

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»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург – 2024

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Научный руководитель: **Абатурова Ирина Валерьевна**
доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры гидрогеологии, инженерной
геологии и геоэкологии

Официальные оппоненты: **Копылов Игорь Сергеевич**
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
профессор кафедры инженерной геологии и
охраны недр Федеральное государственное
автономное образовательное учреждение
высшего образования «Пермский
государственный национальный
исследовательский университет» (г. Пермь)

Жданов Сергей Витальевич
кандидат геолого-минералогических наук,
начальник отдела гидрогеологии, геомеханики и
инженерной геологии АО «Полиметалл
Инжиниринг» (г. Санкт-Петербург)

Ведущая организация: ФГБУН «Институт горного дела» Уральского
отделения Российской академии наук (ИГД УрО
РАН, г. Екатеринбург)

Защита диссертации состоится 16 мая 2024 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.423.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30 (III уч. корпус, ауд. 3326).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» <http://www.ursmu.ru>

Автореферат разослан 14 марта 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.г.-м.н, профессор

Абатурова И.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП), в котором основу минерально-сырьевой базы составляют разрабатываемые в настоящее время 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, но важнейшим из них являются инженерно-геологические условия. Именно этим и определяется актуальность работы.

Цель работы – 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 непрочных (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 керн скважин (6700 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-я научно-практическая конференция 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 третьи Сергеевские чтения «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 входят в базу Scopus.

Личный вклад автора. В работе использованы материалы, полученные автором в ходе выполнения полевых исследований на месторождениях Приморское, Невенрекан и Ирбычан. Проанализированы и обработаны результаты лабораторных исследований с выявлением их зависимостей от минерального состава. 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 и применен на рассматриваемых месторождениях алгоритм получения информации, которая используется для построения инженерно-геологической модели.

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 коллективу ООО «ГИНГЕО» за оказанную поддержку, участие в проведении полевых и лабораторных работ, помощь в сборе и обработке обширного объема фактического материала.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение. 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.

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». Впервые это положение было выдвинуто в 1961 г. И.В. Поповым. Позже важность роли региональных и зональных факторов формирования ИГУ была обозначена В.Т. Трофимовым и Т.И. Аверкиной. Ими же была разработана классификация компонентов ИГУ и факторов их формирующих.

Согласно В.Т. Трофимову, 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.

Региональные факторы формирования инженерно-геологических условий золото-серебряных месторождений ОЧВП

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

В строении ОЧВП выделяется внешняя и внутренняя зона. 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.

В результате проявленной совокупности геологических процессов в пределах ОЧВП сформировались современные массивы горных пород, представленные вулканогенными, вулканогенно-осадочными, эффузивными породами мелового возраста. Тип и состав горных пород при этом определяется видами и степенью метаморфизма, метасоматоза, в результате проявления которых меняется минеральный состав, структура и текстура пород, а также физико-механические свойства.

Роль тектоники, установленной в историческом развитии ОЧВП значительна, так как именно она определяет возможность формирования месторождений и их геолого-структурное строение, степень и характер трещиноватости массива пород. Важное значение в формировании ИГУ имеют неотектонические движения, в результате которых образовались основные формы современного рельефа, определяющие распределение поверхностных и подземных вод, состояние многолетнемерзлых пород (ММП) и развитие современных геологических процессов.

Формирование золото-серебряных месторождений ОЧВП происходило в позднеюрско-раннемеловую эпоху, и связаны они с процессами меловой тектономагматической активизацией.

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 месторождения расположены в двух металлогенических областях (Приморское – Омсукчанский рудный узел, Неверенкан и Ирбычан – Эвенский рудный узел).

Месторождение Приморское. Представляет собой серию жил и прожилков северо-западного простирания. В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения верхнего мела, которые представлены риолитовой толщей (K_2lp). В составе риолитовой толщи выделяются три пачки. Рудовмещающими являются первая и вторая пачки (Диссертация гл. 2, рис. 2.3, 2.4).

Рудные тела на месторождении простираются 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 $50-45^\circ$.

Месторождение Неверенкан расположено в юго-западной части Туромчинского вулканогенного прогиба в зоне сочленения его со складчатым основанием. В геолого-структурном отношении месторождение относится к Неверенканскому интрузивно-купольному поднятию, в котором выделяются серии дуговых и полукольцевых разломов, вмещающих рудоносные жильные тела. Разрывные нарушения представлены Вархаламским и Доктомычанским разломами, в зоне сочленения которых и расположено месторождение Неверенкан.

В геологическом строении месторождения участвуют эффузивные образования мела (K_2), представленные туфами дацитов с маломощными прослоями

и линзами туфов и андезитов, лавобрекчий риолитов, ингимбритами риолитов. Палеогеновые образования (*P*) сложены массивными, пористыми и миндалекаменными базальтами и их шлаками, а также субвулканическими интрузивными образованиями (Диссертация гл. 2, рис. 2.5, 2.6).

На месторождении проявлены гидротермальные изменения пород, которые в верхнемеловых породах выразились в формировании кварц-серицитовых (Q-Ser), кварц-хлорит-серицитовых (Q-Chl-Ser), карбонат-хлоритовых (Ca-Chl) метасоматитов. Базальты не затронуты гидротермальным изменением. Лишь вблизи тектонических нарушений в них наблюдаются зоны слабой пропилитизации, ожелезнения и цеолитизации.

Q-Ser, Q-Chl-Ser метасоматиты являются дорудными и развиваются по интрузиям андезитов. Ca-Chl метасоматиты развиты в пределах зоны северо-западного простирания, сопровождают по простиранию жильные образования и разрывные нарушения, развиты в ингимбритах, риолитах и их туфах. Околожильные метасоматиты расположены вдоль зальбандов жил и прожилков и характеризуются значительной степенью изменений.

Рудные зоны связаны с жильными образованиями, которые укладываются в две полосы северо-западного простирания, часто выклиниваются по падению и простиранию. Глубина распространения жил составляет 700-800 м. По минеральному составу выделяют 4 типа жил: кварцевые, карбонат-кварцевые, адуляр-кварцевые, сульфидно-кварцевые.

Месторождение Ирбычан. В структурном отношении территория находится в юго-западной части Пареньского вулканического поля и приурочена к зоне пересечения Гижигинского, Доктомычанского и Хивачского глубинных разломов – основных тектонических структур, предопределивших блоковое строение данной территории.

В строении месторождения принимают участие вулканогенные и эффузивные породы верхнего мела, представленные толщей, сложенной породами двух горизонтов:

- нижним – горизонтом лав андезито-дацитов, мощность от 40 до 100 м;
- верхним – горизонтом риолитов, их туфов и метасоматитов, мощностью от 150 до 300 м (Диссертация гл. 2, рис. 2.7, 2.8).

Гидротермально-метасоматическим изменениям подвержены все горные породы. Для месторождения характерны 3 стадии метасоматоза: 1 – дорудная – представлена пропилитами среднетемпературной эпидот-хлоритовой и низкотемпературной карбонат-хлоритовой фации, а также кварц-хлоритовыми изменениями с серицитом; 2 – прерудная – кварц-адуляр-гидрослюдистая и аргиллизитовая формация, которая является околотрещинной и приуроченной к субширотным и северо-восточным трещинам и наблюдается в виде линейных зон, сопровождающих рудные тела; 3 – синрудная – представлена околожильными метасоматитами, приуроченными к кварцевым жилам.

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) В результате проявленной совокупности в пределах ОЧВП геологических процессов и меловой тектоно-магматической активизации

сформировались современные массивы горных пород, 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.

2) Тектоническая активность в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса способствовала формированию мозаичного структурно-тектонического строения и образованию прогибов, грабенов, кальдер и т.д. Это обусловило блочное строение месторождений, состоящих из сети трещин, и формирование зон ослабления различной мощности.

3) Распространение метасоматических процессов 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 тел, отличающихся по минеральному составу и физико-механическим свойствам.

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

Под зональностью ИГУ следует понимать один из типов пространственного изменения ИГУ, выражающийся в их закономерной широтной трансформации в пределах равнинных или платообразных платформенных регионов континентов Земли и широтно-высотной (высотно-поясной) в пределах орогенных складчатых регионов.

Изучаемая территория – это площадь повсеместного распространения многолетнемерзлых пород, формирование которой явилось результатом трех оледенений. И на данный момент многолетнемерзлые породы на территории ОЧВП 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, температуру 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.

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

Формирование климата происходит в условиях сравнительно высоких широт и резких контрастов подстилающей поверхности в системе суша-океан. При этом рельеф оказывает большое влияние на распределение температур, осадков, ветра,

суровости погоды, снежного покрова. Близость холодных морей (Охотского) обеспечивает в летний период преобладание холодной, сырой погоды. Месторождения Ирбычан и Невенрекан принадлежат к области субарктического пояса с резко континентальным климатом. Приморское расположено в области умеренного пояса с морским климатом.

Таким образом, значительный спектр зональных факторов, существующих в пределах изучения месторождений, обеспечивает наличие многолетнемерзлых пород. Их распространение и развитие зависят от общего теплового состояния Земли и его изменений, определяемых радиационно-тепловым балансом.

Кроме того, влияние моря привело к формированию узкой полосы островной мерзлоты (месторождение Приморское), далее простираются области сплошной мерзлоты. Формирование областей прерывистой и сплошной мерзлоты обусловлено проявлением трёх зональных факторов: 1) ослабление влияния моря, вызывающее понижение температуры верхнего слоя литосферы по мере удаления от берегов на 4 - 5 км; 2) распространение нагорий и резко обособленных низменностей; 3) резко вертикальная зональность в распределении среднегодовых температур.

Месторождения, расположенные в среднегорье (Приморское, Невенрекан), характеризуются трещиноватыми морозными скальными породами с температурами от минус 0,1°С до минус 3,5°С.

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 способствует формированию под долинами рек сквозных таликов. Основная часть месторождения 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.

В гидрогеологическом разрезе на месторождениях, согласно общепринятой классификации, выделены четыре гидрогеологических подразделения: надмерзлотные воды, воды несквозных таликов, грунтовые безнапорные воды; артезианские воды вулканогенного супербассейна.

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.

Инженерно-геологические особенности рассмотренных месторождений по региональным и зональным факторам схожи, что определяется такими факторами, как общее историко-геологическое развитие и наличие ММП, а отличительные признаки связаны с индивидуальными особенностями каждого месторождения (Таблица 1).

Таблица 1 – 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	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 скола 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	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

Второе защищаемое положение. 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.

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

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

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

Закономерности изменения физико-механических свойств пород золото-серебряных месторождений ОЧВП

Вследствие наложения многочисленных метасоматических процессов на горные породы произошла смена минеральных составляющих пород, сформировались рудные зоны, резко отличные по физико-механическим свойствам от вмещающих пород, поэтому авторами массив пород был разделен на 3 части: 1 – вмещающие (слагающие большую часть массива месторождения); 2 – околорудные (окаймляют рудные тела); 3 – рудные тела.

При этом вмещающие породы на изучаемых месторождениях представлены: андезибазальтами, игнимбритами риолитов (Приморское); базальтами, туфами риолитов, дацитов, игнимбритами риолитов, кварц-серицитовыми (Q-Ser) и кварц-хлорит-серицитовыми (Q-Chl-Ser) метасоматитами (Невенрекан); риолитами и их туфами, кварц-хлорит-гидрослюдистыми (Q-Chl-гидр.) метасоматитами (Ирбычан).

Доказано, что высокое содержание в породах плагиоклаза (Pl), кварца (Q), калиевого полевого шпата (КПШ) (более 80%) обеспечивает высокие значения прочности. Низкое содержание в породах гидратированных слюд (2-5%) обеспечивает сохранение прочности пород после водонасыщения (Диссертация гл. 3, рис. 3.3, 3.5). Появление Q-Ser, Q - Chl-Ser метасоматитов (Невенрекан), Q-Chl-гидр. метасоматитов (Ирбычан) приводит к значительному снижению прочности всего массива пород. Так метасоматиты Q-Ser и Q-Chl-Ser состава (Невенрекан) состоят из: Q (28-42 %), КПШ (11-19 %), гипса (10-17 %), иллита, каолинита, гидратированных разностей слюд и хлорита (31-36 %). Присутствие в породах глинистых минералов (иллит, каолинит) обеспечивает прочность (Rсж) равную 5,0-7,9 МПа (малопрочные) и низкие значения коэффициента размягчаемости (Ksof) 0,16-0,51 д.е. (размягчаемые). После водонасыщения потери прочности составляют 49-84 %.

Метасоматиты Q-Chl-гидр. (Ирбычан) в своем составе содержат: Q (20 - 30 %), КПШ (60-68 %), Pl (2-3 %), гидрослюды (10-15 %), каолинит (5-10 %), гидроокислы железа (2-3 %), пирит (2-3 %), ярозит (1-2 %). В зависимости от количества глинистых минералов в массиве выделяются: породы низкой прочности Rсж=1,3-2,9 МПа, эти грунты при водонасыщении полностью теряют прочность; малопрочные с Rсж=5,2-14,4 МПа, после водонасыщения потери прочности составляют 20-70 %.

Околорудные породы на месторождениях представлены метасоматитами близкого минерального состава: кварц-хлоритового (Q-Chl), Q-Chl-Ser состава (Приморское); кварц-серицитового (Q-Ser), карбонат-хлоритового (Ca-Chl) состава

(Невенрекан); кварц-каолинит-гидрослюдистого (Q-Ка-гидр.) состава (Ирбычан). Однако разное соотношение гидратированных слюды, хлорита, кварца оказало влияние на образование разных по прочности и размягчаемости пород (Таблица 2).

Таблица 2 – Соотношение минерального состава околорудных пород с прочностью и коэффициентом размягчаемости

Месторождение	Приморское	Невенрекан	Ирбычан
Минеральный состав	Q (34-58%), Al (15-48%), И+Chl (36%), КПШ (8-23%)	Q (46-51%), КПШ (5-45%), И+Ка+Chl (25-29%) Гипс (3-11%)	КПШ (50-55%), Q (30-35%), Г (5-7%), Py (3-5%), Ка (2-3%), Pl (2-3%)
Rсж(сух.), МПа	51,3	27,0	44,5
Rсж(вод.), МПа	35,1	11,4	35,6
Ksof, д.е.	0,65	0,51	0,80

Примечание: Rсж (сух./вод.) – пределы прочности при сжатии (в сухом/в водонасыщенном состоянии); Ksof – коэффициент размягчаемости; Q – кварц, Al – альбит; И – иллит; Chl – хлорит; Pl – плагиоклаз; КПШ – калиевый полевой шпат; Г – гидрослюды; Ка – каолинит; Fe – гидроокислы железа; Py – пирит.

Зависимости прочности околорудных пород от минерального состава для месторождений приведены в диссертации (гл. 3, рис. 3.8, 3.22).

Рудные зоны – представляют собой кварцевые жилы, из вторичных минералов встречаются: КПШ, альбит, родонит, родохрозит, пиролюзит (Приморское), кальцит, родохрозит, хлорит, пиролюзит (Невенрекан), халцедон, гидроокислы железа (Ирбычан).

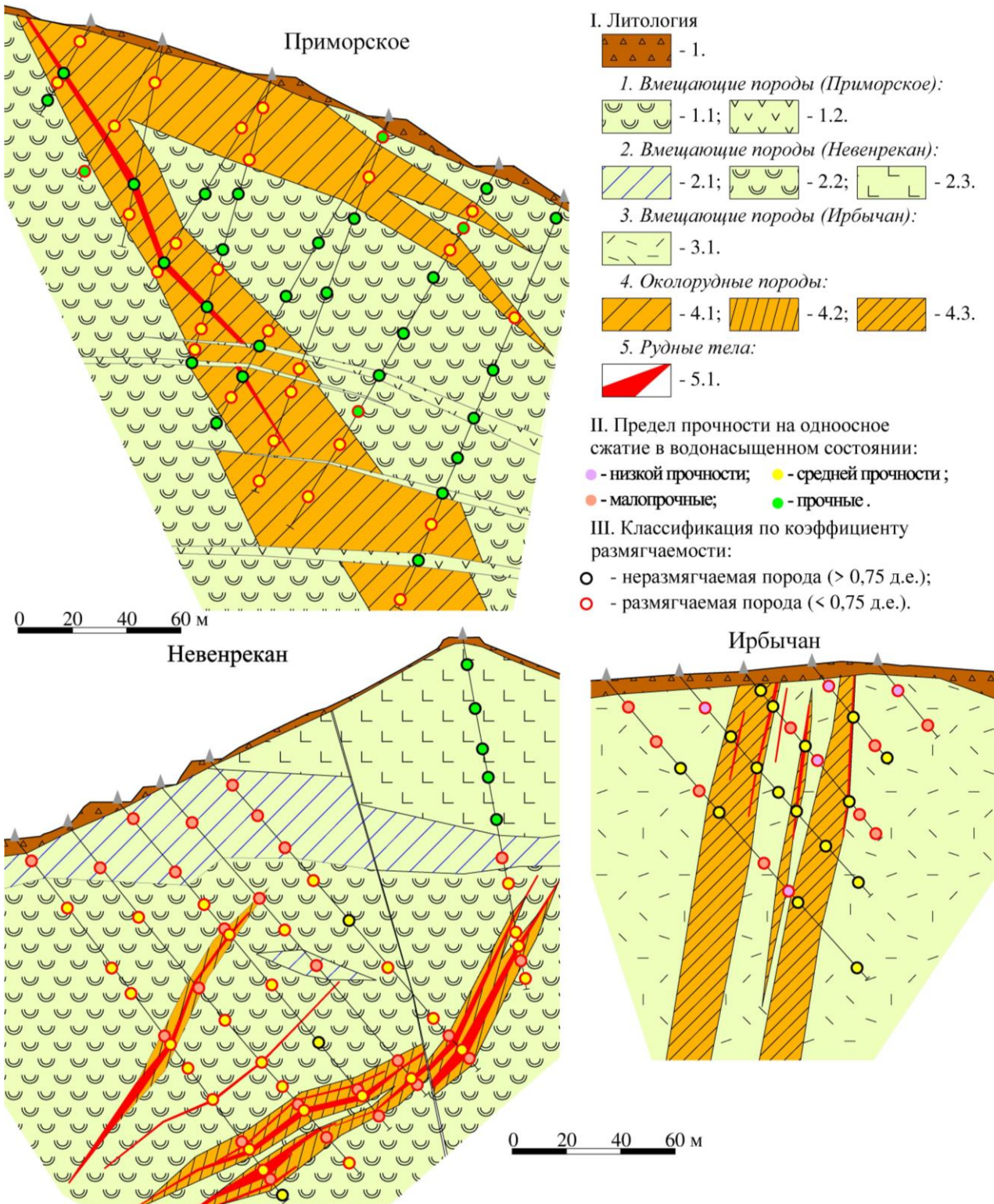
По результатам испытаний рудные тела на месторождении Приморское относятся к группе прочных пород, а на месторождениях Невенрекан и Ирбычан – средней прочности (Таблица 3).

Таким образом, прочность пород месторождений напрямую зависит от типа проявления гидротермального метасоматоза, температурных условий, кислотно-щелочного баланса (Диссертация гл. 3, рис. 3.35, 3.36).

Схемы пространственной неоднородности свойств пород месторождений Приморское, Невенрекан и Ирбычан представлены на рисунке 1.

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

Основной задачей изучения трещиноватости массивов горных пород является выделение участков разной степени трещиноватости. После проведения полевого этапа с целью обобщения информации необходимо выполнить оценку степени трещиноватости с использованием методов классического статистического анализа. Решение такой задачи возможно только при разработке алгоритма и создании базы данных, которые облегчат выполнение трудоемких ручных операций и, в целом, повышают эффективность производства работ. Предложенная система позволяет выбирать параметры трещиноватости массива горных пород, оперировать информацией и выдавать запрашиваемые параметры согласно общепринятым категориям или с разными фильтрами, что позволяет применять различные регламентированные классификации в расчете устойчивости массива пород.



Примечание: 1 – техногенные отложения (Приморское); элювиально-делювиальные образования (Невенрекан); аллювиальные, элювиальные образования (Ирбычан). **Вмещающие породы:** 1.1 – игнимбриты риолитов; 1.2 – андезибазальты; 2.1 – Q-Ser, Q-Chl-Ser метасоматиты; 2.2 – туфы риолитов, дацитов, игнимбриты риолитов; 2.3 – базальты; 3.1 – риолиты и их туфы, Q-Chl-гидр. метасоматиты. **Околорудные породы:** 4.1 – Q-Chl, Q-Chl-Ser метасоматиты (Приморское); 4.2 – Q-Ser, Ca-Chl метасоматиты (Невенрекан); 4.3 – Q-Ka-гидр. метасоматиты (Ирбычан). **Рудные тела:** 5.1 – кварцевые жилы.

Рисунок 1 – Схемы пространственной неоднородности свойств пород месторождений

Таблица 3 – Физико-механические свойства месторождений

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	Игнимбрилы риолитов			Базальты	Туфы	Q-Ser, Q-Chl-Ser метасоматиты			Q-Chl-гидр. метасоматиты	Риолиты и их туфы			
p	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
ps	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.	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
Rсж.сух	75,2	84,8	51,3	92,6	80,6	40,7	17,6	27,0	51,8	7,5	22,6	42,2	44,5	47,2
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
φ	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; p - плотность грунта, г/см³; ps - плотность частиц грунта, г/см³; 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; φ - угол внутреннего трения в сухом состоянии, град.; f - коэффициент крепости по М.М. Протодякову.

Алгоритм анализа степени и характера трещиноватости включает в себя:

I этап (Предварительный). Изучение и анализ геолого-структурного строения месторождения, его генезиса, оценка проявления тектонических процессов и гидротермального метасоматоза. Что позволит сформировать начальное представление об основных факторах, определяющих степень и характер трещиноватости месторождения.

II этап (Полевой). Получение информации по степени и характеру трещиноватости массива пород на основе инженерно-геологической документации керна в электронном журнале в программном комплексе Microsoft Excel. В состав работ входит получение характеристик: количественных – модули кусковатости и трещиноватости, показатель качества пород, блочность; качественных – минеральный состав заполнителя трещин, морфологию поверхности трещин, углы падения трещин по отношению к оси керна. Вся информация оформляется и структурируется по фиксированным форматам в табличном редакторе “EXCEL”, далее аккумулируется в базе данных с помощью программного обеспечения “Microsoft Access” в соответствующих тематических разделах.

III этап (Камеральный). Обработка данных методом классического статистического анализа, который позволяет получать информацию как по всему месторождению, так и по выбранным профилям или горизонтам.

Анализ трещиноватости массивов пород месторождений, выполненный по предложенному алгоритму, показал, что массивы претерпели этапы последовательных тектонических движений: I – дорудный; II – рудный и наиболее важные для оценки современной трещиноватости – пострудный и неотектонический.

Установлено, что в массивах пород всех изучаемых месторождений развиты трещины с волнистой поверхностью, они составляют более 50 % (Таблица 4). Минеральный состав заполнителя открытых трещин – гидроокислы железа (Приморское, Ирбычан), глина трения (Невенрекан), значительный процент трещин без заполнителя (Ирбычан).

Для оценки количественных параметров трещиноватости и определения преобладающей категории использовалась классификация ВСЕГИНГЕО, в состав которой добавлен коэффициент зон ослабления. При использовании статистического анализа были получены следующие результаты по преобладающей категории: вмещающие породы – сильнотрещиноватые (Приморское, Невенрекан), раздробленные (Ирбычан); окolorудные – сильнотрещиноватые (Приморское, Невенрекан), раздробленные (Ирбычан); рудные зоны – на всех месторождениях относятся к категории раздробленных (Таблица 4).

Расчёты коэффициентов зон ослабления показали, что наиболее сложным при обработке будет месторождение Ирбычан, где зоны ослабления являются результатом не только тектонических процессов, но и зонами глубокой метасоматической проработки.

Мерзотно-гидрогеологические условия золото-серебряных месторождений ОЧВП

Территория ОЧВП претерпела три крупных климатических и геокриологических ритмов, в период которых формировались толщи многолетнемерзлых пород (ММП).

Таблица 4 – Качественные и количественные показатели трещиноватости пород месторождений

	Приморское месторождение					Месторождение Невенрекан					Месторождение Ирбычан				
	Характер поверхности открытых трещин	Минеральный состав заполнителя	Степень трещиноватости массива	Кол-во З.О.	Кз.о., %	Характер поверхности открытых трещин	Минеральный состав заполнителя	Степень трещиноватости массива	Кол-во З.О.	Кз.о., %	Характер поверхности открытых трещин	Минеральный состав заполнителя	Степень трещиноватости массива	Кол-во З.О.	Кз.о., %
Вмещающие	Вш(79%) Вг(21%)	Fe(81%) Су(16%) Non(3%)	Сил.(54%) Ср.(27%) Р/др.(19%)	621	16,7	Вш(79%) Пг(12%) Пш(9%)	Су(60%) Fe(34%) Non(4%) Q-Ca(2%)	Сил.(48%) Ср.(35%) Р/др.(17%)	508	20,9	Вш(52%) Сш(48%)	Fe(57%) Non(37%)) Су(6%)	Р/др.(49%) Сил.(43%) Ср.(8%)	152	44,2
Околорудные	Вш(84%) Пш(16%)	Fe(88%) Су(10%) Non(2%)	Сил.(44%) Р/др.(39%) Ср.(17%)	95	15,2	Вш(61%) Пг(25%) Пш(14%)	Су(69%) Fe(17%) Q-Ca(9%) Non(5%)	Сил.(45%) Р/др.(38%) Ср.(17%)	35	18,2	Вш(66%) Сш(34%)	Non(63%)) Fe(30%) Су(7%)	Р/др.(49%) Сил.(34%) Ср.(17%)	60	42,2
Рудная зона	Вш(67%) Вг(33%)	Fe(90%) Су(9%) Non(1%)	Р/др.(55%) Сил.(36%) Ср.(9%)	167	27,0	Вш(75%) Пш(25%)	Су(67%) Non(13%)) Fe(12%) Q-Ca(8%)	Р/др.(56%) Сил.(36%) Ср.(8%)	310	27,7	Вш(79%) Сш(21%)	Non(43%)) Fe(45%) Су(12%)	Р/др.(65%) Сил.(27%) Ср.(8%)	140	60,6

Примечание: Кол-во З.О. – количество зон ослабления; Кз.о. – коэффициент зон ослабления; Пг – плоская гладкая; Пш – плоская шероховатая; Вг – волнистая гладкая; Вш – волнистая шероховатая; Сш – ступенчатая шероховатая; Fe – гидроокислы железа и марганца, Су – глина трения, Non – без заполнителя, Q-Ca – кварц-карбонат; Ср. – среднетрещиноватые, Сил. – сильнотрещиноватые, Р/др. – раздробленные.

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) и на фактический материал, включающий в себя термометрические наблюдения в скважинах и инженерно-геологическую документацию керна. Сравнительная характеристика распространения ММП на месторождениях приведена в таблице 5.

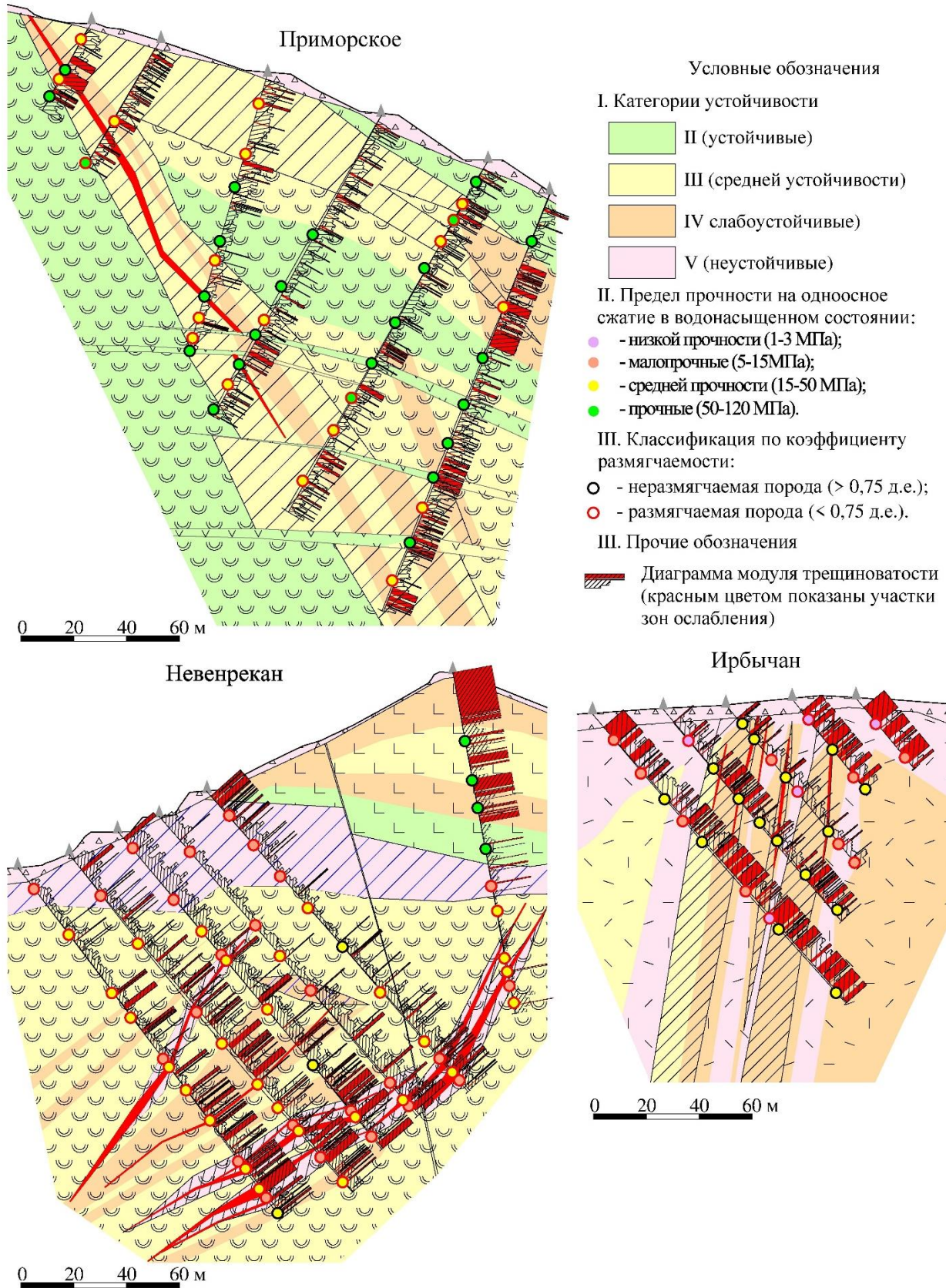
Таблица 5 – Характеристика распространения ММП на месторождениях

Приморское	Невенрекан	Ирбычан
1. Характеристика распространения многолетнемерзлых пород		
сплошное распространение		преимущественно сплошное распространение с несквозными таликами
2. Строение ММП в разрезе		
однослойное строение		двухслойное строение
3. Тепловой режим мерзлых пород		
от (-0,1) до (-2,4)°С	от (-0,3) до (-3,3)°С	от (-0,9) до (-1,3)°С
4. Тепловой режим талых пород		
–		от 0,1 до 1,1°С
5. Геотермический градиент		
0,01-0,015°С/м	0,01-0,022°С/м	0,01-0,018 оС/м
6. Глубина подошвы ММП		
180-200 м	170-190 м	80-240 м
7. Глубина кровли ММП		
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
8. Мощность гидрогенных таликов		
–		60-80 м

Третье защищаемое положение. 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.

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

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



Примечание: литологическое описание пород представлено на Рисунке 1.

Рисунок 2 – Инженерно-геологические разрезы с выделением категорий устойчивости на месторождениях Приморское, Невенрекан и Ирбычан

Таблица 6 – 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

Для оценки свойств скального массива при взаимодействии с горными выработками в настоящее время широко применяются регламентированные классификации. Они позволяют выделить категории (классы, группы) массива по устойчивости используются разные геологические параметры (прочность на одноосное сжатие, модули трещиноватости и кусковатости, показатель качества пород, поверхность трещин, морфологические особенности и заполнитель трещин, размер элементарного структурного блока, обводненность и т.д.)

Для получения относительных оценок устойчивости массива горных 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, также она имеет практическое применение и неоднократно использовалась при проектировании крупных объектов.

Выполненные исследования на ряде месторождений ОЧВП показали, что общность условий образования, структурно-тектонические условия позволяют разработать унифицированный 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 массив пород.

По результатам расчетов, в разрезе месторождений были выделены категории устойчивости: устойчивые, средней устойчивости, слабоустойчивые, неустойчивые (Рисунок 2, Таблица 6).

Все месторождения отличаются друг от друга по физико-механическим свойствам, степени и характеру трещиноватости, мерзлотно-гидрогеологическим условиям, что повлияло на соотношение категорий устойчивости внутри каждого из месторождений (Рисунок 3).

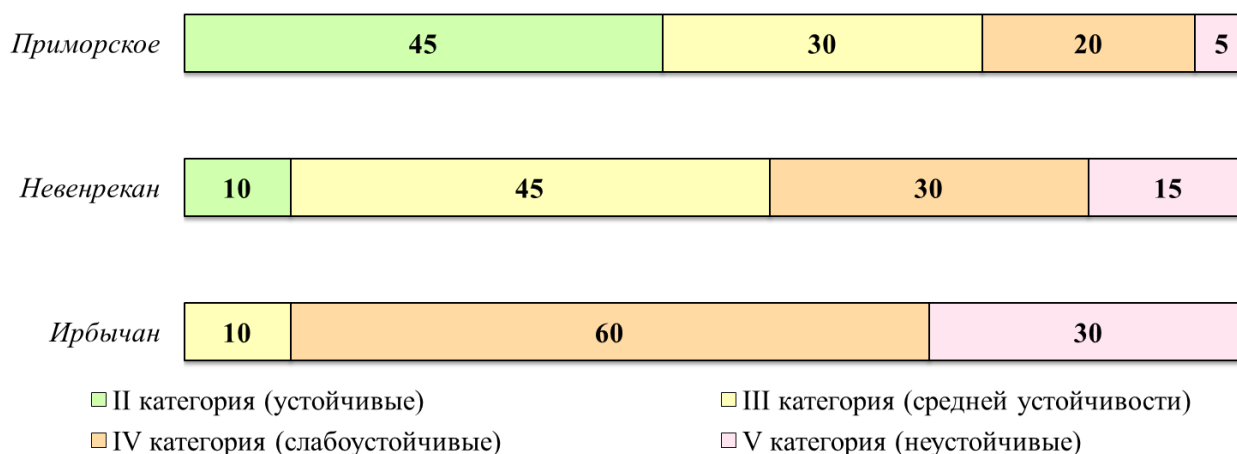


Рисунок 3 – Распределение категорий устойчивости в массиве пород месторождений

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 ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией:

1. Характер и степень трещиноватости массива пород золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса на примере Приморского месторождения / **Козлов В.С.** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 11-2. – С. 95-105.
2. Влияние региональных и зональных факторов на формирование инженерно-геологических условий Охотско-Чукотского вулканогенного пояса / **Козлов В.С.**, Мазайтова Э.Д. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 5-1. – С. 107-118.
3. Dynamics of engineering and geological conditions of mineral deposits (from exploration to exploitation) / Abaturova I.V., Storozhenko L.A., Nugmanova E.D., **Kozlov V.S.** // Bulletin of Perm University. Geology. – 2021. – Т. 20. – № 3. – P. 222-228.
4. Этапность изучения инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых от разведки до отработки / Абатурова И.В., Савинцев И.А., Стороженко Л.А., Нугманова Э.Д., **Козлов В.С.** // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – № 7. – С. 83 - 91.
5. Инженерно-геологические условия как основа обеспечения строительства подземных сооружений / Абатурова И.В., Савинцев И.А.,

Козлов В.С., Нугманова Э.Д., Звонарев Е.А. // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – № 4 (56). – С. 64-73.

б. Закономерности формирования физико-механических свойств пород золоторудных месторождений / Абатурова И.В., Савинцев И.А., Борисихина О.А., **Козлов В.С.** // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2017. – № 8. – С. 92-101.

Публикации в иных изданиях, включая сборники и материалы конференций:

7. Особенности состава, строения и свойств пород Приморского месторождения / **Козлов В.С.**, Абатурова И.В., Савинцев И.А., Мазайтова Э.Д. // Инженерная и рудная Геофизика 2023. – 2023. – С. 75-83.

8. Инженерно-геологическое обоснование прогноза устойчивости горных выработок на этапах поисково-разведочных работ / **Козлов В.С.**, Стороженко Л.А., Мазайтова Э.Д., Королева И.А. // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения. – 2022. – С. 193-198.

9. Закономерности развития зон и поверхностей ослабления в массивах горных пород месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса / **Козлов В.С.**, Стороженко Л.А., Савинцев И.А., Корчак С.А. // Инженерная и рудная геофизика 2022. – 2022. – С. 193-199.

10. Assessment of the impact of talik zones on the development of mineral deposits / **Kozlov V.S.**, Abaturova I.V., Zvonarev E.A, Nugmanova E.D. // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019. – Т. 2019. – №. 1. – P. 1-6.

11. Assessment of the Influence of Metasomatism Processes on the Formation of the Physicomechanical Properties of Rocks / Borisikhina O.A., Abaturova I.V., Savintsev I.A, **Kozlov V.S.** // Engineering and Mining Geophysics 2019 15th Conference and Exhibition. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2019. – Т. 2019. – №. 1. – P. 1-9.

12. Evaluation of engineering-geological conditions of the rock mass in mining deposits of underground way / Abaturova I.V., Savintsev I.A., Borisikhina O.A., **Kozlov V.S.**, Shevaldin D.A., Balakin V.Y. // Engineering geophysics 2017. – Т. 2017. – №. 1. – P. 1-7.

13. Физико-механические свойства вмещающих пород месторождения "Ирбычан" / **Козлов В.С.** // Геология в развивающемся мире. – 2017. – С. 107-108.

14. Обеспечение условий отработки месторождений полезных ископаемых подземным способом инженерно-геологическими данными / Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Савинцев И.А., **Козлов В.С.** // Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки. – 2016. – С. 70-76.

15. Инженерно-геологические условия золоторудных месторождений и особенности их изучения / Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Борисихина О.А., **Козлов В.С.** // Проблемы недропользования. – 2016. – №. 2 (9). – С. 32-38.

Подписано в печать 11.03.2024 г. Тираж 100 экз.
Усл. печ. л. 1,25. Формат 60×90/16.

Отпечатано в типографии ООО «ГИНГЕО»
620014, г. Екатеринбург, улица Хохрякова, 72
