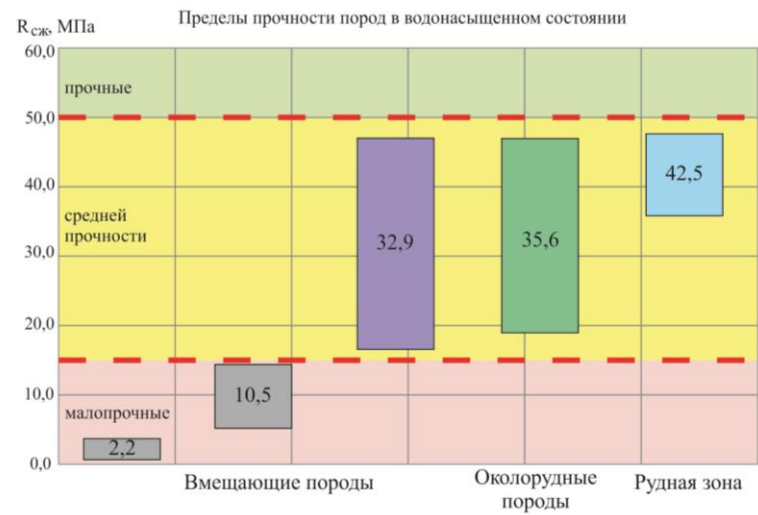
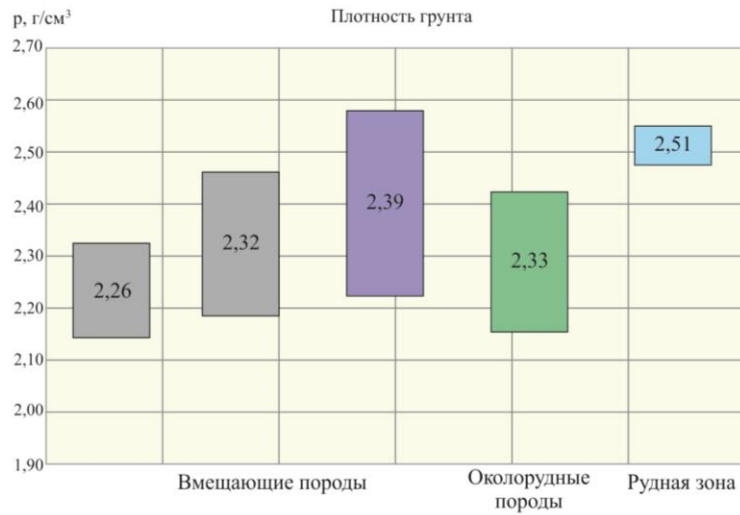


Рисунок 3.34 – Графики распределения свойств пород месторождения Ирбычан



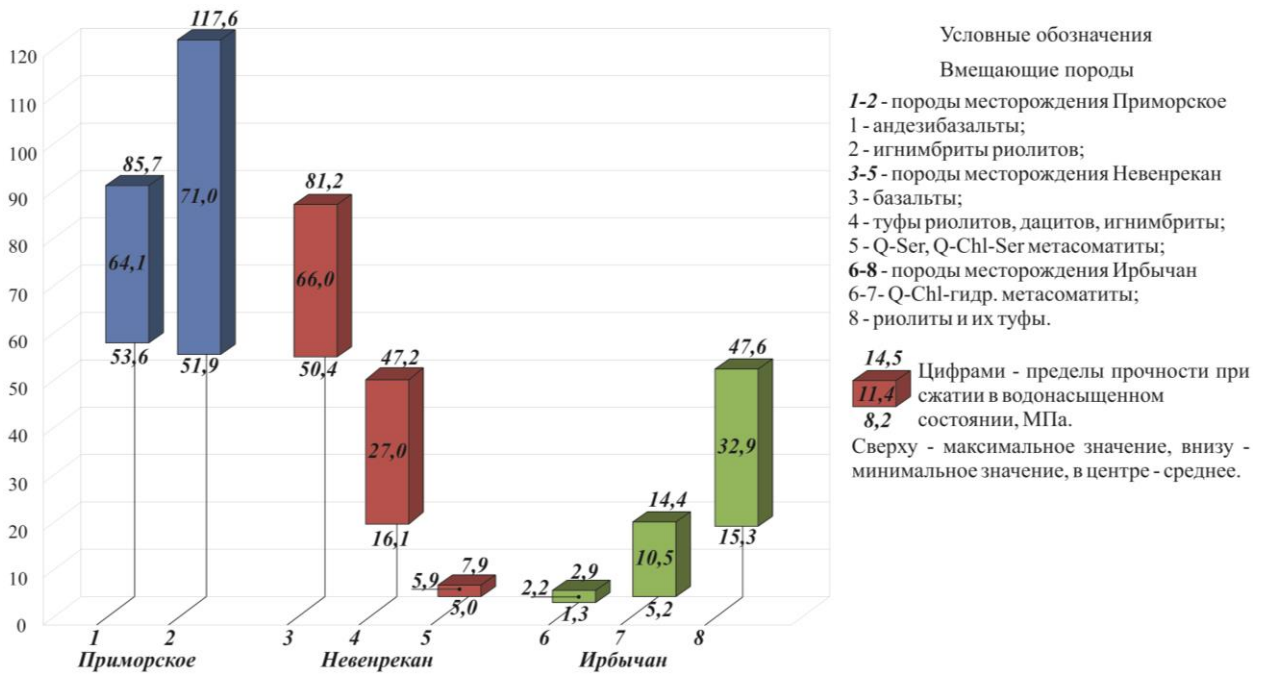


Рисунок 3.35 – Схема распределения прочности вмещающих пород месторождений

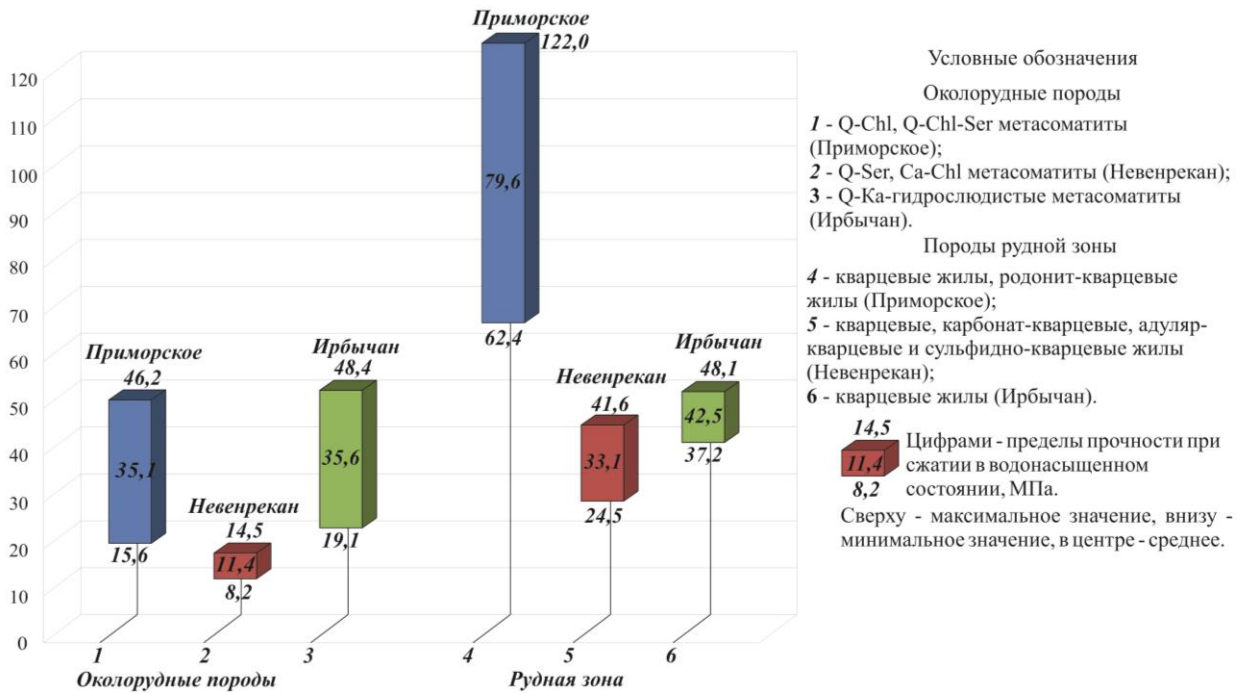


Рисунок 3.36 – Схема распределения прочности околорудных пород и рудных зон месторождений

Рудные тела для каждого месторождения характеризуются разными физико-механическими свойствами, не смотря на то что они близкие по составу. На месторождении Приморское рудные тела – прочные, неразмягчаемые; на Невенрекане – средней прочности, размягчаемые; на Ирбычане – средней прочности, неразмягчаемые (Рисунок 3.36, Таблица 3.21).

Таблица 3.21 – Сравнительная таблица физико-механических свойств месторождений

Показатели ФМС	Приморское				Невенрекан					Ирбычан				
	Вмещающие породы		Околорудные (Q-Chl, Q-Chl-Ser метасоматиты)	Рудная зона	Вмещающие породы			Околорудные (Q-Ser, Ca-Chl метасоматиты)	Рудная зона	Вмещающие породы		Околорудные (Q-Ка-гидр. метасоматиты)	Рудная зона	
	Андези-базальты	Игнимбриты риолитов			Базальты	Туфы	Q-Chl-Ser метасоматиты			Q-Chl-гидр. метасоматиты	Риолиты и их туфы			
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,71	2,62	2,59	2,60	2,65	2,49	2,41	2,44	2,55	2,26	2,32	2,39	2,33	2,51
$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,73	2,65	2,64	2,62	2,70	2,53	2,44	2,49	2,58	2,45	2,49	2,56	2,48	2,70
$n$ , %	0,96	1,36	2,22	0,94	1,9	1,8	2,0	1,9	1,2	12,0	8,0	6,8	5,9	7,9
Rраст, МПа	11,1	13,0	8,8	14,8	12,7	7,9	3,5	3,7	9,0	2,8	5,4	8,5	9,3	9,4
<u>Rсж. сух</u>	<u>75,2</u>	<u>84,8</u>	<u>51,3</u>	<u>92,6</u>	<u>80,6</u>	<u>40,7</u>	<u>17,6</u>	<u>27,0</u>	<u>51,8</u>	<u>7,5</u>	<u>22,6</u>	<u>42,2</u>	<u>44,5</u>	<u>47,2</u>
Rсж. вод	64,1	71,0	35,1	79,6	66,0	27,0	5,9	11,4	33,1	2,2	10,5	32,9	35,6	42,5
Ksof.	0,86	0,84	0,65	0,86	0,82	0,64	0,37	0,51	0,59	0,34	0,50	0,79	0,80	0,90
C	19,5	23,6	13,7	25,0	21,7	12,2	5,2	5,2	14,4	3,3	7,2	12,5	14,4	13,3
Ksof	41	40	38	40	41	37	34	34	38	31	33	37	37	35
$f$	14	13	11	13	9	5	2	2	6	3	4	6	5	6

Примечание: ФМС – показатели физико-механических свойств;  $\rho$  - плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_s$  - плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;  $n$  – пористость, %; Rраст. - предел прочности при растяжении в сухом состоянии, МПа; Rсж. - пределы прочности при сжатии, МПа (сух. – в сухом состоянии/ вод. - в водонасыщенном состоянии); Ksof - коэффициент размягчаемости, д.е.; C – удельное сцепление в сухом состоянии, МПа;  $\phi$  - угол внутреннего трения в сухом состоянии, град.;  $f$  - коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову.

### **3.2 Закономерности развития степени и характера трещиноватости в массивах горных пород золото-серебряных месторождений ОЧВП**

При изучении массивов горных пород, как естественно-исторических образований и среды, вмещающей горное сооружение необходимо установить особенности их строения. В процессе формирования массива горных пород в нем образуется пространственно-направленная сеть зон ослабления разных размеров и разного генезиса, играющих роль деконцентрации естественных напряжений, повышения водопроницаемости, изменения теплового поля, уменьшение прочностных и деформационных характеристик горных пород, что приведет к снижению устойчивости горного сооружения.

В результате формируется дискретный, неоднородный массив, где границами служат зоны и поверхности ослабления, а внутри каждого блока расположен блок относительно сохранившихся пород. Форма и размер блока определяется характером сочленения зон ослабления. Сами зоны являются опасными структурными элементами массивов горных пород, приводящие к развитию горно-геологических процессов.

Среди большого набора зон, осложняющих условия вскрытия, наиболее опасными являются:

- разломы с хорошо проявленными зонами дробления, катаклаза и милонитизации, особенно совпадающие с направлениями падения борта или стенок подземных выработок (Рисунок 3.37);
- протяженные трещины с зеркалами скольжения (Рисунок 3.37);
- пересечение двух или более трещин, линия сопряжения которых встречается в кровле выработки или совпадает с направлением борта;
- зона повышенной трещиноватости и катаклаза;
- участки проявления гидротермального изменения пород с образованием глинистых минералов.



Рисунок 3.37 – Слева – зона разлома (зона интенсивного дробления).

Справа – трещины скалывания с зеркалами скольжения

Присутствие на месторождениях зон и поверхностей ослабления является главным фактором формирования нарушения целостности стенок выработок и бортов карьеров с развитием горно-геологических процессов. Наиболее типовыми являются:

- осыпи и вывалы скальных пород различных объемов (Рисунок 3.38);
- разномасштабные клиновидные и комбинированные обрушения;
- оползни и осыпи дезинтегрированных пород.

Все вышеперечисленное указывает на необходимость установления закономерностей изменения степени и характера трещиноватости как по площади, так и глубине. Установление закономерностей на этапах геологоразведочных работ месторождений (поисково-оценочной, разведочной стадии) в условиях отсутствия обнажений опирается лишь на инженерно-геологическую документацию керна, поэтому очень важным моментом является оценка как количественных, так и качественных параметров трещиноватости по керну скважин.



Рисунок 3.38 – Вывал скальных пород в борту карьера

На этапах разведочных работ, проводимых на месторождениях полезных ископаемых основным материалом для оценки степени и характера трещиноватости, является керн скважин. Однако скважины – это дискретные линейно-непрерывистые носители информации о состоянии геологической среды. Основной задачей бурения является получение материала хорошего качества с максимальным выходом керна, что будет определять объективность установления закономерностей изменения степени трещиноватости.

Основные положения о методике получения информации о трещиноватости по керну скважин изложены в книгах и учебниках многих авторов [1-4, 6, 24, 48, 77, 78, 81, 91-95, 126-128]. А вот методология анализа, приведена только для оценки трещиноватости на обнажениях. Считаем необходимым, разработку такой методологии с целью установления основных закономерностей степени трещиноватости, которая затем будет использована при построении инженерно-геологической модели месторождений. Требуемая степень подробности изучения, каждого из параметров определяется стадией изучения месторождения и возможностью получения информации только по керну.

### **3.3 Алгоритм оценки степени и характера трещиноватости по керну скважин неориентированного бурения**

Создание алгоритма оценки степени и характера трещиноватости, а также системы обработки данных позволяет устранить и облегчить выполнение трудоемких ручных операций и в целом, повысить эффективность производства работ. Предложенная система позволяет выбирать параметры трещиноватости массива пород, оперировать информацией и выдавать запрашиваемые параметры с разными фильтрами, которые могут быть представлены общепринятыми категориями, либо которые участвуют в расчетах устойчивости массива пород.

Исходными данными в формировании базы данных являются качественные и количественные характеристики массива пород. Они представляют собой блок информации о трещиноватости, привязанной в пространстве определённой координатой.

Алгоритм анализа закономерностей степени и характера трещиноватости включает в себя несколько последовательных этапов сбора и обработки информации (Рисунок 3.39).

*I этап (Предварительный).* На первом этапе проводится изучение и анализ геолого-структурного строения месторождения, его генезиса, оценка проявления тектонических процессов и гидротермального метасоматоза. Что позволяет сформировать начальное представление об основных факторах, определяющих степень и характер трещиноватости месторождения, сложности инженерно-геологических условий. Данная информация берется из архивных геологических отчетов, а также проводится сравнение с месторождениями аналогами.

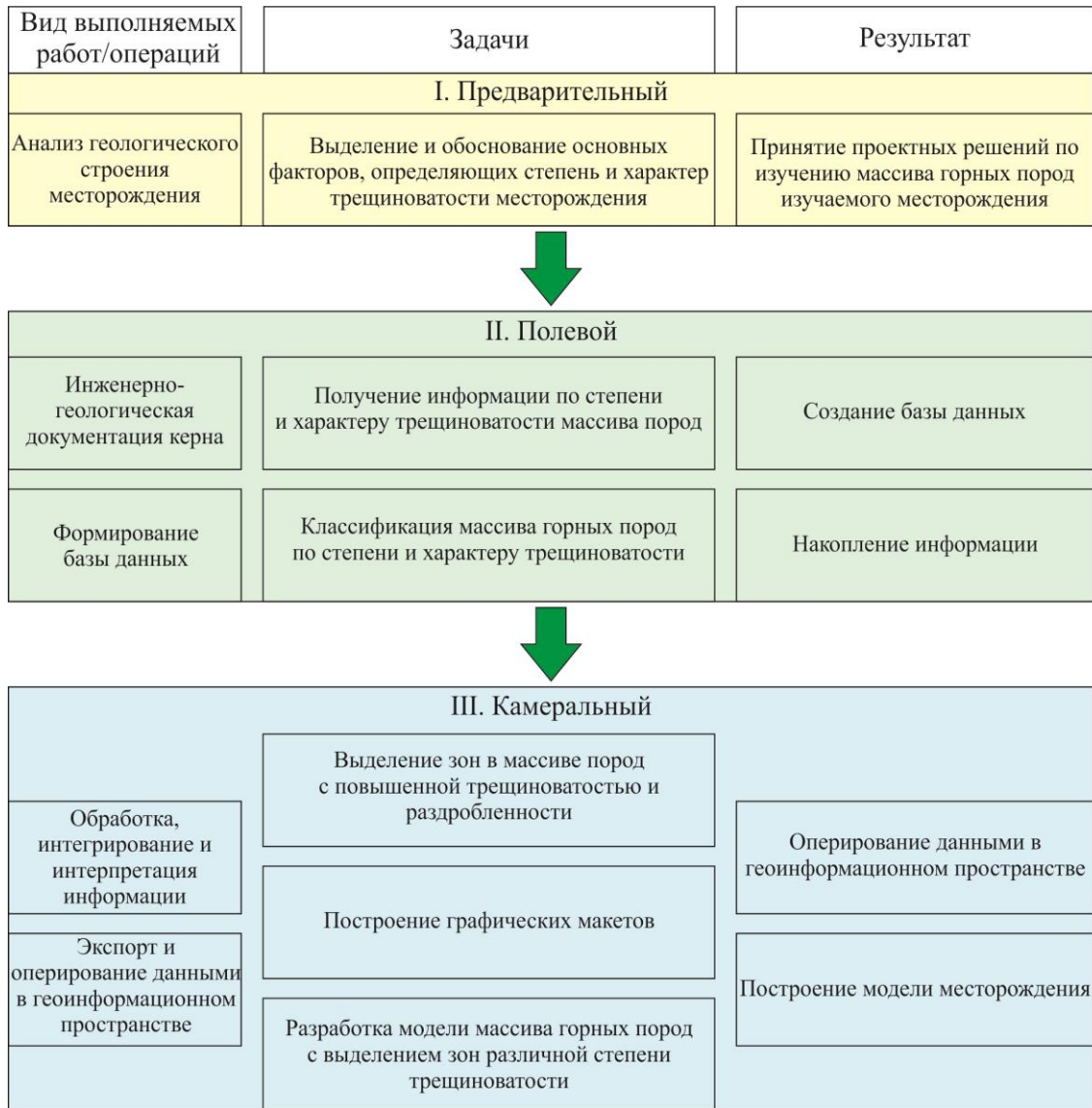


Рисунок 3.39 – Алгоритм анализа трещиноватости

Полученные данные на этом этапе позволяют принять проектные решения по изучению характера и степени трещиноватости массива пород месторождения и оптимально заложить объемы инженерно-геологической документации с заложением специальных инженерно-геологических скважин.

*II этап (Полевой).* Включает в себя получение информации по степени и характеру трещиноватости массива пород на основе инженерно-геологической документации керна в электронном журнале в программном комплексе Microsoft Excel (Рисунок 3.40).

Интервалы		Инженерно-геологическая документация керна скважины	Интервалы		мощн ость	RQD	L																				L <sub>сум</sub>	M <sub>к</sub>	M <sub>п</sub>	R <sub>c</sub> , Mпа	1-ая группа: 0-30°			2-ая группа: 30-60°			3-ая группа: 60-90°																
от	до		от	до			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					Количество трещин	Шероховатость	Литология заполнителя	Количество трещин	Шероховатость	Литология заполнителя	Количество трещин	Шероховатость	Литология заполнителя														
11,00	12,00	11,2-27,3 м (16,1 м) Песчаник серого, местами бурого цвета, м/с структуры, массивной текстуры, неветерельный, очень прочный. Открытые трещины преимущественно ориентированы под углом 60-90° к о.к., пш (поп, реже Fe, Ca), реже вш (поп), пл (Ca). Реже под углом 0-30° к о.к., вш (Fe, Ca, Ca-Fe), пш (Ca, Fe). Закрытые трещины редкие, 0-30, и вдоль оси керна. В интервале присутствуют две открытые трещины вдоль оси керна. В инт. 12,38-12,65 м - зона ослабления, представлена щебнем, размер 1-5 см, выветрелый, по поверхности щебня ожелезнение. В инт. 16,0-17,55 м - зона ослабления, представлена щебнем, размер 1-10 см, ср. выветрелый, по поверхности ожелезнение. (открытая трещина вдоль оси керна, по ней разрушился керн).	11,00	12,00	1	72,00	13	3	5	12	5	5	5	4	7	5																				100	9	9	64,6	-	-	-	-	-	-	9	пш, реже пл	поп, реже Ca					
12,00	12,38		12,00	12,38	0,38	100,00	20	18																													38	2	2	108,0	-	-	-	-	-	-	2	пш	non, Fe				
12,38	12,65		12,38	12,65	0,27	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
12,65	13,00		12,65	13,00	0,35	100,00	35																														35	1	1	118,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
13,00	14,00		13,00	14,00	1	100,00	80	20																													100	2	2	119,0	1	вш	Fe	-	-	-	-	-	-	1	вш	non	
14,00	15,00		14,00	15,00	1	95,00	26	32	37	5																											100	4	3	110,0	2	пш	Ca, Fe	-	-	-	-	-	-	-	1	вш	non
15,00	16,00		15,00	16,00	1	55,00	15	5	4	6	3	4	2	2	5	6	8	40																			100	12	11	96,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	пш	non	
16,00	17,55		16,00	17,55	1,55	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
17,55	18,00		17,55	18,00	0,45	100,00	45																														45	1	0	111,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18,00	19,00		18,00	19,00	1	95,00	5	77	18																												100	3	2	117,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	вш, пш	non	
19,00	20,00		19,00	20,00	1	100,00	16	84																													100	2	1	119,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	пш	non	
20,00	21,00		20,00	21,00	1	100,00	100																														100	1	0	109,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21,00	22,00		21,00	22,00	1	100,00	54	14	32																												100	3	2	105,0	-	-	-	1	пш	non	1	пш	non				
22,00	23,00		22,00	23,00	1	83,00	3	67	7	7	16																										100	5	4	119,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	пш	Fe	
23,00	24,00		23,00	24,00	1	96,00	4	33	22	16	25																										100	5	4	107,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	пш	Fe, Q-Ca	
24,00	25,00		24,00	25,00	1	100,00	35	44	21																												100	3	2	65,1	1	вш	Ca	-	-	-	-	-	-	1	пш	Ca	
25,00	26,00		25,00	26,00	1	98,00	2	11	45	42																											100	4	4	113	1	вш	Ca-Fe	-	-	-	-	-	-	3	вш	non	
26,00	27,00	26,00	27,00	1	95,00	95	5																													100	2	1	115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	пш	Ca		
27,00	28,00	27,3-33,1 (5,8 м) Алевропесчаник темно-серого, серого цвета, м/з, т/с структуры, слонистой текстуры. Открытые трещины ориентированы под углом 60-90° к о.к., вш (поп, реже Ca), реже пл (поп, реже Ca), вл (поп). Закрытые трещины многочисленны 60-90, от нитевидных до волосных. В инт. 27,35-33,1 м интенсивная трещиноватость. В инт. 29,72-33,1 м - зона ослабления, представлена щебнем, размер 1-5 см, местами выветрелый до супесчаного грунта черного цвета. (интенсивно трещиноватая порода)	27,00	28,00	1	71,00	8	26	3	2	5	1	1	12	33	7																				98	10	9	96,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	вл, реже вш	поп, реже Ca		
28,00	29,00	28,00	29,00	1	100,00	25	29	17	29																												100	4	3	92,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	вш	non	
29,00	29,72	29,00	29,72	0,72	86,11	12	16	5	11	5	10	13																									72	7	7	35,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	пл	поп, реже Ca	
29,72	33,10	29,72	33,10	3,38	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
33,10	34,00	33,1-45,4 м (12,3 м) Алевропесчаник темно-серого, серого цвета, м/з, т/с структуры, слонистой текстуры, неветерельный, прочный. Открытые трещины преимущественно ориентированы под	33,10	34,00	0,9	100,00	90																														90	1	1	53,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34,00	35,00	34,00	35,00	1	95,00	5	22	73																													100	3	2	49,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	пш	non	
35,00	36,00	35,00	36,00	1	100,00	100																															100	1	1	96,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
36,00	37,00	36,00	37,00	1	100,00	12	58	19	11																												100	4	3	91,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	пш, ед-но пл	non	

Рисунок 3.40 – Фрагмент электронного журнала полевой документации



В состав работ входит получение как качественных, так и количественных характеристик трещиноватости:

– качественные – характеристика вещественного и структурного заполнения трещин, типы контактов с вмещающими породами, морфологи поверхности трещин, углы падения трещин по отношению к оси керна.

– количественные - модули кусковатости и трещиноватости, показатель качества пород, элементарные размеры кусочков керна.

Каждый из полученных параметров является входными величинами в рейтинговой классификации массивов такие как Q, RMR, MRMR. Например, морфология поверхности трещин без заполнителя увеличивает угол трения по ним, и соответственно увеличивает сопротивление сдвигу в плоскости дефекта. Плоские трещины, ориентированные под меньшим углом чем угол наклона откоса, но с большим углом трения по плоскости трещины имеют повышенный потенциал к проскальзыванию, что может вызвать быстрое обрушение. Наличие на плоскостях трещин следов перемещения уменьшают устойчивость массива, так как зеркала скольжения снижают сопротивление сдвигу. Волнистые трещин за счет эффекта дилатансии и срезания «зубьев» при сдвиге показывают повышение значения сдвиговой прочности, что благоприятно сказывается на устойчивости массива пород.

Учитывая множество источников различной ведомственной и квалификационной принадлежности, вся информация оформляется и структурируется по фиксированным форматам табличного редактора “EXCEL” (Рисунок 3.41), далее аккумулируется в базе данных с помощью программного обеспечения “Microsoft Access” в соответствующих тематических разделах: “Каталог координат скважин”, “Геологическая документация скважин”, “Инженерно-геологическая документация скважин”, “Структурная документация скважин (точечный)” и так далее (Рисунок 3.42).

Геометрическое описание скважины																								
Интервал				Строение				Прочность				Структура				Преобладающая система трещин				Система трещин с вышшими свойствами				
Сло №	От, м	До, м	Длина, м	Сопоставляя литологию (ROCK)	Сопоставляя литологию распределенных групп (SOIL)	Выявление (L45)	Классификация (L1)	Прочность скважины по скваж. МПа	Прочность распределенной (S)	Качество пород (ROD), м	Качество пород (ROD), %	Расстояние между трещинами SD, м	Количество систем трещин (N)	Количество трещин (NI)	Широкоствольность скважины (P)	Раскрытие трещин (A4)	Среднее раскрытие трещин (A)	Свойства трещин (CON%)	Количество трещин (NI)	Широкоствольность скважины (P)	Раскрытие трещин (A4)	Среднее раскрытие трещин (A)	Свойства трещин (CON%)	примечание
14-12	0	1	1eMz	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14-12	1	2,8	1,8 Ps	-	-	-	-	-	-	0	0,0	0,077	20	36	1	0	6	0	36	1	0	6	0	-
14-12	2,8	3	0,2 Ps	-	-	-	-	-	-	0,2	100	0,850	2	1	1,75	5	2	20	1	1,75	5	2	20	-
14-12	3	6	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,27	76	0,248	4	16	1,75	4	3	12	16	1,75	4	3	12	-
14-12	6	8,3	2,3 Ps	-	-	-	-	-	-	1,65	72	0,222	4	15	1	5	2	20	15	1	5	2	20	-
14-12	8,3	8,7	0,4 Ps	C-G	-	-	-	-	-	0	0	0,025	20	20	1	0	6	0	20	1	0	6	0	-
14-12	8,7	10	1,3 Ps	-	-	-	-	-	-	1,09	84	0,325	3	11	1	5	2	20	11	1	5	2	20	-
14-12	10	13	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,71	90	0,432	3	11	1,75	5	2	20	11	1,75	5	2	20	-
14-12	13	16	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,59	86	0,359	4	12	1,75	5	2	20	2	1,75	4	3	12	-
14-12	16	19	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,81	94	0,520	2	10	1	5	2	20	10	1	5	2	20	-
14-12	19	20,9	1,9 Ps	-	-	-	-	-	-	1,83	96	0,621	2	5	3	5	2	20	5	3	5	2	20	-
14-12	20,9	21,6	0,7 Ps	G-ML	-	-	-	-	-	0	0	0,025	20	70	1	0	6	0	70	1	0	6	0	-
14-12	21,6	22	0,4 Ps	-	-	-	-	-	-	0,37	93	0,484	2	2	1,75	3	2	20	2	1,75	3	2	20	-
14-12	22	25	3 Ps	-	-	-	-	-	-	3	100	0,85	2	8	1	5	1	25	8	1	5	1	25	-
14-12	25	28	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,81	94	0,520	3	10	1,75	5	1	25	10	1,75	5	1	25	-
14-12	28	31	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,99	100	0,823	3	4	1	5	1	25	4	1	5	1	25	-
14-12	31	34	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,87	96	0,593	2	11	1	5	1	25	11	1	5	1	25	-
14-12	34	37	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,93	98	0,689	4	5	1	5	1	25	5	1	5	1	25	-
14-12	37	40	3 Ps	-	-	-	-	-	-	3	100	0,850	3	5	1,75	5	1	25	5	1,75	5	1	25	-
14-12	40	43	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,95	98	0,729	2	6	1,75	5	1	25	6	1,75	5	1	25	-
14-12	43	45,4	2,4 Ps	-	-	-	-	-	-	2,36	98	0,729	4	6	1	5	2	20	6	1	5	2	20	-
14-12	45,4	47	1,6 Br	-	-	-	-	-	-	1,6	100	0,85	2	2	4	5	1	25	2	4	5	1	25	-
14-12	47	50	3 Br	-	-	-	-	-	-	2,71	90	0,432	3	8	4	5	1	25	8	4	5	1	25	-
14-12	50	53	3 Br	-	-	-	-	-	-	2,67	89	0,405	3	13	1,75	5	1	25	2	1,75	4	3	12	-
14-12	53	56	3 Br	-	-	-	-	-	-	2,86	95	0,580	2	8	1,75	5	1	25	8	1,75	5	1	25	-
14-12	56	56,2	0,2 Br	-	-	-	-	-	-	0,2	100	0,850	2	1	1,75	5	1	25	1	1,75	5	1	25	-
14-12	56,2	59	2,8 Br	-	-	-	-	-	-	2,8	100	0,850	3	12	3	5	2	20	12	3	5	2	20	-
14-12	59	62	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,76	92	0,472	4	8	1	5	1	25	8	1	5	1	25	-
14-12	62	65	3 Ps	-	-	-	-	-	-	2,58	86	0,354	3	15	3	5	2	20	15	3	5	2	20	-
14-12	65	67,4	2,4 Ps	-	-	-	-	-	-	2,4	100	0,85	2	9	1,75	5	2	20	9	1,75	5	2	20	-
14-12	67,4	68,4	1 Vel	-	-	-	-	-	-	0,82	82	0,304	2	4	1,75	3	2	20	2	1,75	4	3	12	-

Рисунок 3.41 – Фрагмент базы данных месторождения

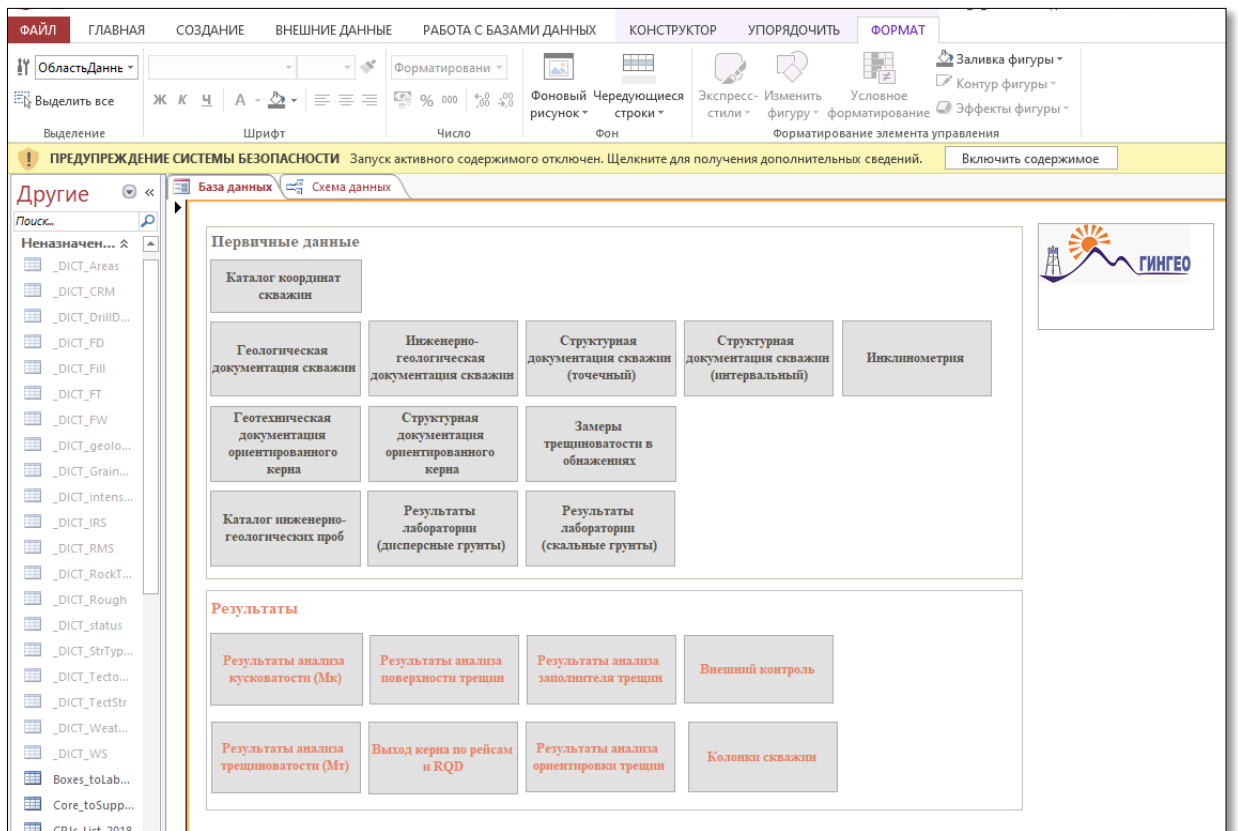


Рисунок 3.42 – Структура базы данных

*III этап. Камеральный.* Обработка данных методом классического статистического анализа качественных и количественных параметров трещиноватости массива пород, которая позволяет получать информацию как по всему месторождению, так и по выбранным профилям или горизонтам (Рисунок 3.43-3.44).

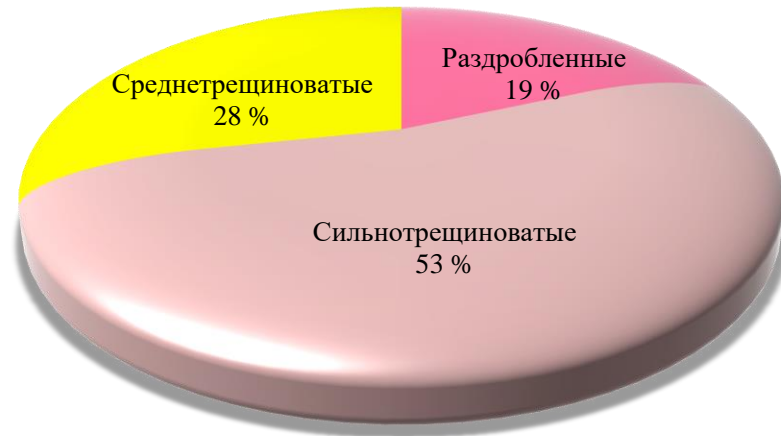


Рисунок 3.43 – Классификация пород по степени трещиноватости в массиве пород

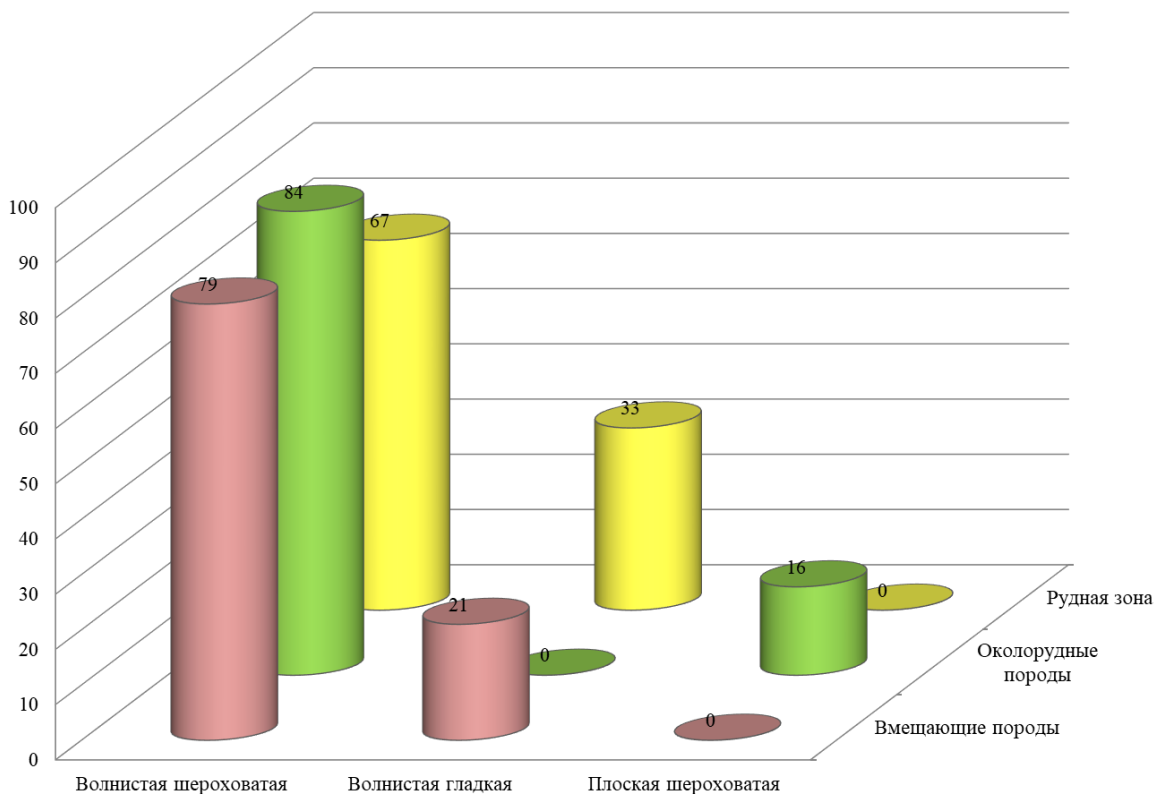


Рисунок 3.44 – Соотношение типов поверхностей открытых трещин в процентах

Автоматически производится расчет коэффициента зон ослабления (Таблица 3.22) и размера элементарного структурного блока, как по всему массиву в целом, так и по наиболее интересующим горизонтам, где проектируются горные выработки.

Таблица 3.22 – Основные показатели зон ослабления

Номер скважины	Номер профиля	Мощность вскрытых пород, м	Количество зон ослабления	Суммарная мощность зон ослабления, м	Коэффициент зон ослабления, %	Модуль зон ослабления	Средняя мощность зон ослабления, м	Среднее расстояние между поверхностями ослабления, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
285-02	285	29,1	17	6,8	23,4	0,58	0,40	1,71
285-03		60,2	54	20,7	34,4	0,90	0,38	1,11
295-02	295	39,7	19	8,4	21,2	0,48	0,44	2,09
295-04		96,8	34	8,0	8,3	0,35	0,24	2,85
295-05		103,5	20	5,6	5,4	0,19	0,28	5,18
295-06		7,7	3	0,4	5,2	0,39	0,13	2,57
295-10		100,8	31	6,8	6,7	0,31	0,22	3,25
295-11		71,3	33	43,9	61,6	0,46	1,33	2,16
310-02		310	71,2	19	5,4	7,6	0,27	0,28
310-03	85,3		31	7,8	9,1	0,36	0,25	2,75
310-04	136,0		58	21,1	15,5	0,43	0,36	2,34
310-05	159,9		88	41,7	26,1	0,55	0,47	1,82
310-06	11,0		3	2,3	20,9	0,27	0,77	3,67
320-04	320		125,0	40	18,0	14,4	0,32	0,45
320-06		15,8	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
320-07		67,1	10	3,2	4,8	0,15	0,32	6,71
320-03		112,1	41	8,9	7,9	0,37	0,22	2,73
280-01	280	21,9	21	4,7	21,5	0,96	0,22	1,04
280-02		31,6	20,0	8,2	25,9	0,63	0,41	1,58
280-03		70,1	27,0	11,5	16,4	0,39	0,43	2,60
280-04		83,5	52,0	17,2	20,6	0,62	0,33	1,61

Полученные результаты с компоновкой интервалов, характеризующихся схожими параметрами, такими как литологический состав, степень трещиноватости, прочность, количество систем трещин, заполнитель трещин, характер поверхности трещин, позволяют интегрировать данные по скважинам, а именно перевести численные параметры в графический вид для построения инженерно-геологических колонок скважин (Рисунок 3.45).

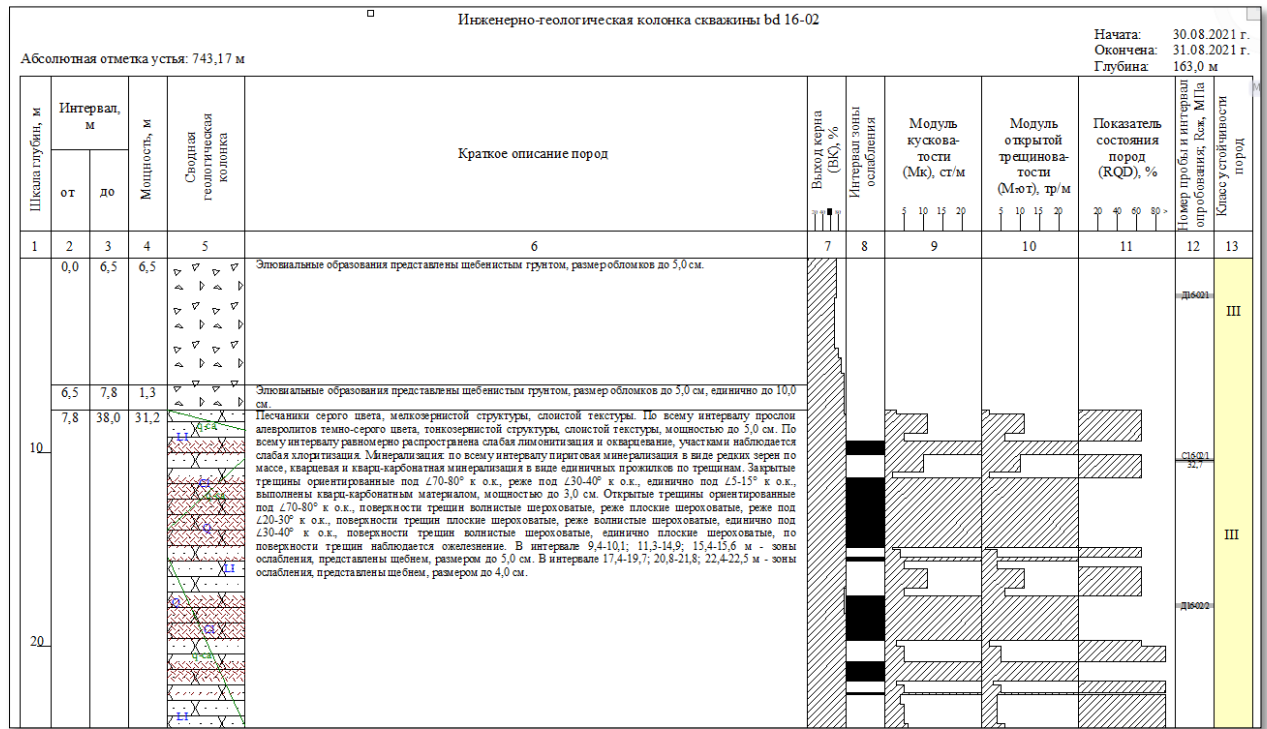


Рисунок 3.45 – Фрагмент инженерно-геологической колонки

Далее информация компоуется по профилям с графическим построением инженерно-геологических разрезов (Рисунок 3.46), которые включают в себя следующие характеристики, представленные в таблице 3.23.

Таблица 3.23 – Характеристики трещиноватости и блочности скальных пород МПИ [5]

Группа и вид показателя	Характеристика показателя	Индекс и размерность
Ориентация по отношению к оси керна		
Угол наклона к оси керна	Элементы залегания систем трещин к оси керна	$\alpha$ , град.
Количественные параметры трещиноватости		
Протяженность и величина раскрытия	Для мелких трещин средняя, предельные – для протяженных трещин	L, м, h, см
Характер минерального заполнителя	Мощность, состав и физико-механические свойства	Описание в виде характеристики, % заполнения трещины
Модуль трещиноватости	Количество трещин данной системы на 1 п.м. керна	Мт, тр/м
Модуль кусковатости	Количество кусков породы на 1 п.м. керна	Мк, кус/м
Показатель качества породы	Величина характеризующая относительное содержание столбиков керна высотой более 10 см в определенном интервале бурения	RQD, %
Удельная густота трещин	Среднее количество трещин одного направления на 1 п.м. длины изучаемого разреза	Гуд., тр/м
Коэффициент трещиноватости	Суммарная ширина всех открытых трещин на изучаемом участке разреза	Кт, %

Зоны дробления, смятия, расланцевания, напряжения		
Мощность зоны	Величина, характеризующая длину интервала керна с размерами кусков 1-5 см	мз.д., м
Коэффициент зон дробления		Кзд., д.ед.
Мощность зоны дискования	Величина, характеризующая длину интервала, в котором керн находится в виде дисков	мд.к., м



Рисунок 3.46 – Схематический разрез с оценкой степени трещиноватости массива пород

По завершению камерального этапа в среде Micromine осуществляется полный анализ и установление закономерностей степени трещиноватости с учетом конкретной специфики месторождения в плане и разрезе с возможностью построения 3D модели месторождения (Рисунок 3.47).

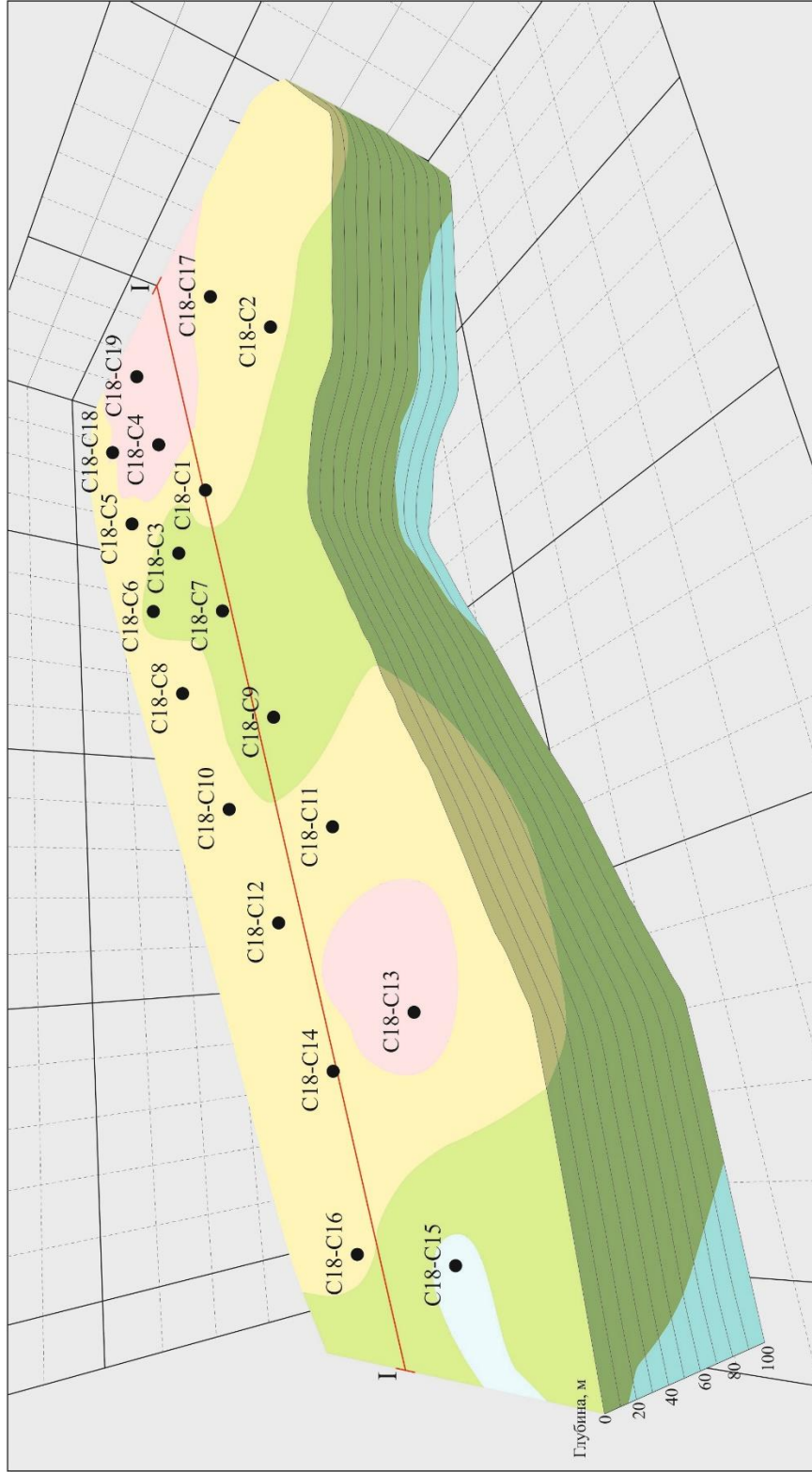


Рисунок 3.47 – Блок модель распределения пород по модулю трещиноватости в массиве

### **3.4 Характер трещиноватости массивах горных пород золото-серебряных месторождений ОЧВП**

Накопленный опыт инженерно-геологических исследований на золото-серебряных месторождениях, таких как Приморское, Невенрекан и Ирбычан, позволяет установить основные характеристики зон ослабления и степень изменения пород. Анализ проводился с использованием качественных и количественных характеристик, полученных при инженерно-геологической документации керна, которые в свою очередь рассматривают массив пород с региональных позиций и локальных факторов. Среди региональных важными являются: история геологического развития, структурно-тектонические условия ОЧВП, приуроченность месторождений к тектоническим структурам, литолого-петрографический состав пород. Среди локальных были выделены: проявление тектонических процессов более низкого порядка, а также метасоматические изменения пород непосредственно на месторождениях.

В соответствии с разработанной методикой создана логическая и иерархическая структура базы данных степени и характера трещиноватости массива пород, вскрываемых горными выработками. Последовательность решения задачи представлена выше. Здесь рассматриваются результаты вышеприведенной методики.

#### **3.4.1 Приморское месторождение**

Приморское месторождение расположено в пределах Вилигинско-Калалагинской вулканотектонической структуры, в строении которой участвуют вулканические грабены и вулканоструктуры более высоких порядков. Крупным элементом территории является Тикская кольцевая структура с центральным ядром и интрузивным обрамлением, в западной части которой расположено Приморское месторождение. В периферической части Тикской кальдеры расположен Неколчан-Калалагинский вулканический грабен.



Ограничениями Приморского месторождения являются: разломы Восточный, Центральный, Перевальный и Кривой. Разломы СЗ простирания (Восточный, Центральный) являются дорудными и разрывные нарушения этой системы часто являются рудовмещающими. Разрывные нарушения СВ простирания (Перевальный, Кривой) более молодые – синрудные и пострудные (Глава 2, Рисунок 2.4). Кинематика разрывных нарушений правостдвиговая, с амплитудами смещения блоков на сотни метров. С разрывными нарушениями этой системы связаны гидротермальные жильные образования кварцевого, родонит-кварцевого состава.

Таким образом, разрывные нарушения доминирующих СЗ и СВ систем, заложенные в фундаменте и более поздние подвижки по ним, предопределили чрезвычайно важную особенность месторождения – его блоковое строение.

Поскольку в главе 3.1 на основании анализа физико-механических свойств весь массив был разделен на 3 категории. Нами было принято решение рассмотреть степень и характер трещиноватости пород в тех же выделенных категориях: вмещающие породы; околорудные породы; рудная зона.

Анализ проводился методом классического статистического анализа, который показал, что особенности проявления тектонических процессов характерны для всего массива в целом.

Преобладающими поверхностями трещин являются волнистые шероховатые, в вмещающих породах и рудной зоне отмечаются трещины с волнистой гладкой поверхностью, а в околорудной зоне с плоской шероховатой (Рисунок 3.47).

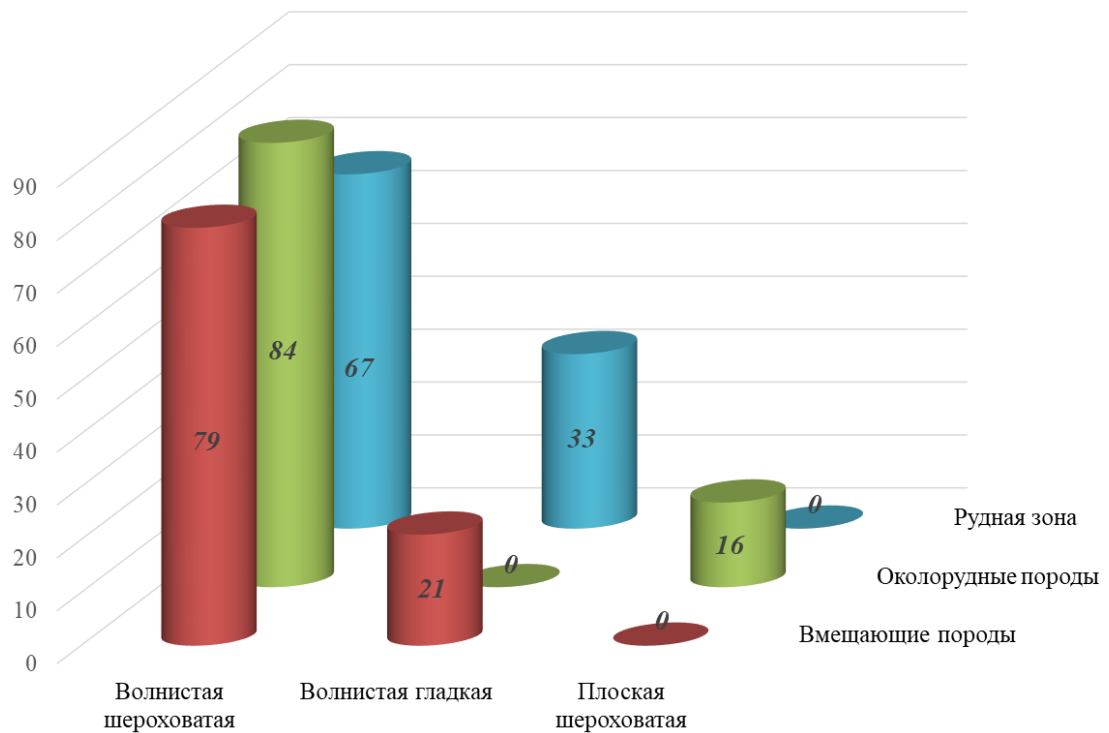


Рисунок 3.47 – Соотношение типов поверхностей открытых трещин в процентах

По отношению к оси зерна во вмещающих и околорудных породах явно не выделяется преобладающая система, в отличие от рудной зоны, для которой характерно преобладание трещин с ориентировкой  $60-90^\circ$  к оси зерна (Рисунок 3.48).

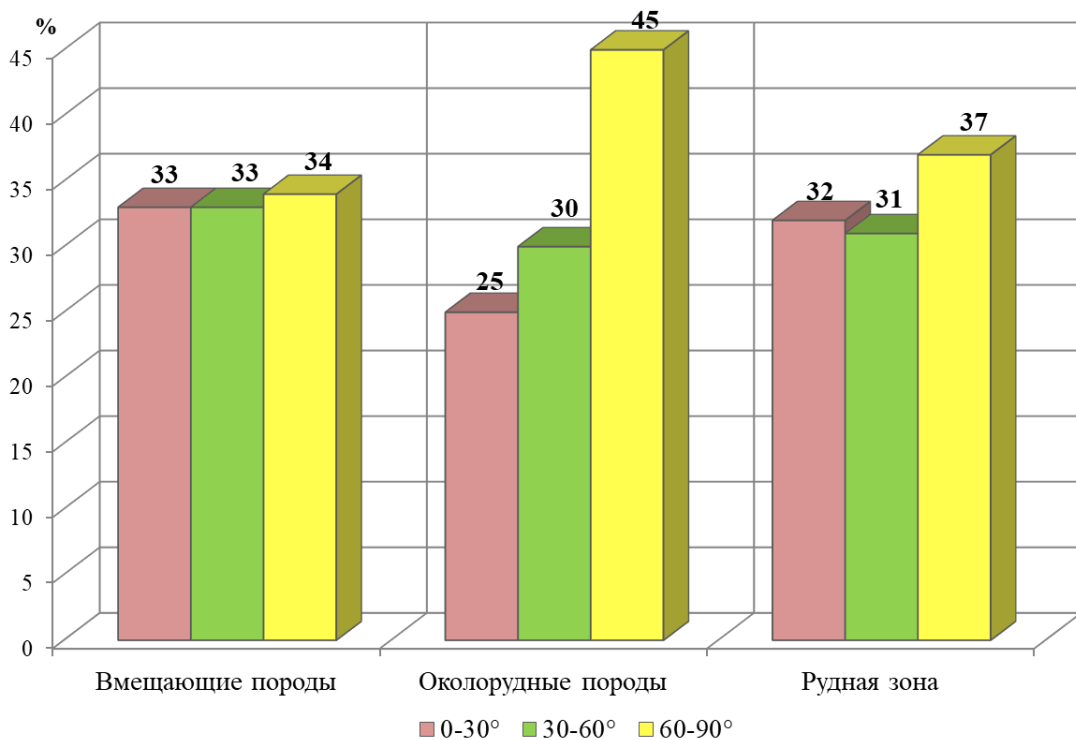
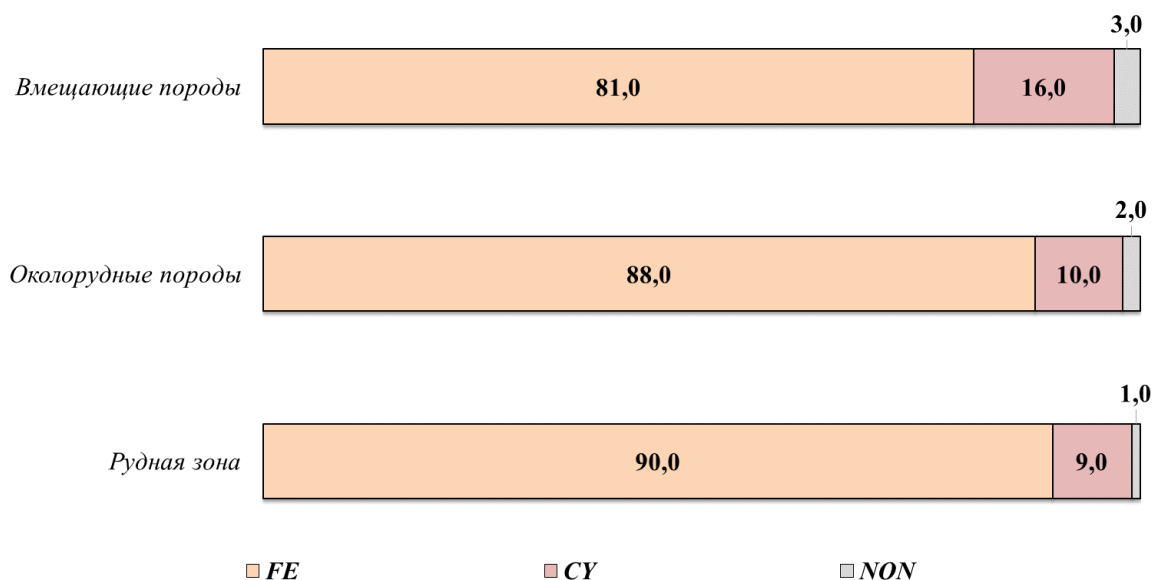


Рисунок 3.48 – Распределения ориентировки открытых трещин в процентах

Минеральный состав заполнителя открытых трещин представлен гидроокислами железа и марганца, глиной трения, встречаются трещины без заполнителя (Рисунок 3.49).



Примечание: FE – гидроокислы железа и марганца, CY – глина трения, NON – без заполнителя.

Рисунок 3.49 – Соотношение типов минерального заполнителя открытых трещин по поверхности в вмещающих породах в процентах

Таким образом, для всех выделенных категорий пород преобладающими являются волнистые шероховатые поверхности трещин, покрытые корочками гидроокислов железа (Таблица 3.24).

Таблица 3.24 – Качественные и количественные показатели трещиноватости на Приморском месторождении

Категории пород	Характер поверхности открытых трещин	Ориентировка открытых трещин	Минеральный состав заполнителя
Вмещающие породы	Волнистая шероховатая – 79% Плоская шероховатая – 21%	0-30 – 33% 30-60 – 33% 60-90 – 34%	Гидроокислы Fe* – 81% Глина трения – 16% Без заполнителя – 3%
Околорудные породы	Волнистая шероховатая – 84% Волнистая гладкая – 16%	0-30 – 25% 30-60 – 30% 60-90 – 45%	Гидроокислы Fe* – 88% Глина трения – 10% Без заполнителя – 2%
Рудная зона	Волнистая шероховатая – 67% Волнистая гладкая – 33%	0-30 – 32% 30-60 – 31% 60-90 – 37%	Гидроокислы Fe* – 90% Глина трения – 9% Без заполнителя – 1%

Примечание: Гидроокислы Fe\* – гидроокислы железа и марганца

Оценка количественных параметров степени трещиноватости проведена по инженерно-геологической документации 2500 п.м. керна. Статическая обработка проводилась на основе учета комплексных параметров Мт, Мк, RQD, количество и мощность зон ослабления.

Анализ выполнялся с учетом разработанной ВСЕГИНГЕО [51] классификации (Таблица 3.25).

Таблица 3.25 – Классификация пород по степени трещиноватости [51]

Категория пород по степени трещиноватости	Мтр, тр/м	Мк, кус/м	RQD, %	Размер элементарного структурного блока l, м	Коэффициент зон ослабления д.ед.
Слаботрещиноватые	<3	<5	>75	>0,15	<0,05
Среднетрещиноватые	3-7	5-10	50-75	0,07-0,15	0,05-0,20
Сильнотрещиноватые	7-15	10-15	25-50	0,05-0,07	0,20-0,40
Раздробленные	>15	>15	<25	<0,05	>0,40

Обобщение показателей Мт, Мк, RQD с учетом геологического строения показало, что степень трещиноватости массива пород крайне неравномерная. В разрезе отмечается чередование участков зон ослабления с породами, имеющими Мт от 3-5 до 15 тр/м, при этом RQD меняется от 80 до 20 % (Рисунок 3.50).

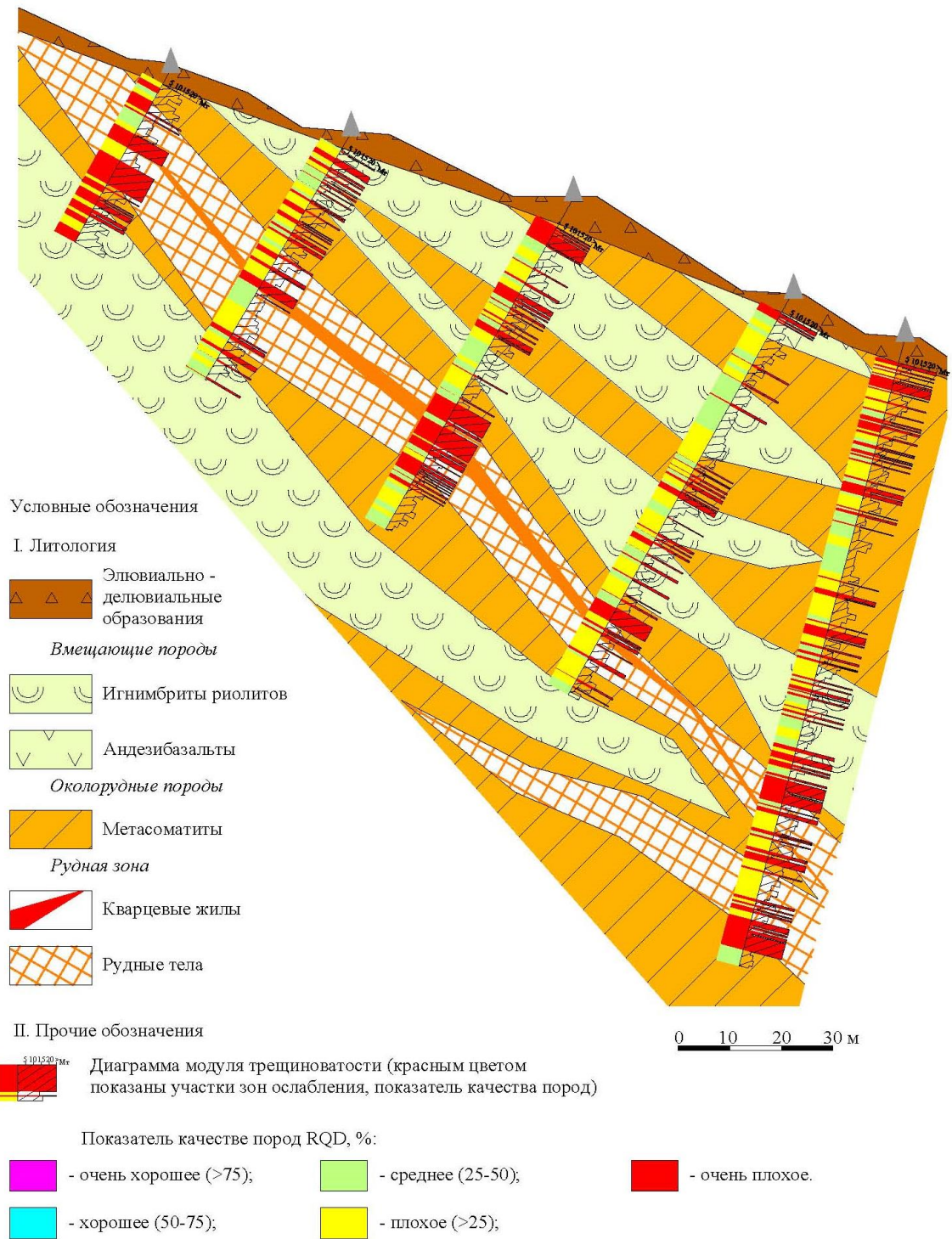


Рисунок 3.50 – Схема изменения трещиноватости пород месторождения

### Приморское

Из рисунка 3.51 видно, преобладание категории сильнотрещиноватых пород в каждом из выделенных типов пород. Наличие сильнотрещиноватых и раздробленных пород во вмещающих породах негативно скажется на устойчивость горных выработок.

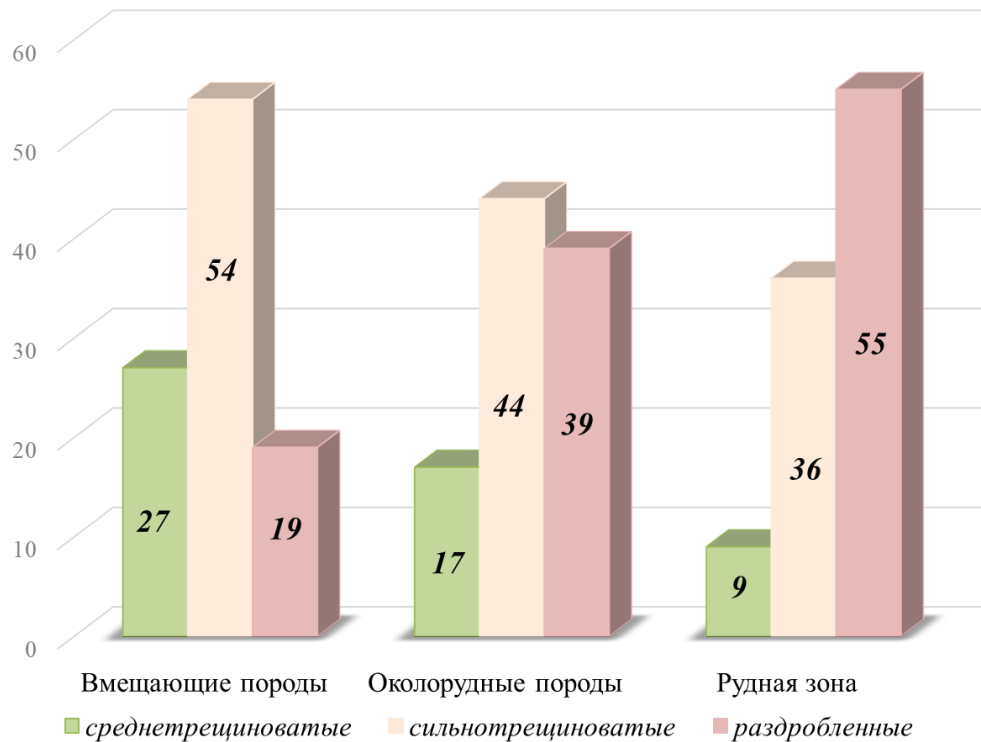


Рисунок 3.51 – Классификация пород по степени трещиноватости вмещающих пород

Изучение степени и характера трещиноватости массива пород месторождения показало, что ведущими факторами при оценке его устойчивости является значительное количество различной мощности, распространенных как по простиранию, так и по падению ослабленных зон.

Для количественной оценки зон ослабления были рассчитаны три обобщающих показателя: коэффициент зон ослабления ( $K_{осл}$ ), модуль зон ослабления ( $M_{осл}$ ) и среднее расстояние между поверхностями ослабления.

Коэффициент зон ослабления ( $K_{осл}$ ) представляет собой отношение суммарной мощности зон ослабления к вскрытой мощности разреза и рассчитывается по формуле 3.1:

$$K_{осл} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{m_0}, \text{ д.е.} \quad (3.1)$$

где:  $\sum_{i=1}^n m_i$  – суммарная мощность зон ослабления, м;

$m_i$  – мощность  $i$ -зоны, м;

$m_0$  – вскрытая мощность разреза, м.

Коэффициент зон ослабления определялся из расчета на десятиметровый интервал по каждой скважине так как предполагается что высота уступов карьера и подземные горные выработки будут составлять 8-10 метров, а далее рассчитывался суммарный модуль ослабления на весь вскрытый разрез скважины. Численно он меняется от нуля до единицы.

Модуль зоны ослабления представляет собой отношение количества зон ослабления ( $n$ ) к вскрытой мощности выделенных типов пород ( $m_0$ ) и показывает количество зон ослабления на один метр массива.

$$M_{осл} = \frac{n}{m_0}, \text{ д.е.} \quad (3.2)$$

Основные показатели зон ослабления приведены в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Основные показатели зон ослабления

Основные показатели	Вмещающие породы	Околорудные породы	Рудная зона
Мощность вскрытых скальных пород, м	1499,6	253,3	366,5
Количество зон ослабления	621,0	95,0	167,0
Суммарная мощность зон ослабления, м	250,6	38,6	99,1
Коэффициент зон ослабления, %	16,7	15,2	27,0
Модуль зон ослабления	0,41	0,38	0,46
Среднее расстояние между поверхностями ослабления, м	2,41	2,67	2,19

Анализ данных показал, что максимальное число зон ослабления характерно для вмещающих пород, для них же характерна и значительная их мощность. Во вмещающих породах зоны ослабления имеют мощность от 0,1 м до 41,7 м, при средней мощности 0,40 м. Однако максимальные значения  $K_{з.о.}$  принадлежит рудной зоне.

Причиной такой высокой степени трещиноватости и наличия зон ослабления являются тектонические нарушения развитые в пределах

месторождения. Профиль ТР-03 (Рисунок 3.52) доказывает, классический тезис, что тектонические нарушения являются источником дробления, катаклаза и милонитизации. Так скважиной ТР-03-11 была пересечена зона разлома и *Кз.о.* здесь составил 61,6 % по вмещающим породам, 50,8 % по рудной зоне и 64,0 % по околорудным породам.

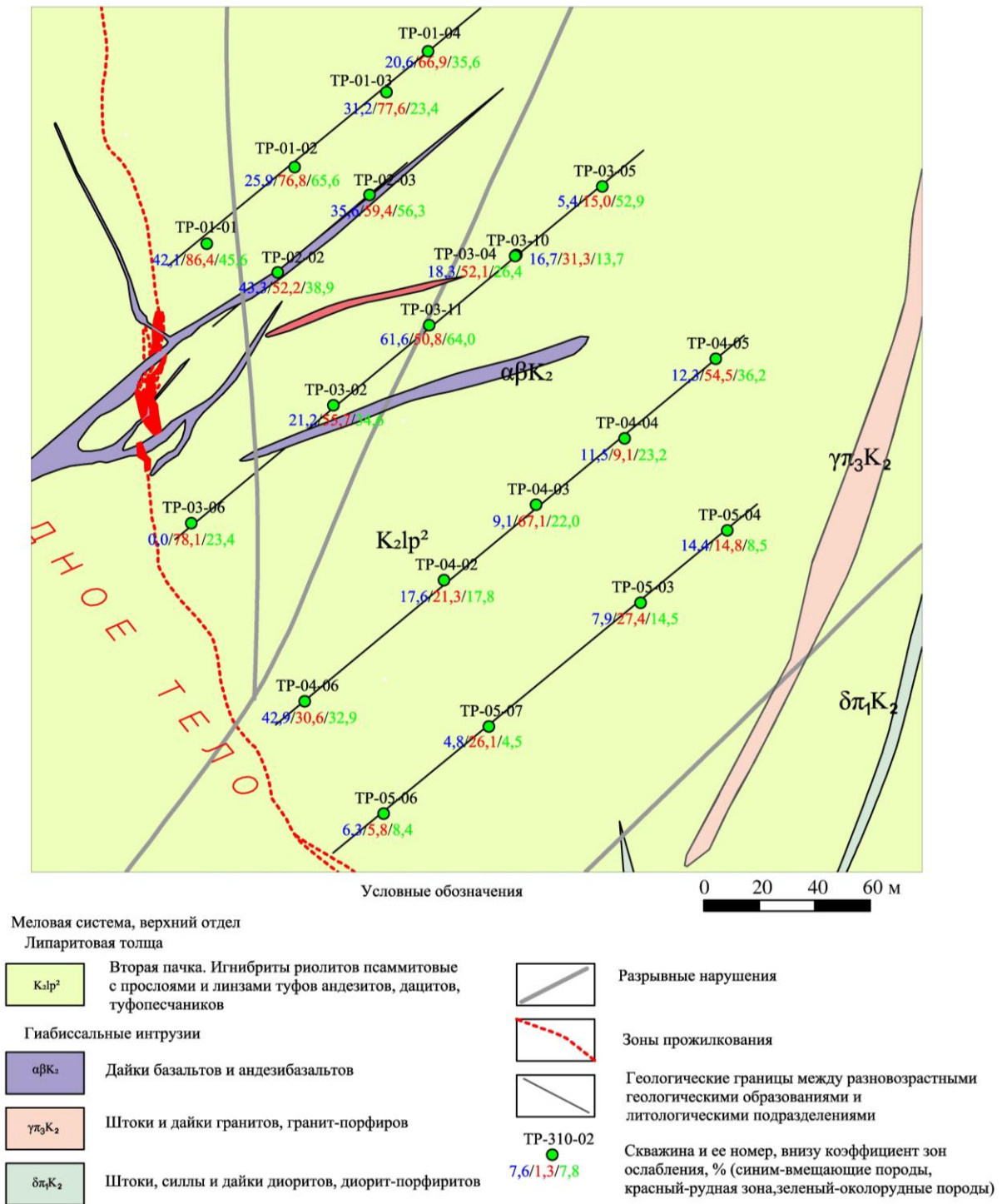


Рисунок 3.52 – Геологический план с отображением изменения коэффициента зон ослабления месторождения Приморское



Таким образом, наиболее нарушенные участки массива пород приурочены к разломным зонам и узлам их пересечения. Наименее нарушенными – приходятся на межразломные блоки.

### **3.4.2 Месторождение Невенрекан**

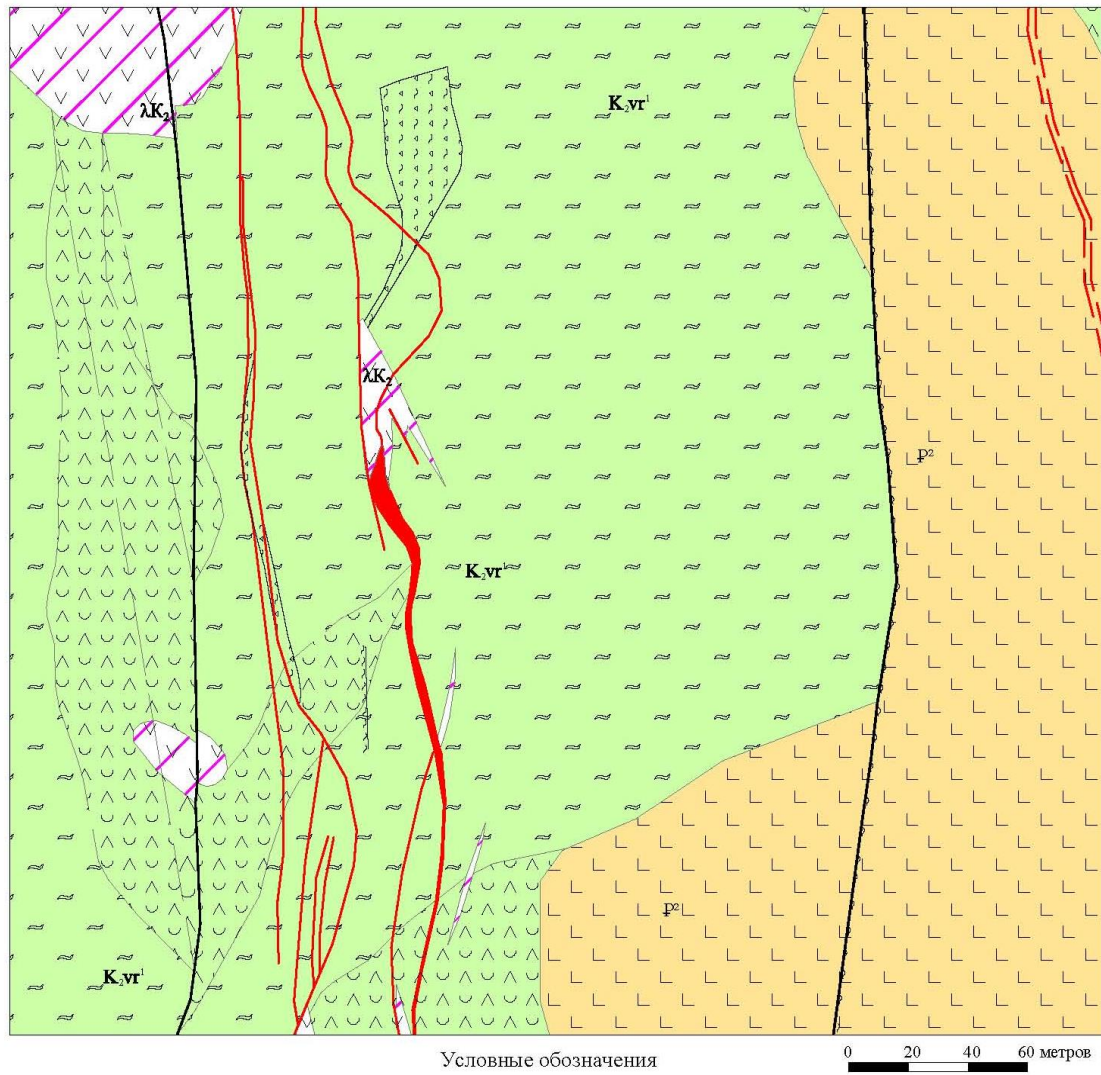
Структура рудного поля месторождения определяется его положением в пределах трех крупных структур – второго Невенреканского купола, кальдеры обрушения и частично разрушенного первого Невенреканского купола. Породы рудного поля залегают с общим падением на восток, северо-восток. Элементы залегания пород отличают сильные вариации.

Месторождение находится в зоне Доктомычанского разлома в его юго-восточном блоке, непосредственно примыкая к зоне разлома. Установленные в пределах месторождения разрывные нарушения северо-восточного, восток – северо-восточного простирания являются оперяющими Доктомычанского разлома (Рисунок 3.53).

По разломам (Глава 2, Рисунок 2.5) в мелу происходили смещения с амплитудой, достигающей несколько сотен метров. Дуговой разлом северо-восточного ограничения прибрежной интрузивно-купольной структуры пересекает верховье р. Хатанджи, ручьи Базальтовый, Перекатный, проходит по долине р. Северный, правому борту р. Вархалам, вертикальные перемещения по нему составляли не менее 500 м. В пределах месторождения широко развиты полукольцевые, дуговые и радиальные разрывные нарушения, связанные с образованием куполов и кальдеры обрушения. Амплитуды перемещений не превышают нескольких десятков метров. В ряде случаев эти разрывные нарушения и трещины контролируют размещение оруденелых кварцевых жил, зон прожилкового окварцевания и метасоматического изменения пород. Подновление нарушений происходило в палеогене.

Таким образом, длительная история формирования массива пород месторождения разновременность и различная направленность проявления

тектонических процессов способствовало формированию участков с разной степенью трещиноватости от среднетрещиноватых до раздробленных.



- Условные обозначения
- |  |  |  |
|--|--|--|
| <p>I. Литология</p> <p>Палеогеновая система</p> <p>Верхняя толща (P<sup>2</sup>).<br/>Афировые, мелкопорфировые базальты и их шлаки</p>  |  | <p>Субвулканические образования</p> <p>Позднемеловой комплекс (AK<sub>2</sub>)</p> <p>Андезиты</p> |
| <p>Меловая система</p> <p>Вархаламская толща. Нижняя подтолща (K.vr<sup>1</sup>).</p> <p>Игнибриты риолитов</p> <p>Туфы дацитов</p>  |  | <p>Кварцевые жилы (а), их развалы (б) и зоны прожилкования</p>                                     |
| <p>II. Прочие обозначения</p> <p>Разрывные нарушения: а) установленные, б) предполагаемые</p> <p>Зоны тектонических нарушений зоны дробления (а), зоны милонитизации и расланцевания (б)</p> <p>Геологические границы: установленные (а), предполагаемые (б)</p> |  |  |

Рисунок 3.53 – Геологический план месторождения Невенрекан

Рассматривая выделенные нами три группы пород, представленные разными петрографическими типами пород, были установлены следующие закономерности.

По качественным показателям – характер поверхности трещин, угол наклона трещин к оси керна, минеральный состав (Рисунки 3.54-3.56).

Преобладающими поверхностями трещин являются волнистые шероховаты (Рисунок 3.54).

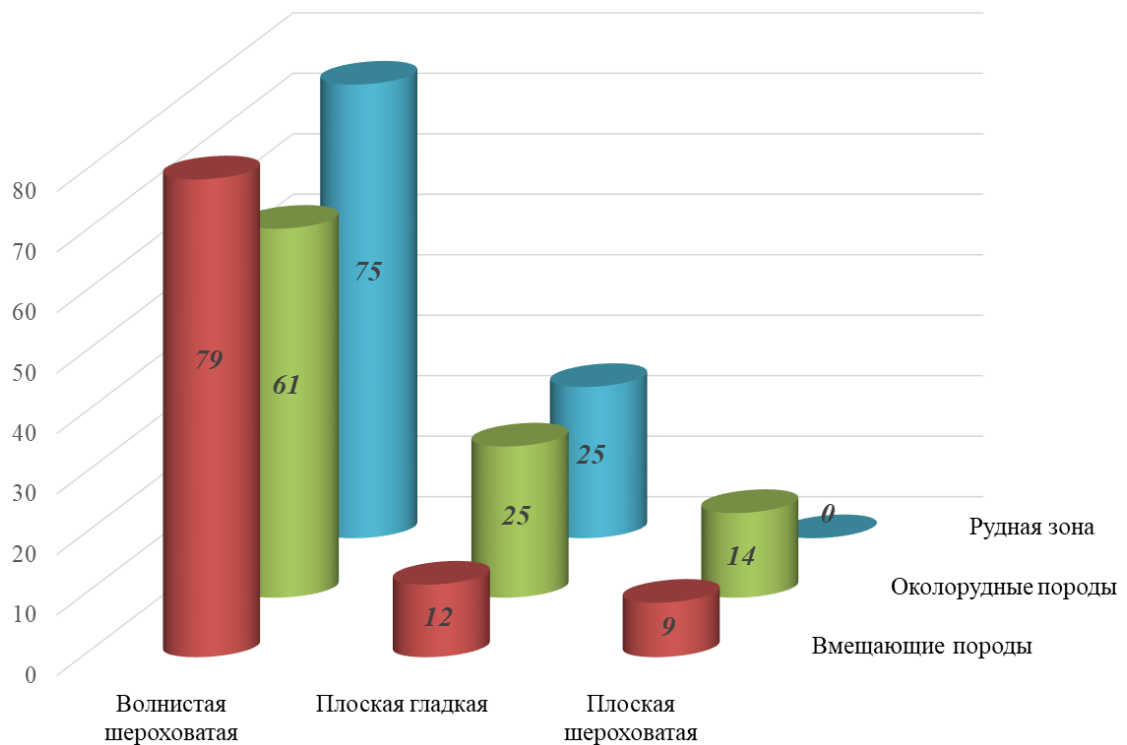


Рисунок 3.54 – Соотношение типов поверхностей открытых трещин в процентах

По отношению к оси керна во всех группах пород основными системами трещин являются  $30-60^\circ$  и  $60-90^\circ$  (Рисунок 3.55).

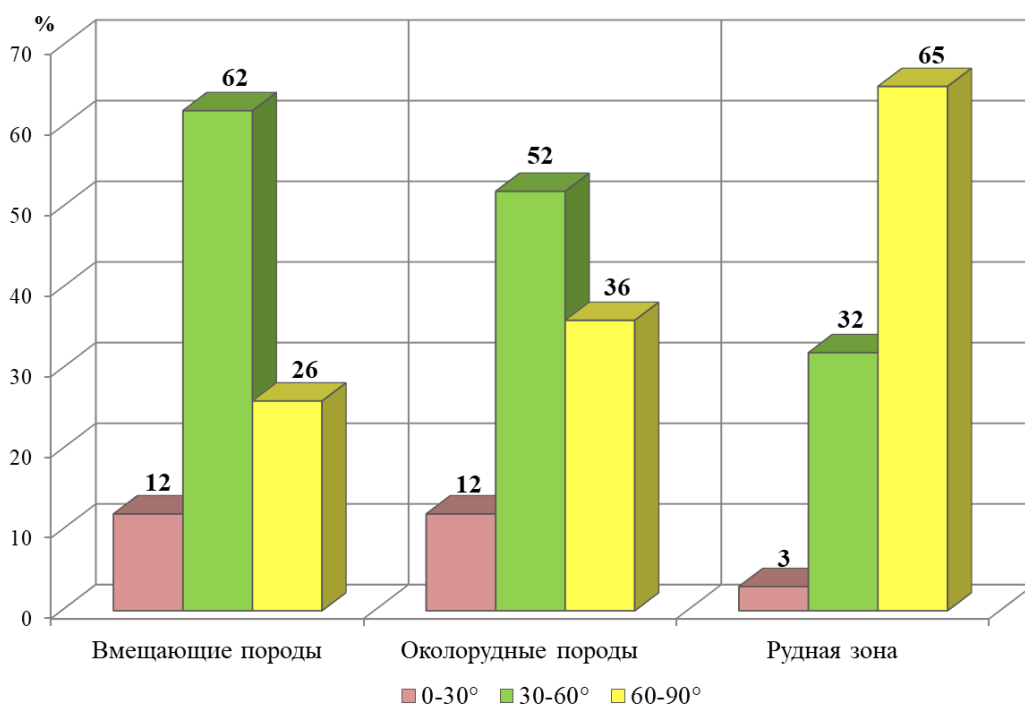
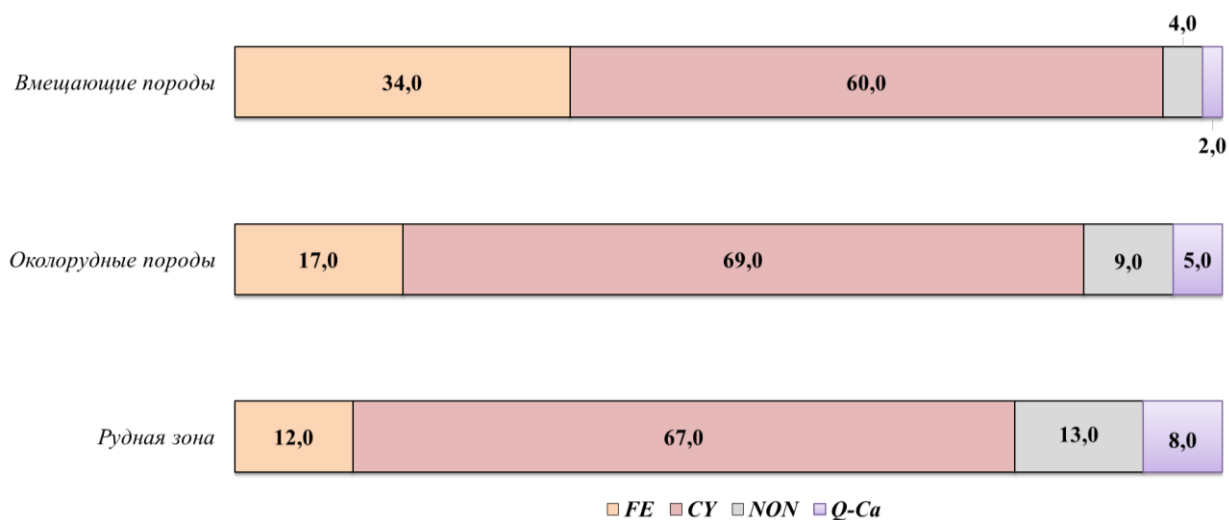


Рисунок 3.55 – Распределения ориентировки открытых трещин в процентах

Минеральный состав заполнителя открытых трещин довольно разнообразен и представлен гидроокислами железа, глиной трения, корочками кварц-карбонатного состава, встречаются трещины без заполнителя (Рисунок 3.56).



Примечание: FE – окислы железа и марганца, CY – глина трения, NON – без заполнителя, Q-Ca – кварц-карбонатный материал

Рисунок 3.56 – Соотношение типов минерального заполнителя открытых трещин по поверхности в вмещающих породах в процентах

Преобладающими поверхностями трещин являются волнистые шероховатые, с глиной трения (Таблица 3.27).

Таблица 3.27 – Качественные показатели трещиноватости на месторождении Невенрекан

Категории пород	Характер поверхности открытых трещин	Ориентировка открытых трещин	Минеральный состав заполнителя
Вмещающие породы	Волнистая шероховатая – 79% Плоская гладкая – 12% Волнистая гладкая – 9%	0-30 – 12% 30-60 – 62% 60-90 – 26%	Глина трения – 60% Гидроокислы Fe – 34% Без заполнителя – 4% Кварц-карбонат – 2%
Околорудные породы	Волнистая шероховатая – 61% Плоская гладкая – 25% Плоская шероховатая – 14%	0-30 – 12% 30-60 – 52% 60-90 – 36%	Глина трения – 69% Гидроокислы Fe – 17% Кварц-карбонат – 9% Без заполнителя – 5%
Рудная зона	Волнистая шероховатая – 75% Плоская шероховатая – 25%	0-30 – 3% 30-60 – 32% 60-90 – 65%	Глина трения – 67% Без заполнителя – 13% Гидроокислы Fe – 12% Кварц-карбонат – 8%

*Примечание: Гидроокислы Fe\* – гидроокислы железа и марганца*

Статистическая обработка показала, что во всех выделенных группах пород основным заполнителем трещин является дисперсный материал, он покрывает поверхности трещин, либо образует рыхлую землистую массу мощностью от 1 до 2 см.

Сопоставление заполнителей трещин для групп пород можно объяснить едиными условиями проявления тектонических и метасоматических процессов.

Все породы, слагающие месторождение в той или иной степени трещиноваты. На месторождении выделяются 3 категории по степени трещиноватости от средне – сильнотрещиноватых до раздробленных, причем преобладающими являются сильнотрещиноватые и раздробленные породы (Рисунок 3.57, 3.58). Как показал статистический анализ наиболее раздробленными являются рудная зона.

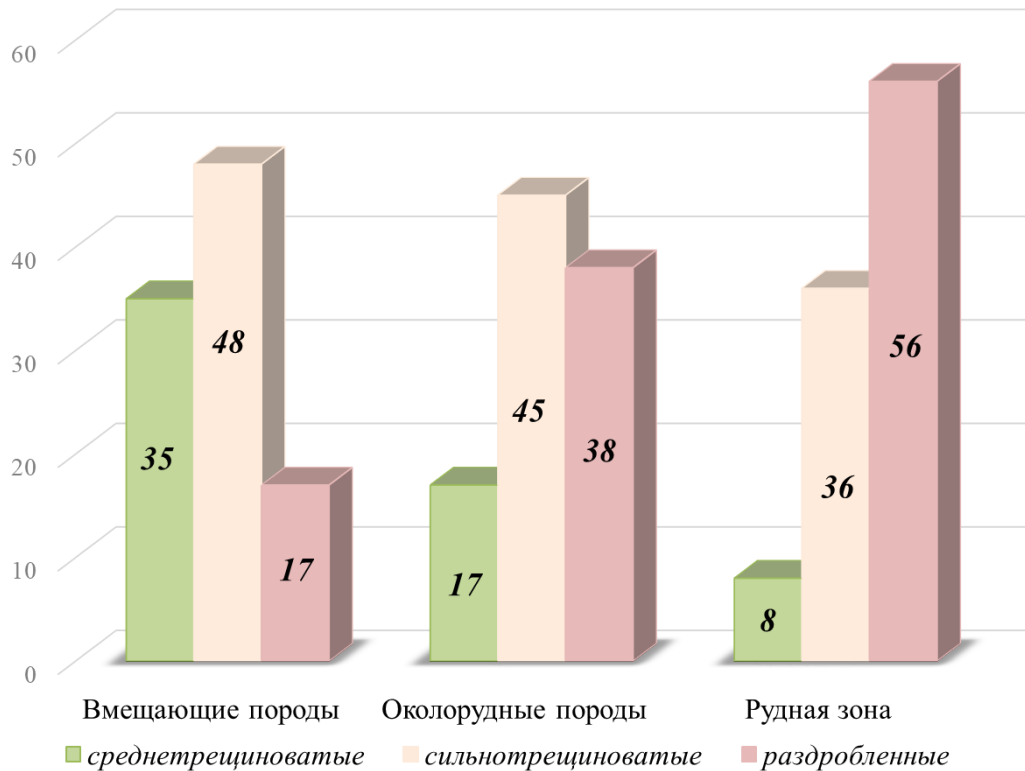


Рисунок 3.57 – Классификация пород по степени трещиноватости

Многостадийность тектогенеза автоматически приводит к формированию тектонических блоков соответствующих уровней. При этом необходимо отметить, что дорудные и синрудные нарушения, как правило, залечены при рудообразовании и их влияние на устойчивость горных сооружений минимально. Пострудные тектонические нарушения обязательно сопровождаются зонами дробления, милонитизации и ослабления. Наличие таких участков является причиной слабой устойчивости стенок и бортов горных сооружений. В результате развития таких процессов, как вывалообразование, либо скольжение отдельных блоков по слабым поверхностям. Породы, испытавшие влияние тектонических воздействий с некоторой долей условности можно разделить на ряд зон, которые по интенсивности проявления тектонических воздействий названы:

- 1) зонами ослабления – породы разрушены до состояния щебня, либо дресвы с супесчаным или суглинистым заполнителем;
- 2) зонами сильнотрещиноватых пород, здесь  $Mn$  изменяется от 7 до 15 тр/м с коэффициентом зон ослабления ( $K_{осл}$ ) от 0,2 до 0,4 д.е.

Для достоверной количественной оценки степени трещиноватости массива пород и наличия зон ослабления при бессистемном их чередовании с участками среднетрещиноватых пород были рассчитаны три обобщающих показателя: коэффициент зон ослабления (*Косл*), модуль зон ослабления (*Мосл*) и среднее расстояние между поверхностями ослабления.

Характер изменения зон ослабления с глубиной отражен на рисунке 3.58, откуда видно, что массив насыщен зонами ослабления различной мощности, максимальные значения средней мощности зон ослабления характерно для околорудных пород 0,83 м. Максимальное количество зон ослабления характерно для вмещающих пород – 508,0 м, но они характеризуются наименьшим значением средней мощности – 0,64 м. Коэффициент зоны ослабления достигает максимальных значений в рудной зоне – 27,7% (Таблица 3.28). Породы в зонах ослабления, представлены дресвой с супесчаными или суглинистыми заполнителями, либо щебнем с супесчаным заполнителем.

Таблица 3.28 – Основные показатели зон ослабления

Основные показатели	Вмещающие породы	Околорудные породы	Рудная зона
Мощность вскрытых скальных пород, м	1550,3	159,6	808,0
Количество зон ослабления	508,0	35,0	310,0
Суммарная мощность зон ослабления, м	323,1	29,1	223,8
Коэффициент зон ослабления, %	20,9	18,2	27,7
Модуль зон ослабления	0,33	0,22	0,38
Среднее расстояние между поверхностями ослабления, м	3,05	4,56	2,61

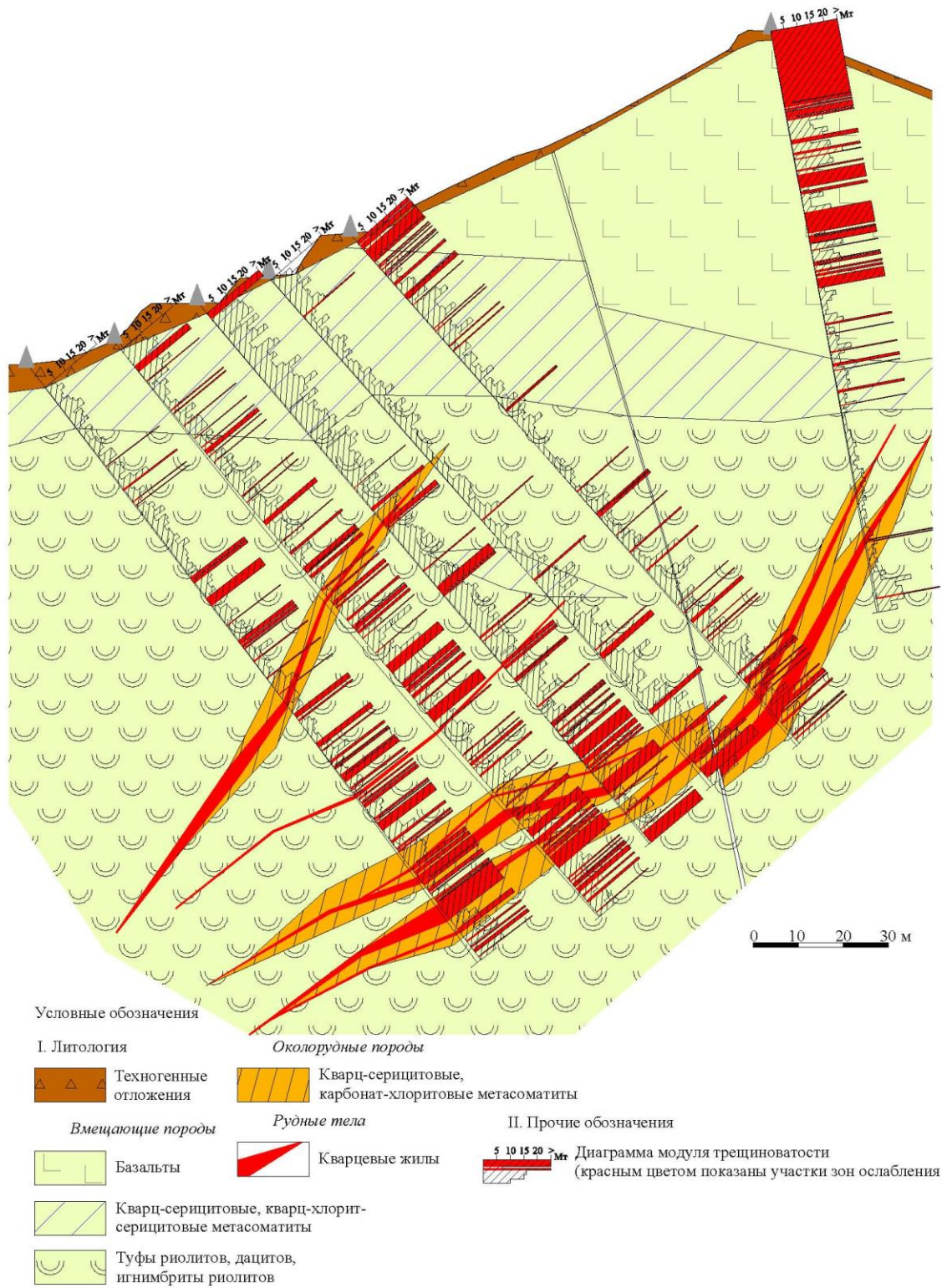


Рисунок 3.58 –Схема изменения трещиноватости пород месторождения Невенрекан



### 3.4.3 Месторождение Ирбычан

Геолого-структурная позиция Ирбычанского месторождения определяется приуроченностью его к юго-западному крылу Ирбычанской брахиантиклинали, в ядре которой вскрываются терригенно-карбонатные образования нижнего карбона.

В зоне сочленения ветвей Хивачского и Доктомычанского разломов (Глава 2. Рисунок 2.7), раскалывающих брахиантиклиналь на отдельные крупные блоки, сформировалась Хивгичанская кольцевая кальдера (Белоглазов, 1978).

Согласно данным геологов [139, 143, 136] в процессе вулканической деятельности на месторождении проявилась интенсивная тектоника в условиях общей просадки пород в пределах структуры (поля напряжений, растяжений и сжатия), результатом которой явилась система многочисленных трещин скола, отрыва, а также комбинированных сбросового характера.

По положению в пространстве выделяются 3 системы трещин: субширотного простирания ( $70-90^\circ$ ), северо-восточного простирания ( $20-45^\circ$ ), субмеридионального простирания. По времени образования системы трещин подразделяются на дорудные, синрудные и пострудные. Наличие крупных и мелких тектонических нарушений сформировали значительные по размерам зоны дробления. Проявление метасоматоза привело к образованию по поверхности трещин минералов, ухудшающих состояние массива пород, что также способствовало формированию зон ослабления.

Изучение степени и характера трещиноватости массива пород проводилось по предварительно рассмотренной методике. Всего было обработано 1526,3 п.м. керна.

Выполненный анализ позволил получить следующие характеристики (Таблица 3.29).

Таблица 3.29 – Качественные показатели трещиноватости на месторождении Ирбычан

Категории пород	Характер поверхности открытых трещин	Ориентировка открытых трещин	Минеральный состав заполнителя
Вмещающие породы	Волнистая шероховатая – 52% Ступенчатая шероховатая – 48%	0-30 – 6% 30-60 – 22% 60-90 – 72%	Гидроокислы Fe – 57% Без заполнителя – 37% Глинка трения – 6%
Околорудные породы	Волнистая шероховатая – 66% Ступенчатая шероховатая – 34%	0-30 – 5% 30-60 – 18% 60-90 – 77%	Без заполнителя – 63% Гидроокислы Fe – 30% Глинка трения – 7%
Рудная зона	Волнистая шероховатая – 79% Ступенчатая шероховатая – 21%	0-30 – 4% 30-60 – 20% 60-90 – 76%	Без заполнителя – 43% Гидроокислы Fe – 45% Глинка трения – 12%

Примечание: *Гидроокислы Fe\** – гидроокислы железа и марганца

Таким образом, преобладающими поверхностями трещин являются волнистые шероховатые, без заполнителя.

Прежде чем перейти к инженерно-геологическому анализу интенсивности трещиноватости массива пород необходимо отметить, что для него характерно наличие участков пород не только с различной степенью трещиноватости, но и с различной степенью метасоматического изменения. Породы в таких участках могут быть представлены обломками вмещающих пород и руд в виде дресвы и щебня, часто малопрочных, легко ломающихся руками (Рисунок 3.59), а могут быть представлены столбиками длиной до 10-15 см, характеризующимися интенсивной проработкой, покрытых серией микротрещин, заполненных каолинитом, гидрослюдой, которые при взаимодействии с водой размокают (Рисунок 3.60). Такие интервалы отнесены нами к зонам ослабления (Таблица 3.30).







Рисунок 3.59 – Зона ослабления, представленная дресвой и малопрочным щебнем



образец до опыта по водонасыщению      образец после опыта по водонасыщению  
Рисунок 3.60 – Водонасыщение образца (проба размокла в течение 6 часов)

Таблица 3.30 – Характер зон ослабления в массиве пород месторождения Ирбычан

Интервал	Фотография интервала зоны ослабления	Описание
74,5-74,8		Щебень и дресва с супесчаным заполнителем, обломки представленные туфами риолитовыми
68,0-68,3		Щебень с супесчаным заполнителем, щебень представлен туфами риолитовыми
103,7-105,5		Дресва и щебень сцементированы суглинистым заполнителем, обломки представлены тектоническими брекчиями
43,7-46,7		Дресва с включениями щебня до 10 %, с суглинистым заполнителем, обломки представлены туфами риолитов
70,0-72,5		Щебень с включениями дресвы до 40 %, с супесчаным заполнителем, обломки туфов при усилии ломаются
77,6-80,2		Щебень с включениями дресвы до 40 %, с супесчаным заполнителем, обломки туфов при усилии ломаются

Обобщение показателей  $M_t$ ,  $M_k$ , RQD с учетом геологического строения показало, что степень трещиноватости массива пород изучаемого месторождения крайне неравномерная. В разрезе отмечается чередование участков зон ослабления с породами, имеющими  $M_t$  от 3-5 до 15 тр/м, при этом RQD меняется от 80 до 20 %.

Статистическая обработка данных  $M_t$ ,  $M_k$ , RQD показала, что в массиве пород преобладает категория раздробленных, на их долю приходится 52,7 %, категория сильнотрещиноватых составляет 37,6 % и категория среднетрещиноватых – 9,7 %, а слаботрещиноватые породы вообще отсутствуют (Рисунок 3.61).



Рисунок 3.61 – Классификация пород по  $M_t$  (слева) и RQD (справа) в массиве месторождения Ирбычан

Наиболее трещиноватыми и раздробленными являются рудные тела (кварцевые жилы и зоны их эндо- и экзоконтактов) (Таблица 3.31). Рассматривая соотношение категорий пород по степени трещиноватости можно сказать, что вмещающие, околорудные породы и рудная зона сложены преимущественно раздробленными (Рисунок 3.62).

Таблица 3.31 – Соотношение разных классов пород по степени трещиноватости в массиве пород месторождения Ирбычан

Структурные элементы	Соотношение категорий пород						
	по степени трещиноватости, %			по состоянию пород (RQD), %			
	раздробленные	сильно-трещиноватые	средне-трещиноватые	очень плохое	плохое	среднее	хорошее
Вмещающие породы	49	43	8	48	36	15	1
Околорудные породы	49	34	17	44	16	38	2
Рудная зона	65	27	8	65	15	19	1

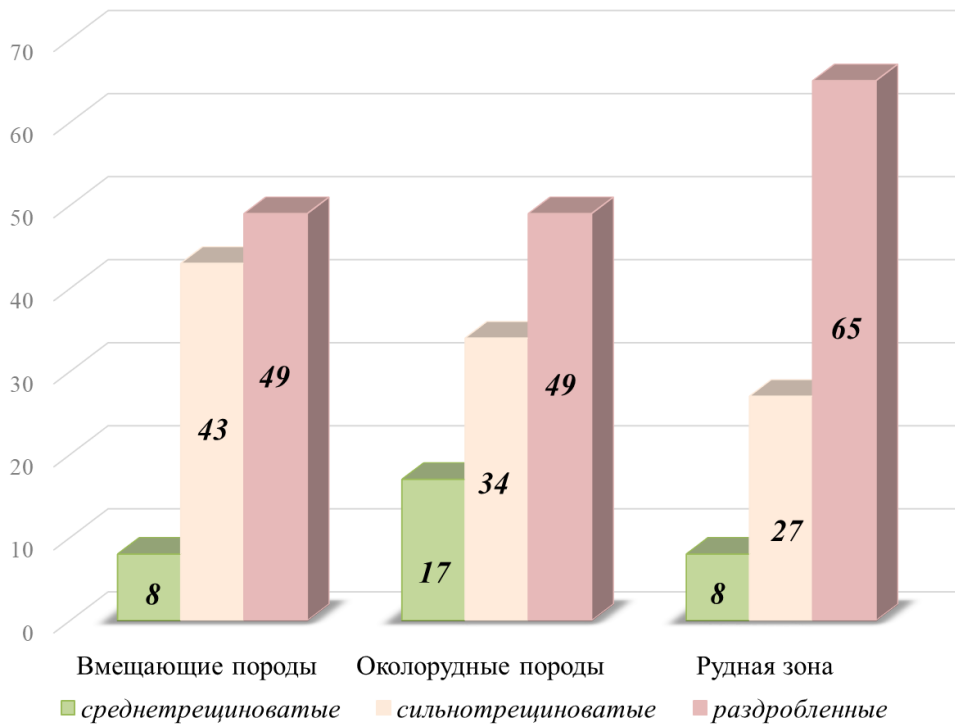


Рисунок 3.62 – Распределение пород по степени трещиноватости в вмещающих, околорудных породах и рудной зоне

Рассматривая характер развития зон ослабления в массиве пород месторождения необходимо отметить, что максимальное число вскрытых зон ослабления в вмещающих породах (152,0) и в рудной зоне (140,0). Им же, как правило, и отвечают максимальные суммарные мощности в вмещающих породах равные 241,4 м, в рудной зоне 290,2 м. Однако значения

коэффициента зон ослабления в околорудных и вмещающих породах близки, наибольшее значение в рудной зоне – 60,6%. (Таблица 3.32).

Таблица 3.32 – Основные показатели зон ослабления

Основные показатели	Вмещающие породы	Околорудные породы	Рудная зона
Мощность вскрытых скальных пород, м	546,7	338,5	479,0
Количество зон ослабления	152,0	60,0	140,0
Суммарная мощность зон ослабления, м	241,4	142,8	290,2
Коэффициент зон ослабления, %	44,2	42,2	60,6
Модуль зон ослабления	0,28	0,18	0,29
Среднее расстояние между поверхностями ослабления, м	3,60	5,64	3,42

С целью уточнения распределения зон ослабления и коэффициента, характеризующих эти параметры, были вынесены на разрезы модули трещиноватости (Рисунок 3.63) и построена карта с изолиниями коэффициента зон ослабления (Рисунок 3.64). На разрезах хорошо видно, что ослабленные зоны развиты во всех типах пород и на всю глубину вскрытого разреза и их образование связано не только с тектонической деятельностью.

На карте видно, что практически вся территория месторождения находится в массиве раздробленных пород. В Северной части профилей II+50, III, III+50 породы приурочены к сильнотрещиноватым и в Центральной части от профиля II до II+50.

Сравнительная характера и степени трещиноватости горных пород по рассмотренным месторождениям приведена в таблице 3.33.

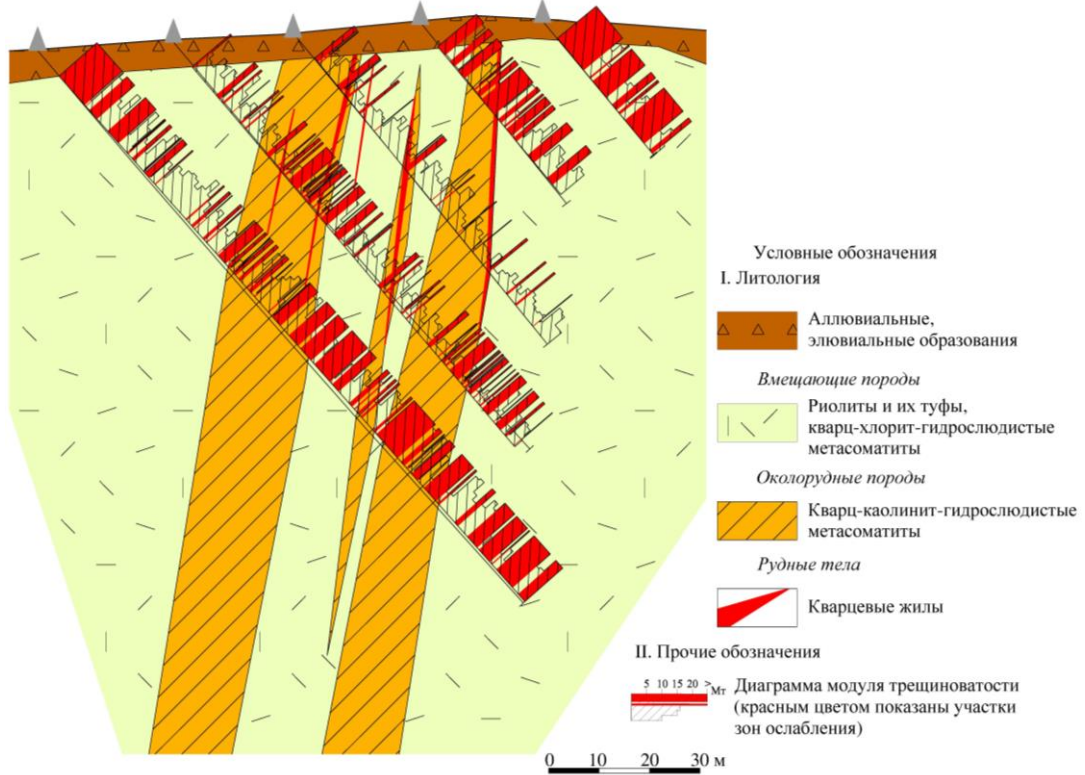


Рисунок 3.63 – Схема изменения трещиноватости пород месторождения Ирбычан

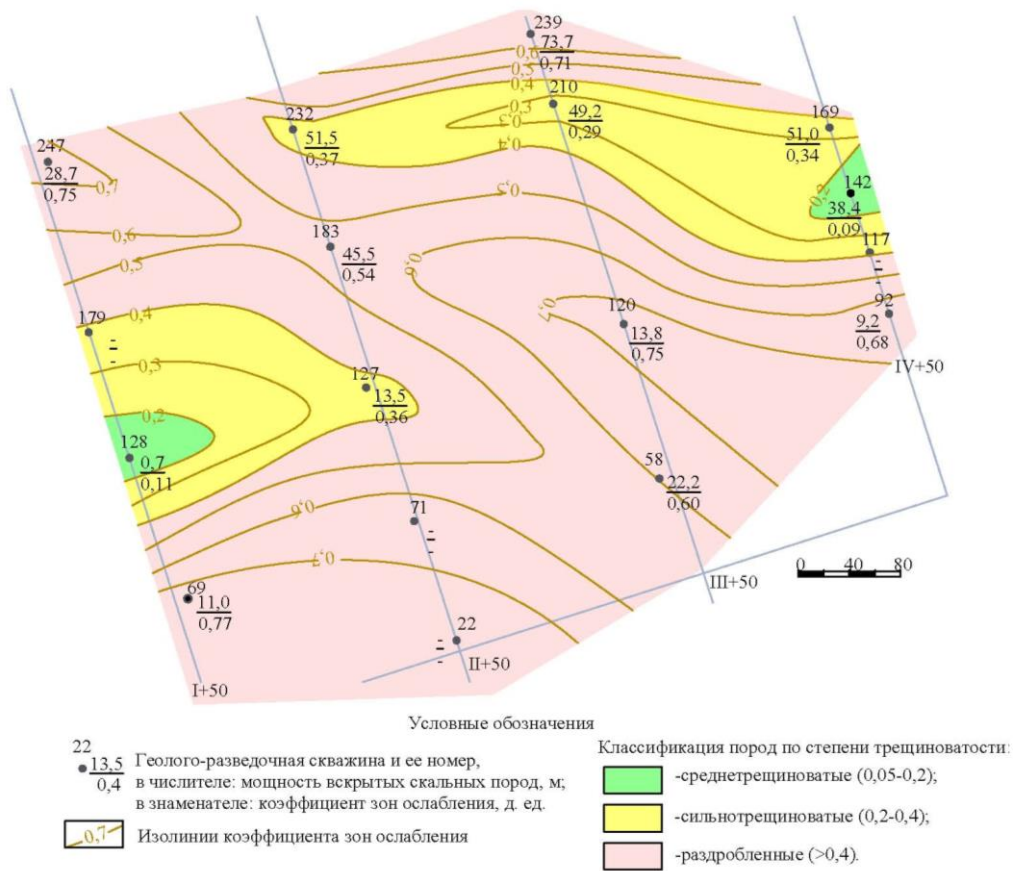


Рисунок 3.64 – Схема изолиний коэффициента зон ослабления, проекция на дневную поверхность

Таблица 3.33 – Качественные и количественные показатели трещиноватости месторождений

	Приморское месторождение					Месторождение Невенрекан					Месторождение Ирбычан				
	Характер поверхности открытых трещин	Минеральный состав заполнителя	Степень трещиноватости массива	Количество зон ослабления	Коэффициент зон ослабления, %	Характер поверхности открытых трещин	Минеральный состав заполнителя	Степень трещиноватости массива	Количество зон ослабления	Коэффициент зон ослабления	Характер поверхности открытых трещин	Минеральный состав заполнителя	Степень трещиноватости массива	Количество зон ослабления	Коэффициент зон ослабления
Вмещающие породы	В.ш. – 79% В.г. – 21%	Fe – 81% Су – 16% Non – 3%	Сил. – 54% Ср. – 27% Р/др – 19%	621	16,7	В.ш. – 79% П.г. – 12% П.ш. – 9%	Су – 60% Fe – 34% Non – 4% Q-Са – 2%	Сил. – 48% Ср. – 35% Р/др – 17%	508	20,9	В.ш. – 52% С.ш. – 48%	Fe – 57% Non – 37% Су – 6%	Р/др – 48% Сил. – 43% Ср. – 8%	152	44,2
Околорудные породы	В.ш. – 84% П.ш. – 16%	Fe – 88% Су – 10% Non – 2%	Сил. – 44% Р/др – 39% Ср. – 17%	95	15,2	В.ш. – 61% П.г. – 25% П.ш. – 14%	Су – 69% Fe – 17% Q-Са – 9% Non – 5%	Сил. – 45% Р/др – 38% Ср. – 17%	35	18,2	В.ш. – 66% С.ш. – 34%	Non – 63% Fe – 30% Су – 7%	Р/др – 49% Сил. – 34% Ср. – 17%	60	42,2
Рудная зона	В.ш. – 67% В.г. – 33%	Fe – 90% Су – 9% Non – 1%	Р/др – 55% Сил. – 36% Ср. – 9%	167	27,0	В.ш. – 75% П.ш. – 25%	Су – 67% Non – 13% Fe – 12% Q-Са – 8%	Р/др – 56% Сил. – 36% Ср. – 8%	310	27,7	В.ш. – 79% С.ш. – 21%	Non – 43% Fe – 45% Су – 12%	Р/др – 65% Сил. – 27% Ср. – 8%	140	60,6

Примечание: П.г. – плоская гладкая; П.ш. – плоская шероховатая; В.г. – волнистая гладкая; В.ш. – волнистая шероховатая; С.ш. – ступенчатая шероховатая; Fe – гидроокислы железа и марганца, Су – глина трения, Non – без заполнителя, Q-Са – кварц-карбонат; Ср. – среднетрещиноватые, Сил. – сильнотрещиноватые, Р/др. – раздробленные.



### **3.5 Мерзлотно-гидрогеологические условия золото-серебряных месторождений ОЧВП**

Как указывалось ранее, ОЧВП испытал три крупных климатических и геокриологических ритмов. В периоды которых формировались толщи многолетнемерзлых пород (ММП). Огромное влияние на закономерности распространения ММП месторождений оказывают их географическое, гипсометрическое положение и наличие крупных или мелких водотоков.

Исследования, выполненные на месторождениях, позволили установить основные закономерности распространения, мощности и криогенного строения мерзлых пород. Результаты исследований опираются на материалы дистанционного зондирования Земли (ландшафтная криоиндикация космоснимков Landsat), так и на фактическом материале, включающем в себя термометрические наблюдения в скважинах и инженерно-геологическую документацию керна.

#### **3.5.1 Месторождение Приморское**

Месторождение расположено на абсолютных отметках 740-800 м (среднегорье) в области умеренного пояса.

Анализ результатов дешифрирования мультиспектральных снимков Landsat-7 ландшафтно-криоиндикационным методом позволил выделить в пределах района расположения месторождения следующие классы:

- с №1 по №8 соответствуют участкам распространения многолетнемерзлых пород с поверхности;
- с №9 по №15 соответствуют участкам с заглубленной кровлей ММП до глубин 10 - 15 м.

Участки с заглубленной толщей многолетнемерзлых пород принадлежат к долине р. Серп, а также участкам залегающих на абсолютных отметках 500-450 м (Рисунок 3.65).

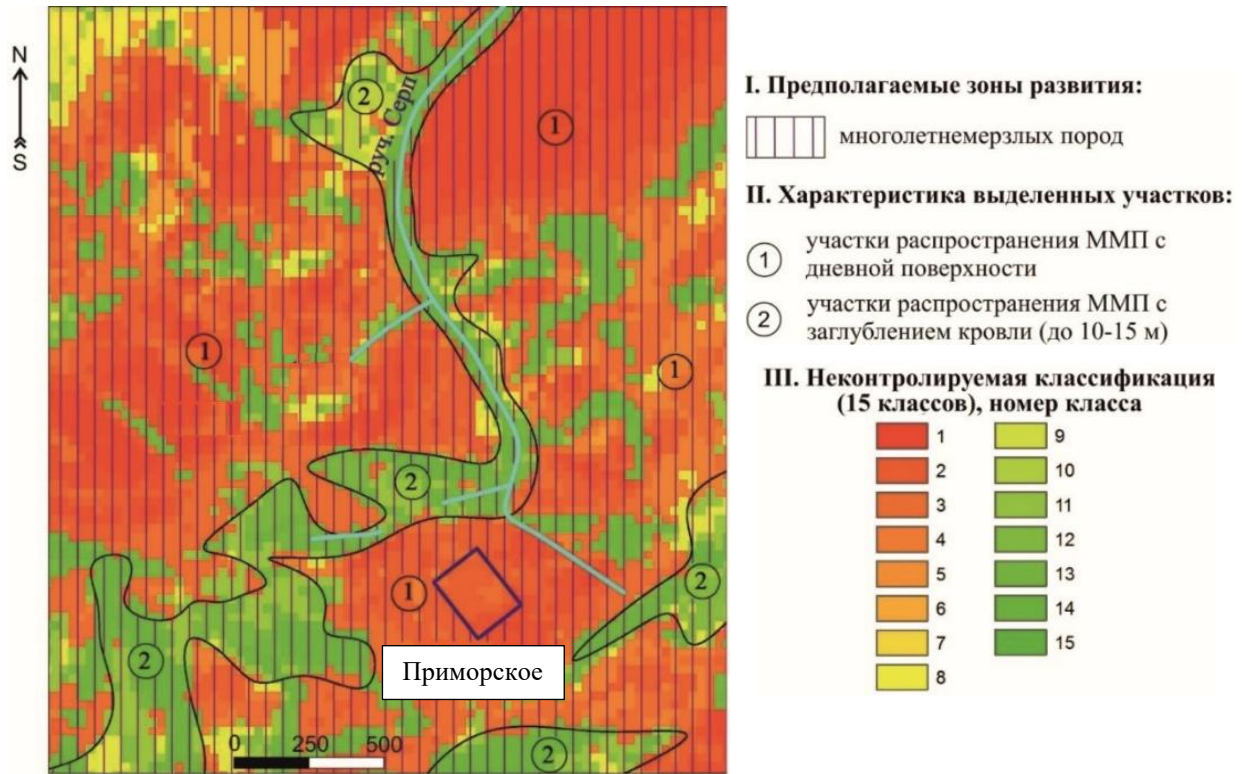


Рисунок 3.65 – Классификация объектов мультиспектрального снимка по алгоритму неконтролируемой классификации

При инженерно-геологической документации скважин в разрезе подземных и текстурообразующих льдов установлено не было, следовательно, породы являются морозными.

Температурный режим пород колеблется в пределах от минус 0,1 до минус 2,4:

- мерзлые породы – от минус 0,1 до минус 2,4°C.
- талые породы (деятельный слой) – от 0 до 7,4°C (Таблица 3.34).

Таблица 3.34 – Результаты замеров температур пород

Глубина, м	Скважина		Глубина, м	Скважина		Глубина, м	Скважина		Глубина, м	Скважина	
	Т-1 (06.07.22)			Т-2 (28.07.22)			Т-3 (06.08.22)			Т-3 (12.08.22)	
	Температура, град			Температура, град			Температура, град			Температура, град	
	min	max		min	max		min	max		min	max
0,0-4,0	0,0	7,4	0,0-4,0	0,0	5,3	0,0-5,0	0,0	6,3	0,0-6,0	0,0	9,2
4,0-42,0	-2,3	-0,2	4,0-50,0	-1,2	-0,4	6,0-40,0	-1,8	-0,1	6,0-60,0	-1,4	-0,1
42,0-70,0	-2,4	-2,0	50,0-92,0	-1,5	-1,1	40,0-82,0	-2,1	-1,8	62,0-90,0	-1,6	-1,1
-	-	-	92,0-109,0	-1,4	-1,1	82,0-128,0	-1,8	-1,0	90,0-150,0	-1,0	-0,4

	Интервал сезонно-талого слоя и перехода через 0°C		Интервал постоянных температур
	Интервал падения температур		Интервал увеличения температур

Геотермический градиент, установленный по результатам температурных замеров в скважинах, для многолетнемерзлых пород составил 0,01-0,015 °С/м. Учитывая полученные значения геотермического градиента, можно предположить, что подошва многолетнемерзлых пород в пределах месторождения залегает на глубинах 180-200 м.

Слой сезонного оттаивания по данным замеров температур составляет 1,5-8,0 м, при средней глубине 4,0-4,5 м, что соответствует глубине сезонного оттаивания крупнообломочных грунтов.

Таким образом месторождение находится в зоне развития сплошной мерзлоты (Рисунок 3.66).

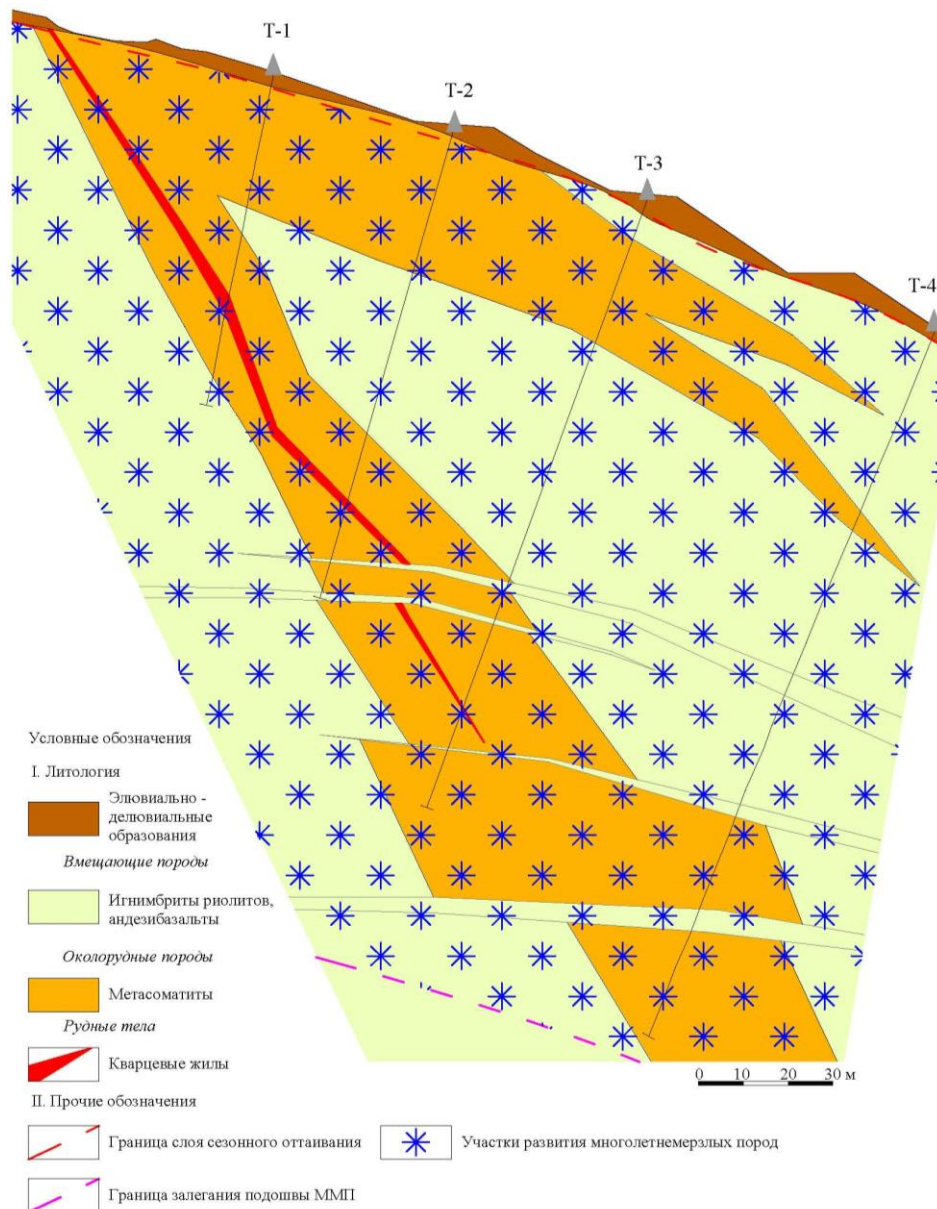


Рисунок 3.66 – Схематический геокриологический разрез

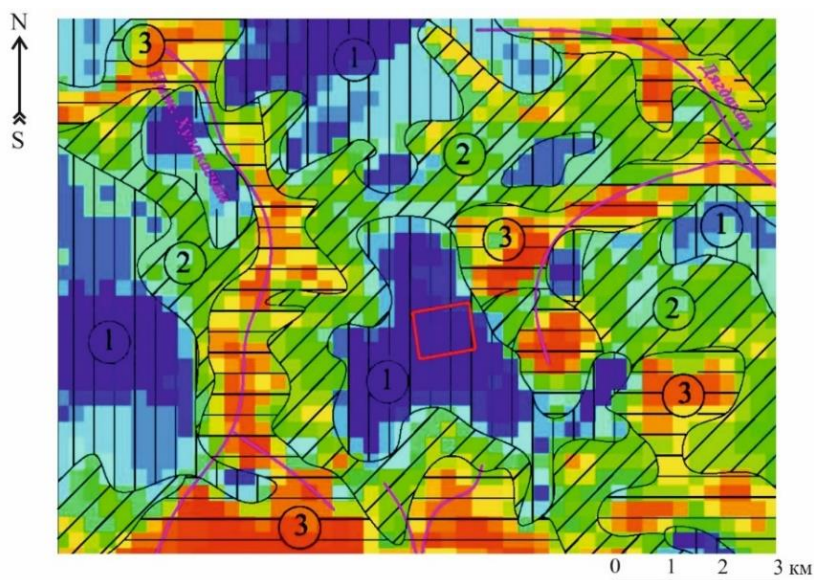
### 3.5.2 Месторождение Невенрекан

Месторождение расположено на абсолютных отметках 600-650 м (среднегорье) в области субарктического пояса.

На основании анализа результатов дешифрирования космических снимков Landsat - 7 в расположении ММП установлены следующие закономерности:

- само месторождение характеризуется развитием сплошной мерзлоты. ММП залегают с поверхности и имеют однослойное строение;
- к западу от месторождения в долине ручья Ниж. Хулакагчан отмечается несквозной талик глубиной 10-15 м;
- к северо-востоку от месторождения фиксируется участок развития ММП с заглубленной кровлей. Очевидно, что участок приурочен к «седловидному» понижению в рельефе, через которое в летний период осуществляется транзит поверхностного стока, а в зимний период происходит скопление снежного покрова, что и приводит к формированию несквозного талика (Рисунок 3.67).

Термокаротаж скважин позволил установить температуру пород, которые меняются от минус 0,3 до минус 3,3 (Таблица 3.35). Геотермический градиент, установленный по результатам температурных замеров в скважинах, для многолетнемерзлых пород составил 0,01-0,022 °С/м. Учитывая полученные значения геотермического градиента можно предположить, что подошва многолетнемерзлых пород в пределах месторождения залегает на глубинах 170-190 м. Слой сезонного оттаивания составляет 2,0-3,5 м, при средних значениях 3,0-3,5 м.



### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

#### I. Предполагаемые зоны развития многолетнемерзлых пород

Характеристика выделенных участков  
(неконтролируемая классификация 28 классов)

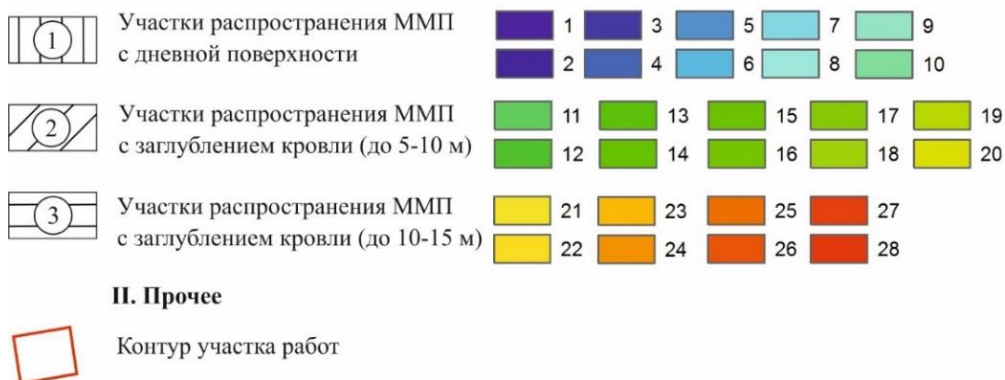


Рисунок 3.67 – Классификация объектов мультиспектрального снимка по алгоритму неконтролируемой классификации

Таблица 3.35 – Результаты замеров температур пород

Глубина, м	Скважина		Глубина, м	Скважина		Глубина, м	Скважина		Глубина, м	Скважина	
	Т-1 (09.09.22)			Т-2 (12.09.22)			Т-3 (16.09.22)			Т-3 (16.09.22)	
	Температура, град			Температура, град			Температура, град			Температура, град	
	min	max		min	max		min	max		min	max
0,0-2,5	0,0	3,5	0,0-2,5	0,0	3,4	0,0-2,0	0,0	3,8	0,0-3,6	0,0	3,6
2,5-20,0	-2,0	-0,3	2,5-30,0	-2,4	-0,3	2,0-30,0	-2,5	-0,5	3,0-38,0	-2,8	-0,5
20,0-78,0	-2,6	-2,0	30,0-78,0	-3,1	-2,4	30,0-88,0	-3,3	-2,5	38,0-84,0	-3,1	-2,6
78,0-160	-1,9	-0,9	78,0-150,0	-2,2	-1,0	88,0-150,0	-2,2	-1,0	84,0-130,0	-2,6	-1,4
	Интервал сезонно-талого слоя и перехода через 0°C						Интервал постоянных температур				
	Интервал падения температур						Интервал увеличения температур				

Анализ температур показал, что месторождение приурочено к зоне ММП сплошного однослойного строения (Рисунок 3.68).

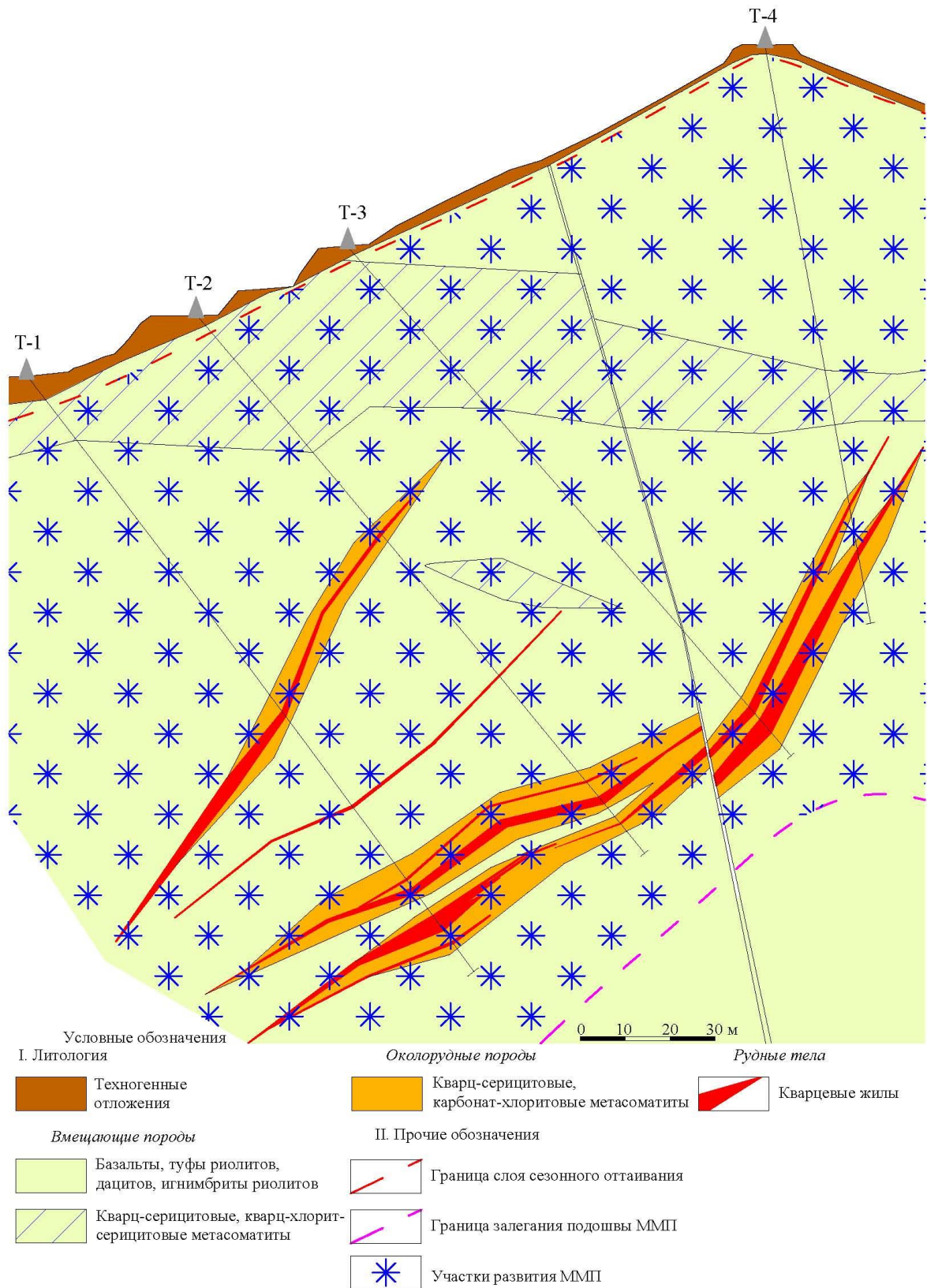


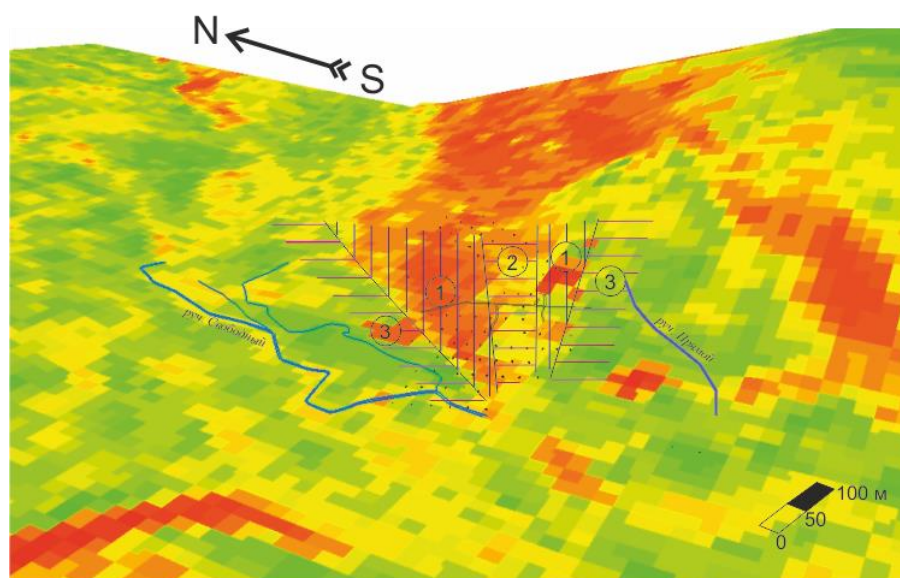
Рисунок 3.68 – Схематический геокриологический разрез

### 3.5.3 Месторождение Ирбычан

Месторождение Ирбычан расположено на абсолютных отметках от 330,0 до 380,0 м (низкогорье) в области субарктического пояса. Месторождение имеет очень сложное криогенное строение, что подтверждает результаты проведенных исследований.



По результатам ландшафтной криоиндикации были установлены 3 участка (Рисунок 3.69):

- участки распространения ММП с поверхности (центральная часть месторождения);
- участки распространения сухих пород с положительной температурой;
- участки распространения талых водонасыщенных пород.



#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

##### I. Предполагаемые зоны развития:

-  талых пород
-  многолетнемерзлых пород

##### II. Характеристика выделенных участков:

- ① участки распространения ММП с дневной поверхности
- ② участки распространения талых сухих или маловлажных пород
- ③ участки распространения талых водонасыщенных пород (подрусловые талики)

##### III. Неконтролируемая классификация (30 классов), номер класса

1	15.00000001 - 16
1.000000001 - 2	16.00000001 - 17
2.000000001 - 3	17.00000001 - 18
3.000000001 - 4	18.00000001 - 19
4.000000001 - 5	19.00000001 - 20
5.000000001 - 6	20.00000001 - 21
6.000000001 - 7	21.00000001 - 22
7.000000001 - 8	22.00000001 - 23
8.000000001 - 9	23.00000001 - 24
9.000000001 - 10	24.00000001 - 25
10.00000001 - 11	25.00000001 - 26
11.00000001 - 12	26.00000001 - 27
12.00000001 - 13	27.00000001 - 28
13.00000001 - 14	28.00000001 - 29
14.00000001 - 15	29.00000001 - 30

Рисунок 3.69 – Классификация объектов мультиспектрального снимка по алгоритму неконтролируемой классификации с учетом 3D цифровой модели рельефа

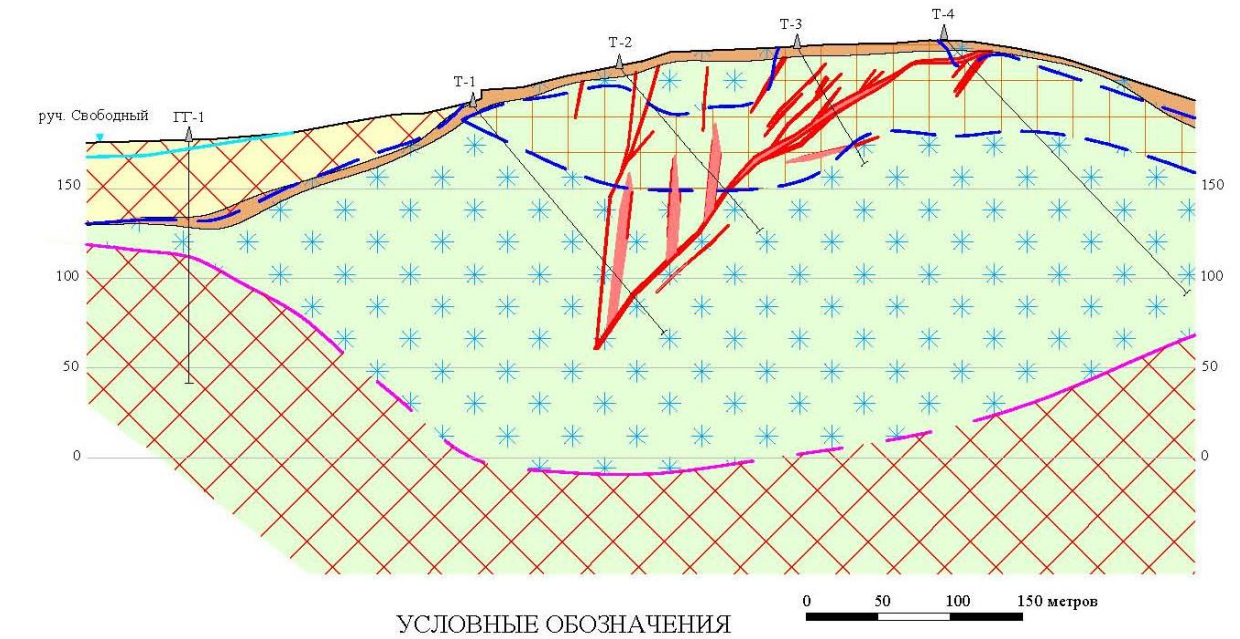
Обилие водных систем, окружающих месторождение привело к образованию вокруг него несквозных таликов, мощностью 40-60 м в нижнем течении руч. Свободный, далее идет небольшой по мощности слой мерзлых грунтов, который подстиляется артезианскими водами вулканогенного супербассейна ( $K_2$ ). Кровля трещинно-жильных высоконапорных вод соответствует подошве ММП и меняется от 75 до 250 и более метров (Рисунок 3.70).

Кровля ММП залегает на глубинах I слой – 0,0-24,0 м, II слой – 60-90 м. Положение подошвы реликтового слоя носит симметричный характер относительно центральной части месторождения, имея в центральной части максимальное заглубление и поднимаясь к флангам месторождения.

Подземные воды высоконапорные и при вскрытии в скважинах происходит самоизлив. Гидродинамически аллювиальный водоносный горизонт и высоконапорные воды изолированы друг от друга.

Температурный режим пород довольно высокий в зоне отрицательных температур, они составляют от минус 0,9 до минус 1,3°C, в зоне положительных температур от 0,1 до 1,1°C (Таблица 3.36). Геотермический градиент, установленный по результатам температурных замеров в скважинах, составил: в мерзлой зоне 0,03-0,05 °C/м, в талой 0,005-0,01 °C/м. Максимальная мощность слоя сезонного оттаивания (СО) достигает 3,0-4,0 м и отмечается на склонах южной экспозиции и в полосах стока, где сказывается обогревающее влияние временных водотоков. Минимальная мощность слоя СО фиксируется на склонах северной экспозиции и составляет до 1,0-1,5 м.



















- УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|    | Водоносный комплекс аллювиальных отложений |    | Участок развития сквозного талика и талых подмерзлотных пород (обводненные) |
|    | Элювиально-делювиальные отложения          |    | Участок развития талых сухих пород  |
|   | Водоносный комплекс эффузивов              |   | Геолого-разведочная скважина  |
|  | Кварцевые жилы                             |  | Граница залегания ММП   |
|  | Участки развития многолетнемерзлых пород   |  | Граница подошвы криогенного водоупора                                       |

Рисунок 3.70 – Схематический геокриологический разрез

Таблица 3.36 – Результаты замеров температур пород

Глубина, м	Скважина Т-1 (03.02.22)		Глубина, м	Скважина Т-2 (04.02.22)		Глубина, м	Скважина Т-3 (08.02.22)		Глубина, м	Скважина Т-3 (04.02.22)	
	Температура, град			Температура, град			Температура, град			Температура, град	
	min	max		min	max		min	max		min	max
0,0-4,5	-5,6	0,0	0,0-32,0	-4,6	0,0	0,0-2,0	-1,5	0,0	0,0-22,0	-5,7	0,0
4,5-24,0	0,0	0,6	32,0-90,0	0,0	1,0	2,0-60,0	0,0	1,1	22,0-70,0	0,0	0,6
24,0-110,0	-0,8	-0,1	90,0-120,0	-0,7	-0,1	60,0-75,0	-0,5	-0,1	70,0-120,0	-0,8	-0,1
110,0-145,0	-1,2	-0,8	-	-	-	-	-	-	120,0-165,0	-1,3	-0,9
145,0-160,0	-0,8	-0,6	-	-	-	-	-	-	165,0-190,0	-0,7	-0,3
Глубина, м						Гидрогеологическая скважина ГГ-1 (05.02.22)					
						Температура, град					
						min			max		
						0,0-55,0			3,2		
55,0-80,0			1,2			2,4					
80,0-150,0			3,3			3,6					

	Интервал таликовой зоны		Интервал постоянных температур
	Интервал падения температур		Интервал увеличения температур

Сравнительная характеристика распространения ММП на месторождениях приведена в таблице 3.37.

Таблица 3.37 – Сравнительная характеристика распространения ММП на месторождениях

Приморское	Невенрекан	Ирбычан
<b>1. Характеристика распространения многолетнемерзлых пород</b>		
сплошное распространение		преимущественно сплошное распространение с наличием несквозных таликов
<b>2. Строение ММП в разрезе</b>		
однослойное строение		двухслойное строение
<b>3. Тепловой режим мерзлых пород</b>		
от (-0,1) до (-2,4) °С	от (-0,3) до (-3,3) °С	от (-0,9) до (-1,3) °С
<b>4. Тепловой режим талых пород</b>		
–		от 0,1 до 1,1 °С
<b>5. Геотермический градиент</b>		
0,01-0,015 °С/м	0,01-0,022 °С/м	0,01-0,018 °С/м
<b>6. Глубина подошвы ММП</b>		
180-200 м	170-190 м	80-240 м
<b>7. Глубина кровли ММП</b>		
иногда опущена на 1,5-8,0 м (СО)	иногда опущена на 2,0-3,5 м (СО)	I слой 0,0-24,0 м (иногда опущена на глубину 3,0-4,0 м) II слой 60-80 м
<b>8. Мощность гидрогенных таликов</b>		
–		60-80 м

### Выводы по 3 главе

1. Анализ изменения физико-механических свойств изучаемых месторождений позволил установить зональность их изменения и разделить массив горных пород на вмещающие, околорудные и рудные породы.

2. Изменение физико-механических свойств на месторождениях связано с проявлением различных типов метасоматоза и изменением минерального состава.

3. Установлена зависимость прочности пород и ее потери после замачивания от минерального состава. Так, прочность пород увеличивается при высоком содержании кварца, плагиоклаза, полевых шпатов и резко уменьшается при наличии хлорита, иллита, гидрослюд. Породы содержащие

такие минералы после водонасыщения становятся размягчаемыми. Особенно ярко это проявлено на месторождении Ирбычан.

4. Разработан алгоритм оценки степени и характера трещиноватости по керну скважин неориентированного бурения, который включает в себя несколько этапов: 1) Предварительный (анализ геологического строения); 2) Полевой (инженерно-геологическая документация керна, формирование базы данных); 3) Камеральный (обработка, интегрирование и интерпретация информации, экспорт и оперирование данными в геоинформационном пространстве).

5. Анализ степени и характера трещиноватости проводился методом классического статистического анализа, используя качественные и количественные характеристики трещиноватости. Было установлено, что массив горных пород месторождения Ирбычан является раздробленным, тогда как Невенрекан и Приморское относятся к категории сильнотрещиноватых (Таблица 3.33).

6. Установленные закономерности распространения ММП определяются географическим, гипсометрическим положением месторождений, а также наличием в их пределах водотоков, под которыми развиваются гидрогенные талики (Таблица 3.37).

7. Рассмотренные выше инженерно-геологические условия позволяют сделать вывод о том, что основные зоны риска потери устойчивости массивом пород и максимальная вероятность развития инженерно-геологических процессов обусловлены геолого-структурным строением, степенью метаморфического и метасоматического изменения пород, наличием и мощностью зон ослабления и степенью трещиноватости.

#### **4 ПОСТРОЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЧВП**

Основные потери механической прочности массива горных пород в процессе ведения подземных горнотехнических работ могут быть связаны с зонами повышенной трещиноватости, дробления пород, а также резкого ухудшения физико-механических свойств, связанных с проявлением метасоматических процессов. Объективное выявление таких зон возможно только на основе интегрированного анализа всех факторов, определяющих условия вскрытия месторождения.

Результатом интегрированного анализа является прогноз изменения инженерно-геологических условий при освоении месторождения. Под которым понимается процесс перехода от информации, характеризующей особенности геологической среды, характер и масштаб возникающих в ней процессов и явлений в результате строительства и эксплуатации горных выработок [6-7].

Рассматривая процесс строительства подземных выработок возникает изменение равновесного состояния. В этом случае говорят, что работает принцип Ле Шателье: «если система, находящаяся в равновесии, подвергается воздействию, нарушающему равновесие, то в ней возникают процессы, стремящиеся вернуть ее прежнее состояние». И здесь возможны два естественных выхода: создание нового равновесия без разрушения стенок выработок или переход в новое состояние равновесия в результате вывалов или обрушений. Однако, может быть еще один выход – искусственный: принять меры, обеспечивающие новое устойчивое равновесие выработки – их крепление.

Таким образом, массив горных пород и подземные горные выработки относятся к динамическим саморегулируемым системам открытого типа, имеющим положительные и отрицательные обратные связи.

В системе «геологическая среда – выработка» возмущающие воздействия появляются только в процессе проходки. Необходимо до начала их появления получить инженерно-геологическую модель месторождения, которая позволит установить участки проявления возмущений, их интенсивность, что позволит еще на этапе разведки предпринять рекомендации по снижению возмущений.

Для оценки свойств скального массива при взаимодействии с горными выработками в настоящее время широко принимаются эмпирические классификации. Они позволяют выделить категории (классы, группы) массива по устойчивости и сопоставить выделенные категории с физико-механическими свойствами.

В эмпирических классификациях используются разные геологические параметры, которые наиболее корректно отражают состояние скального массива. К таким показателям относятся: прочность на одноосное сжатие, модули трещиноватости и кусковатости, RQD, поверхность трещин, морфологические особенности и заполнитель трещин, размер элементарного структурного блока, обводненность и т.д.

В отечественной и зарубежной практике строительства подземных горных выработок применяется несколько подходов к оценке состояния устойчивости массива горных пород с учетом его дискретной структуры. Наиболее известны рейтинговые подходы по оценке устойчивости трещиноватого массива горных пород в баллах RMR [135-138] и Q-система [134, 135]. Рейтинговые системы Q и RMR широко используются во всем мире. Q – система Бартонна широко используется в Австралии, Канаде и Скандинавии. RMR – система в Южной Африке и США. Обе системы имеют сходство по применению близких параметров качества массива (трещиноватость), но различаются по весовым коэффициентам и учету напряженного состояния.

Вieniawski [136] была предложены критерии оценки устойчивости массива в виде системы рейтинга массива горных пород RMR, в которой для оценки склонности горных пород к развитию опасных ситуаций используются 6 параметров, определяющих устойчивость горных выработок (Таблица 4.1):

– рейтинг R1 в пределах от 0 до 15 баллов в зависимости от прочности пород на одноосное сжатие Rсж;

– рейтинг R2 в пределах от 3 до 20 баллов в зависимости от показателя качества массива по выходу керна геологоразведочных скважин RQD;

– рейтинг R3 в пределах от 5 до 20 баллов по расстоянию между трещинами;

– рейтинг R4 в пределах от 0 до 30 баллов - характеристика трещин;

– рейтинг R5 в пределах 0 до 15 баллов по условиям обводненности выработок;

– рейтинг R6 в пределах от 0 до 12 баллов по направлению трещин относительно оси выработки и угол их падения (отрицательные значения баллов рейтинга данного показателя при определении итогового рейтинга массива RMR вычитается из суммы баллов других показателей).

Для каждого из названных параметров заданы градации (интервалы) его изменения, из которых необходимо выбрать соответствующую характеристику оцениваемого массива. Итоговый рейтинг массива RMR определяются суммой баллов по всем показателям в пределах от 0 до 100 баллов:

$$RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

Таблица 4.1 – Рекомендации по проходке и укрепления 10 метровых тоннелей в соответствии с системой RMR [138]

Класс скального массива	Разработка массива	Анкера (диаметр 20 мм, на растворе)	Набрызг-бетон	Металлическая арочная крепь
I - Очень хорошая скала RMR: 81-100	Проходка сплошным забоем, продвижение забоя 3 м	Поддержка не требуется, за исключением точечной крепи.		
II - Хорошая скала RMR: 61-80	Проходка сплошным забоем, продвижение забоя 1-1.5 м, полное закрепление пролета при проходке 20 м.	Единичные анкера в кровле длиной 3 м, на расстоянии 2,5 м с редкой проволочной сеткой.	50 мм в кровле где это необходимо.	Не требуется
III - Средняя скала RMR: 41-60	Проходка верхней части сечения опережает проходку нижнего уступа на 1,5-3 м. Защитные мероприятия после каждого взрыва. полное закрепление пролета при проходке 20 м.	Система анкеров длиной 4 м, на расстоянии 1,5 - 2 м в кровле и на бортах с проволочной сеткой в кровле.	50-100 мм в кровле и 30 мм на бортах.	Не требуется
IV - Плохая скала RMR: 21-40	Проходка верхней части сечения опережает проходку нижнего уступа на 1,0-1.5 м. Установка арок одновременно с выемкой грунта. Полное закрепление пролета при проходке 10 м.	Система анкеров длиной 4-5 м, на расстоянии 1-1,5 м в кровле и на бортах с проволочной сеткой.	100-150 мм в кровле и 100 мм на бортах	Легкая арочная крепь с шагом 1,5 метра.
V – Очень плохая скала RMR: < 20	Небольшие заходки на 0,5-1,5 метра, с одновременной установкой крепи и токрегирования забоя.	Система анкеров длиной 5-6 м, на расстоянии 1-1,5 м в кровле и на	150-200 мм в кровле, 150 мм в бортах,	Средняя и тяжелая арочная крепь с шагом 0.75 м с

Q-система [134, 135] предполагает вычисление параметра Q по формуле:

$$Q_M = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SFR},$$

где RQD – показатель качества породы (от 0 до 100 баллов);

$J_n$  – показатель количества систем трещин (от 0,5 до 20 баллов);

$J_r$  – показатель шероховатости поверхности трещин (от 0,5 до 4,0 баллов);

Ja – показатель изменчивости (сцепления) трещин (от 0,75 до 20 баллов);

Jw – гидрогеологический фактор (от 0,33 до 1,0 баллов);

SRF – фактор снижения напряжений (от 0,5 до 400 баллов) приведен в таблице 4.2.

Для перехода из одной системы в другую можно воспользоваться соотношением:

$$RMR = 9 \cdot \ln Q + 44.$$

Таблица 4.2 – Фактор снижения напряжений (SRF) массива горных пород при проходке тоннелей по индексу Q [134, 135]

Фактор снижения напряжений		SRF		Примечание	
<b>а. Пересечение ослабленных зон массива горных пород горнопроходческими работами.</b>				1. Значение SRF уменьшается на 25 - 50%, когда зоны ослабленных горных пород не пересекаются с горнопроходческими работами.	
А. Серия ослабленных зон горных пород, глинизированных или химически дезинтегрированных (вне зависимости от окружающих пород и глубины).		10			
В. Одиночные ослабленные зоны, содержащие глину, или химически дезинтегрированных породы (глубина <50м)		5			
С. Одиночные ослабленные зоны содержащие глину, или химически дезинтегрированных породы (глубина > 50 м).		2,5			
D. Несколько зон сдвига в массиве горных пород (без глинистого заполнителя), (вне зависимости от окружающих пород и глубины).		7,5			
Е. Одна зона сдвига в массиве горных пород (без глинистого заполнителя), (глубина <50 м)		5,0			
F. Одна зона сдвига в массиве горных пород (без глинистого заполнителя), (глубина > 50 м)		2,5			
G. Сухие открытые трещины, сильно трещиноватые зоны (вне зависимости от глубины).		5,0			
<b>б. Крепкие горные породы, проявление горного давления</b>				2. Для сильно анизотропного начального поля напряжений (измеренного): при $5 < \sigma_c/\sigma_3 < 10$ , уменьшается $\sigma_c$ до $0,8 \sigma_c$ и $\sigma_t$ до $0,8 \sigma_t$ Когда $\sigma_c/\sigma_3 > 10$ , уменьшается $\sigma_c$ до $0,6 \sigma_c$ и $\sigma_t$ до $0,6 \sigma_t$ где: $\sigma_c$ = прочность при сжатии при свободном боковом расширении, $\sigma_t$ = предел прочности при растяжении, $\sigma_1$ и $\sigma_3$ = большая и малая компонента напряжения	
Н. Малые напряжения, неглубокое заложение		$\sigma_c/\sigma_1$ >200	$\sigma_t/\sigma_1$ >13		2,5
J. Средние напряжения		200-10	13-0,66		1,0
К. Высокие напряжения (высокая горизонтальная составляющая)		10-5	0,66-0,33		0,5-2
L. Умеренное пучение > 1 часа после обнажения		5-3	0,5-0,65		5-50
M. Пучение и растрескивание через несколько минут после обнажения		3-2	0,65-1		50-200
N. Сильное растрескивание пород, немедленная динамическая деформация		<2	>1		200-400
<b>с. Пластичное течение слабых горных пород под воздействием высокого горного давления</b>					
O. Слабое проявление горного давления					5-10
P. Сильное проявление горного давления					10-20
<b>д. Водонасыщенность горных пород, влияние химической активности воды.</b>					
R. Слабая водонасыщенность				5-10	
S. Сильная водонасыщенность				10-15	

В отечественной практике строительства подземных горных выработок в документе ВСН - 126-90 регламентированы классификационная



(рейтинговая) система Булычева Н.С., аналогичная системе RMR и таблица прочности скального массива горных пород Протодяконова М.М., основанная на определении коэффициента крепости  $f$  (Таблица 4.3), который напрямую используется в проектных расчетах устойчивости крепи выработок.

Таблица 4.3 – Коэффициент крепости  $f$  по шкале проф. М. М. Протодяконова

Категория породы	Степень крепости	Породы	Коэффициент крепости, $f$
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитные породы. Кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец. Менее крепкие, нежели указанные выше кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Гранит (плотный) и гранитные породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	10
IIIa	Крепкие	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор. Доломит. Колчеданы	8
IV	Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6
IVa	Довольно крепкие	Песчанистые сланцы. Сланцеватые песчаники	5
V	Средней крепости	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
Va	Средней крепости	Разнообразные сланцы (некрепкие). Плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец, очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, цементированная галька, каменистый грунт	2
VIa	Довольно мягкие	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень. Крепкий каменный уголь. Отвердевшая глина	1,5
VII	Мягкие	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь. Крепкий нанос, глинистый грунт	1
VIIa	Мягкие	Легкая песчанистая глина, лесс, гравий	0,8
VIII	Землистые	Растительная земля. Торф. Легкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	Сыпучие	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Плывучие	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лесс и другие разжиженные грунты	0,3

Однако, не заслуженно забыта классификация Булычева Н.С., которая позволяет на основе ряда критериев корректно построить инженерно-геологическую модель месторождения. Она основана на вычислении характеристической прочности массива горных пород с подразделением ее диапазона изменчивости на 5 категорий устойчивости в соответствии с таблицей 4.4. В соответствии с этой таблицей определяется категория массива горных пород с целью планирования и управления технологией проходческих работ.

Таблица 4.4 – Оценка устойчивости массива по характеристической прочности грунта [25]

Характеристическая прочность грунта «в массиве», S МПа	Устойчивость массива		
	Категория	Характеристика	$t^{пр}$ , сут.
>9	I	Вполне устойчивый	Практически неограниченно
9-1,5	II	Устойчивый	180-30 (6-1 мес.)
1,5-0,35	III	Средней устойчивости	30-7
0,35-0,05	IV	Слабоустойчивый	7-1
<0,05	V	Неустойчивый	1

Характеристическая прочность грунта в массиве определяется по формуле:

$$S=1.07 R_{сж} k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 k_7,$$

где 1.07 – нормирующий множитель,  $R_{сж}$ ,  $k_1... k_7$  – таксономические единицы.

1.  $R_{сж}$  - предел прочности на одноосное сжатие, обеспечивает учет прочностных характеристик грунта «в куске».

2.  $k_1$  - Учет ориентации выработки по отношению к наиболее развитой (опасной) системе трещин:

Ориентация благоприятная (90°-70°)	1
Ориентация неблагоприятная (70°-20°)	0,667
Ориентация крайне неблагоприятная (20°-0°)	0,5

3.  $k_2$  - Учет расчлененности массива трещинами:

Одиночные случайные трещины	1-0,5
Одна система трещин	0,25
То же и слоистость	0,167
Две системы трещин	0,125
То же и слоистость	0,083
Три системы трещин	0,056
То же и слоистость	0,042
Четыре системы трещин	0,033
Раздробленный массив	0,025

4.  $k_3$  - Учет интенсивности сетки трещин в породах:

Нетрещиноватые, $n < 6$	1-0,90
Слаботрещиноватые, $n = 6-12$	0,95-0,75
Трещиноватые, $n = 12-25$	0,75-0,5
Сильнотрещиноватые, $n = 25-60$	0,50-0,25
Раздробленные, $n > 60$	0,25-0,05

$n$  - модуль относительной трещиноватости массива  $n = V/bt$ , где  $V$  - пролет выработки, м;  $bt$  - среднее расстояние между трещинами, м.

5.  $k_4$  - Учет сопротивления отдельностей смещениям по поверхности трещин:

Прерывистые трещины	1
Волнистые трещины:	
неровные	0,75
ровные	0,50
зеркальные	0,375
Плоские трещины, ровные, заполненные породой	0,25
Зеркала скольжения	0,125

6.  $k_5$  - Учет ширины раскрытия трещин, мм, без учета их заполнения:

До 3	1
От 3 до 15	0,5
15 и более	0,25

7.  $k_6$  - Учет заполнения трещин в зависимости от заполнителя.

При наличии контакта стенок трещин:	
Песок, упрочненная порода	1-0,75
песок, измельченная порода (без глины)	0,375
глина	0,25
каолинит, слюда, тальк, графит	0,188
При отсутствии контакта стенок трещин:	
песчано-глинистый	0,15
глина в зависимости от ширины раскрытия трещин	0,125-0,0375

8.  $k_7$  - Учет степени обводненности выработки.

Сухо	1
Влажно	0,8
Капез	0,5
Струи	0,3

Зависимость предельного (допустимого) времени  $t_{пр}$  (сутках) стояния обнажения пород на груди забоя в зависимости от характеристической прочности  $S$ , МПа, массива представляется в виде:

$$tnp = KS,$$

где  $K$  – коэффициент ответственности прогноза, сут/МПа,  $K=20$  сут/МПа – для нормального прогноза; 10 сут/МПа – для особо ответственного прогноза.

Для получения относительных оценок устойчивости массива пород на каждом из месторождений (Приморское, Невенрекан, Ирбычан) была использована классификация Н.С. Булычева. Данная классификация является более унифицированной и включает в себя учет всех факторов влияющих на устойчивость горных пород, так же она имеет практическое применение и использовалась при проектировании и сооружении БАМа, Рогунской, Ирганайской, Темирской, Байпазинской, Ташкумырской и других ГЭС, железнодорожного тоннеля на магистрали Ялта-Симферополь, рудников и шахт Донецкого угольного и Криворожского рудного бассейнов, а также тоннелей и водохранилищ в Чехии, Сирии, Алжире, комплекса подземных сооружений для электростанций в Индонезии и других крупных объектах.

#### **4.1 Алгоритм, получения информации для построения инженерно-геологической модели золото-серебряных месторождений ОЧВП**

Выполненные исследования на ряде месторождений ОЧВП показали, что общность условий образования, структурно-тектонические условия позволяют разработать единый алгоритм построения инженерно-геологической модели.

Процедура включает в себя:

1. Изучение закономерностей строения, состава и свойств горных пород;
2. Установление их изменчивости в пространстве;
3. Выделение геологических тел по признаку однородности их границ;
4. Анализ воздействия горных работ на массивы пород.

Для расчёта характеристической прочности грунта согласно Булычева Н.С авторами была создана специальная форма на базе программы Excel (Рисунок 4.1) с помощью, которой расчет происходит автоматически и полученные данные имеют координатную привязку в пространстве (X, Y, Z).

Это позволяет в дальнейшем экспортировать полученные данные в программные комплексы Surfer, либо Micrmine с автоматизированным объединением одинаковых классов на разрезе.

От	До	Y	X	Rсж, Мпа	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	Характеристическая прочность грунта "в массиве"	tпр, час	Класс устойчивости
												S, Мпа		
0	2,4	693,35	0,00	5	0,5	0,025	0,25	0,25	0,25	1	0,15	0,00	0,037617188	Неустойчивые
2,4	5	691,65	1,70	22,8	0,667	0,167	0,75	0,25	1	1	1	0,51	122,285072	Слабоустойчивые
5	8	689,81	3,53	38,4	0,667	0,125	0,75	0,25	1	1	1	0,64	154,15704	Слабоустойчивые
8	11	687,69	5,65	48,4	0,667	0,125	0,95	0,25	1	1	1	1,03	246,1159965	Средней устойчивости
11	14	685,57	7,77	48,3	1	0,167	0,95	0,75	1	1	1	6,15	1475,854317	Устойчивые
14	17	683,44	9,89	46,1	1	0,167	0,75	0,36	1	1	1	2,22	533,7970632	Средней устойчивости
17	20	681,32	12,01	43,8	0,667	0,167	0,95	0,25	1	1	1	1,24	297,5603418	Средней устойчивости
20	23	679,20	14,13	41,2	0,667	0,25	0,75	0,25	1	1	1	1,38	330,795315	Средней устойчивости
23	26	677,08	16,25	49,8	1	0,167	1	0,25	1	1	1	2,22	533,92572	Средней устойчивости
26	29	674,95	18,37	42,7	1	0,25	0,9	0,25	1	1	1	2,57	616,8015	Средней устойчивости
29	32	672,83	20,49	39,1	1	0,25	0,9	0,25	1	1	1	2,35	564,7995	Средней устойчивости
32	35	670,71	22,61	39,6	0,667	0,25	0,75	0,25	1	1	1	1,32	317,948895	Средней устойчивости
35	38	668,58	24,73	46,3	1	0,167	0,9	0,25	1	1	1	1,86	446,760738	Средней устойчивости
38	41	666,46	26,85	45,1	0,667	0,25	1	0,75	1	1	1	6,04	1448,433855	Устойчивые
41	42,7	664,34	28,97	40,2	1	0,25	0,95	0,75	1	1	1	7,66	1838,8485	Устойчивые
42,7	44	663,14	30,17	49,9	1	0,25	0,9	0,75	1	1	1	9,01	2162,4165	Устойчивые
44	47	662,22	31,09	47,1	0,667	0,25	1	0,25	1	1	1	2,10	504,221985	Средней устойчивости
47	50	660,09	33,21	44,6	1	0,25	1	0,25	1	1	1	2,98	715,83	Средней устойчивости
50	53	657,97	35,33	41,8	0,667	0,167	0,9	0,25	1	1	1	1,12	269,0271584	Средней устойчивости
53	56	655,85	37,45	38,4	0,667	0,167	0,95	0,25	1	1	1	1,09	260,8748202	Средней устойчивости
56	59	653,72	39,57	45,6	1	0,167	1	0,25	1	1	1	2,04	488,89584	Средней устойчивости

Рисунок 4.1 – Форма расчета характеристической прочности массива

Инженерно-геологические интервалы с расчетом характеристической прочности выбирались исходя из литологии и критериев прочности керна (ориентировочная длина данного интервала составляет от 0,3 м до 3,0 м). Любые изменения петрографии или трещиноватости (поверхности трещин, заполнитель, раскрытие трещин и т.д.) должны расцениваться как инженерно-геологические границы.

При расчете принимались следующие параметры:

1) *Rсж* - предел прочности на одноосное сжатие. Для расчёта прочности на одноосное сжатие (*Rсж*) брались полученные результаты физико-механических свойств, описанные в главе 3, где прочность на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии (Таблица 4.5), что позволяет заложить некий запас прочности массива и получить результаты по наихудшим условиям. Для мест где нет лабораторных данных прочность бралась по полевым исследованиям полученных с помощью молотка «Шмидта» и с последующим корректировкой их в диапазон лабораторных значений.

Таблица 4.5 – Значения прочности на одноосное сжатие массива пород месторождений

ИГ зональность	Приморское		Невенрекан		Ирбычан	
	Петротип	Рсж	Петротип	Рсж	Петротип	Рсж
Вмещающие породы	Игнимбриды риолитов	71,0	Метасоматиты	5,9	Метасоматиты	2,2
	Андезибазальты	64,1	Туфы	27,0		10,5
			Базальты	66,0	Риолиты и их туфы	32,9
Околорудные породы	Q-Cl, Q-Cl-Ser метасоматиты	35,1	Q-Ser, Ca-Cl метасоматиты	11,4	Q-K-гидросл. метасоматиты	35,6
Рудная зона	Кварцевые жилы	79,6	Q, Ca-Q жилы	33,1	Кварцевые жилы	42,5

Примечание: Рсж – среднее значение прочности на одноосное сжатие; Q-Cl – кварц-хлоритовые, Q-Cl-Ser – кварц-хлорит-серицитовые, Q-Ser – кварц-серицитовые, Ca-Cl – карбонат-хлоритовые, Q-K-гидросл. – кварц-каолинит-гидрослюдистые.

2)  $k_1$  - Учет ориентации выработки по отношению к наиболее развитой (опасной) системе трещин и  $k_2$  - Учет расчлененности массива трещинами.

В связи с тем, что на месторождениях выделяются 3 системы трещин (Таблица 4.6) и документация велась по неориентированному керну коэффициенты  $k_1$  (учет ориентации выработки по отношению к наиболее развитой (опасной) системе трещин) и  $k_2$  (учет расчлененности массива трещинами) принимались для всех пород месторождений одинаковыми.

Таким образом, коэффициент  $k_1 = 0,667$  (ориентация неблагоприятная),  $k_2 = 0,056$  (три системы трещин).

Таблица 4.6 – Распределение систем трещин в массиве пород месторождений

Пространственное положение пород	Приморское	Невенрекан	Ирбычан
Вмещающие породы	0-30 – 33%	0-30 – 12%	0-30 – 6%
	30-60 – 33%	30-60 – 62%	30-60 – 22%
	60-90 – 34%	60-90 – 26%	60-90 – 72%
Околорудные породы	0-30 – 25%	0-30 – 12%	0-30 – 5%
	30-60 – 30%	30-60 – 52%	30-60 – 18%
	60-90 – 45%	60-90 – 36%	60-90 – 77%
Рудная зона	0-30 – 32%	0-30 – 3%	0-30 – 4%
	30-60 – 31%	30-60 – 32%	30-60 – 20%
	60-90 – 37%	60-90 – 65%	60-90 – 76%

3)  $k_3$  - Учет интенсивности сетки трещин в породах. Для определения коэффициента степени нарушенности массива пород трещинами, рассчитывался модуль относительной трещиноватости массива ( $n$ ) по формуле:

$$n=2b/l,$$

где  $2b$  – пролет выработки принятый равным 5 м;  $l$  – среднее расстояние между трещинами, данные значения принимались согласно размерам элементарного структурного блока, приведенных в главе 3 и для среднетрещиноватых пород составляют 0,11-0,12 м, слаботрещиноватых пород – 0,16-0,17 м, сильнотрещиноватых пород – 0,06-0,07 м.

В дальнейшем полученные значения коэффициента  $k_3$  корректировались согласно модулю трещиноватости пород изучаемого интервала. Полученные значения  $k_3 = 0,25$  характерны для элювиальных грунтов;  $k_3 = 0,5$  – зоны ослабления и сильнотрещиноватые породы;  $k_3 = 0,75$  – среднетрещиноватые породы;  $k_3 = 0,95$  – слаботрещиноватые породы.

4)  $k_4$  - Учет сопротивления отдельностей смещениям по поверхности трещин. В массиве пород рассматриваемых месторождений выделяются плоские гладкие, волнистые гладкие, волнистые шероховатые и ступенчатые шероховатые поверхности трещин в разном процентном соотношении (Таблица 4.7). Коэффициент  $k_4$  принимался по преобладающим поверхностям трещин в выбранном интервале и изменяется от 0,25 (плоские трещины, ровные) до 1 (прерывистые трещины).

5)  $k_5$  - Учет ширины раскрытия трещин, мм, без учета их заполнения. В массиве пород всех месторождений раскрытие открытых трещин имеют значения до 3 мм ( $k_5=1$ ) в преобладающем количестве, но встречаются единичные трещины с раскрытием от 3 мм до 15 мм, в таких интервалах коэффициент  $k_5$  принимался равным 0,5. Для элювиальных образований и мощных зон ослаблений коэффициент раскрытия незаполненных трещин равен 0,25.

Таблица 4.7 – Распределение поверхностей открытых трещин в массиве пород месторождений

Пространственное положение пород	Приморское	Невенрекан	Ирбычан
Вмещающие породы	В. Ш. – 79% П. Ш. – 21%	В. Ш. – 79% П. Г. – 12% В. Г. – 9%	В. Ш. – 52% С. Ш. – 48%
Околорудные породы	В. Ш. – 84% В. Г. – 16%	В.Ш. – 61% П. Г. – 25% П. Ш. – 14%	В. Ш. – 66% С. Ш. – 34%
Рудная зона	В. Ш. – 67% В. Г. – 33%	В.Ш. – 75% П. Ш. – 25%	В. Ш. – 79% С. Ш. – 21%

Примечание: П.Г. – плоская гладкая, П.Ш. – плоская шероховатая, В.Г. – волнистая гладкая, В.Ш. – волнистая шероховатая, С.Ш. – ступенчатая шероховатая.

б)  $k_6$  - Учет заполнения трещин в зависимости от заполнителя.

Согласно качественной оценке трещиноватости пород месторождений (Таблица 4.8), преобладающим заполнителем трещин является гидроокислы железа ( $k_6=0,75$ ), отмечаются трещины с неизменными стенками и без заполнителя ( $k_6=1$ ), реже встречаются трещины с кварц-карбонатным заполнителем ( $k_6=0,375$ ), единично отмечаются трещины с глиной трения различной мощности ( $k_6=0,25$  и  $0,15$ ). Коэффициент  $k_6$ , учитывающий заполнение трещин раздробленной породой или вторичными минералами принимался по преобладающему заполнителю в выбранном интервале.

Таблица 4.8 – Распределение заполнителя открытых трещин трещин

Пространственное положение пород	Приморское	Невенрекан	Ирбычан
Вмещающие породы	Гидроокислы Fe* – 81% Глинка трения – 16% Без заполнителя – 3%	Глинка трения – 60% Гидроокислы Fe* – 34% Без заполнителя – 4% Кварц-карбонат – 2%	Гидроокислы Fe* – 57% Без заполнителя – 37% Глинка трения – 6%
Околорудные породы	Гидроокислы Fe* – 88% Глинка трения – 10% Без заполнителя – 2%	Глинка трения – 69% Гидроокислы Fe* – 17% Кварц-карбонат – 9% Без заполнителя – 5%	Без заполнителя – 63% Гидроокислы Fe* – 30% Глинка трения – 7%
Рудная зона	Гидроокислы Fe* – 90% Глинка трения – 9% Без заполнителя – 1%	Глинка трения – 67% Без заполнителя – 13% Гидроокислы Fe* – 12% Кварц-карбонат – 8%	Без заполнителя – 43% Гидроокислы Fe* – 45% Глинка трения – 12%

Примечание: Гидроокислы Fe\* – гидроокислы железа и марганца



7)  $k_7$  – Учет степени обводненности выработки. Так как, на месторождениях Приморское и Невенрекан породы имеют отрицательные температуры и относятся к категории морозных, текстурообразующего льда и льда в трещинах не установлено коэффициент, учитывающий увлажнение пород был принят равным 1 (сухие породы) для всех интервалов. На месторождении Ирбычан было установлено, что породы в центральной части имеют положительные температуры для данных интервалов коэффициент, был принят равным 0,8 (влажно).

По результатам расчетов, в разрезе месторождений (Приморское, Невенрекан) в зависимости от степени устойчивости массива пород выделено 4 категории (Таблица 4.9):

- устойчивые (время стояния ствола в выработке без крепления от 1 до 6 месяца);
- средней устойчивости (время стояния ствола в выработке от 168 до 720 часов);
- слабоустойчивые (время стояния ствола в выработке от 24 до 168 часов);
- неустойчивые (время стояния ствола в выработке менее 24 часов).

В связи с тем, что массив пород на месторождении Ирбычан характеризуется низкими значениями прочности и высокой раздробленностью в сравнении с месторождениями Приморское и Невенрекан – II категория устойчивости (устойчивые) не была выделена (Рисунок 4.2).

Таблица 4.9 – Оценка устойчивости массива по характеристической прочности грунта для условий месторождений

Характеристическая прочность пород «в массиве» и категория устойчивости	Характеристика		
	Приморское	Невенрекан	Ирбычан
9,0-1,5 II (устойчивые)	Вмещающие породы (игнимбриты риолитов, андезибазальты) – прочные, среднетрещиноватые	Вмещающие породы (базальты) – прочные, среднетрещиноватые	–
1,5-0,35 III (средней устойчивости)	Вмещающие породы (игнимбриты риолитов, андезибазальты) – прочные, сильнотрещиноватые. Околорудные породы и рудная зона – средней прочности, среднетрещиноватые	Вмещающие породы (базальты) – прочные, сильнотрещиноватые. Вмещающие породы (игнимбриты риолитов, туфы дацитов, риолитов) и рудная зона – средней прочности среднетрещиноватые	Вмещающие породы (риолиты их туфы), околорудные породы (кварц-каолинит-гидрослюдистые метасоматиты), рудная зона – средней прочности, сильнотрещиноватые
0,35-0,05 IV (слабоустойчивые)	Вмещающие породы, околорудные породы и рудная зона – средней прочности и прочные, сильнотрещиноватые и раздробленные	Вмещающие породы, рудная зона – средней прочности и прочные, сильнотрещиноватые и раздробленные	Вмещающие породы (риолиты их туфы), околорудные породы (кварц-каолинит-гидрослюдистые метасоматиты), рудная зона – средней прочности, сильнотрещиноватые и раздробленными
<0,05 V (неустойчивые)	Элювиально-делювиальные образования	Вмещающие породы (кварц-серицитовые и кварц-хлорит-серицитовые метасоматиты) и околорудные породы (кварц-серицитовые, карбонат-хлоритовые метасоматиты – малопрочные, сильнотрещиноватые, раздробленные. Техногенные и элювиальные образования	Вмещающие породы (кварц-хлорит-гидрослюдистые метасоматиты) – низкой прочности и малопрочные, сильнотрещиноватые и раздробленные. Аллювиальные отложения, элювиальные образования

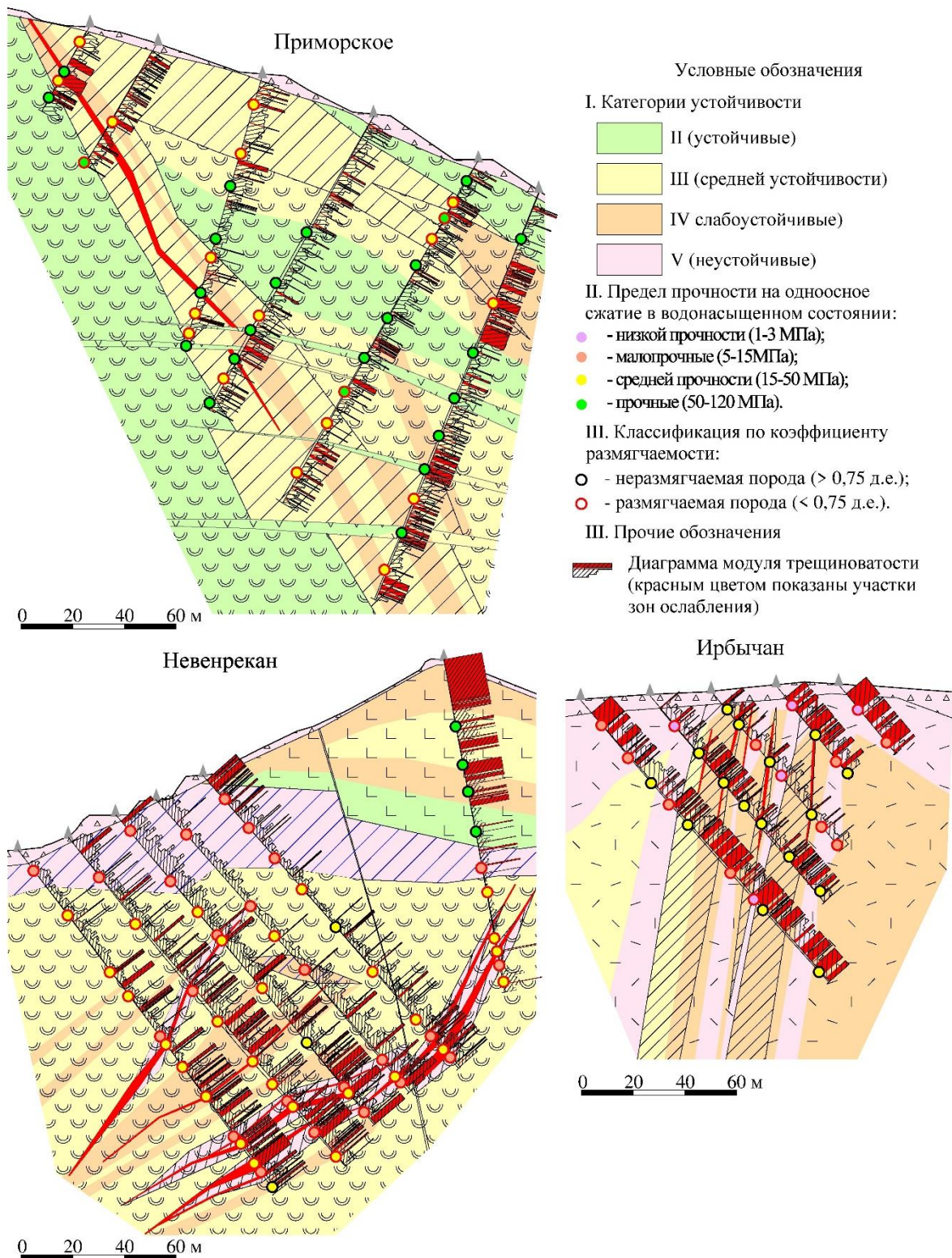


Рисунок 4.2 – Инженерно-геологические разрезы с выделением категорий устойчивости на месторождениях Приморское, Невенрекан и Ирбычан

Каждое из рассмотренных месторождений имеет индивидуальные особенности, выраженные в физико-механических свойствах, трещиноватости и раздробленности массива пород, что при последующем районировании

массива пород месторождений привело к разному процентному содержанию категорий устойчивости в разрезе (Рисунок 4.3).

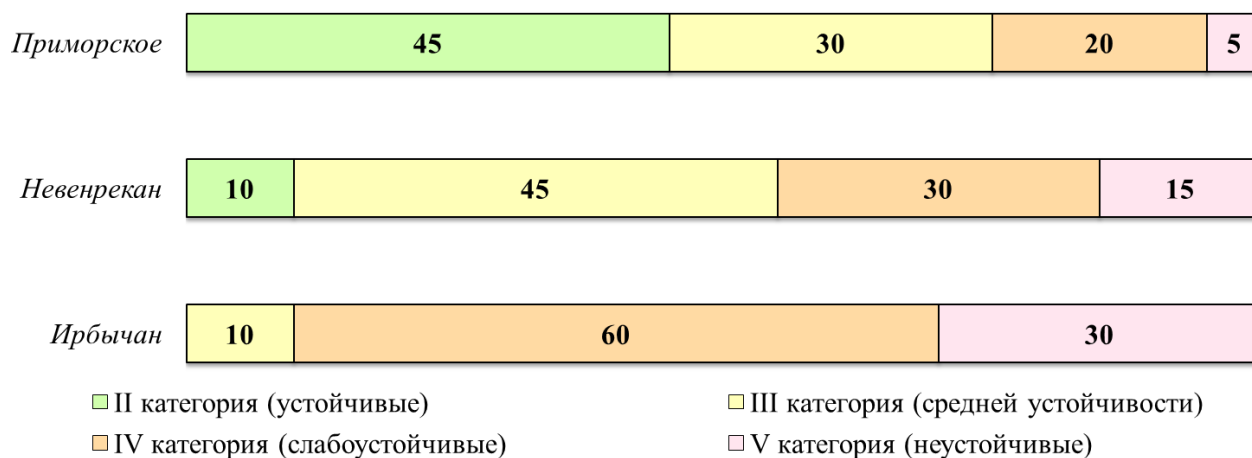


Рисунок 4.3 – Распределение категорий устойчивости в массиве пород месторождений

#### Выводы по 4 главе

1. Установленные закономерности распространения ИГУ месторождений Приморское, Невенрекан, Ирбычан позволяют разработать прогнозную модель их изменения при отработке.

2. Анализ существующих эмпирических классификаций, используемых в инженерной геологии, горном деле показал, что для изучаемых месторождений наиболее объективной является классификация Н.С. Булычева, которая использует необходимый набор показателей, характеризующих месторождения.

3. Единый набор компонентов ИГУ, характеризующий изучаемые месторождения позволил в качестве методики построения прогнозной модели выбрать одну и ту же классификацию.

4. Построена прогнозная ИГ модель золото-серебряных месторождений ОЧВП (Приморское, Невенрекан и Ирбычан), которая позволяет выделить ослабленные участки и минимизировать активизацию инженерно-геологических процессов при ведении горных работ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В связи с активным освоением месторождений полезных ископаемых восточной части Российской Федерации, которые характеризуются сложными ИГУ, основополагающим является изучение региональных и зональных факторов формирования современных ИГУ на каждом из этапов геологоразведочных работ.

2. Комплексное изучение региональных и зональных факторов формирования ОЧВП и проведенные специальные инженерно-геологические исследования на каждом из месторождений позволили выделить основные компоненты инженерно-геологических условий, влияющие на условия вскрытия золото-серебряных месторождений и установить их основные закономерности.

3. Анализ минерального состава и его сопоставление с полученными результатами физико-механических свойств установил зависимость прочности пород и ее потери после водонасыщения от минерального состава.

4. Благодаря разработанному алгоритму оценки степени и характера трещиноватости по керну скважин неориентированного бурения были установлены ослабленные зоны и зоны повышенной трещиноватости пород влияющие на проведение горных работ.

5. Комплексная оценка мерзлотно-гидрогеологических условий, позволила обнаружить закономерности распространения ММП на каждом из месторождений, а также выявить возможные источники водопритоков в горные выработки.

6. Установленные закономерности распространения ИГУ месторождений Приморское, Невенрекан, Ирбычан позволили построить инженерно-геологические модели месторождений, определяющие условия их вскрытия горными выработками.

**Список сокращений**

ОЧВП – Охотско-Чукотский Вулканогенный пояс.

ИГ – инженерно-геологические.

ИГУ – инженерно-геологические условия.

МПИ – месторождения полезных ископаемых.

ПТС – природно-техническая система.

ГС – геологическая среда.

МГГУ – мерзлотно-гидрогеологические условия.

ММП – многолетнемерзлые породы.

СЗ – северо-запад.

СВ – северо-восток.

### Список литературы

1. Абатурова И.В. Анализ степени трещиноватости массива пород при проведении инженерно-геологических изысканий //13th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2017. – 2017.
2. Абатурова И.В. Комплексная оценка степени трещиноватости и прогноз устойчивости бортов проектируемых карьеров на стадиях разведки месторождений // Геология и разведка. – 1992. – №6. – С. 74-80.
3. Абатурова И.В. Научно-методические основы изучения, оценки и прогноза инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых в скальных массивах. Екатеринбург, 2012 г., 43 с.
4. Абатурова И.В. и др. Особенности оценки степени трещиноватости пород при инженерно-геологическом изучении месторождений полезных ископаемых / Емельянова И. А., Савинцев И.А., Зудилин А. Э. //Инженерная геология. – 2011. – №. 1. – С. 68-72.
5. Абатурова И.В. Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых горно-складчатых областей. – Екатеринбург: типография «Уральский центр академического обслуживания» / науч. редактор О.Н. Грязнов – 2011 г. – 320 с. (монография).
6. Абатурова И.В. и др. Оценка и прогноз инженерно-геологических условий на разных стадиях разведки месторождений полезных ископаемых //Литосфера. – 2013. – №. 3. – С. 137-145.
7. Абатурова И.В. и др. Принципы оптимизации изучения инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых //Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – №. 11 (42) Часть 6. – С. 10-13.
8. Абатурова И.В. Прогноз инженерно-геологических условий отработки месторождений твердых полезных ископаемых на стадии изучения методом аналогий // Литосфера. – 2009. – №5. – С. 99-106
9. Абатурова, И.В., Афанасиади Э.И. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / Федеральное

агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Уральский гос. горный ун-т". – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 199 с.

10. Авершин С.Г. Сдвигение горных пород при подземных работах. – М.: Углетехиздат, 1954. – 324 с.
11. Ажгирей Г.Д. Структурная геология. – М.: МГУ, 1956. – 326 с.
12. Акинин В.В., Миллер Э. Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса //Петрология. – 2011.
13. Ананьев В.П., Потапов А. Д., Королев В. А., Галкин А. Н. Геологические и инженерно-геологические процессы и явления: определение и содержание понятий //Инженерная геология. – 2011. – №. 1. – С. 19-27; Инженерная геология. Учебник. - М.: Высшая школа, 2005 г., 575 с
14. Бабушкин В.Д., Пересунько Д.И. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1969. – 408 с.
15. Белый В.Ф. Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Магадан: СВКНИИ, 1994. 76 с.
16. Белый В.Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – 1977.
17. Белый В. Ф. Формации и тектоника Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Наука, 1978. 213 с.
18. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания. – М.: КДУ, 2007. – 424 с.
19. Бондарик Г.К. Классификация инженерно-геологических прогнозов и перспективы развития методов прогнозирования // Труды Института ВСЕГИНГЕО. Вып. 57. – М., 1972. – С. 5-18.
20. Бондарик Г.К. Методика выделения инженерно-геологических тел в процессе инженерно-геологических исследований // Математические методы в инженерной геологии. – М.: МОИП, 1968. – С. 18-23.



21. Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований. – М.: Недра, 1986. – 333 с.
22. Бондарик Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. – М.: Недра, 1971. – 272 с.
23. Бондарик Г.К., Пендин В.В. Методика количественной оценки инженерно-геологических условий и специального инженерно-геологического районирования // Инженерная геология – 1982. – № 4. – С. 113-118.
24. Борщ-Коммпониец В.И., Базанов А.Ф. К вопросу о прогнозировании трещиноватости // Проблемы теории прогноза инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых. – Белгород, 1975. С. – 128-130.
25. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: учебник для Вузов.-2-е изд., М //Недра. – 1994.
26. Варга А.А. Инженерно-тектонический анализ скальных массивов. – М.: Недра, 1988. – 216 с.
27. ВСН 126-90. Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов нормы проектирования и производства работ. Минтрансстрой. М., 1990.
28. Гайдин А.М., Певзнер М.Е., Смирнов Б.В. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1983. – 310 с.
29. Геокриология СССР // Восточная Сибирь и Дальний Восток. Т. IV. / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 515 с.
30. Гидрогеологическая карта Северо-востока СССР. Масштаб 1:2500000. Ред. Толстихин О.Н., Министерство геологии СССР; 1969 г.
31. Гидрогеология СССР, том XXVI. Северо-восток СССР. Северо-Восточное территориальное геологическое управление. Ред. О. Н. Толстихин.; М, «Недра», 1972, 297 с

32. Глушко В.Т., Борисенко В.Г. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений. – М.: Недра, 1978. – 254 с.
33. Глушко В.Т., Кирничанский Г.Т. Инженерно-геологическое прогнозирование устойчивости выработок глубоких угольных шахт. – М.: Недра, 1974. – 173 с.
34. Глушкова О. Ю., Смирнов В. Н. Реконструкция масштабов и морфологических особенностей плейстоценовых оледенений на Северо-Востоке России // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2021. – №. 2. – С. 50-67.
35. Голодковская Г.А. Принципы инженерно-геологической типизации месторождений полезных ископаемых // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. – 1983. – № 5. – С. 355-370.
36. Голодковская Г.А., Матула М., Шаумян Л. В. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов. М.: МГУ, 1987 г.. 272
37. Голодковская Г.А., Савич А.И., Шаумян Л.В. Опыт инженерно-геологических и геофизических исследований массивов скальных горных пород при разведке месторождений полезных ископаемых // Проблемы инженерной геологии. – М.: МГУ, 1970. – С. 95-112.
38. Голодковская Г.А., Шаумян Л.В. Влияние тектонической трещиноватости на свойства и состояние массивов скальных пород. – Апатиты, 1975. – С.53-60.
39. Грязнов О.Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. – М.: Недра, 1992. – 256 с.
40. Грязнов О.Н., Вахрушев С.Н. Золото-аргиллизитовая формация Урала// Руды и металлы. – 1997. – №2. – С. 73-84.
41. Грязнов О.Н., Дубейковский С.Г. Закономерности формирования инженерно-геологических условий месторождений Урала (Грант 1994-1995 гг., ГАСНТИ 38.63.17). – Екатеринбург: Изд-во УГГГА. 1995. – 32 с.
42. Гудман Р. Механика скальных пород. – М.: Стройиздат, 1987. – 232 с.

43. Гуман О.М., Дубейковский С.Г. Инженерно-геологическая типизация железорудных месторождений Урала // Инженерная геология. – 1991. – №3. – С. 36-42.
44. Ершов Э.Д. Общая геокриология. М.: Изд-во МГУ 2002 г.
45. Зильберборд А.Ф. Некоторые вопросы картирования и оценки ИГУ освоения подземного пространства // Инженерная геология. – 1983. – №4. – С. 84-91.
46. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований: Учебное пособие. – МГУ, Москва, 1990 г., 384 с.
47. Зотеев В.Г. Теоретические основы обеспечения устойчивости и формирования скальных откосов глубоких карьеров: дис. д-ра техн. наук. – Свердловск, 1981. – 4-25 с.
48. Зотеев В.Г., Зотеев О. В., Костерова Т. К. Методика обработки массовых замеров трещиноватости на ЭВМ // Известия Уральского государственного горного университета. – 1993. – №. 2. – С. 28-34.
49. Иванов И.П. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. Недра, 1990 г., 302 с.
50. Иванов И.П. Инженерно-геологические критерии оценки устойчивости горных выработок // Записки горного института. Т. 100. – СПб., 1981. – С. 17-27.
51. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых / ВСЕГИНГЕО. - М.: Недра, 1986. - 171 с.
52. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых / Г.М. Кашковский и др.-М.: Недра, 1986. – 172 с.
53. Инженерная геология СССР. Т. 1–8. М.: Изд-во МГУ, 1976–1978.
54. Инженерно-геологические исследования при разведке месторождений полезных ископаемых / Г.А. Голодковская [и др.] – М.: МГУ, 1975. – 187 с.

55. Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке. – М.: Недра, 1975. – 51 с.
56. Каган А.А. Инженерно-геологическое прогнозирование. – М.: Недра, 1984. – 196 с.
57. Кашковский Г.Н. и др. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 175 с.
58. Козлов В.С. Характер и степень трещиноватости массива пород золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса на примере Приморского месторождения //nature. – 2022. – №. 11-2. – С. 95-105.
59. Козлов В.С. и др. Влияние региональных геологических факторов на формирование инженерно-геологических условий золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Инженерная и рудная геофизика 2023. ISBN: 978-5-9651-1410-8.
60. Козлов В.С., Мазайтова Э.Д. Влияние региональных и зональных факторов на формирование инженерно-геологических условий Охотско-Чукотского вулканогенного пояса //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – №. 5-1. – С. 107-118.
61. Козлов В.С. и др. Закономерности развития зон и поверхностей ослабления в массивах горных пород месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса //Инженерная и рудная геофизика 2022. – 2022. – С. 193-199.
62. Козлов В.С. и др. Инженерно-геологическое обоснование прогноза устойчивости горных выработок на этапах поисково-разведочных работ // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. - Москва: изд-во «ГеоИнфо». - Выпуск 23. - 2022. - С. 193-199.

63. Козлов В.С. и др. Особенности состава, строения и свойств пород Приморского месторождения // Инженерная и рудная геофизика 2023. ISBN: 978-5-9651-1472-6.

64. Колесатова О.С., Горбатова Е.А. Оценка возможности проявления деформаций с позиции нарушенности массива (на примере месторождения Камаган) // Известия Уральского государственного горного университета. – 2020. – №. 4 (60). – С. 173-182.

65. Коломенский Н.В. Методические указания по изучению процессов выветривания пород для инженерно-геологических целей. – М., 1952. – 66 с.

66. Комаров И.С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. – М.: Недра, 1972. – 295 с.

67. Комаров И.С. Основы комплексного метода инженерно-геологического изучения равнинных территорий, покрытых чехлом четвертичных отложений: автореф. дис. ... д-ра. геол.-мин. наук. М., 1966. 46 с.

68. Кузькин В.И., Ярг Л.А., Кочетков М.В. Методическое руководство по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений при разведке. – М., 2001. – 153 с.

69. Кузьмин Е.В., Узбекова А. Р. Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2005. – №. 5.

70. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1986. – 272 с.

71. Ломтадзе В. Д. Инженерно-геологический анализ, оценка и прогноз при инженерных изысканиях // Инженерная геология. – 1985. – №. 4. – С. 3-11.

72. Лось М.М., Кобилев А.Г. Об основах геологического прогнозирования устойчивости вмещающих пород в горных выработках // Сов. Геология. – 1971. – № 12. – С 55-64.

73. Малинин С.И. Геологические основы прогноза поведения пород в горных выработках. – М.: Недра, 1970. – 192 с.
74. Мельников Е.С. Принципы общего инженерно-геологического районирования в области многолетнемерзлых пород // Материалы 4-го регионального совещания по инженерной геологии. Л., 1968. С. 74–76
75. Методическое руководство по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений при их разведке / сост. Б.М. Гамалей и др., ВСЕГИНГЕО. – М.: Недра, 1977. – 37 с.
76. Методы геокриологических исследований / науч. ред. П.Ф. Швецов, Л.В. Чистотинов. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1975. – Вып. 98. – 103 с.
77. Нейштадт Л. И., Пирогов И. А. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород // Энергия. – 1969. – С. 1970-164.
78. Опыт применения факторного анализа к оценке трещиноватости скальных массивов / Е.Н. Бармин [и др.] // Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды: тез. докл. всесоюз. Науч. Конф. Л., 1976. С. 41-56.
79. Основы геокриологии. Ч.5: Инженерная геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 526 с.
80. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 431 с.
81. Особенности оценки степени трещиноватости пород при инженерно-геологическом изучении месторождений полезных ископаемых / И.В. Абатурова [и др.] // Инженерная геология. – 2011. – №1. – С. 68-72.
82. Панюков П.Н. Инженерная геология. Недра, Москва, 1978 г., 296 с.
83. Панюков П.Н. Массив горных пород – основной объект инженерно-геологических исследований // Науч. тр. МГИ. – М., 1959. – С. 64-91.

84. Певзнер М.Е. Прогноз инженерно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых // Инженерно-геологическое обоснование условий разработки месторождений полезных ископаемых: тезисы докл. – М., 1977. – С.14-17.

85. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. – М.: Книжный дом, 2009. – 350 с.

86. Пендин В.В., Хацкевич А.Н. Опыт количественной оценки инженерно-геологических условий разработки месторождений на основе геолого-экономического анализа // Инженерная геология. – 1987. – №2. – С. 64-75.

87. Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, инженерно-геофизических и эколого-геологических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 45 с.

88. Попов И.В. Инженерная геология СССР. Ч. 2. Европейская часть СССР. М.: Изд-во МГУ, 1965. 477 с.

89. Попов И.В., Бондарик Г.К., Розовский Л.Б. Задачи и методы долгосрочного прогноза инженерно-геологических условий территории. Рациональное использование земной коры. – М., 1974. – С. 51-60.

90. Проблемы вертикальной метасоматической зональности / Отв. ред. Н.Н. Перцев. – М.: Наука, 1982. –183 с

91. Протодяконов М.М., Чирков С.Е. Трещиноватость и прочность горных пород в массиве. Наука, Москва, 1964 г., 69 с.

92. Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. – М.: Наука, 1968. – 105 с.

93. Рац М.В., Погребинский М.В., Чернышев С.Н. Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерно-геологических изысканиях для строительства. – М.: Стройиздат, 1974. – 120 с.

94. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1970. – 160с.

95. Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерно-геологических изысканиях для строительства. М., Стройиздат, (ПНИИС Госстроя СССР), 1974 г., 40 с.
96. Розовский Л.Б. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. – Одесса: Изд-во Одесского ун-та, 1975. – 115 с.
97. Розовский Л.Б. Моделирование в инженерной геологии // Вопросы инженерной геологии: сб. ст. – М.: АН СССР, 1970. – С. 297-305.
98. Розовский Л.Б., Зелинский И.П. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. – Одесса: ОГУ, 1980. – 200 с.
99. Розовский Л.Б., Зелинский И.П., Воскобойников В.М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. – Киев: ВИЩА ШКОЛА, 1987. – 202 с.
100. Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы М. МГУ, 1993 г. 336 с.
101. Ростехнадзор: Приказ от 13.11.2020 г. №439 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов"
102. Саваренский Ф. П. Инженерная геология //М.: ГОНТИ. – 1939. – Т. 488.
103. Сергеев Е. М. Инженерная геология, 2-е изд. Изд-во Моск. ун-та, 1982 г, 248 с.
104. Сергеев Е.М. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород: В 2-х т. Т. 2, Лабораторные методы. Недра, 1984 г., 423 с.
105. Серый С. С. Инженерно-геологическая оценка и моделирование структуры скальных горных пород рудных месторождений. – Автореферат канд. дисс //М.: МГГУ. – 1998.
106. Сидоров А. А. и др. Золото-сереброносный Охотско-Чукотский вулканогенный пояс //Геология рудных месторождений. – 2009.



107. Скворцов Г.Г., Бобов Н.Г., Кориловская А.К. Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке / Министерство геологии СССР; ВСЕГИНГЕО. - М.: "Недра", 1975 г.

108. Скворцов Г.Г., Романовская Л.И. Инженерно-геологические исследования и прогнозы месторождений полезных ископаемых. – М.: Госгеолтехиздат, 1966. – 115 с.

109. Скворцов Г.Г., Фромм В.В., Гамалей Б.М. Оценка инженерно-геологических явлений и процессов в зоне горных пород на угольных и рудных месторождениях в связи с задачами охраны природной среды // Записки горного ин-та. – Т. XX, вып. 2. – Л., 1976. – 3-5 с.

110. Смирнов Б.В. Теоретические основы и методы прогнозирования горно-геологических условий добычи полезных ископаемых по геологоразведочным данным. М., Недра, 1976, 120 с.

111. Стружков С.Ф. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Научный мир, 2005.

112. Теоретические основы инженерной геологии / под ред. Сергеева Е.М. М.: Недра, 1985. 332с.

113. Теоретические основы прогноза и управления свойствами геологической среды при подземных техногенных воздействиях / О.Г. Латышев [и др.]. – Екатеринбург: УГГУ, 2007. – 216 с.

114. Трофимов В.Т. К введению понятия «инженерно-геологическая зона» // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1974. № 2. С. 49 – 66.

115. Трофимов В.Т. О причинной обусловленности зонального изменения инженерно-геологических условий (на примере Западно-Сибирской плиты) // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. Вып. 3. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 276-300.

116. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.

117. Трофимов В.Т. Закон зональности инженерно-геологических условий Земли // Теоретические вопросы инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1999. С. 49–52.

118. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Под ред. В.Т.Трофимова. Грунтоведение. 6-е изд., переработ, и доп., М.: Изд-во МГУ, 2005 г., 1024 с.

119. Трофимов В. Т., Красилова Н. С. История развития взглядов на оценку роли и соотношение региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий при региональных исследованиях и их последствия //Инженерная геология. – 2013. – №. 6. – С. 16-26.

120. Трофимов В.Т., Красилова Н. С. История становления и современное содержание понятия «инженерно-геологические условия» и факторов, его определяющих //Инженерная геология. – 2013. – №. 5. – С. 16 - 21.

121. Устиев Е.К. Охотский тектоно-магматический пояс и некоторые связанные с ним проблемы //Сов. геология. – 1959. – №. 3. – С. 3-26.

122. Фисенко Г.Л. Некоторые вопросы сдвижения горных пород при разработке глубоких горизонтов угольных шахт // Исследование проявлений горного давления на глубоких горизонтов шахт: сб. ВНИМИ. – Л., 1971. – С. 93-115.

123. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 240 с.

124. Фисенко Г.Л. Проблемы горного давления и сдвижения горных пород при разработке глубоких горизонтов угольными шахтами и разрезами // Исследование проявлений горного давления на глубоких горизонтах шахт: сб. ВНИМИ. – Л., 1971. – 163-178 с.

125. Фролова Ю.В. и др. Инженерно-геологические аспекты изменения вулканогенных пород в зоне кислотного выщелачивания Южно-Камбальных

термальных полей (Южная Камчатка) //Инженерная геология. – 2020. – Т. 15. – №. 1. – С. 36-51.

126. Фролова Ю.В. Современные подходы к изучению скальных грунтов и их массивов (обзор по материалам XII конгресса МАИГ-2014) //Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2015. – №. 6. – С. 553-560.

127. Чернышев С.Н. Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов. М.: Недра, 1984. 111 с..

128. Чернышев С.Н. Трещины горных пород. Наука, 1983 г., 240 с.

129. Чернышев С.Н., Погребиский М.И., Рац М.В. Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерно-геологических изысканиях для строительства. Стройиздат, Москва, 1974 г., 40 с.

130. Шило Н.А. (ред.). Север Дальнего Востока. – Наука, 1970. – Т. 12.

131. Шило Н. и др. Новая схема тектонической и металлогенической зональности Северо-Востока СССР //Докл. АН СССР. – 1975. – Т. 223. – №. 4. – С. 961.

132. Шило Н.А. и др. Условия формирования золотого оруденения в структурах Северо-Востока СССР. – Наука, 1988.

133. Barton N. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support./ Barton N., Lien R. and Lunde J. // Rock Mechanics, 1974, 6 (4), pp. 189–236.

134. Barton N. Application of Q-System and Index Tests to Estimate Shear Strength and Deformability of Rock Masses./ Workshop on Norwegian Method of Tunneling. New Delhi, 1993, pp. 66–84.

135. Bieniawski, Z.T. Rock Mass Classification in Rock Engineering/ Symposium on exploration for rock engineering //Balkema: Rotterdam, 1976, p. 97-106.

136. Bieniawski, Z.T. Engineering classification of jointed rock masses // Transaction of the South African Institution of Civil Engineers, 1973, v. 15, p. 335-344.

137. Bieniawski, Z.T. Classification of rock masses for engineering: The RMR system and future trends/ Comprehensive Rock Engineering, Volume 3: Oxford; New York, 1993, Pergamon Press, p. 553-573.

138. Bieniawski, Z.T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering/ New York, 1989, Wiley, XII, 251 p. p.

#### **Неопубликованная**

139. Белоглазов Е.В., Усов П.Л. Отчет о работе Ирбычанского поискового отряда в междуречье Гижиги-Аханджи в 1976-78 г., пос. Эвенск, 1978 г.

140. Ворошилов А.А., Нищанский Г.М. Отчет по теме №908 «Геолого-геофизические критерии локализации золото-серебряного оруденения в пределах Эвенского рудного района». Магадан, 1978 г.

141. Карелин Ю. П., Рожков П. Ю. Отчет о разведочных, поисковых и оценочных работах на Приморском золотосеребряном месторождении. ООО «ЗолотоДВ», 2012 г.

142. Кумачев К.С., Белоглазов Е.В., Кочаток Д.В. Отчет о детальном поиске и прогнозной оценке на золото и серебро участка Невенрекан (Невенреканский ПО, 1977, 1978 гг.). 1979 г, 96 с.

143. Мальцев Л.В., Берзин В.М. Отчет о проведенных поисково-оценочных работах на участке Ирбычан-детальный в течение 1976-1977 гг., пос. Эвенск, 1978 г.

144. Митюков В.Э. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на рудном теле 3 участка «Теплый» на горизонте 520 м за 1985-88 г. (Мостовой ПОО), Дукатская ГРЭ, 1988 г.

145. Отчет по результатам разведочных, поисковых и оценочных работ на Приморском золото-серебряном месторождении с подсчетом запасов. ОАО «Магадангеология». 2011 г.

146. Шаповалов Н.Г. Отчет о производстве поисково-оценочных работ на участке Ирбычан и смежных участках Эвенского золото-серебряного месторождения. Пос. Эвенск, 1980 г.

147. Шаповалов Н.Г., Мальцев Л.В., Отчет об общих поисках на флангах участка Невенрекан (Джекдыканский ПО, 1979-82 гг) – п. Эвенск, 1982 г.

148. Шпилько Л.Г., Горбачева М.Б. Отчет по проведению аэромагнитной съемки масштаба 1:50 000 в бассейнах рек Омолон, Гижига (Омолоно-Гижигинский аэромагнитный отряд) за 1974 год, пос. Хасын, 1975 г.