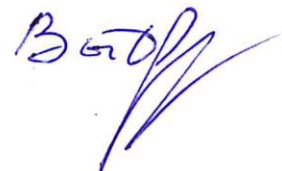


**Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский
научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.
Федоровского» ФГБУ «ВИМС»**

На правах рукописи



Выдрич Денис Евгеньевич

**СТРУКТУРА, ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПРОГНОЗНАЯ
ОЦЕНКА МОЛИБДЕНОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАДИС
(РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))**

Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук
Б.Н. Шашорин

Москва-2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАДИС.....	12
1.1. Состояние проблемы и изученность месторождения Бадис	12
1.2. Тектоническая позиция и структурно-геодинамические особенности формирования месторождения.....	16
1.3. Структура месторождения, факторы рудоконтроля и закономерности локализации оруденения	26
1.4. Выводы	42
Глава 2. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАДИС	45
2.1. Характер проявления метасоматических процессов.....	45
2.2. Стадийность минералообразования, вещественный состав и геохимические особенности руд	50
2.3. Выводы	71
Глава 3. ФОРМАЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРОГНОЗ ОРУДЕНЕНИЯ	74
3.1. Геохимическая характеристика, зональность и эрозионный срез оруденения	75
3.2. Прогнозно-поисковая модель и оценка рудного потенциала объекта	92
3.3. Выводы	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	116
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	123

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Не смотря на то, что по общим масштабам сырьевая база молибдена Российской Федерации занимает пятое–шестое место в мире после Китая, Чили, США, Перу и Канады, на ее долю в последние годы приходилось лишь 1–2 % мирового производства металла, а потребность в молибдене удовлетворялась преимущественно за счет импорта [Государственный доклад..., 2018, 2019]. При этом в целом по РФ валовой удельный расход молибдена на 1 тонну выплавляемой стали в 2,5–3 раза меньше, чем в развитых зарубежных странах. Вместе с тем, в условиях экономических санкций, предпринимаемых западом против России, проблема импортозамещения в данной сфере оказывается очень важной. Особенно она актуальна в связи с ожидаемым в ближайшие годы ростом внутреннего потребления молибдена из-за увеличения производства высоколегированных сталей, количества заказов оборонного сектора, в том числе с целью экспорта вооружений, наращиванием объемов бурения на нефть и газ, появлением новых сфер применения металла. Вместе с тем, в соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы РФ до 2030 года [Стратегия..., 2017] молибден отнесён к пятой группе полезных ископаемых, для которых минерально-сырьевая безопасность может считаться лишь частично обеспеченной. При этом эксперты информационно-аналитического центра «Минерал» и др. [Мирлин, 1986] не без оснований полагают, что к 2025–2030 году рентабельные для эксплуатации запасы молибдена в России существенно сократятся. В то же время возможный дефицит молибденовых концентратов на мировом рынке может послужить причиной не только роста цен на металл (ныне мировые цены составляют порядка 16 долл./кг молибдена в продукте), но и нового всплеска развития молибденовой отрасли в целом. Поэтому вопрос опережающего наращивания отечественной сырьевой базы данного металла и улучшения её структуры приобретает для России важное государственное значение. В русле мероприятий, нацеленных на решение этой народнохозяйственной задачи подготовлена и настоящая диссертационная работа,

характеризующая перспективы одного из объектов, где подобное наращивание ресурсного потенциала, по мнению автора, вполне вероятно.

Месторождение Бадис (коорд. 55°49'50" с.ш., 128°52'30" в.д.) относится к молибденовым объектам штокверкового типа, которые имеют преобладающее значение в разведанных запасах молибдена и играют главную роль в его мировой добыче. При этом следует учитывать, мировую тенденцию ввода в эксплуатацию месторождений относительно бедных руд. Таким образом, данное месторождение входит в перспективную группу минерального сырья и при положительных результатах оценки, освоение его может создать дополнительный источник получения металла и внести свой вклад в решение важнейшей государственной задачи – опережающего развития восточных регионов страны.

Интенсификация освоения зоны БАМа, планы по созданию в Нерюнгринском районе республики Саха (Якутия) горно-металлургического кластера, на базе крупного Эльгинского месторождения угля и Таёжного железорудного месторождения, проектируемое развитие гидроэнергетики, золотодобычи, существенно увеличивает перспективы экономического развития региона. Не последнюю роль в этом играет и благоприятное расположение Бадисского рудного узла, находящегося в 40 км к западу от строящейся железнодорожной ветки Улак-Эльга (Рисунок 1). В этой связи наращивание здесь сырьевой базы такого легирующего металла как молибден, оказывается необычайно важным, давая дополнительный импульс развития территории и повышая её инвестиционную привлекательность. Кроме того, ценность рассматриваемого рудного объекта оказывается существенно выше из-за присутствия таких попутных компонентов как медь, рений, золото. Вышеизложенное, и определяет высокую актуальность представленной диссертационной работы.

Цель и задачи исследований. Цель исследований состояла в установлении структурно-вещественных закономерностей локализации и условий формирования молибденового и сопутствующего оруденения на месторождении

Бадис, оценке его рудного потенциала, а также возможностей и перспектив наращивания запасов месторождения на флангах и глубину.

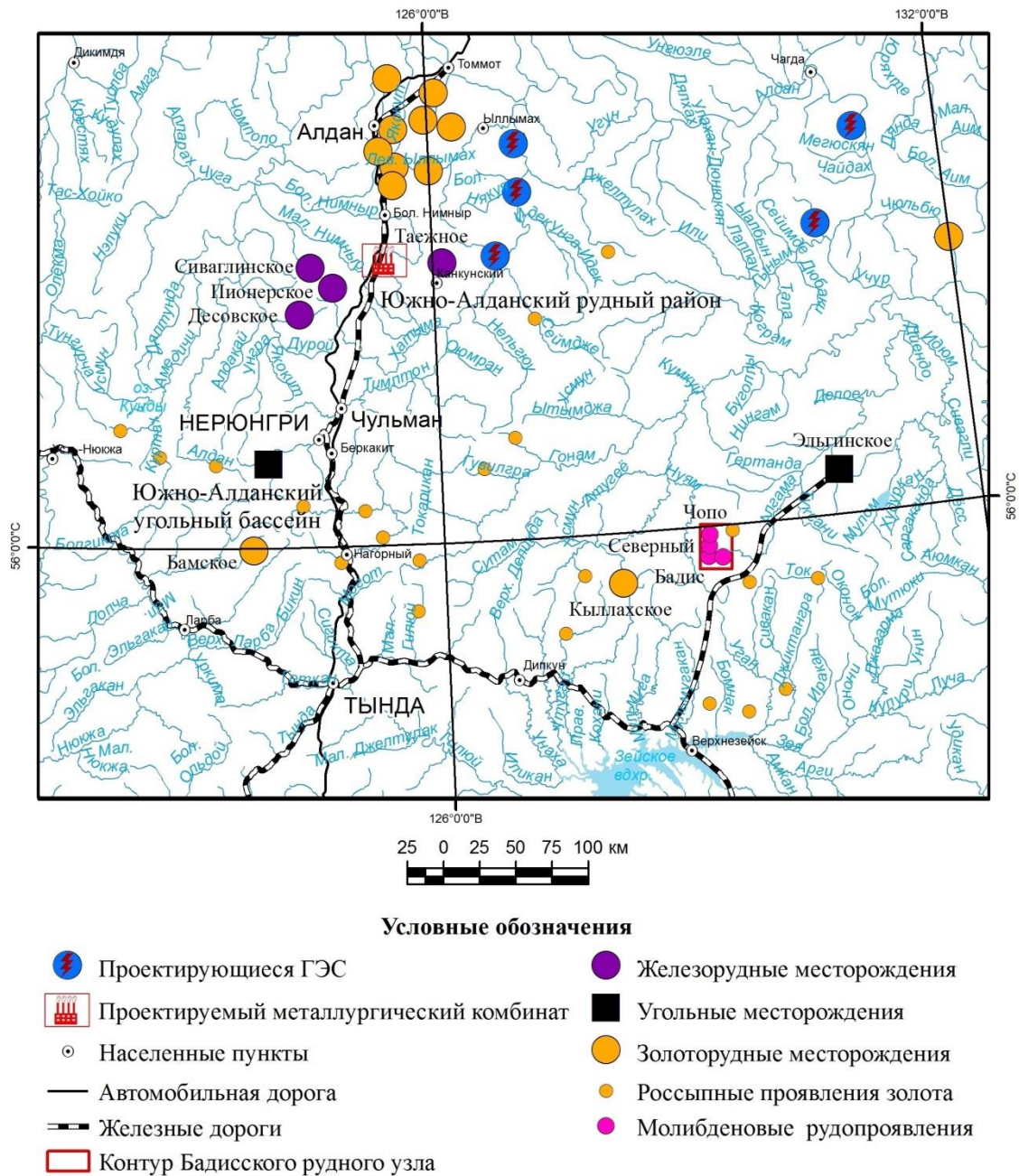


Рисунок 1. Горно-металлургический кластер и расположение Бадисского рудного узла

Реализация данной цели предусматривала решение следующих **задач**:

- провести анализ геотектонической позиции месторождения Бадис в общей структуре района и его металлогенических особенностей;
- расшифровать внутреннее строение и структуру месторождения, факторы рудоконтроля и закономерности локализации оруденения;

- изучить вещественный состав пород и руд, стадийность минералообразования;
- проанализировать геологическую историю развития, изучить особенности рудопродуктивного магматизма, геохимическую зональность и эрозионный срез;
- разработать прогнозно-поисковую модель, на основе которой оценить рудный потенциал месторождения и перспективы его увеличения на флангах и глубину;
- дать рекомендации по направлениям дальнейших геологоразведочных работ и повышению инвестиционной привлекательности объекта.

Фактический материал и личный вклад автора. В основе диссертации — итоги полевых и камеральных исследований, выполненные автором, в ходе реализации договора между ФГБУ «ВИМС» и ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология», по изучению месторождения Бадис. Работа выполнялась три года в рамках Государственного контракта № 08/13 от 13.05.2013 — «Поисковые работы на рудном поле Бадис (Республика Саха (Якутия))».

Диссертант являлся главным исполнителем семи основных разделов отчёта по договору. Им изучено и задокументировано около 2000 пог. м керна и более 500 пог. м канав, пройдено 45 км детальных маршрутов, подробно закартографировано 3 крупных коренных обнажения. Исследована трещинная тектоника рамы и рудопродуктивных гранитоидов, установлена последовательность формирования трещин и роль различных их типов в строении штокверка. Изучены петрографические и геохимические характеристики гранитоидов, а также вещественный состав руд и околорудных изменений. Определены ведущие минеральные ассоциации и стадийность минералообразования. Проанализировано (рентгеноспектральным анализом, ICP-ms, электронно-зондовым микроанализом и др.) 200 образцов. Изучено более 200 шлифов, 50 аншлифов и 30 протолок. Составлены и уточнены геологические карты и разрезы, позволившие установить геолого-структурные и минералого-геохимические особенности месторождения. Разработана многофакторная прогностическая модель месторождения Бадис, положенная в основу его

прогнозной оценки, выполненной в сравнении с эталонными месторождениями. Проведён анализ опубликованных и фондовых материалов по объекту и общеметодической литературы по молибденовым месторождениям. При оценке перспектив молибденного оруденения использованы принципы отраслевого рудно-формационного анализа, разработанные в ВИМСе В.Т. Покаловым для месторождений молибдена, а также интерпретация геофизических съемок, проведенных коллегами (А.И. Макаров и др.). Это позволило наметить необходимые для сравнения объекты-аналоги и сыграло позитивную роль при оценке промышленных перспектив Бадиса и разработке направлений дальнейших работ.

Методы исследований. Основным методом исследований явилось геологическое картирование, которое позволило выделить структурно-морфологические типы рудных тел, прояснить их структурную позицию, расшифровать закономерности локализации оруденения, выявить геохимическую зональность и оценить эрозионный срез месторождения. Региональная тектоническая позиция анализировалась с помощью мелко- и среднемасштабных геологических, тектонических и минерагенических карт, с привлечением результатов дешифрирования космоснимков Landsat ETM+ и созданием ГИС-проектов. Структурная позиция оруденения исследовалась с использованием детальных геолого-структурных карт, планов и разрезов, полученных в ходе оценки месторождения. Изучение этапности деформаций, приведших к формированию штокверковых, жильных и брекчиево-вкрапленных рудовмещающих структур, осуществлялось путем историко-геологического анализа с восстановлением положения осей напряжений и деформаций. Позиция и особенности локализации оруденения, его геохимические характеристики и зональность анализировалась на схемах, разрезах, с построением статистических рядов, расчётом коэффициентов концентрации, дисперсии и использованием факторного анализа.

Для характеристики вещественного состава руд и стадийности в аншлифах и шлифах изучались взаимоотношения минералов и прожилков. Для тонкой

характеристики минерального состава руд использовались данные электронно-зондовых исследований, проведённых к.г.-м.н. Г.Н. Нечелюстовым. По результатам рентгеноспектрального анализа осуществлялась петрохимическая типизация пород при помощи диаграмм $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{--SiO}_2$, Харкера, Дж. Пирса, индекса ASI и др. Все аналитические исследования проводились в Аналитическом центре ФГБУ «ВИМС». (АСИЦ ВИМС). Основная часть работы выполнена в программе Microsoft Word, построение разрезов и карт проводилось при помощи геоинформационных программ ArcGIS, различные диаграммы и схемы строились в графическом редакторе Grapher и Corel Draw. Для выполнения петрохимических пересчетов применялась программа PetroExplorer. Кроме того, для статистической обработки информации использовались программы Statistica, Microsoft Excel, программы комплексной интерпретации Gold Digger, Surfer, модуль Geostatistica в ArcMap и программа интерпретации геолого-геофизических данных Коскад 3Д.

Научная новизна работы состоит в том, что:

1. Охарактеризованы деформационные парагенезисы и этапы становления структуры рудного поля месторождения Бадис (Бадисской рудно-магматической системы). Впервые установлено, что в структуре месторождения доминирующими и наиболее благоприятными для рудолокализации явились тектонические нарушения северо-восточной ориентировки. Они контролируют расположение богатых жильно-штокверковых зон со «стержневыми» кварцевыми жилами. Концентрические и радиальные разрывы играют подчинённую роль в рудоконтроле.

2. На основе изученного петрографического состава и петрохимических характеристик гранитоидов выявлено, что мезозойский порфировый шток имеет многофазное концентрически-зональное строение и центростремительную схему развития. Установлено, что молибденовая минерализация ассоциируется с гранодиорит-порфирами второй фазы; сульфидная (полиметаллическая) — с трубкой взрывных брекчий.

3. На основе диагностики минерального состава руд охарактеризована многостадийность рудообразования, обоснована принадлежность оруденения к

семейству золотосодержащих медно-молибден-порфировых месторождений медно-молибденовой рудной формации. Показана временная последовательность и пространственное положение попутной золотой минерализации.

4. Впервые на основе выявленной структурной, рудно-метасоматической и геохимической зональности объекта создана инновационная многофакторная прогностическая модель месторождения, которая позволила количественно оценить его эрозионный срез и рудный потенциал на глубину.

Практическая значимость. Осуществлена количественная оценка рудного потенциала месторождения, сделано заключение о перспективах наращивания запасов месторождения на флангах и глубину, разработаны рекомендации по направлениям дальнейших геологоразведочных работ. В том числе по рациональной ориентировке поисково-разведочных пересечений штокверка горными выработками и скважинами. Это позволило повысить инвестиционную привлекательность объекта и более целенаправленно ориентировать геологоразведочные работы в соответствии с общей структурой и зональностью. Автор входил в группу экспертов при апробации прогнозных ресурсов месторождения, а его общеметодические разработки использовались (филиал ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология» «Алданский») и др., при поисках в Якутии, а также при проведении аналогичных работ на других территориях Сибири и Дальнего Востока.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований неоднократно докладывались на Ученом совете ФГБУ «ВИМС» и научно-производственных совещаниях в филиале ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология» «Алданский». Они были представлены на ряде международных и региональных конференций и симпозиумов: IV Международная конференция молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, 2015); XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2015); VI научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых» (Москва, 2015); Всероссийская научно-практическая

конференция, посвящённая 60-летию ФГУП «ИМГРЭ» «Роль геохимии в развитии минерально-сырьевой базы ТПИ. Прогноз, поиски, оценка и инновационные технологии освоения редкометалльных объектов» (Москва, 2016). XIV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2019). Основные итоги работы используются при научно-методическом сопровождении геологоразведочных работ, осуществляемых ФГБУ «ВИМС» в соответствии с поручениями Федерального агентства по недропользованию.

По тематике диссертации имеется 11 публикаций, том числе 6 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из трёх глав, в каждой из которых обосновывается отдельное защищаемое положение, а также введения, заключения и списка литературы из 103 наименований. Объем работы 133 страницы, включая 61 рисунок и 13 таблиц.

Благодарности. Диссертант выражает искреннюю признательность своему научному руководителю д.г.-м.н. Б.Н. Шашорину за его терпение и нелёгкий труд наставничества. Автор благодарит за помощь и постоянную поддержку ведущего инженера Н.Л. Рахманова, к сожалению, уже ушедшего от нас. Автор признателен крупному специалисту по штокверкам д.г.-м.н. С.В. Белову за квалифицированные консультации и привлечение внимания к изучению наиболее актуальных вопросов. Полезным было обсуждение возникавших проблем, и критические замечания А.И. Макарова, В.В. Рябцева, к.г.-м.н. Т.И. Гетманской и д.г.-м.н. Р.В. Голевой. Они заставляли задуматься и без сомнения способствовали улучшению диссертации. Неоценимы советы и помощь к.г.-м.н. А.П. Трофимова по обработке геохимических данных. Благодарен к.г.-м.н. В.В. Домчаку за предоставленные первичные геохимические материалы, к.г.-м.н. М.А. Белобородову — первичные геофизические материалы. Большую роль в развитии автора как геолога-исследователя сыграли сотрудники ВИМСа: д.г.-м.н. И.Г. Печенкин, д.г.-м.н., проф. Б.И. Пирогов, к.г.-м.н. О.А. Арманд, В.В. Руднев, к.г.-м.н. Е.В. Матвеева. Диссертант также выражает глубокую признательность

профессорско-преподавательскому составу Отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов (кафедры ГРПИ и ОГЗ) Томского политехнического университета — его альма-матер. И, наконец, автор благодарит сотрудников ГУГГП РС (Я) «Якутскгеология» К.А. Воробьева, Е.В. Анисимову и всех коллег, оказывавших помощь при внедрении результатов исследований и содействие при проведении полевых работ в непростых горно-таёжных условиях.

Защищаемые положения

1. Структурный каркас месторождения Бадис образует мезозойский шток порфировых гранитов, внедрившийся в тектоническом узле пересечения двух крупных региональных разрывных нарушений: субширотного Станового и северо-западного Таксагандинского. В домезозойской и мезозойской истории развития Бадисского узла выделяются ряд этапов, определивших его вещественные и морфологические особенности и комбинированную линейно-кольцевую структуру месторождения.
2. Рудный процесс тесно связан с формированием гранитного штока — его второй фазой внедрения. Выделяются шесть стадий минералообразования, проявившихся синхронно со структурообразованием и определивших рудно-метасоматическую зональность месторождения. Основная масса молибденовой минерализации сформировалась в кварц-молибденитовую стадию и парагенетически связана со второй фазой штока порфировых гранитоидов. Полиметаллическая минерализация с попутным золотом ассоциирует с трубкой брекчий и образовалась после отложения молибдена в кварц-карбонатно-сульфидную стадию.
3. Месторождение Бадис относится к семейству золотосодержащих медно-молибден-порфировых месторождений, для которого характерны масштабные объекты. Выявленные структурная, рудно-метасоматическая и геохимическая зональности свидетельствуют о преимущественно средне- и верхнерудном срезе и существенных перспективах глубоких горизонтов месторождения. Объект относится к категории крупных и имеет высокий рудный потенциал.

Глава 1. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАДИС

Настоящая глава в большей своей части посвящена обоснованию первого и частично второго защищаемого положения.

1.1. Состояние проблемы и изученность месторождения Бадис

Различные аспекты геологии молибденовых месторождений освещены в работах Берзиной А. П., Боголепова В. Г., Грабежева А. И., Денисенко В. К., Дистлера В. В., Золоева К. К., Звездова В.С., Кривцова А. И., Ларичкина В. А., Мовсесян Ж. А., Павлова И. Ф., Перваго В. А., Повилайтис М. М., Покалова В. Т., Попова В'. С., Пэка А. В., Рундквиста Д. В., Сотникова В. И., Хрущёва Н. А., Чухрова Ф. В., Шанина Л. Л., Шипулина Ф. К., Щербы Г. Н., Яковлева П. Д., Field G. W., Hodder R. W., Hollister V. F., Hutchinson R.V., Gustafson L. B, Guild P. W., Kesler S. E., Kirkham R. V., Lowder G.G., Lowell J.D., Sillitoe R. H. и др. Эти исследования составили определённую идеологическую основу, учитывались и использовались автором при решении достаточно частного вопроса касающегося молибденового месторождения Бадис, изучение которого растянулось на многие десятилетия.

К началу 70-х годов прошлого века, в результате геолого-съёмочных работ [Геологическая..., 1969] определилась принципиальная перспективность восточной части Станового хребта на молибден. На возможность выявления здесь крупного молибденового района указывал в своё время и В.Т. Покалов [Покалов, 1970], проанализировавший геотектонические позиции месторождений молибдена в целом по миру. Кроме общегеологических предпосылок в регионе были обнаружены прямые признаки молибденовой минерализации: многочисленные литогеохимические и шлиховые ореолы, а также коренные проявления молибдена, в том числе перспективного штокверкового типа.

К последнему относится и Бадис. Объект был выявлен Ю.П. Кастрыкиным в 1971 г. при проведении Экспедицией № 2 НПО «Аэрогеология» геолого-съёмочных работ масштаба 1:50 000 [Окончательный..., 1974ф]. На его площади в

1972–1973 гг. под руководством Ю.П. Кастрыкина были проведены поисковые работы масштаба 1:10 000. Они включали геологические маршруты, проходку копушей по сети 100×20 м, литохимическое опробование подпочвенного материала, в том числе делювиальных глыб и обломков оруденелых пород, проходка канав — 1900 м³, бороздовое опробование, изучение трещинной тектоники. В результате установлено площадное совпадение первичных и вторичных ореолов рассеяния молибдена. Но главное выяснилось, что есть все основания говорить о наличии месторождения штокверкового типа, ассоциирующего с внедрением штока мезозойских гранитоидов, сделан вывод о рудной зональности пульсационного типа, однако масштабы объекта требовали уточнения.

В 1974 году под руководством М.З. Глуховского [Окончательный..., 1974ф], проведены геофизические исследования масштаба 1:10 000: магниторазведка — 242 пог. км, электропрофилирование — 60 пог.км и ВП — 74 пог.км. По данным магниторазведки установлено, что краевые части штока гранодиорит-порфиров, занимающего большую часть площади, характеризуются повышенной магнитностью в сравнении с его центром и вмещающими гранито-гнейсами. По результатам электроразведки было показано, что ореолы молибдена с содержаниями 0,01 % и выше подчеркиваются аномальными значениями η_k и ρ_k . По результатам ВЭЗ-ВП сделан вывод о том, что глубина развития окисленных брекчиевых руд и, соответственно, низкой концентрации сульфидов, достигает 70–100 м, глубже содержание сульфидов, по-видимому, возрастает.

В целом же по завершении комплекса геолого-геофизических работ семидесятых годов возможные масштабы и перспективы объекта остались неопределёнными.

В 1987 году с целью получения более детальной информации на месторождении Е.П. Максимовым, выполняется тематическая работа минералого-геохимического плана [Молибденоносность..., 1987ф]. Автор предполагает наличие двух стадий: прерудной — кремне-кислотно-каливый метасоматоз, и рудной — отложение в трещинах жильного вещества. В прерудную стадию

минералы вмещающих пород замещаются калишпатом, кварцем и серицитом, с образованием небольшого количества пирита и магнетита. В составе рудной стадии он намечает два парагенезиса: кварц-пирит-молибденитовый и кварц-полиметаллический. Е.П. Максимовым предполагалось, что первый парагенезис развит в породах площадного и линейного штокверков, и сопровождается серицитизацией экзоконтактов прожилков и жил. Кварц-полиметаллический парагенезис, по его мнению, видимо, характерен для эксплозивных брекчий. Минералы парагенезиса представлены пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом и блеклыми рудами. Они образуют убогую вкрапленность, либо концентрируются в прожилках хрусталевидного, крупнозернистого кварца с баритом и кальцитом. Пострудный процесс аргиллизации, оказался наиболее проявлен в теле брекчий и вдоль послерудных тектонических зон. Автор пришёл к заключению, что оруденение относится к молибден-порфировой формации. Таким образом, Е.П. Максимовым впервые были намечены главные черты рудно-метасоматического процесса, приведшего к формированию рассматриваемого объекта.

В 1988–1989 гг. опытно-методической экспедицией ПГО «Центргеофизика» месторождение Бадис было использовано в качестве эталонного объекта для совершенствования методики геохимических работ масштаба 1:200 000 на Восточно-Становой площади [Отчет..., 1989ф]. В результате территория Бадиса была выделена как потенциальное рудное поле. В целом же узел, где располагалось месторождение, был оценён как перспективный. При этом было рекомендовано проведение поисково-оценочных работ на молибден и золото на месторождении Бадис, и поисковых — на остальной части узла.

В девяностые и двухтысячные годы, в связи с распадом СССР, негативно отразившемся и на геологической службе, никаких работ в районе месторождения Бадис не проводилось. Ситуация стала меняться позже, когда к началу две тысячи десятых годов появились планы по созданию в Нерюнгринском районе Якутии горно-металлургического кластера, на базе крупного Эльгинского месторождения угля и Таёжного железорудного месторождения, а у компании РЖД проявился

интерес к развитию БАМа. К вопросу о необходимости продолжить изучение месторождения Бадис вернулись после почти четверть векового перерыва. В 2013–2015 гг. филиалом ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология» «Алданский» совместно с ФГУП «ВИМС» в пределах рудного поля Бадис, включающего месторождение и ряд перспективных участков, проведены поисковые работы (Рисунок 1.1) с проходкой горных выработок и бурением колонковых скважин [Отчет..., 2015ф; Поисковые..., 2015ф].



Рисунок 1.1. Месторождение Бадис. Проведение поисковых работ, 2015 г. Фотография Д. Е. Выдрича

По результатам работ были уточнены и детализированы особенности геологического строения месторождения, выделены основные рудоконтролирующие факторы и определены условия локализации молибденового и сопутствующего оруденения. На современном уровне исследованы петрохимические особенности рудопродуктивных гранитоидов, последовательность их внедрения, процессы метасоматоза, стадийность и зональность рудообразования. Расшифровано внутреннее строение штокверка и история его формирования. Создана прогнозно-поисковая модель рудного поля Бадис и дана оценка его промышленных перспектив. Определены подходы к рациональной технологии обогащения руд [Исследование..., 2015ф]. Результаты оценки прогнозных ресурсов по категориям P_3 , P_2 и P_1 прошли апробацию в ВИМСе и ЦНИГРИ и были официально утверждены [Материалы..., 2015ф]. Разработаны рекомендации по направлениям дальнейшего проведения геологоразведочных работ на объекте.

Подавляющая часть этих исследований была выполнена при непосредственном участии и под руководством Д.Е. Выдрича. Их итоги оперативно внедрялись в практику при проведении поисков. Впоследствии, в ходе подготовки диссертации, автором в 2016–2019 гг. были проведены более углублённые аналитические, геостатистические, и структурно-формационные исследования, позволившие сделать выводы, заключения и рекомендации более весомыми и обоснованными.

1.2. Тектоническая позиция и структурно-геодинамические особенности формирования месторождения

Месторождение Бадис и его рудное поле расположено на сочленении южной окраины Алданского щита со Становой складчатой областью в зоне пересечения субширотного Станового и северо-западного Таксакандинского глубинных разломов (Рисунок 1.2). Становой глубинный разлом является главным разрывным нарушением района и определяет его металлогению [Казьмин, 1962]. Он прослеживается в виде шовной зоны вдоль оси Станового хребта на тысячи километров, заложен в архейское время и отделяет древний Алданский щит на севере от нижнепротерозойской складчатой области Становика, расположенной южнее. В современной структуре он выражен зоной субпараллельных разрывов шириной до 80 км. Его тектоническая активность проявлялась с нижнего протерозоя до мезозоя и обусловила развитие метаморфизма от гранулит-амфиболитовой фации до зеленосланцевой. По данным Л.М. Парфенова [Парфенов, 1984], причиной активности явилось столкновение в поздней юре – нижнем мелу пассивной континентальной окраины, существовавшей на восточном обрамлении Сибирской платформы, с островной дугой. В результате возникала коллизионная обстановка сжатия, приводившая к интенсивным сдвиго-надвиговым дислокациям. Сдвиговая составляющая перемещений по Становому разлому оценивается от первых единиц до десятков километров, вертикальная — в первые километры [Геологическая..., 1969].

Становой разлом сохранил свою активность и до настоящего времени. Сейсмичность здесь достигает 8–9,5 баллов [Имаев и др., 2000].

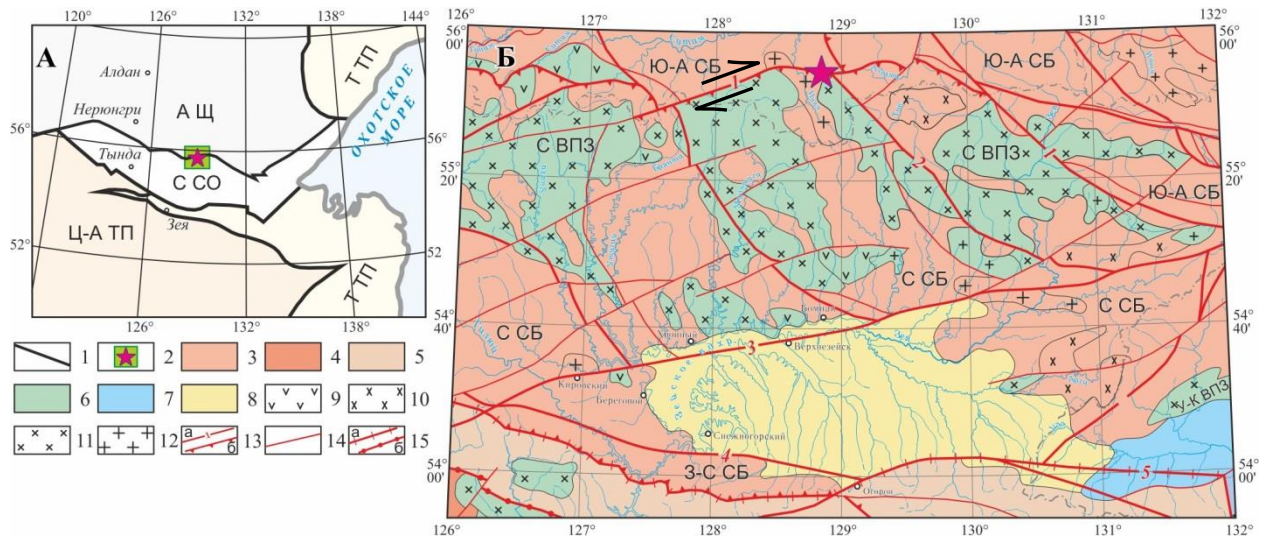


Рисунок 1.2. Тектоническая позиция рудного поля Бадис

А — Схема региональных структур; Б — Тектоническая схема севера листа N-52 по Государственная..., 2005]: 1 — глубинные разломы; 2 — рудное поле (зеленый контур) и месторождение Бадис (красный значок); АЩ — Алданский щит, ССО — Становая складчатая область, Ц-А ТП — Центрально-Азиатский тектонический пояс, Т ТП — Тихоокеанский тектонический пояс; 3 — Алдано-Становой щит: Ю-А СБ — Южно-Алданская система блоков (СБ), С СБ — Становая СБ, 3-С СБ — Западно-Становая СБ; 4 — Буреинский массив; 5 — Амуро-Охотская система; 6 — Мезозойские активизационные структуры: С ВПЗ — Становая вулканоплутоническая зона (ВПЗ), У-К ВПЗ — Удско-Куйдусунская ВПЗ; 7–8 — Кайнозойские впадины: 7 — Боконская, 8 — Верхнезейская; 9–12 — преобладающие формации: 9 — андезитовая, 10 — кварцево-диоритовая, 11 — гранит-гранодиоритовая, 12 — гранитоидная, 13 — Глубинные разломы (а), в их числе надвиги (б): **1** — Становой (стрелки указывают смещения бортов), **2** — Таксакандинский, **3** — Зейский, **4** — Джелтулакский, **5** — Северо-Тукурингский; 14 — Второстепенные разломы; 15 — Краевые швы: а — Алдано-Станового щита, б — Буреинского массива

Таксакандинский разлом является структурой более низкого ранга и возник в результате правостороннего взбросо-сдвига по восточному сегменту Станового разлома (Олёкмо-Становой его зоне), где доминируют напряжения сжатия, вектор которого (ось σ_3) ориентирован субмеридионально, несколько отклоняясь к юго-юго-востоку [Имаев и др., 2000; Фотиади и др., 1982]. По данным В.С. Имаева и др. [Имаев и др., 2000], такое поле сжимающих напряжений, характерное для бассейна реки Гонам (в пределах которого и расположено месторождение Бадис) существовало и в позднемезозойское время, по-видимому, наследуя более древнее напряженно-деформированное состояние. Обстановка сжатия на южной окраине Алданского щита в позднем протерозое подтверждается геотермобарометрическими исследованиями [Александров, 2010]. О подобном

[illegible]

Контуры: синий — рудное поле; красный — площадь месторождения, в центре — интрузивный порфировый штук. На круговых диаграммах — ориентировка осей напряжений: сжатия σ_3 ; и растяжения σ_1 , установленных М.З. Глуховским и Е.А. Синцеровой [Глуховский и др., 1974] по методике М.В. Гзовского. На индексах — возраст пород, остальные условные обозначения в [Государственная..., 2005]

Рассмотрим структурно-геодинамическую обстановку, приведшую к формированию деформационных парагенезисов, определивших тектоническую позицию, как самого месторождения, так и составляющих его структурных элементов. Очевидно, что геодинамика формирования этих парагенезисов связана с тангенциальными взбросо-сдвиговыми движениями по Становому разлому, что подтверждается приподнятым северным крылом, сложенным архейскими толщами Алданского щита. Механизм деформаций в зонах сдвига хорошо изучен теоретически и экспериментально [Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Sylvester, 1988]. Он, как правило, близок к простому сдвигу [Аркадьев, 1998; Мельников и др., 2014], что даёт возможность идентифицировать реально наблюдаемые геологические структуры в зонах динамического влияния разломов с теоретическими и экспериментальными моделями. Именно такой подход принят нами для выяснения геотектонической позиции Бадисского интрузивного штока, являющегося ведущим элементом структуры месторождения, а также многочисленных тел бластомилонитов, даек и жильно-прожилковых зон северо-восточного простирания, развитых на его площади, совокупность которых и создаёт его структурный каркас.

Типы разрывных структур, возникающих в ходе развития геодинамики крупных сдвиговых зон, по [Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Sylvester, 1988], приведены на Рисунок 1.4. Аналогичная картина, характерная по [Аркадьев, 1998], для правого сдвига показана на Рисунок 1.5. Сопоставление структурных элементов месторождения и их идентификация с приведенными на рисунках экспериментально-теоретическими моделями даёт основание сделать следующие заключения. Многочисленные дайки и тела бластомилонитов северо-восточного простирания приурочены к надвигам, возникшим в обстановке сжатия в результате правостороннего взбросо-сдвига по главному сместителю. Такие трещинные сколовые надвиговые структуры, (см. усл. обозначение 4 на Рисунок 1.4 и 6 на Рисунок 1.5) как свидетельствуют данные тектонофизического моделирования, неизбежно возникают в ходе развития сдвиговых зон,

располагаясь косо по отношению к главному сместителю, которым в данном случае являлся Становой разлом.

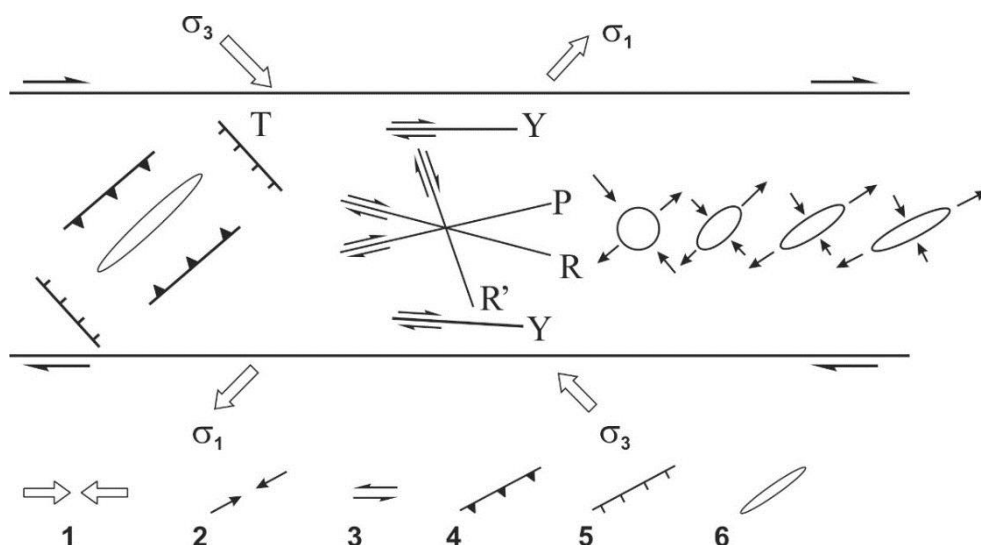


Рисунок 1.4. Основные типы и ориентация структур, возникающих в зоне динамического влияния сдвига по [Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Sylvester, 1988]

1 — ориентация региональных напряжений: σ_3 — наибольшего сжатия, σ_1 — наибольшего растяжения; 2 — ориентация локальных напряжений; 3 — направление перемещений; 4 — надвиги (идентифицируются с северо-восточными разрывами, по которым на Бадисе развиты бластомилониты и дайки); 5 — сбросы; 6 — складки. R — трещины Риделя (синтетические сдвиги), ориентированные под углом 10–20° к главному разлому; R' и P — антитетические сдвиги, ориентированные под углом 60–75° к главному разлому; T — трещины растяжения, сбросы, ориентированные под углом около 45° к главному разлому (идентифицируются с Таксакандинским разломом северо-западного простираия); Y — сдвиги, параллельные главному разлому

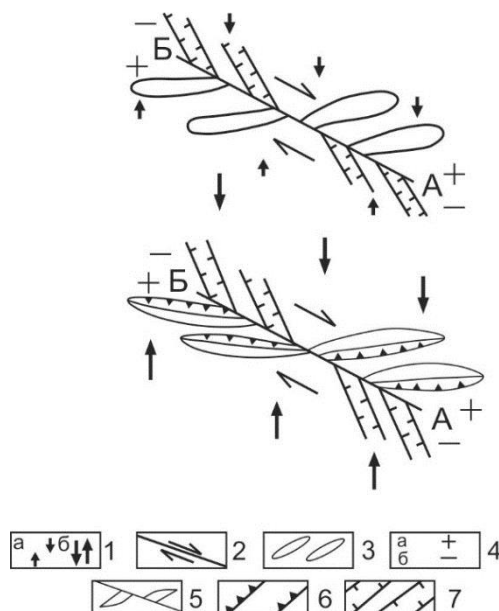


Рисунок 1.5. Деформационные структуры, возникающие при правом сдвиге по [Аркадьев, 1998]

Вверху — начальная, внизу — конечная стадия. 1 — направления сжимающих сил, в начальные (а) и конечные (б) стадии; 2 — сдвиги; 3 — овальные поднятия; 4 — поднятые и опущенные крылья сдвига; 5 — контуры асимметричных складок; 6 — надвиги (идентифицируемые с северо-восточными

разрывами, по которым на Бадисе развиты бластомилониты и дайки); 7 — грабены (идентифицируемые с Таксакандинским разломом северо-западного простирания)

В их пределах активно проявлялся динамометаморфизм. О длительности и унаследованном характере этого процесса свидетельствует то, что амфиболитовая фация метаморфизма (высшие тектонофации по Е.И. Паталахе [Паталаха, 1985, 1987]), типична для докембрийских пород, слагающих раму месторождения. М.З. Глуховский и Ю.П. Кастрыкин [Глуховский и др., 1974] относили данные образования к древним ксенолитам. Средним же, зеленосланцевым степеням (тектонофациям) динамометаморфизма подвергнуты преимущественно мезозойские гранитоиды Бадисского штока. Примечательно, что те и другие зоны динамометаморфизма развиваются по одним и тем же северо-восточным (60°) деформационным структурам, закономерно проявлявшимся, как показывают тектонофизические данные, в виде надвигов, возникавших в обстановке сжатия в результате правостороннего взбросо-сдвига по Становому разлому. В зонах этих надвигов и был сосредоточен динамометаморфизм, охватывавший полосы, шириной от первых метров до 10–20 м. В их пределах фиксируются множественные микросдиги мощностью от 0,1–5 мм до 1–2 см. Минеральный состав шовных зон микросдигов, как средних, так высших тектонофаций представлен кварцем, хлоритом, мусковитом (серицитом), альбитом, калишпатом, мусковитом, биотитом. В швах микросдвигов образуются тонкочешуйчатые микросланцеватые агрегаты, в составе которых минералы ориентированы параллельно плоскостям швов. Состав агрегата в этой микроструктурной обстановке обычно зависит от вмещающей среды. В нём часто присутствует эпидот, клиноцоизит, лейкоксен, иногда карбонаты.

Породы средних тектонофаций характеризуются грубо линзовидно-полосчатыми текстурами. Для высших тектонофаций более обычны параллельно-полосчатые, гнейсовидные и сланцеватые текстуры (Рисунок 1.6). Структура пород реликтовая, для высших тектонофаций — микрогранолепидобластовая. Охарактеризованные выше текстурно-структурные особенности динамометаморфитов обусловлены развитием сети микродеформаций, состоящей

из швов микросдвигов и поперечных им микрораздвигов. Швы микрораздвигов, фиксируются в средних тектонофациях. Они образуют в породе своеобразные субпараллельные микролесенки, усложняя ее текстурные особенности. В высших тектонофациях, где динамометаморфизм был более длительным и более напряженным, сети микролесенок из микросдвигов и микрораздвигов не отмечается. Происходит примыкание микросдвигов и слияние их друг с другом, а микрораздвиги оказываются не характерными. Отмечено возрастание частоты и мощности швов микродеформаций от средних тектонофаций к высшим. В зависимости от степени динамометаморфизма такие микро дислокации охватывают от 50 до 90 % первичных зерен породы.

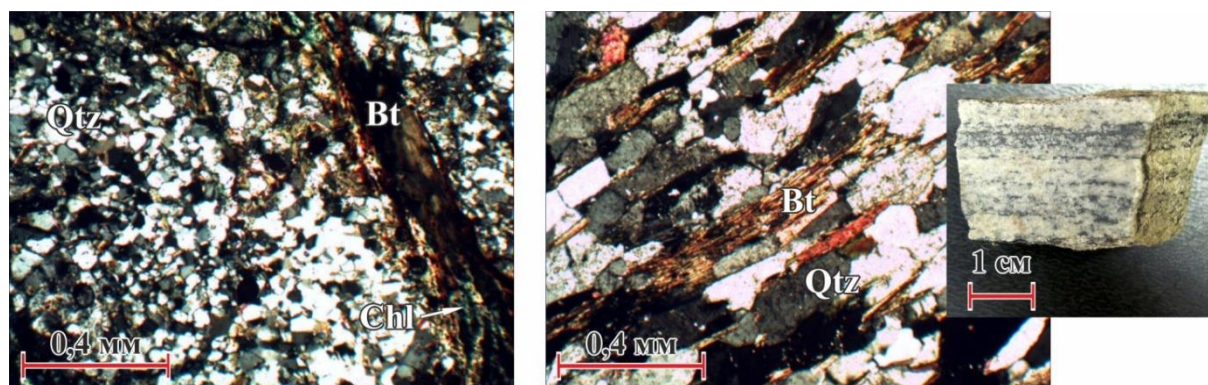


Рисунок 1.6. Текстуры кварц-хлорит-биотитовых бластомилонитов: слева — средней тектонофации; справа — высшей тектонофации. Образец и шлиф в проходящем свете с анализатором

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Bt — биотит, Chl — хлорит, Pl — плагиоклаз

Таким образом, характер напряженно-деформированного состояния территории сохранялся длительное время от докембрия до мезозоя, определяясь геодинамикой движений в области динамического влияния Станового разлома. При этом динамометаморфиты развивались в рамках единых деформационных сдвига-надвиговых структур северо-восточного простирания. Для динамометаморфизма докембрийского возраста, с формированием бластомилонитов, характерны высшие тектонофации и, а для мезозоя — средние. Бластомилониты образовывались в обстановке пластического течения на глубинах 5–15 км, когда тангенциальный стресс был наибольшим. Менее напряжённая геодинамическая ситуация имела место в условиях меньших глубин

и квазипластического течения при тангенциальном стрессе во время формирования мезозойских динамометаморфитов. Позднее, при образовании штокверка, в условиях хрупких деформаций, возросла роль радиальных напряжений, связанных с внедрением порфирового штока (Рисунок 1.7).

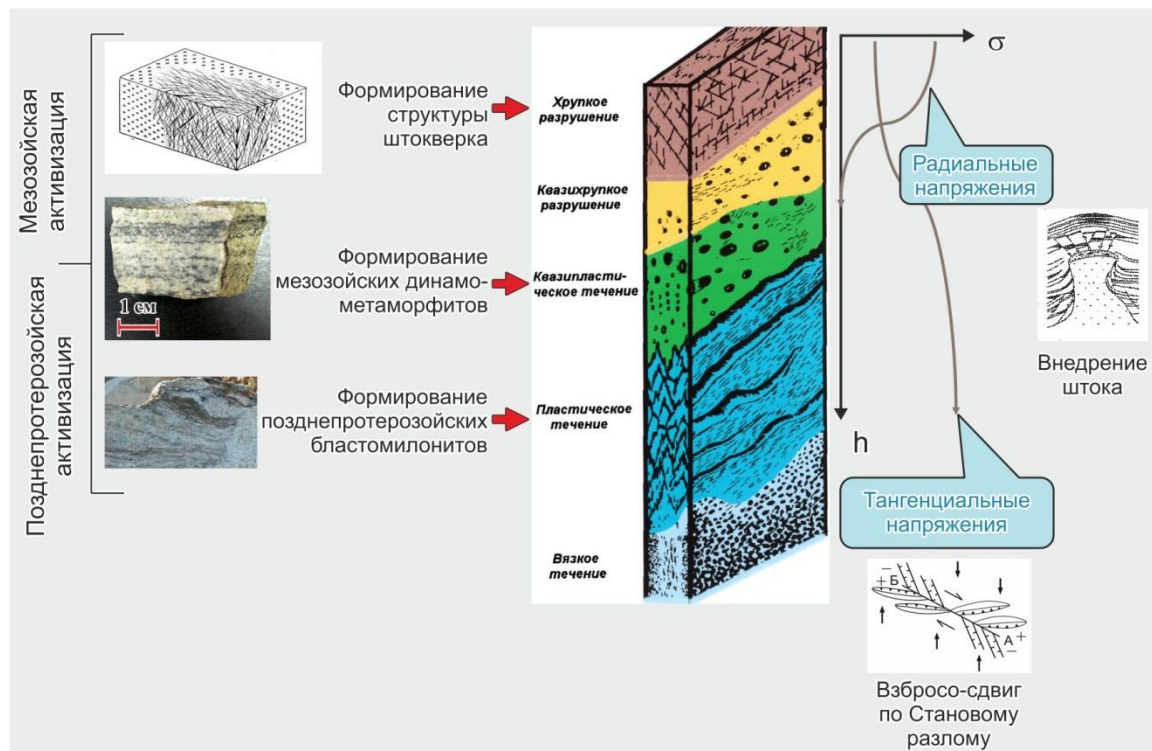


Рисунок 1.7. Характер напряжённо-деформированного состояния геосреды при формировании структурных элементов месторождения (модель строения глубинного разлома по [Шерман, 1977, 2009])

В динамометаморфитах иногда встречается молибденит, не имеющий промышленного значения. Однако этот факт, очевидно, свидетельствует о рудоподготовке, начавшейся ещё при диафторезе в позднепротерозойскую минерагеническую эпоху, а затем активизировавшейся в мезозое. Впоследствии в ходе развития процесса мезозойской тектоно-магматической активизации трещинные парагенезисы северо-восточного направления, возникшие в обстановке сжатия, испытали импульсное раскрытие, когда ось наибольшего растяжения σ_1 располагалась дискордантно к ним и имела северо-западную ориентировку. В этой геодинамической обстановке была сформирована большая часть даек северо-восточного простирания и рудоносных жильно-шокверковых зон, наследовавших это древнее структурное направление.

Ключевым элементом структуры месторождения Бадис является шток порфировых раннемеловых (122 ± 6 млн лет, по данным K/Ar датировок) гранитоидов джелиндаканского комплекса. Геологическая ситуация не противоречит, основанному на теоретических тектонофизических моделях, мнению о наличии области повышенной проницаемости на пересечении северо-западного Таксакандинского разлома со Становым разломом. Это становится очевидным, если учесть, что зона Таксакандинского разлома выражена системой кулисообразных дизъюнктивов, контролирующих размещение нижнепротерозойских трогов, а впоследствии и мезозойских грабенов [Окончательный..., 1974ф; Глуховский и др., 1974; Государственная..., 2005]. Как известно, в структурах подобного типа доминирует обстановка локального растяжения, которая оказывается весьма благоприятной для внедрения порций магматического расплава. Такую благоприятную ситуацию и использовала магма при формировании Бадисского порфирового штока. Таким образом, область пересечения указанных разрывных нарушений явилась магмоподводящим (а позднее, и рудоподводящим) каналом, — центральной осью формировавшейся рудно-магматической системы. Данные тектонофизического моделирования и натурные наблюдения свидетельствуют, что возникновение локальных ослабленных зон на пересечении разрывов является достаточно типичным (Рисунок 1.8).



Рисунок 1.8. Ослабленные зоны, формирующиеся на пересечении трещин и разломов в условиях хрупкого разрушения (натурные наблюдения и модель)

Вместе с тем возникает вопрос: чем определялась такая её приуроченность? Представляется, что ответ на него может быть дан при совместном анализе геодинамики с глубинным строением региона. Анализ теоретических и экспериментальных тектонофизических моделей (см. Рисунок 1.4; Рисунок 1.5), и

их сопоставление с наблюдаемой структурно-тектонической ситуацией, позволяет, как указывалось выше, считать, что Таксакандинский разлом можно идентифицировать со сбросовыми и грабенообразными структурами, северо-западной ориентировки, закономерно возникающими в подобной геодинамической обстановке (это Т — трещины растяжения на Рисунок 1.4; и грабены на Рисунок 1.5).

М.В. Муратовым [Муратов, 1971] показано, что при горизонтальных смещениях по разломам, в отдельных их участках возникают «щели», которые служат путями миграции глубинного вещества. Особенно это характерно для глубоко проникающих разломов, каковым и является Становой. Подобная «щель» вероятно возникла на пересечении его с грабенообразной зоной Таксакандинского разлома, так же относящегося к глубинным. Образовавшийся локальный, глубоко проникающий раздвиг, создал обстановку декомпрессии, обеспечив условия для частичного плавления вещества и его подъёма к поверхности. В.Е. Стриха [Стриха, 2012] на основе изучения изотопии показал, что мезозойские гранитоиды региона имеют мантийно-коровое происхождение и ведущим механизмом их формирования является именно частичное плавление субстрата. Данные по глубинному строению [Малышев и др., 1977; Маловицкая и др., 1985] и др. свидетельствуют, что на область сочленения Алданского щита со Становой областью приходится центр регионального гравитационного минимума, соответствующий разуплотнению в верхней мантии. При этом в [Маловицкая и др., 1985] установлено присутствие глубинных разломов своими корнями уходящих в мантию. Этому условию в регионе в полной мере удовлетворяют Становой и Таксакандинский разломы, сформировавшие на своём пересечении декомпрессионную «щель» и создавшие обстановку локального растяжения. Тем самым обеспечивалась реализация вышеуказанного механизма магмогенерации. Декомпрессионное плавление, образование в промежуточных камерах мантийно-коровой смеси, подъём обогащённой флюидами магмы и её активное внедрение в верхние горизонты земной коры привели к формированию интрузивного штока, а также других структурных элементов Бадисской рудно-магматической системы.

Именно в этом состоит суть тектонического контроля месторождения пересечением вышеуказанных разломов.

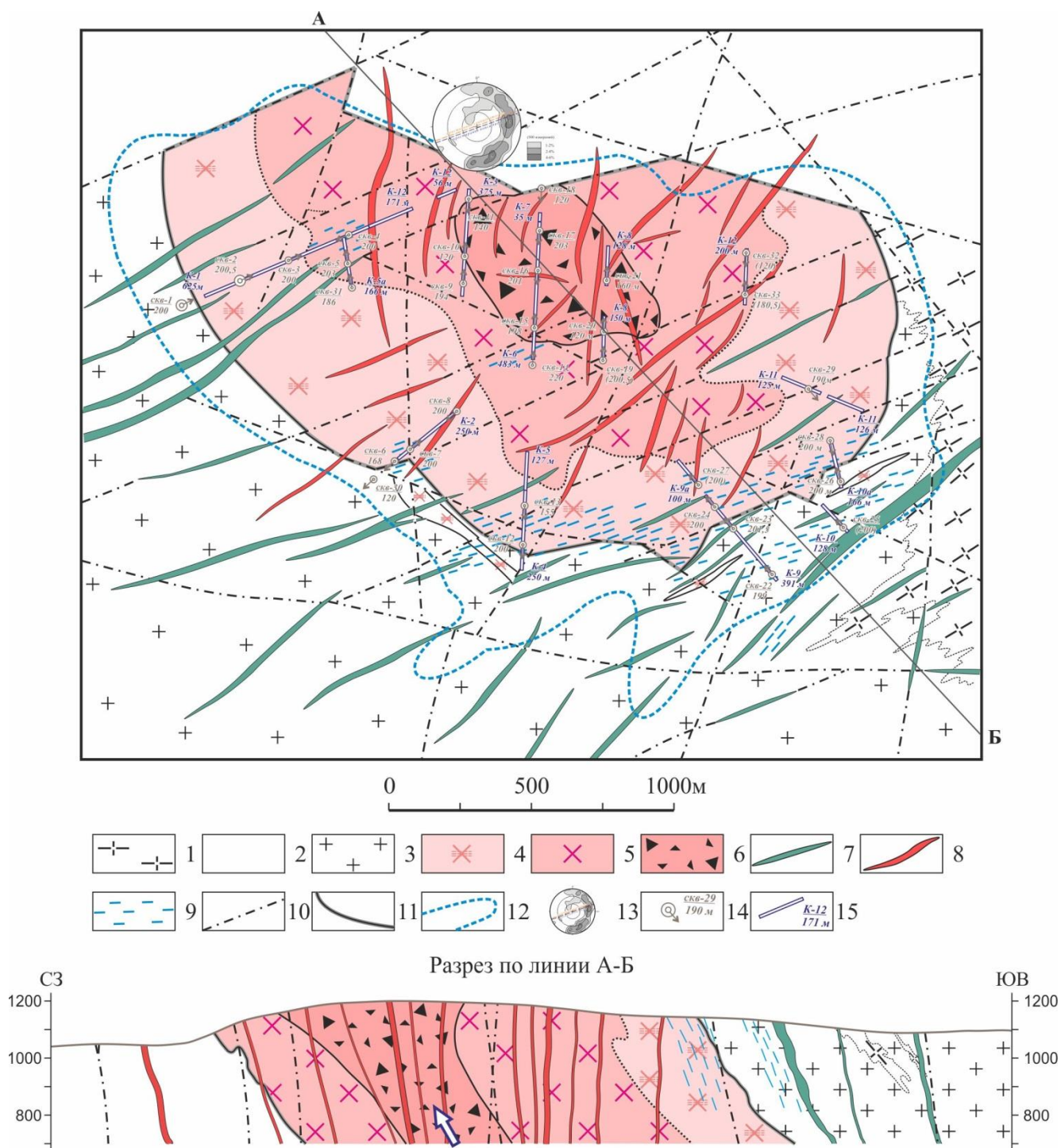
1.3. Структура месторождения, факторы рудоконтроля и закономерности локализации оруденения

Шток, к которому приурочено рудное поле и месторождение Бадис (Рисунок 1.9), имеет в плане форму эллипса несколько вытянутого в запад-северо-западном направлении. Размеры его 1,1×2,5 км. Он прорывает докембрийские породы, представленные амфиболовыми кристаллическими сланцами, гранито-гнейсами, и диафторитами биотит-амфиболового состава. Северная и южная границы штока имеют с породами рамы тектонический контакт, западная и восточная преимущественно — интрузивный с крутыми углами падения. Литологический контроль обнаруживается в приуроченности штока к границе пластичных милонитизированных и диафторизованных хлорит-амфиболовых сланцев с хрупкими докембрийскими гранитоидами.

Установлено сложное, многофазное строение штока [Выдрич, 2016б, 2015в]. Первая фаза локализуется по его периферии и образована роговообманково-биотитовыми гранодиоритами (Рисунок 1.10) меланократового до мезократового облика. Гранодиориты обладают массивной до слабо порфировидной текстурой и гипидиоморфнозернистой, неравномерной, средне-крупнозернистой структурой. Минеральный состав представлен (%): роговой обманкой (5–7), биотитом (13–15), кварцем (20), плагиоклазом (60). Акцессорные минералы — циркон, рутил, апатит, магнетит. Плагиоклаз наблюдается как зональный (андезин), так и в широких полисинтетических двойниках (олигоклаз).

Размер зерен до 3–5 мм. Первичный биотит бурого цвета иногда по краям зерен замещается хлоритом и магнетитом. Зеленая роговая обманка имеет правильную форму кристаллов и нередко замещается хлоритом. Для первой фазы штока характерны колебания кремнезема в пределах 65,2–72,4 %. Породы характеризуются повышенным содержанием феррических элементов при пониженных содержаниях глинозема. Содержание Na₂O не превышает 4,3 % в

обогащённых плагиоклазом породах, тогда как содержание K_2O увеличивается с 2,5 до 3,0 % при выдержанных на уровне 6,8 % значениях суммы щелочей.



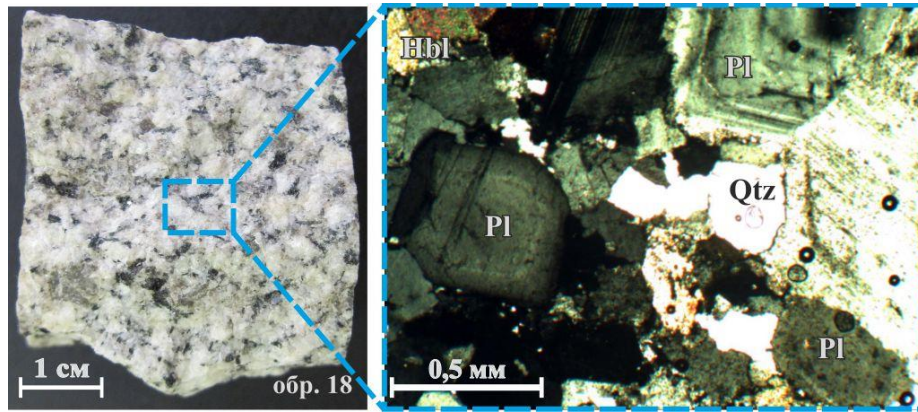


Рисунок 1.10. Роговообманково-биотитовый гранодиорит первой фазы штока. Справа – шлиф, изображение в проходящем свете с анализатором

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Pl — плагиоклаз, Hpl — роговая обманка

Такой химизм пород обуславливает их преимущественное попадание на классификационных диаграммах (Рисунок 1.11; Рисунок 1.12) в поля гранодиоритов. Гранодиориты подверглись биотитизации и за счет однонаправленности чешуек новообразованного биотита в них проявилась полосчатость, которая дала основание Ю.П. Кастрыкину, говорить об их гнейсовидности [Кастрыкин, 1978].

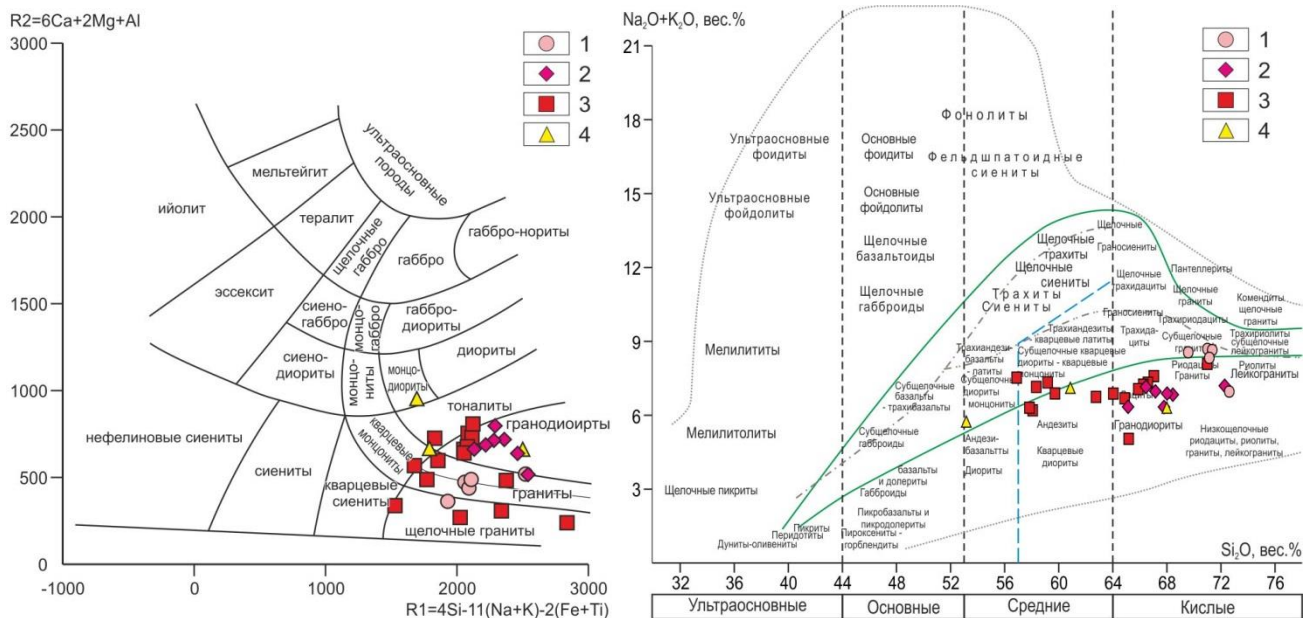


Рисунок 1.11. Положение пород месторождения Бадис на классификационных диаграммах: слева — диаграмма De La Rosh по (De La Rosh et al, 1980); справа — магматических горных пород Терминологической комиссии Петрографического комитета (1983)

1 — протерозойские гранитоиды; 2 — гранитоиды первой фазы раннемелового штока; 3 — гранитоиды второй фазы раннемелового штока; 4 — раннемеловые дайки

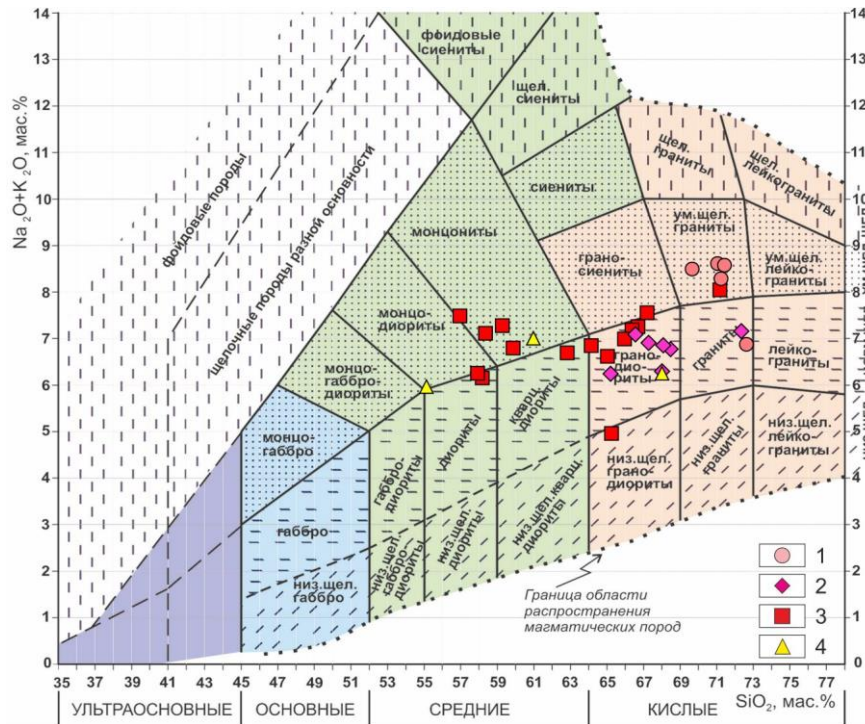


Рисунок 1.12. Положение пород месторождения Бадис на TAS-диаграмме plutонических пород (границы пород по [Шарпенюк и др., 2013])

1 — протерозойские гранитоиды; 2 — гранитоиды первой фазы раннемелового штока; 3 — гранитоиды второй фазы раннемелового штока; 4 — раннемеловые дайки

Вторая фаза локализуется ближе к центру интрузивного штока, несколько смещена к северу и сложена в основном роговообманково-биотитовыми гранодиорит-порфирами. Отчётливая порфировидность (Рисунок 1.13) — весьма характерная черта этих пород, свидетельствующая о достаточно быстрой кристаллизации субвулканической магмы, внедрявшейся в наиболее высокие горизонты. Структура основной массы микрокристаллическая, аллотриаморфнозернистая. Количество фенокристаллов варьирует от 40 до 80 % и в среднем составляет 50 %. Размеры их от 1–3 мм до 8–12 мм.

Порфировые выделения представлены кварцем, плагиоклазом, биотитом, роговой обманкой. Содержание кварца 15–25 %, плагиоклаза 70–80 %, биотита 1–4 %. Роговая обманка встречается в малых количествах. Кварц выделяется в виде округлых зерен. Плагиоклаз зональный, реже образует широкие полисинтетические двойники. По плагиоклазу развита умеренная серицитизация и сосюритизация. Темноцветные (первичный биотит и роговая обманка) практически нацело замещены хлоритом. Аксессуары — циркон, рутил.

Гранодиорит-порфиры второй фазы подвержены существенной биотитизации и в меньшей степени амфиболизации (Рисунок 1.14), в результате чего приобрели мезократовый облик. За счет однонаправленности чешуек новообразованного биотита в них проявляется полосчатость.

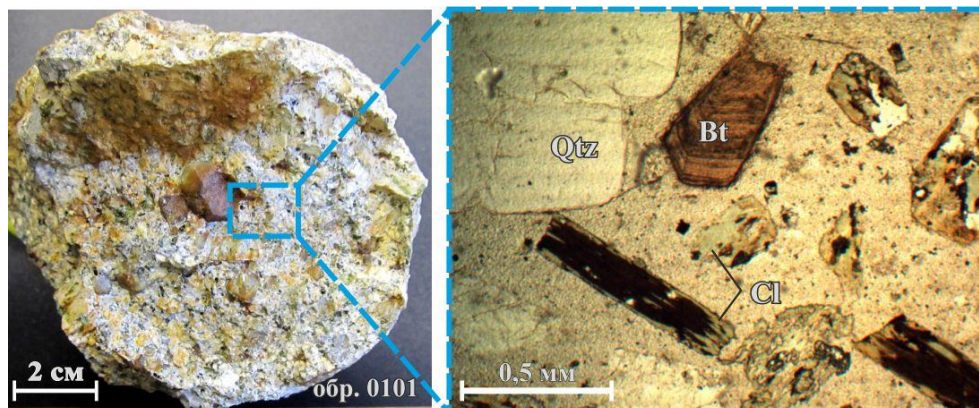


Рисунок 1.13. Биотитовый гранодиорит-порфир второй фазы штока. Справа — фотография шлифа в проходящем свете без анализатора

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Bt — биотит, Cl — хлорит

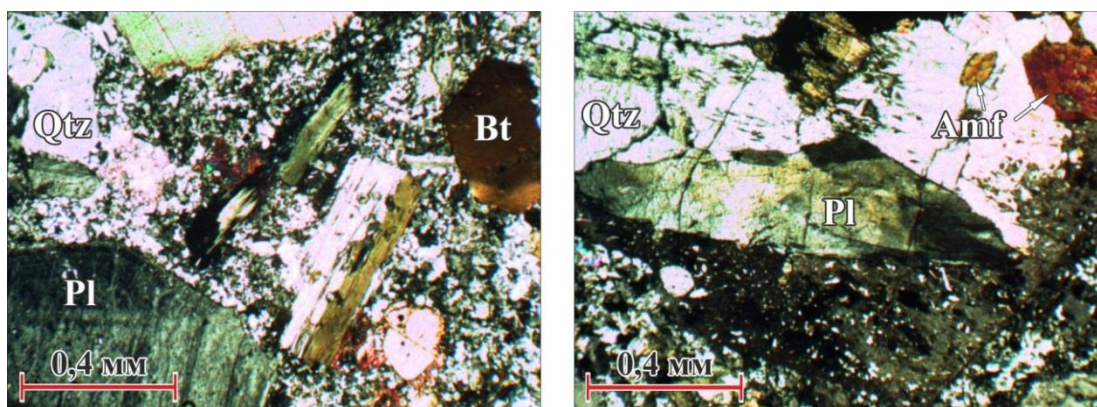


Рисунок 1.14. Роговообманково-биотитовый гранодиорит-порфир: слева — биотитизированный, справа — амфиболизированный. Изображения в проходящем свете с анализатором

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Pl — плагиоклаз, Bt — биотит, Amf — амфибол

Гранитоиды второй фазы раннемелового интрузивного штока характеризуются высокими колебаниями значений кремнезема в пределах 57,0–71,2 % при непостоянном значении суммы щелочей от 5,0 до 8,1 % и преобладании натрия над калием. На диаграммах (см. Рисунок 1.11–Рисунок 1.12), видно, что если породы первой фазы занимают достаточно компактную область, то для пород второй фазы характерны более широкие вариации состава, от кварцевых диоритов и тоналитов, до гранодиоритов и гранитов, что

свидетельствует об интенсивной дифференциации, типичной для рудно-магматического процесса, активно происходившего в этот период.

По нашим данным [Выдрич, 2015б] со второй фазой связана молибденовая и некоторая сопутствующая минерализация. На что указывает ранжированный для них геохимический ряд элементов относительно медианы гранитов рудного поля Бадис (Рисунок 1.15). Как можно видеть, наибольшие значения коэффициентов концентрации для молибдена характерны именно для гранодиорит-порфиров второй фазы штока.

Гранодиориты первой фазы раннемелового комплекса (n=238):
Pb_{1,38}(77)Ba_{1,34}(36)Zn_{1,27}(65)W_{1,09}(107)Ag_{1,07}(108)Bi_{0,94}(67)Cu_{0,87}(104)Mo_{0,55}(136)
$\Sigma Kk=8,51$; $Kv_{cp}=87\%$
Гранодиорит-порфиры второй фазы раннемелового комплекса (n=431):
Mo_{2,92}(109)Cu_{1,96}(83)Bi_{1,89}(130)Pb_{1,68}(84)Ag_{1,57}(105)W_{1,21}(47)Zn_{1,14}(79)Ba_{1,05}(49)
$\Sigma Kk=13,42$; $Kv_{cp}=86\%$
ΣKk – интенсивность проявления ореолов (сумма коэффициентов концентрации химических элементов в рудно-формационном ряду)
Kv_{cp} – среднее значение коэффициентов вариации химических элементов в рудно-формационном ряду

Рисунок 1.15. Геохимические ряды элементов для гранитоидов первой и второй фаз Бадисского порфирового штока

Поэтому вполне естественно, что по гранитоидам второй фазы интенсивно развиты кварц-полевошпатовый и кварц-хлоритовый метасоматоз, штокверковое окварцевание, пропилитизация и аргиллизация. Анализ геохимической специализации (Рисунок 1.16) также свидетельствует о накоплении халькофильных и сидерофильных элементов в магматитах второй фазы Бадисского интрузивного штока при одновременном снижении литофильных.

При этом коэффициент концентрации суммы элементов закономерно нарастает от 8,51 (для первой фазы), до 13,42 для второй. Особенно резко растёт концентрация молибдена. Таким образом, имеются существенные основания связывать процесс рудоконцентрации с магматической дифференциацией, выразившейся в формировании второй фазы гранитоидов и накоплением рудных компонентов.

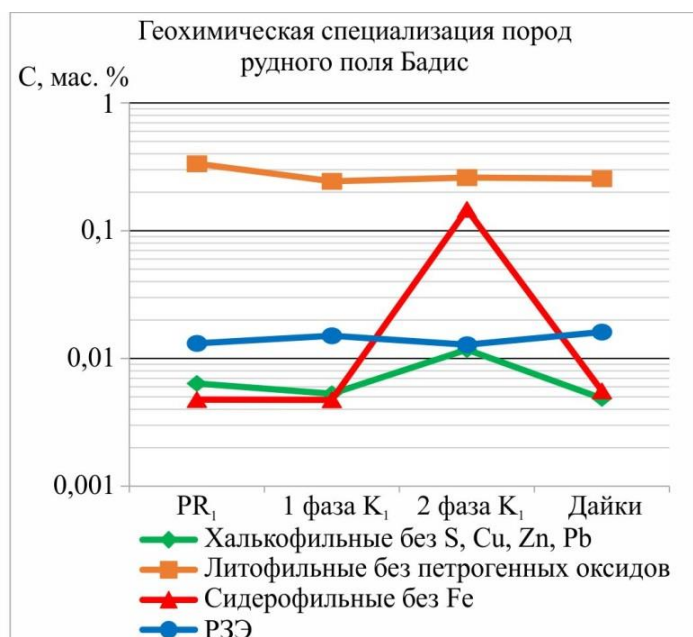


Рисунок 1.16. Тренды геохимической специализации магматических пород

Ядерную часть штока, также смещённую к северу, занимает взрывная трубка брекчий. Подобные структуры весьма характерны для целого ряда порфировых месторождений молибдена [Фролов, 1994; Невский, 1985; Seedorff and etc., 2005] и др. и возникают при взрывных явлениях в условиях высокого флюидного давления. Трубка на Бадисе имеет размеры в плане 500×700 м и ориентирована, как и шток, в запад-северо-западном направлении. Брекчия представляет собой желтовато-бурую породу (Рисунок 1.17), состоящую из обломков кварца, гранодиорит-порфиров, реже — кристаллических сланцев, гранито-гнейсов и лейкогранитов. Насыщенность обломочным кварцем достигает 10–30 %. Размер обломков в среднем 1–3 см. Обычно они остроугольные. Цементом служит дробленый и перетертый материал того же состава. В краевых частях трубки увеличивается количество обломков. Цементом здесь наряду с мелко дробленным материалом служат гранодиорит-порфиры с фельзитовой основной массой. Породы секутся многочисленными кварцевыми прожилками и гидротермально изменены.

Важными элементами структуры месторождения, составляющими его каркас, являются дайки. Рудоносная площадь пронизана многочисленными дайками диоритовых порфиров и гранодиорит-порфиров. При этом последние преобладают. Мощность даек от долей метра до 50–60 м, протяженность от

первых десятков метров до 800–900 м. В структурном отношении среди них можно выделить две системы, различающиеся расположением и механизмом формирования. К первой, наиболее проявленной и секущей все породы месторождения, относятся линейные дайки северо-восточного простирания (см. Рисунок 1.9). Они широко развиты в регионе и наследовали, как указывалось выше, трещинные надвиговые структуры, возникшие в результате правостороннего взбросо-сдвига по Становому разлому. Ранее в разделе 1.2. отмечалось, что такие трещинные структуры, как свидетельствуют данные тектонофизического моделирования [Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Sylvester, 1988; Аркадьев, 1998; Мельников, 2014], закономерно возникают в ходе развития сдвиговых зон, располагаясь косо по отношению к главному сместителю, которым в рассматриваемом случае являлся Становой разлом.

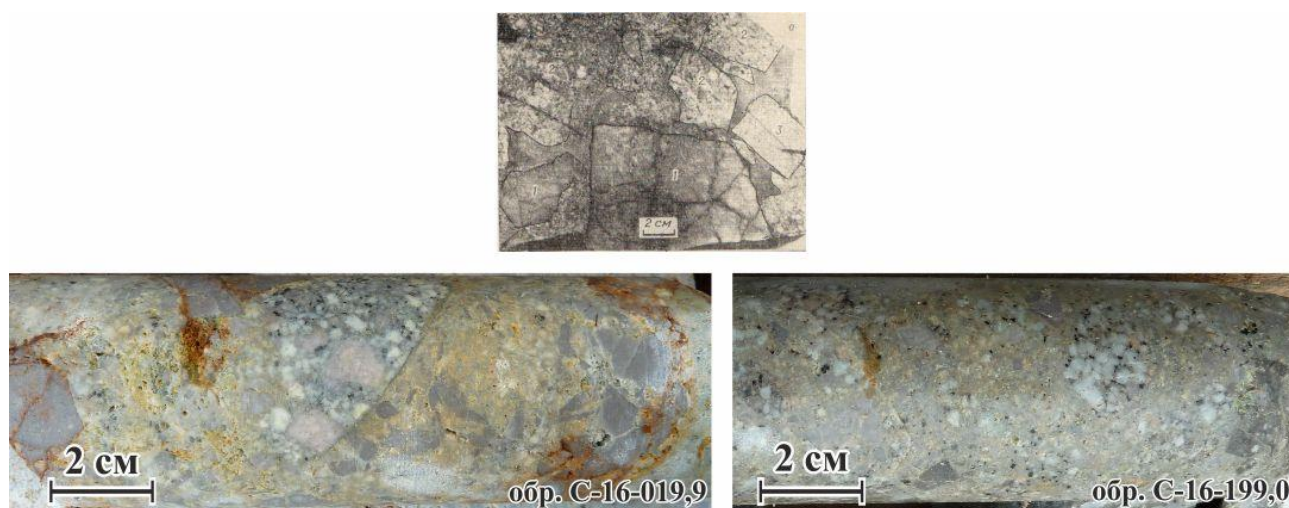


Рисунок 1.17. Брекчии взрывной трубы. Вверху – полированный штупф, внизу – керн скважин. Характерен желтовато-бурый цвет породы и остроугольность обломков

В целом дайки характеризуются высокими колебаниями кремнезема в пределах 53,3–68,0 % (см. Рисунок 1.11) при непостоянном значении суммы щелочей от 5,6 до 7,0 % и преобладании натрия над калием. Дайки гранодиорит-порфиров обладают порфировой текстурой и аллотриоморфнозернистой, микро- до тонкозернистой структурой основной массы (Рисунок 1.18). Количество порфировых выделений колеблется в пределах 20–40 %. Минеральный состав фенокристаллов представлен (%): кварц — 15–25, плагиоклаз (зональный или полисинтетические двойники) — 40–50, биотит — 10–15, роговая обманка — 10–

35. Кварцевые диоритовые порфириды имеют порфировую текстуру и аллотриоморфнозернистую, микrokристаллическую структуру основной массы. Количество порфировых выделений колеблется в пределах 20–40 %. Минеральный состав фенокристаллов представлен (%): кварц — 5–10, плагиоклаз (зональный или полисинтетические двойники) — 65–70, биотит — 10, роговая обманка — 15.

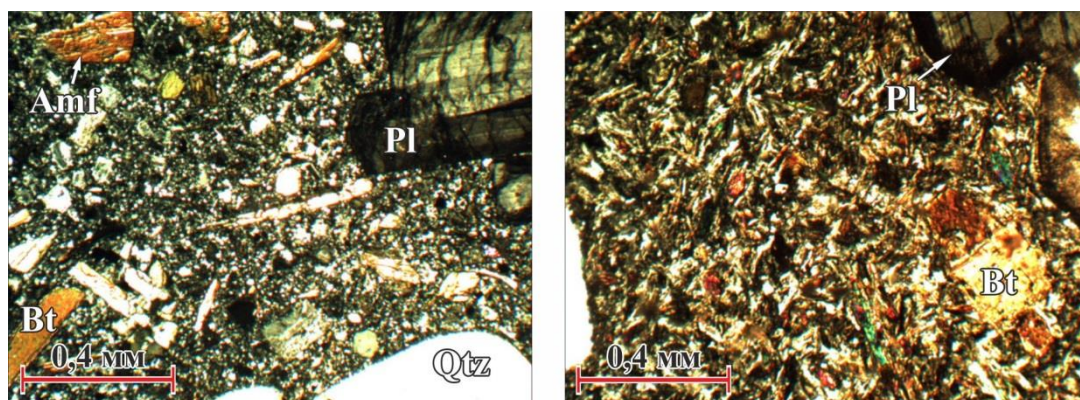


Рисунок 1.18. Микрофото даек: слева — гранодиорит-порфира, справа — диоритового порфирита. В проходящем свете с анализатором

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Pl — плагиоклаз, Bt — биотит, Amf — амфибол

Вторая система представляет собой совокупность радиальных и менее развитых, концентрических даек. Эти дайки локализуются в брекчиевой трубке и по её обрамлению и, по сравнению с дайками северо-восточного простирания, занимают подчинённое положение. Причиной их формирования являются субвертикальные радиальные усилия, возникавшие в ходе магматического диапиризма при активном интрузивном давлении снизу. Механизм образования подобных структур хорошо изучен [Фролов, 1994; Невский, 1985; Seedorff and etc., 2005; Белов, 1993; и др.]. Поэтому, есть существенные основания полагать присутствие на глубине наиболее поздних «внутренних» гранитов, на что указывает также наличие небольших даек лейкогранитов среди гранодиорит-порфиров второй фазы штока и обломков самих лейкогранитов в материале брекчий. «Внутренние» граниты, выполняя роль мягкого штампа, давившего на ранее сформированные породы штока, завершали процесс структурообразования.

Ориентировку вектора радиальных усилий, действовавших в это время, можно определить исходя из характера трещиноватости, развитой в северо-

западном обрамлении трубки брекчий, где имеются результаты массовых замеров их элементов залегания (см. Рисунок 1.9). На диаграмме чётко виден пояс крутопадающих трещин. Опыт структурного изучения кольцевых структур [Фролов, 1994; Невский, 1985] и др. свидетельствует, что подобные поясовые рисунки трещиноватости с отдельными максимумами закономерно возникают при сосредоточенном радиальном давлении снизу. Плоскость пояса наклонена к северо-западу под углом около 20° . Перпендикуляр к этой плоскости показывает ориентировку вектора (ось σ_3) действовавших радиальных усилий. Он был расположен в северо-западном направлении, испытывая воздымание под углом 70° . Такая его ориентировка подтверждается и общим крутым падением контактов штока при их юго-восточном склонении, устанавливаемая по данным статистического зондирования магнитного поля (Рисунок 1.19). В общем, некоторая северо-западная вытянутость со склонением к юго-востоку типична не только для брекчиевой трубки, но и для всего Бадисского магматического штока, что свидетельствует об унаследованном характере развития интрузивного процесса, контролируемого Таксакандинским разломом. Таким образом, поле тектонических напряжений при формировании месторождения оказывается интегральным. На региональный тангенциальный стресс, связанный с движениями по Становому разлому, накладываются локальные радиальные напряжения одноосного сжатия, вызванные внедрением сложно построенного магматического диапира, включающего две фазы гранитоидов, трубку брекчий, систему радиально-концентрических даек, и скрытое тело «внутренних» гранитов.

Следует отметить, — данные по геохимической специализации свидетельствуют, что в дайках накопление халькофильных элементов продолжалось. Это указывает на длительность рудно-метасоматического процесса, захватившего все компоненты мезозойской магматической системы от ранних до заключительных. Данное обстоятельство следует рассматривать в качестве позитивного косвенного оценочного фактора месторождения Бадис, так

как в общем случае длительность рудного процесса является характерной чертой крупных рудных объектов [Овчинников, 1992; Покалов, 1992; Соловьев, 2011].

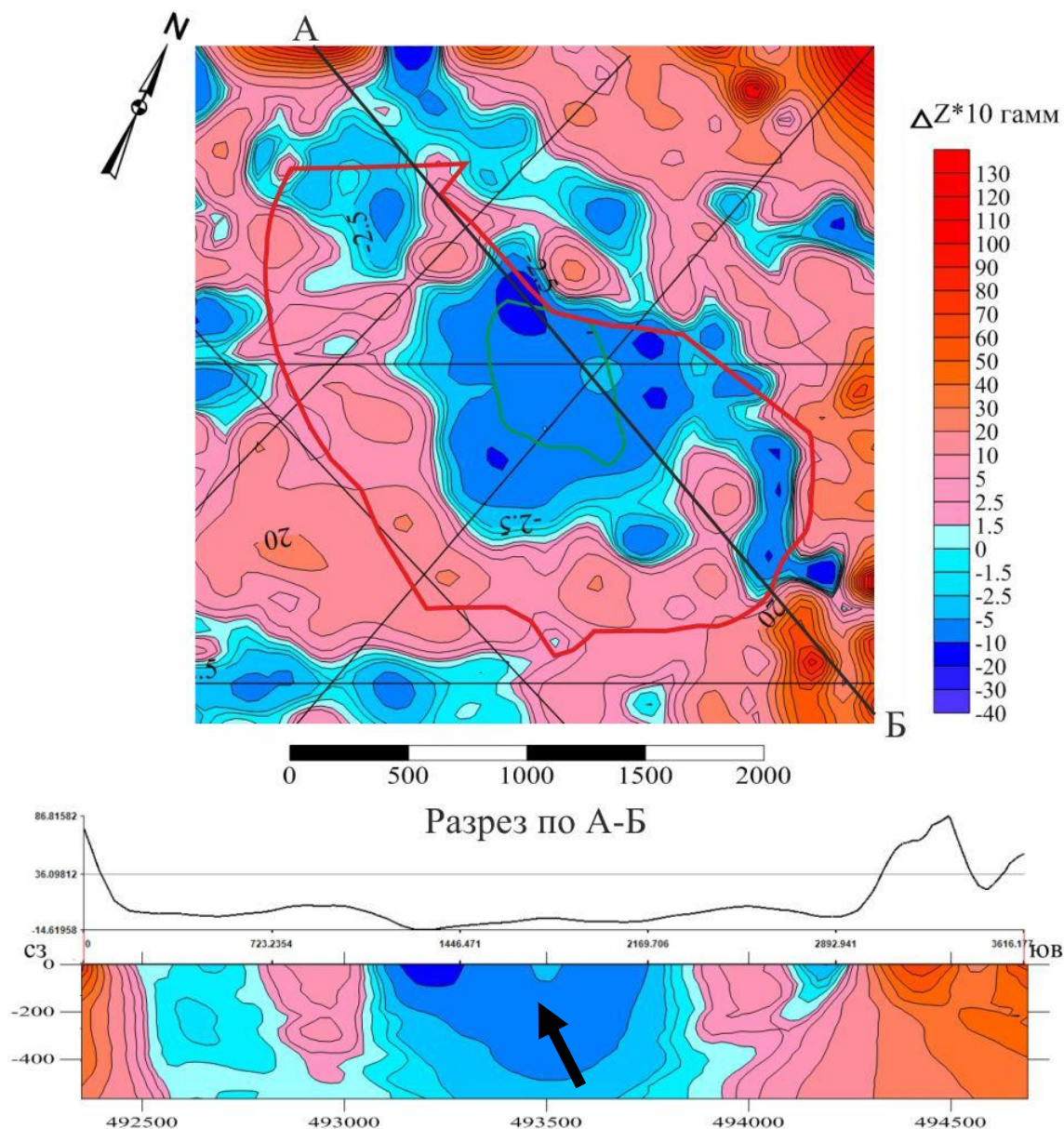


Рисунок 1.19. Результаты статистического зондирования магнитного поля на месторождении Бадис по [Отчет..., 2015ф]. Стрелка на разрезе — ориентировка вектора радиальных усилий

Таким образом, многофазный Бадисский интрузивный порфировый шток имеет концентрически зональное строение и длительную историю формирования. Он развивался по центростремительной схеме. С течением времени интрузивная деятельность постепенно смещалась от периферии в его внутреннюю, ядерную часть. При этом магма внедрялась во всё более высокие горизонты, а интенсивность магматического воздействия на кровлю нарастала, достигнув

своей кульминации при образовании трубки взрывных брекчий. Подтверждением последнего, в частности, является высокая флюидонасыщенность пород слагающих Бадисский шток по сравнению, например, с другими развитыми в районе мезозойскими телами гранитоидов джелиндаканского комплекса. Количество HF в акцессорном апатите из пород Бадисского штока закономерно нарастает от 2,28 % в гранодиоритах второй фазы, до 3,14 % в брекчии [Сотников и др., 1981].

Формирующиеся подобным образом высоко флюидонасыщенные гранитоидные интрузии, весьма характерны для периодов тектоно-магматической активизации и получили наименование диапир-плутонов. Именно они являются, как правило, наиболее рудопродуктивными в отличие от кальдеро-плутонов, развивающихся центробежно [Белов, 2004]. Очевидно, что структурно Бадисский интрузивный шток можно отнести к диапир-плутонам, что является позитивным критерием для оценки самого месторождения.

Помимо штока и даек, важнейшим элементом структуры месторождения являются его рудные тела, представленные несколькими структурно-морфологическими разностями. Ведущим, определяющим геолого-промышленный тип месторождения Бадис, является штокверковое оруденение. Анализ геологических данных свидетельствует, что Бадисский штокверк площадью свыше 4 км² в целом образует подковообразное в плане тело, вытянутое в северо-западном направлении, конформное интрузивному штоку и повторяющее конфигурацию его контактов. Он полностью охватывает выход штока гранитоидов на поверхность, а на юге и юго-востоке заходит в докембрийские толщи экзоконтакта. Наиболее интенсивно штокверк развит в эндо-экзоконтактовых частях штока, где и формируется подковообразная рудная зона площадью 1,4 км², с содержанием молибдена более 0,01 %, в среднем до 0,035 %. Сложен штокверк молибденит-кварцевыми прожилками с плотностью от 10 до 80 на 1 м² и мощностью от мм до первых см. Длина его около 2,5 км, максимальная ширина 1,2 км. Менее густая сеть прожилков (10–50 на 1 м²) развивается в экзоконтактах гранитоидного штока на удалении до 500–800 м.

Преобладают прожилки мелкозернистого кварца с тонкочешуйчатым или тонкодисперсным (0,01–0,1 мм) молибденитом (Рисунок 1.20). Реже встречаются прожилки и жилы (мощностью до 0,5 м), сложенные среднезернистым кварцем с более крупночешуйчатым (до 1–2 мм) молибденитом. Иногда молибденит равномерно распределен в мелко-, среднезернистом кварце, реже его чешуйки составляют цепочки, ориентированные вдоль кварцевых прожилков вместе с пиритом. Часто прожилки имеют зональное строение — центральные части сложены молибденитом, а зальбанды — кварцем. Встречаются и прожилки, нацело выполненные молибденитом (Рисунок 1.20).

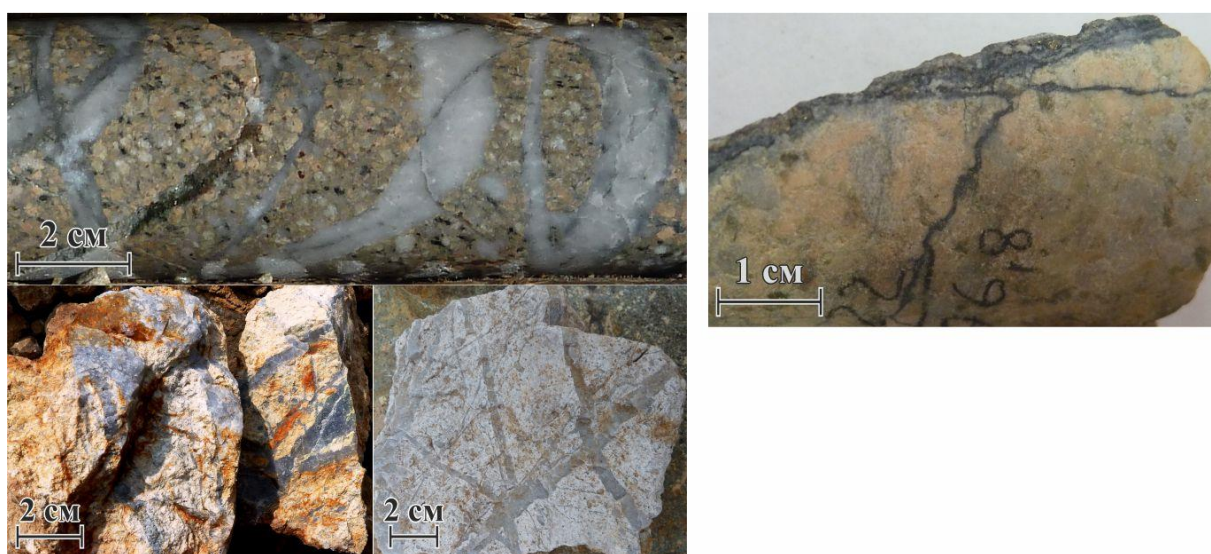


Рисунок 1.20. Прожилки штокверка: слева — доминирующие, представленные мелкозернистым кварцем с тонкочешуйчатым молибденитом; справа — более редкие нацело выполненные молибденитом

В штокверке содержание молибдена колеблется от 0,001 до 0,05 %, в участках максимальной концентрации молибденит-кварцевых прожилков оно достигает 0,1–0,2 % и более. Эпизодически в них встречается золото до 0,3 г/т, чаще медь до 0,01–0,03 %. Доля штокверкового типа с рядовыми рудами (содержание Мо 0,03 %, в отдельных блоках Мо до 0,05 %) от общей рудной массы составляет 65–75 %.

Нами установлено [Выдрич, 2016б], что в пределах штокверка целесообразно выделять локальные, интенсивно насыщенные прожилками зоны, северо-восточного (60–70°) простирания с крутым падением. Ширина зон от первых метров до 100–150 м. Плотность прожилков в них 30–80 шт. на 1 м².

Мощность их от одного мм до первых см. Главная особенность данных зон состоит в том, что в них часто присутствуют 1–3 «стержневые» кварцевые жилы, мощностью 0,1–1,2 м с богатой молибденовой минерализацией (Рисунок 1.21, Рисунок 1.22).

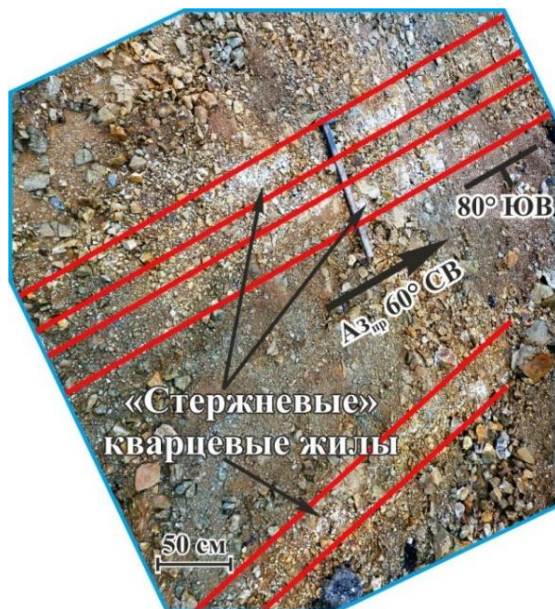


Рисунок 1.21. Высокопродуктивные «стержневые» кварцевые жилы северо-восточного простирания

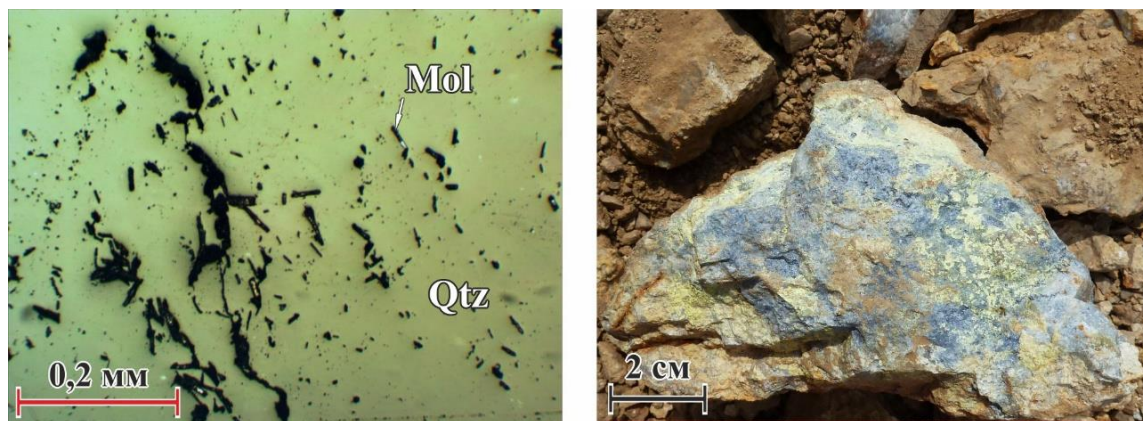


Рисунок 1.22. Богатая молибденовая минерализация в «стержневой» кварцевой жиле. Справа — штуф; слева — аншлиф, изображение в отраженном свете без анализатора

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Mol — молибденит

Аналогичные жильно-прожилковые зоны, с насыщенностью прожилками от 10 до 30 на 1 м², расположены в южной, и юго-восточной частях месторождения среди пород кровли, общей площадью 0,36 км², где содержания молибдена нередко превышают 0,1–0,5 %, составляя в среднем на массу 0,06–0,08 %. Протяжённость их достигает 1,2 км, мощность 100–200 м. Мощность жил в

среднем 0,3 м. Прожилки в пределах таких зон преимущественно параллельны жилам. Содержание молибдена в молибденит-кварцевых жилах таких линейных жильно-прожилковых зон 0,05–1 % и более. Содержание золота иногда достигает 0,3–0,5 г/т, а меди — 0,1 %.

Доля жильного типа с богатыми рудами с содержанием Мо 0,05–1,0 % составляет около 10 %. Наличие данных жильно-прожилковых зон есть следствие структурной подготовки, выразившейся в унаследованном использовании в ходе рудогенеза ранее заложенных северо-восточных дизъюнктивов в качестве рудовмещающих. Как было отмечено выше, такие деформационные парагенезисы явились результатом взбросо-сдвиговых движений, длительно происходивших в зоне Станового разлома. Импульсное раскрытие этих дизъюнктивов, при ориентировке оси растяжения σ_1 в северо-западном направлении, синхронное с постмагматическими стадиями рудного процесса, привело к их выполнению кварцево-рудным веществом и образованию рассматриваемого типа рудных тел. Присутствие жильного типа руд в общей штокверковой массе является позитивным оценочным фактором. Это может являться признаком наличия более продуктивного штокверкового оруденения на глубине, как это имело место на Сорском молибденовом месторождении, которое было открыто и вначале изучалось как жильное [Покалов, 1992; Берзина и др., 2007; Структуры..., 1983]. Такая аналогия представляется вполне вероятной, что повышает промышленные перспективы Бадисского месторождения.

Брекчиевый тип руд (Рисунок 1.23) локализуется преимущественно в пределах взбросной трубки. Площадь их развития около 0,3 км². Брекчиевые руды слагают овальное в плане тело, вытянутое в запад-северо-западном направлении, длиной до 800 м и максимальной шириной 400 м. Молибденит в брекчиях приурочен к обломкам кварца. Иногда встречаются дайкообразные тела оруденелых брекчий мощностью 0,2–0,3 м. Брекчиевые руды в значительной степени сульфидизированы. Количество пирита, халькопирита и молибденита составляет 5–10 %, но с поверхности они окислены и выщелочены. В брекчиях содержания молибдена низкие — 0,005–0,03 %, меди в среднем 0,06 %, а

максимальное — 0,3 %. Однако содержание золота выше, чем в других типах руд: в среднем около 1,0 г/т, максимальное — 10 г/т.

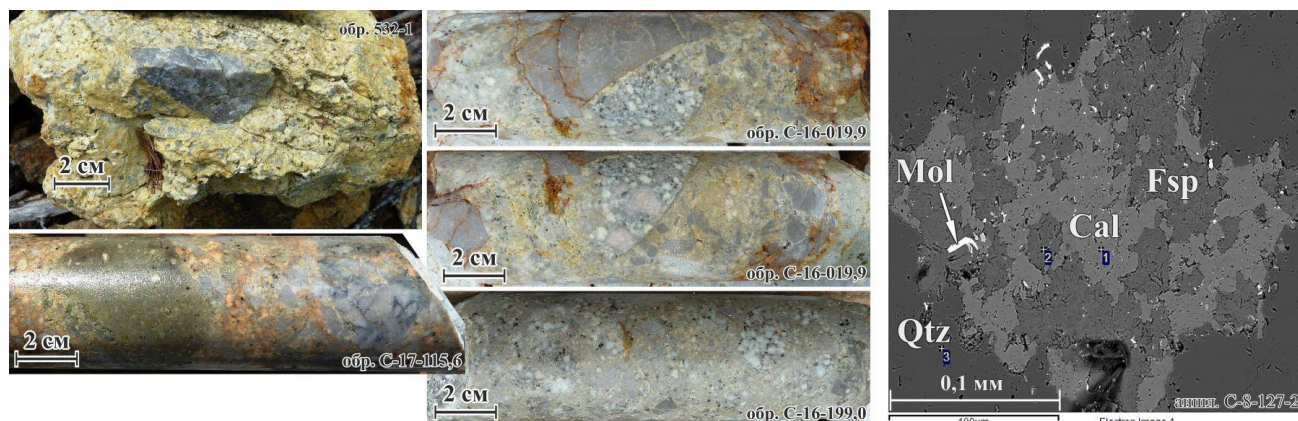


Рисунок 1.23. Типы руд: слева – брекчиевый тип, молибденит в обломках кварца; справа – вкрапленный тип, фотография аншлифа в обратнорассеянных электронах

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Mol — молибденит, Fsp — калиевый полевой шпат, Cal — кальцит

В брекчиях широко проявлена аргилитизация, которой затронуты и гранодиорит-порфиры вокруг взрывной трубки. Породы почти нацело замещены глинистыми минералами. Характерна интенсивная окисленность и выщелачивание рудных минералов. Молибденит замещен повеллитом, халькопирит — малахитом, азуритом и хризоколлой. Ниже зоны окисления следует ожидать увеличение содержания молибдена и меди. Доля брекчиевого типа с рядовыми и местами с бедными рудами (с содержанием Мо до 0,02 %) составляет около 10 %. Вместе с тем, в связи с их повышенной золотоносностью целесообразно их более углублённое изучение с этой точки зрения.

Сульфидизированные (молибденит, пирит, халькопирит и продукты их окисления) вкрапленно-метасоматические руды (см. Рисунок 1.23, справа) развиты в западной части штока, где ими сложены участки неправильной формы с расплывчатыми границами размером от 50×100 м до 250×400 м, общей площадью около 0,17 км². Иногда кварц-полевошпатовые метасоматиты образуют отдельные линейные тела северо-восточного простирания мощностью от первых метров до 10–12 м. Содержание кварца в них может колебаться от 10 до 90 %. Наиболее интенсивно процесс проявлен в эндо-, в меньшей степени, — в экзоконтактах порфирового штока. В кварц-кальцишпатовых метасоматитах и

калишпатизированных породах встречается видимая рассеянная вкрапленность и гнезда молибденита размером до 5 мм. В данном типе руд содержание молибдена от 0,015 до 0,05–0,3 %, золота 0,1–0,5 г/т, местами до 1,5–3,0 г/т, меди до 0,3 %. Доля руд этого типа от общей массы составляет 5–10 %. Промышленное значение, вкрапленное оруденение имеет только в сочетании с другими морфологическими и минеральными разностями руд.

Образование этого типа руд в большей своей части обусловлено процессами площадного метасоматоза, активно проявившегося на постмагматической стадии рудогенеза. В тоже время, наличие линейных зон метасоматитов северо-восточного простирания, указывает на то, что их образование контролировалось дизъюнктивами данного направления, которые, как рассмотрено выше, возникли в ходе движений по Становому разлому. При этом очевидно, что вкрапленная молибденовая минерализация формировалась в замкнутых условиях, когда эти трещинные структуры были прикрыты. Выполнения их кварцево-рудным веществом не происходило и доминировали процессы метасоматического замещения. Следует отметить, что в целом для штокверковых рудных месторождений наличие вкрапленной минерализации является достаточно типичным [Фролов, 1987]. Таким образом, месторождение Бадис не выходит за пределы общей тенденции, характерной для продуктивных штокверков, что можно рассматривать как определённый позитивный критерий, хотя и достаточно косвенный.

1.4. Выводы

Вышеизложенные данные дают основания сформулировать следующие основные выводы.

1. Анализ структурно-тектонической ситуации и её идентификация с тектонофизическими моделями свидетельствует, что месторождение Бадис сформировано в зоне динамического влияния Станового разлома, где в условиях правого всбросо-сдвига, возникали опережающие парагенезисы, растяжения и сжатия. Последние, контролировали образование северо-восточных

деформационных структур, выполненных бластомилонитами, дайками и жильно-прожилковыми зонами. Грабенообразные северо-западные структуры растяжения, определили положение Таксакандинского разлома, на пересечении которого со Становым возник локальный, глубоко проникающий раздвиг, создавший обстановку декомпрессии, обеспечив условия для частичного плавления вещества, его подъёма к поверхности и внедрения Бадисского порфирового штока, тем самым обусловив геотектоническую позицию месторождения.

2. Структура месторождения имеет сложное, комбинированное, линейно-кольцевое строение и длительную геологическую историю. Начало её формирования связано с тангенциальными усилиями в позднепротерозойскую эпоху, когда в зоне Станового разлома, где в связи с динамометаморфизмом и диафторезом, происходило перераспределение молибдена и его первичная рудоконцентрация. В это время был заложен общий структурный каркас территории, с доминированием северо-восточных дизъюнктивов. Характер движений сохранялся в начале мезозойской эпохи: эти направления унаследовано развивались, формируя динамометаморфиты низких тектонофаций. Завершение структурообразования и образование радиально-концентрических деформационных парагенезисов связано с одноосным радиальным сжатием, при магматическом диапиризме в ходе многофазного внедрения порфирового штока. Таким образом, структура месторождения образовалась в условиях интегрального поля напряжений, слагавшегося из регионального тангенциального стресса и локальных радиальных усилий, при внедрении порфирового интрузива.

3. Оруденение ассоциирует со второй фазой порфирового штока позднемеловых гранитоидов и трубкой брекчий, динамически воздействовавших на ослабленную разломами кровлю, в которой наиболее благоприятными для рудолокализации явились ранее существовавшие, и впоследствии активизированные тектонические нарушения северо-восточной ориентировки. В морфологическом плане структура месторождения представляет собой сочетание штокверков, жильно-прожилковых зон, возникших в связи с тангенциальными и радиальными усилиями, и минерализованных взрывных брекчий. Подчинённое

значение имеет вкрапленно-метасоматический тип руд. Форма рудных тел коррелируется с морфологией порфировой системы и ранее заложенных северо-восточных дизъюнктивов, отражая их структурно-генетическую связь с последовательными событиями геологической истории объекта.

4. Таким образом, геотектоническое положение, формирование структуры месторождения и закономерности рудолокализации обусловлены процессами докембрийской и мезозойской тектоно-магматической активизации. Их поэтапное проявление обеспечило образование всех элементов структуры месторождения: трещинных, магматических и постмагматических парагенезисов, а также возникновение нескольких структурно-морфологических типов руд. При этом, если общие масштабы месторождения Бадис определяются штокверковым типом руд с рядовыми содержаниями, то геологической обстановкой проявления более богатого оруденения, являются жильно-прожилковые зоны, в составе которых присутствуют «стержневые» кварцевые жилы.

5. Немаловажным фактором, определившим условия рудообразования на месторождении Бадис, явился высокий энергетический потенциал поднимающегося расплава, оказавшегося способным прорывать породы рамы и проникать далеко в кровлю. Будучи в мезозойский этап, главным источником энергии, он усложнил ранее возникший структурный каркас, завершив процесс формирования ореолов мелкой трещиноватости, по которым начали циркулировать рудоносные магматогенные растворы и метеорные воды, активизированные в тепловом поле интрузии, последовательная разгрузка которых привела к отложению разнометального оруденения.

6. Длительность структурообразования и рудогенеза, начавшегося с заложения структурного каркаса месторождения и явлений рудоподготовки в докембрийскую металлогеническую эпоху и завершившихся в мезозое внедрением рудоносных субвулканических порфировых гранитоидов и интенсивной постмагматической деятельностью, является позитивным прогностно-оценочным фактором. Он, совокупности с другими критериями, может указывать на возможный значительный ресурсный потенциал изученного объекта.

Глава 2. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАДИС

Настоящая глава в большей своей части посвящена обоснованию второго защищаемого тезиса.

2.1. Характер проявления метасоматических процессов

На месторождении широкое развитие получили метасоматические, в том числе, — постмагматические процессы, которые выразились в биотитизации, калишпатизации, пропилитизации, метасоматическом окварцевании, пиритизации, и аргиллитизации.

Наиболее ранним процессом метасоматического изменения в пределах изученного объекта является биотитизация. Как уже упоминалось в Глава 1, ореол биотитизированных пород охватывает поле развития гранодиорит-порфиров, придавая им черты гнейсовидности (см. Рисунок 1.14). Новообразованный биотит отмечается в виде мелких (сотые–десятые доли миллиметра) чешуек, замещающих вкрапленники раннего биотита обычно с краев, редко полностью, и развивается по основной массе гранодиорит-порфиров, подчеркивая ориентированную текстуру породы. Количество новообразованного биотита составляет 1–5 %.

Кварц-полевошпатовый метасоматоз развит в виде объемной калишпатизации и окварцевания, охватывая шток и область экзоконтакта на расстояние до 800 м. Калишпатизация наиболее интенсивно проявлена на северо-западном и юго-восточном флангах месторождения в области эндо-, и в меньшей степени, экзозоконтакта штока гранитоидов. Она тесно связана с биотитизацией и выражается в замещении калиевым полевым шпатом вкрапленников плагиоклаза с периферии, а также по тонким разно ориентированным прожилкам. Часто отмечается разрастание калиевого полевого шпата по основной массе с образованием относительно грубозернистых (0,3–1 мм) структур. По своим свойствам калиевый полевой шпат отвечает ортоклазу.

В кварц-калиевошпатовых метасоматитах и калишпатизированных породах иногда присутствует рассеянная вкрапленность молибденита (Рисунок 2.1) и его гнезда, в виде изометричных включений размером до 5 мм не имеющая промышленной значимости. Типичны также мелкие зерна циркона и апатита. Нередко кварц-полевошпатовые метасоматиты образуют самостоятельные линейные тела северо-восточного простирания мощностью от первых метров до 10–12 м. Содержание кварца в них колеблется в пределах 10–90 %. В последнем случае образуются тела вторичных кварцитов.

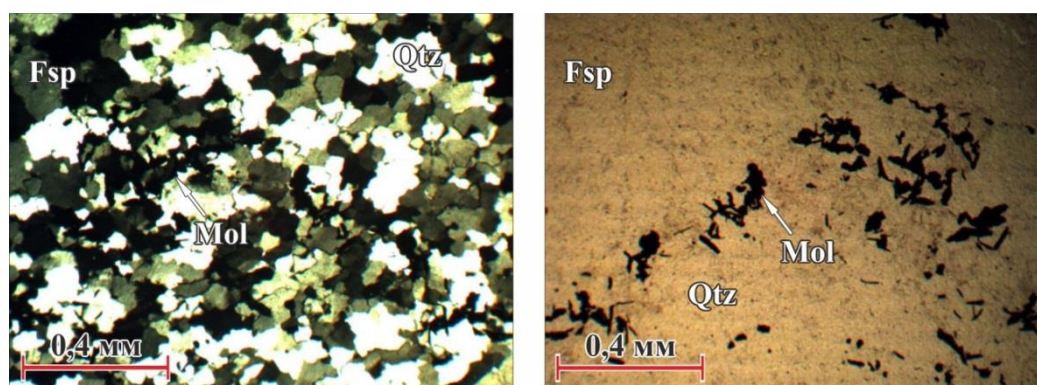


Рисунок 2.1. Микрофото кварц-полевошпатового метасоматита с рассеянным молибденитом. Изображение в проходящем свете с анализатором (слева) и без анализатора (справа)

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Mol — молибденит, Fsp — калиевый полевой шпат

Метасоматическое объемное окварцевание развито по всему штоку гранитоидов и незначительно выходит за пределы экзоконтактовой зоны. Степень метасоматического окварцевания редко слабая, чаще всего она — умеренная до интенсивной (Рисунок 2.2; Рисунок 2.3). Порой бывает трудно отличить наложенный кварц от кварца порфировых вкрапленников.

Следует отметить, что помимо объемного метасоматоза, окварцевание зависит от степени развития прожилков. По мере увеличения их числа растёт и объём кварцево-прожилковой массы в породе. На отдельных участках площадью до 0,02 км² прожилков настолько много, что породы превращаются в кварциты, в которых первичные толщи присутствуют лишь в виде реликтов. Кварц обычно мелкозернистый, светло-серый. В более мощных обособлениях отмечается также среднезернистый кварц с матовым блеском. Масштабы такого штокверкового окварцевания напрямую зависят от интенсивности рудовмещающей

трещиноватости, закономерности развития которой, рассмотрены в первой главе диссертации. С зонами штокверкового окварцевания связана основная часть молибденовой минерализации. Типична следующая минеральная ассоциация: кварц-мусковит-пирит-молибденит. На некоторых участках, при интенсивном метасоматозе породы превращаются в березиты (Рисунок 2.4).

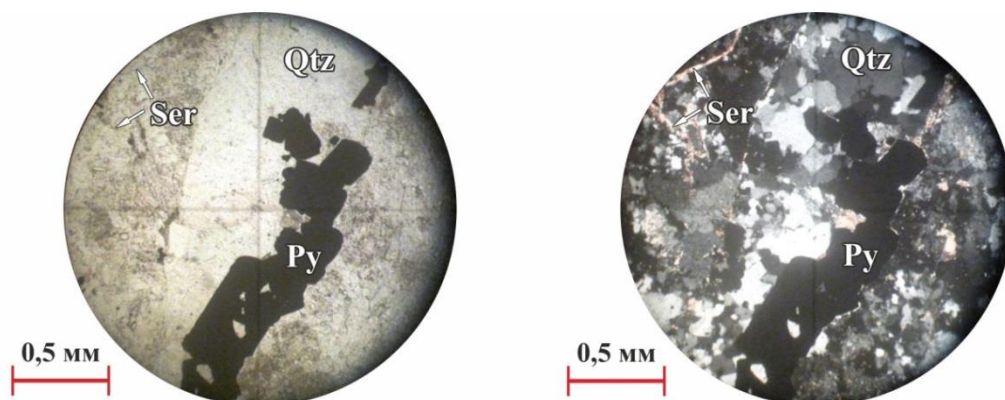


Рисунок 2.2. Интенсивное окварцевание. Изображение в проходящем свете без анализатора (слева) и с анализатором (справа)

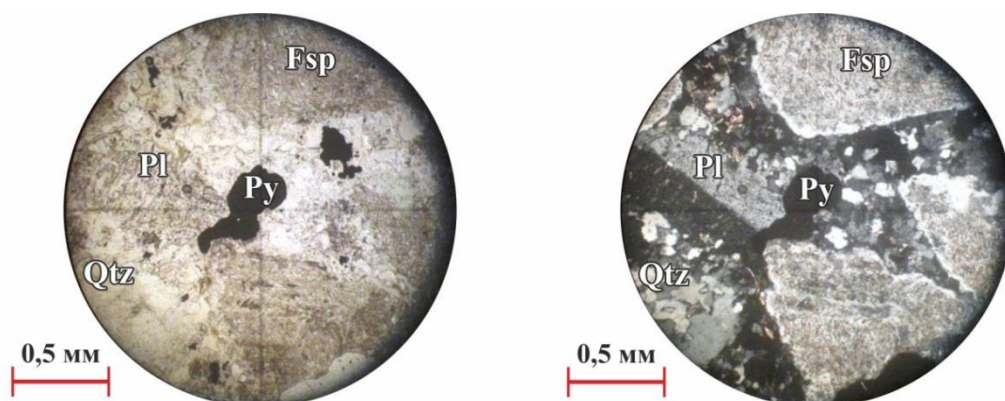


Рисунок 2.3. Умеренное окварцевание. Изображение в проходящем свете без анализатора (слева) и с анализатором (справа)

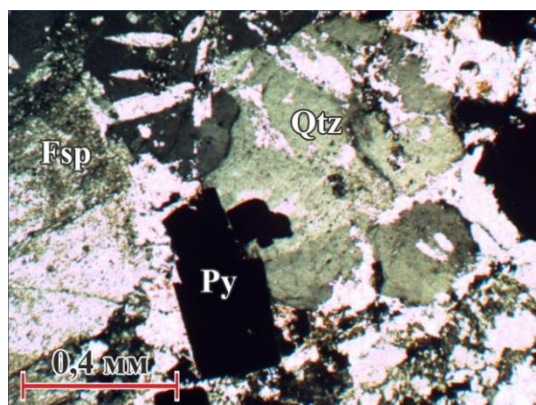


Рисунок 2.4. Березит. Изображение в проходящем свете с анализатором

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Pl — плагиоклаз, Fsp — калиевый полевой шпат, Ser — серицит, Py — пирит

Пропилитизация, часто встречающаяся на месторождении, является как дорудной, так и пострудной. Дорудная пропилитизация слабо развита практически по всему штоку гранитоидов, но более интенсивно проявлена в зонах калишпатовых и кварц-калишпатовых метасоматитов, где нередко наблюдается в виде самостоятельных тел — пропилитов. Пропилитизации подвержены и дайки диоритовых порфиров и гранодиорит-порфиров. Для дорудной пропилитизации характерна следующая минеральная ассоциация: альбит-эпидот-кварц-хлорит-пирит-халькопирит. Перечисленные минералы наблюдаются в переменных количествах, с преобладанием того или иного минерала. Пострудная пропилитизация наложена на штокверковое окварцевание и связана с завершением постмагматического процесса. Степень пострудной пропилитизации слабая до умеренной. Для нее характерна следующая минеральная ассоциация: кварц-хлорит-пирит-карбонат-халькопирит-молибденит-сфалерит-галенит.

Пиритизация, существенно развитая на месторождении, ассоциирует с процессами метасоматического штокверкового окварцевания, кварц-полевошпатового метасоматоза, пропилитизации и проявлена повсеместно по всему штоку гранитоидов. Наиболее значительна она в трубке взрывных breccий.

В центральной части порфирового штока, особенно в поле развития breccий, на биотит-ортоклаз-кварцевые и прочие ранее возникшие метасоматиты, накладывается наиболее позднее и низкотемпературное изменение типа аргиллитизации (Рисунок 2.5), приведшей к существенному изменению физико-механических свойств пород и их осветлению. Роговая обманка здесь полностью замещается агрегатом хлорита, карбоната, рудного минерала. Биотит обесцвечивается и замещается карбонатом, хлоритом, лейкоксом, но довольно часто изменение биотита выражается в ослаблении плеохроизма и выделении сагенина. При изучении шлифов видно, что плагиоклазы обычно сильно замутнены. По ним развивается мелкочешуйчатый агрегат гидрослюда и монтмориллонита, а также пятнистые буроватые агрегаты глинистых минералов, прожилковые и неправильные выделения хлорита. Магнетит замещается пиритом

и гидроокислами железа. Максимально гидротермальное глинистое изменение пород затронуло некоторые тектонические зоны северо-восточного простирания, где мощность подобных изменений может достигать первых метров. В центральных частях таких зон породы нацело замещены агрегатом глинистых минералов без сохранения первичной структуры. Нередко встречаются прожилки глинистых минералов сложного строения, секущие тонкие прожилки кварца.

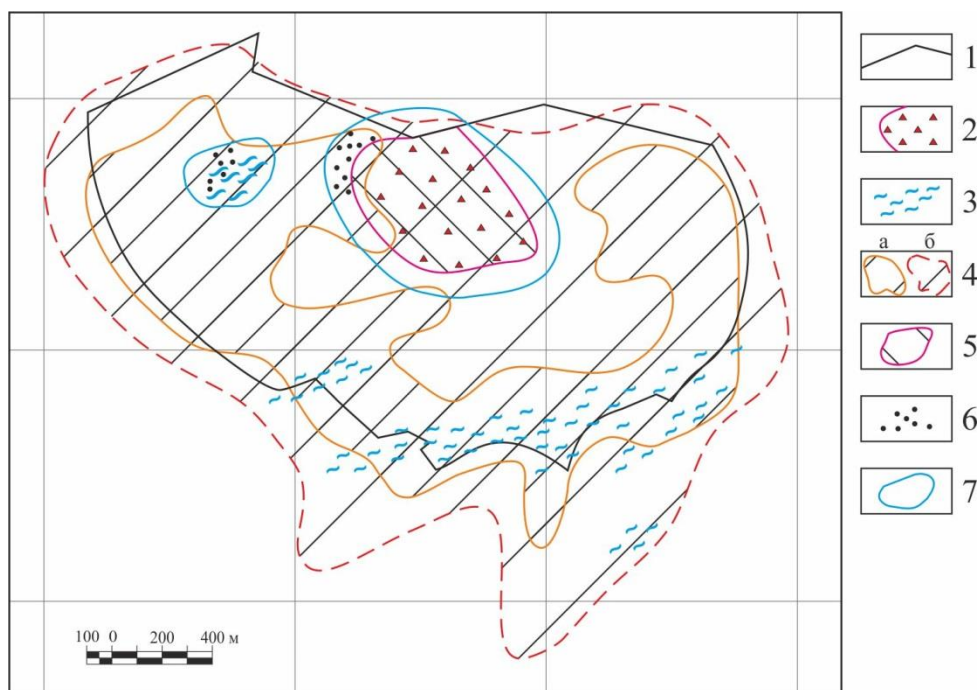


Рисунок 2.5. Схема латеральной рудно-метасоматической зональности (по [Поисковые..., 2015ф; Кастрыкин, 1978] с дополнениями)

1 – контур гранитоидного штока; 2 – трубка брекчий с интенсивной пиритизацией; 3 – кварцево-рудные жилы с богатым оруденением и зоны с проявлением аргиллитизации; 4 – зона молибденового штокверка с развитием ортоклаз-биотит-кварцевых метасоматитов и пропилитов: а) с богатым б) с рядовым оруденением; 5 – зона развития брекчиевых руд и сульфидизации; 6 – зона развития кварц-магнетитовых прожилков; 7 – зона аргиллитизированных пород.

К числу завершающих метасоматических процессов, отмечающихся на Бадисе, относится и эпидотизация. Эпидот в виде отдельных зерен, агрегатов и прожилков развивается по уже измененным гранодиорит-порфирам штока, в том числе и аргиллизированным, а также дайкам гранодиорит-порфиров и диоритовых порфиритов.

Таковы главные особенности развития метасоматических процессов на месторождении Бадис, неразрывно связанные с формированием его структуры.

2.2. Стадийность минералообразования, вещественный состав и геохимические особенности руд

Выполненное автором изучение минеральных ассоциаций, их взаимоотношений и пространственного распределения [Отчет..., 2015ф; Выдрич, 2016б, 2019; Кастрыкин, 1978], позволило установить последовательность минералообразования в которой выделены шесть стадий: динамометаморфическая, четыре гидротермальных и гипергенная (Рисунок 2.6).

Стадия Минералы	Динамо- метамор- фическая	Кварц- КПШ	Кварц- магнети- товая	Кварц- молибденитовая	Кварц- карбонатно- сульфидная	Гипер- генная
Кварц						
Плагиоклаз						
КПШ						
Роговая обманка						
Биотит						
Мусковит						
Серицит						
Хлорит						
Эпидот						
Тремолит						
Кальцит						
Доломит						
Опал						
Каолинит						
Монтмориллонит						
Циркон						
Рутил						
Апатит						
Шеелит						
Флюороит						
Магнетит						
Пирит						
Халькопирит						
Молибденит						
Сфалерит						
Галенит						
Золото						
Блеклые руды						
Сульфосоли						
Гидрослюда						
Ярозит						
Повеллит						
Ферримолибдит						
Гематит						
Гетит						
Борнит						
Ковелин						
Малахит						
Азурит						

Рисунок 2.6. Последовательность минералообразования на месторождении Бадис

Динамометаморфическая стадия наиболее ранняя. С ней связано образование многочисленных линейных тел бластомилонитов северо-восточного простирания. Для них типичен кварц-биотит-хлоритовый состав. Присутствуют роговая обманка, кальцит, мусковит. Стадия отразилась в гнейсовидном, линзовидно-полосчатом, облике пород (см. Рисунок 1.6), возникшем за счет интенсивного бокового сжатия, приведшего к одноосной переориентировке слюдистых минералов. Этот факт подтверждает обоснованность применения упомянутой выше экспериментально-теоретической модели, основанной на результатах тектонофизического моделирования (см. Рисунок 1.4, Рисунок 1.5), по которой при правостороннем сдвиге в зоне динамического влияния субширотного Станового разлома, возникали надвиги северо-восточного простирания. Именно они оказались ответственны за развитие в их пределах динамометаморфических процессов минералообразования. Подобное напряженно-деформированное состояние, как показано в Глава 1, впервые возникло в позднепротерозойскую минерагеническую эпоху и унаследованно сохранялось впоследствии в период мезозойской тектоно-магматической активизации, внесшей решающий вклад в формирование месторождения. Примечательно, что трещинные парагенезисы северо-восточного направления позднее были задействованы в ходе магматической и постмагматической деятельности и обусловили формирование значительной части даек и жил. Значимой рудной минерализации, относящейся к этой стадии не отмечается. Поэтому есть все основания считать её до рудной. Вместе с тем, как уже отмечалось, факт присутствия в динамометаморфитах (хотя и весьма редкий), тонкой вкрапленности молибденита, не имеющего практического значения, свидетельствует о процессе рудоподготовки, начавшемся ещё до начала главных стадий гидротермального процесса и отложения рудного вещества. В этой связи рассматриваемая стадия минералообразования может, в определённом смысле, считаться рудоподготовительной.

Следующие четыре стадии являются ведущими, знаменуя развитие гидротермальных рудных процессов, происходивших в период мезозойской тектоно-магматической активизации.

Кварц-калишпатовая стадия знаменует их начало. Она проявлена в калишпатизации вмещающих пород, и возникновении кварц-эпидотовых и кварц-эпидот-хлоритовых прожилков с пиритом и халькопиритом. Присутствуют циркон, апатит, рутил и шеелит. Электронно-зондовый микроанализ в пирите и халькопирите данной стадии, а также в шеелите, микропримесей не обнаружил. В эту стадию впервые активно выделяется ранний молибденит I разновидности. Он встречается в зонах калишпатизации в виде рассеянной вкрапленности, гнезд и чешуек размером от 0,5 до 5 мм. Порой в ассоциации с шеелитом. Шеелит перманентно фиксируется в кварц-полевошпатовых метасоматитах в виде изометричных включений размером до 5,0 мм (Рисунок 2.7). Визуальное содержание не превышает 0,001 %. Химический состав шеелита характеризуется отсутствием в значимых количествах микропримесей (Таблица 2.1).

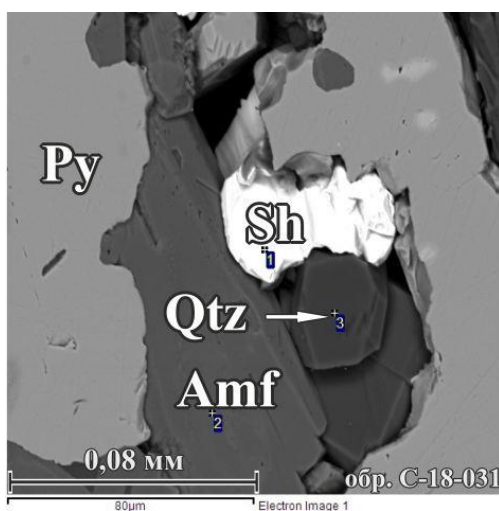


Рисунок 2.7. Вкрапленное выделение шеелита. Изображение в обратно рассеянных электронах

Буквами обозначены минералы: Sh — шеелит, Qtz — кварц, Amf — амфибол, Py — пирит

Таблица 2.1. Результаты электронно-зондового микроанализа. Химический состав минералов к Рисунок 2.7 (в вес. %)

№ на рис.	Al	Si	Ca	Fe	W	O	Total	Минерал
1			13,47	0,44	62,59	21,85	98,36	Шеелит

Кварц-магнетитовая стадия представлена кварцевыми прожилками с магнетитом с небольшим количеством пирита. Прожилки имеют средние углы падения и северо-восточное простирание согласное с простиранием тел бластомилонитов и большей части даек (Рисунок 2.8). Главный минерал стадии магнетит находится в виде включений в кварце, а также приурочен к трещинам спайности в хлоритизированном биотите. Реже он встречается в бластомилонитах в форме мелких (до 1–2 мм) кристаллов и их скоплений, но чаще в виде скрытокристаллических мономинеральных агрегатов. Морфология их кубообразная, угловатая. Границы резкие, довольно ровные, местами микрошероховатые.

Ориентировки прожилков показаны на Рисунок 2.8 и Рисунок 2.9. Анализ внутреннего строения штокверка свидетельствует, что основная масса кварц-пирит-молибденитовых прожилков имеет северо-восточное простирание близсогласное с простиранием бластомилонитов и даек гранодиорит-порфиров (эпицентр 1). Вторая по значимости система имеет северо-западное простирание (эпицентр 2). Остальные системы характеризуются меньшей плотностью прожилков и являются второстепенными. В этой связи очень важна рациональная ориентировка разведочных линий и скважинных пересечений, от которой зависит правильная оценка месторождения. Исходя из принципа необходимости подсечения максимально возможного числа рудоносных прожилков, оценку Бадисского штокверка наиболее целесообразно осуществлять ССЗ-ЮЮВ канавами и находящимися в их створе наклонными на ЮЮВ скважинами. Однако очевидно, что и при таком расположении скважин, ряд второстепенных систем прожилков останутся не подсеченными, т.к. скважины пройдут вдоль их простирания (например, прожилки эпицентров 3 и 4). Из-за чего, естественно, реальные содержания полезных компонентов в штокверке будут несколько занижены. Этот эффект будет выше в сложном штокверке, состоящем из многих систем прожилков, и ниже в линейном. Полностью избежать подобного занижения невозможно, и это следует учитывать при окончательной оценке объекта. При этом следует иметь в виду, что значительно реже, но всё же будут,

иметь место случаи, когда скважина пройдёт вдоль прожилка и содержания по интервалу могут оказаться завышенными.

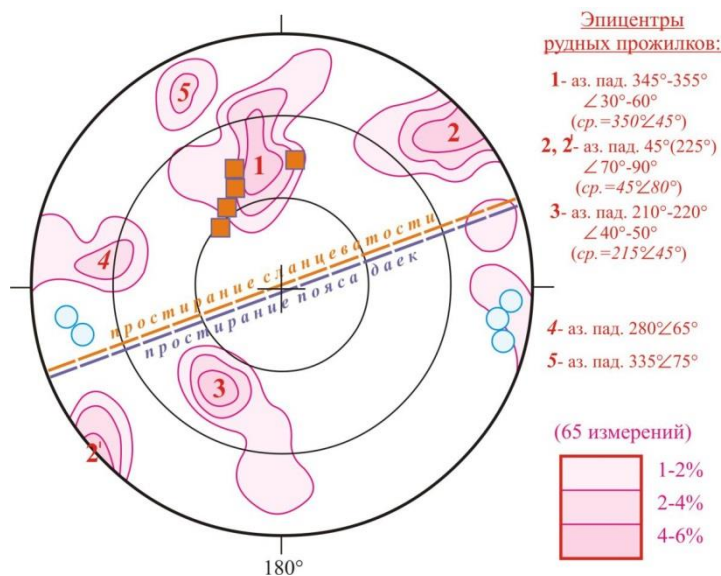


Рисунок 2.8. Ориентировки рудных прожилков и тектонических зон (составлено с использованием материалов Ю.П. Кастрькина):

1, 2, 3, 4 – кварц-пирит-молибденитовые прожилки; цветные кубики – прожилки с магнетитом; синие кружки – пострудные зоны дробления, окварцевания и пиритизации

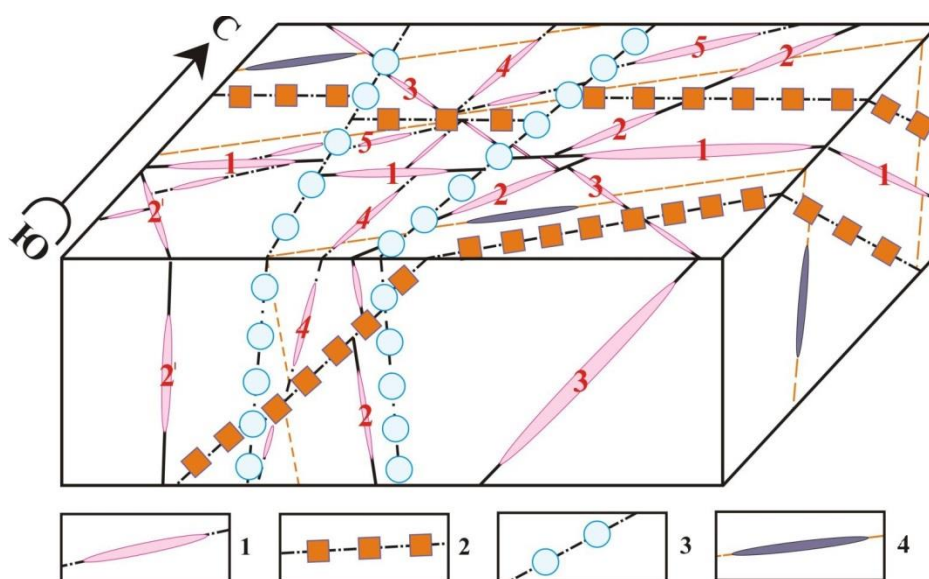


Рисунок 2.9. Блок-диаграмма рудных прожилков в перспективной проекции

1 – кварц-пирит-молибденитовых; 2 – прожилки с магнетитом; 3 – пострудные зоны дробления, окварцевания и пиритизации. 4 – дайки гранодиорит-порфиров.

Кварц-молибденитовая стадия является основной рудной стадией месторождения и связана с образованием штокверков и кварцевых жил с основной массой молибденита II разновидности, который ассоциирует с пиритом. Молибденит II образует неравномерно вкрапленные, гнездово-вкрапленные и

прожилково-вкрапленные текстуры руд. Представлен радиально-лучистыми, розетковидными срастаниями (Рисунок 2.10) и единичными тонкодисперсными, реже мелкими чешуйками. Размеры агрегатов в среднем $1,0 \times 2,5$ мм; отдельных пластинок молибденита от $0,002 \times 0,01$ до $0,03 \times 0,26$ мм. Чешуйки молибденита довольно часто изогнуты, интенсивно смяты и расщеплены (Рисунок 2.11).

В жильном кварце мелкочешуйчатый молибденит встречается в виде единичных чешуек, размером от 0,02 до 1,0 мм. Чешуйки молибденита преимущественно располагаются в кварцевых прожилках параллельно к зальбандам с образованием полосчатых текстур (Рисунок 2.12).

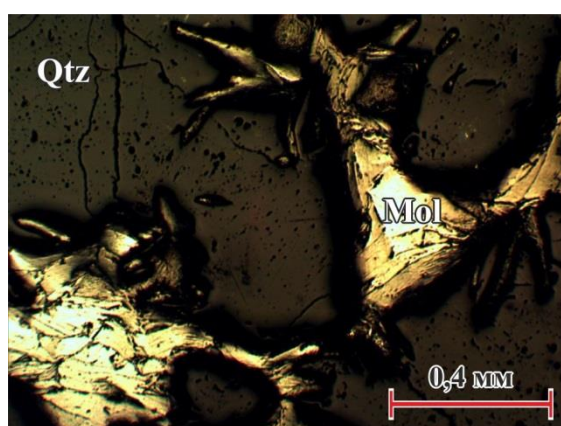


Рисунок 2.10. Розетковидные срастания молибденита (Mol) в кварце (Qtz).
Изображение в отраженном свете без анализатора

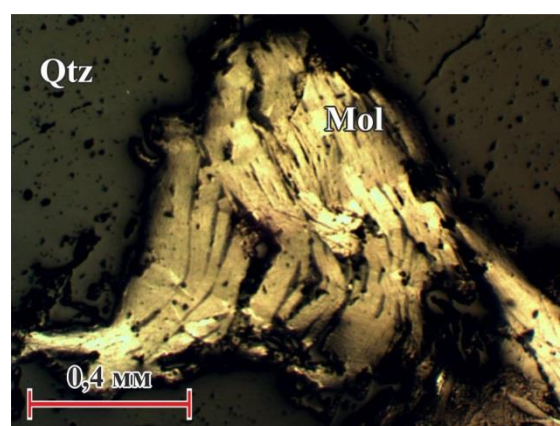


Рисунок 2.11. Деформированные чешуйки молибденита (Mol) в кварце (Qtz).
Изображение в отраженном свете без анализатора



Рисунок 2.12. Полосчатая текстура, образованная за счет тонкодисперсного молибденита в кварцевой жиле. Скважина №7, интервал 136 м

Тонкодисперсный молибденит с размером чешуек в тысячные доли миллиметра наблюдается в прожилках темно-серого среднезернистого кварца. Рассеянная вкрапленность такого молибденита в кварце придает последнему голубоватые оттенки.

В штокверковых рудах преобладают прожилки мелкозернистого кварца с тонкочешуйчатым или тонкодисперсным молибденитом. Реже встречаются прожилки и жилы, сложенные среднезернистым кварцем с более крупночешуйчатым (до 1–2 мм) молибденитом. Молибденит равномерно распределен в кварце. Реже его чешуйки составляют цепочки, ориентированные параллельно контактам прожилков вместе с пиритом. Часто молибденит выполняет центральную область кварцевых прожилков.

Иногда по многочисленным трещинкам в кварце развиваются волосовидные мономинеральные молибденитовые прожилки (Рисунок 2.13).

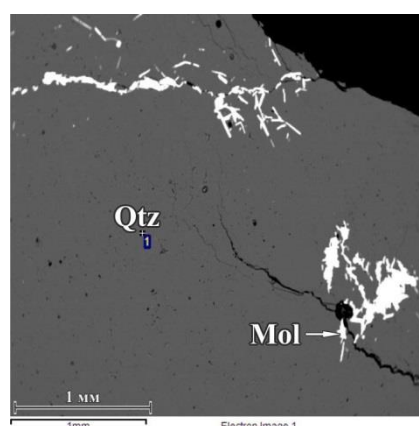
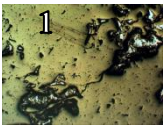
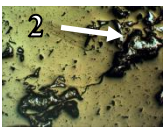


Рисунок 2.13. Волосовидные прожилки и включения молибденита (Mol) в кварце (Qtz).
Изображение в обратно рассеянных электронах

По результатам электронно-зондового микроанализа молибденит II имеет стандартный состав и содержит Re менее 0,02 % (Таблица 2.2). По данным химического анализа руд содержание рения в молибдените достигает 150 г/т.

Таблица 2.2. Результаты электронно-зондового микроанализа обр. с-7136 (аналитик Г.Н. Нечелюстов, ФГБУ «ВИМС»). Химический состав минералов (в вес. %)

Элем.	Si	O	Mo	S	Re	Total	Минерал
	46,81	53,33				100,14	Кварц
			59,61	39,75	< 0,02	99,36	Молибденит

Также молибденит II изредка присутствует в пирите в виде единичных изогнутых тонкочешуйчатых включений таблитчатой и прямоугольной формы размером $0,005 \times 0,02$ мм. Спорадически в прожилках штокверка в молибдените по трещинкам спайности развиваются халькопирит, борнит, кварц и карбонаты. В зонах окисления молибденит легко поддается гипергенным изменениям, образуя порошковатые, иногда мелкокристаллические налеты повеллита.

Как показано выше, кварц-пирит-молибденитовые прожилки локализируются в пределах четырёх основных систем рудовмещающих трещин со следующими средними азимутами и углами падения: $350^\circ \angle 45^\circ$; $45^\circ \angle 80^\circ$; $215^\circ \angle 45^\circ$; $280^\circ \angle 65^\circ$ (см. Рисунок 2.8). Наиболее развитой является первая система прожилков, приуроченных к трещинным структурам северо-восточного простирания, возникновение которых связано, как указывалось ранее, с тангенциальными тектоническими движениями в зоне Станового разлома. Эти прожилки локализируются преимущественно в юго-восточной части месторождения. Здесь же наиболее проявлены и «стержневые» кварцевые жилы с богатой молибденовой минерализацией [Выдрич, 2016б]. Вторая и третья системы прожилков являются навстречу падающими (к центру штока), а четвёртая система по отношению к ним — диагональная. В целом такие разноориентированные прожилки расположены по касательной к окружности штока, опоясывая его полуколыцлом. К ним может быть отнесена и пятая прожилковая система с элементами залегания $335^\circ \angle 75^\circ$. Подобная структурная ситуация, как показано в [Фролов, 1994; Невский, 1985; Seedorff and etc., 2005; Белов, 1993] возникает в условиях радиального давления при магматическом диапиризме внедряющихся тел. Именно такие усилия и привели к формированию ряда трещин, часть из которых впоследствии была заполнена кварцево-рудным веществом. Определение ориентировки вектора этих радиальных усилий приведено в Глава 1, исходя из характера трещиноватости, развитой в северо-западном обрамлении штока в районе трубки брекчий. Напомним, что вектор их был ориентирован в северо-западном направлении, испытывая воздымание под углом 70° , что ещё раз свидетельствует об

унаследованном характере развития интрузивного процесса, контролируемого Таксакандинским разломом.

Кварц-карбонат-сульфидная стадия является самой поздней рудной стадией и с ней связано образование кварц-карбонат-сульфидных прожилков, пересекающих вышеописанные кварц-молибденитовые прожилки, часто со смещением последних (Рисунок 2.14).

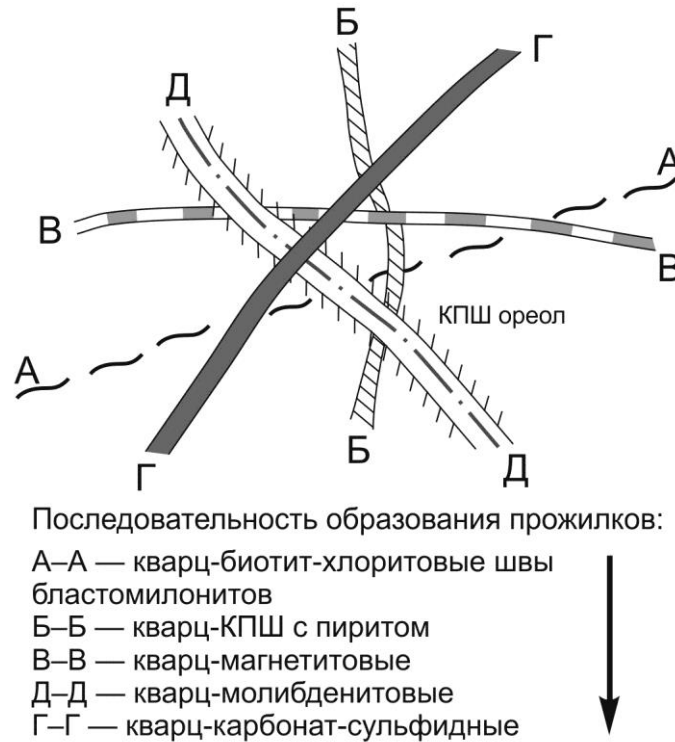


Рисунок 2.14. Взаимоотношения основных типов прожилков. Штрих-пунктир по кварц-молибденитовым прожилкам (Д-Д) указывает на внутрирудные деформации, между ними и кварц-карбонат-сульфидными прожилками (Г-Г), в связи с формированием трубки брекчий

Сульфидная минерализация в них представлена халькопиритом, сфалеритом, галенитом, пиритом, реже блеклыми рудами и образует гнездово-вкрапленные текстуры руд. В эту стадию выделяется поздний молибденит III генерации, условно называемый «сажистым». Эта разновидность молибденита встречается не часто, образуя маломощные мономинеральные прожилки молибденита, мощностью 1–3 мм, редко до 10 мм. Каких-либо околорудных гидротермальных изменений, связанных с ними не наблюдается. Молибденит III генерации встречается в основном в прожилково-жильных зонах. Часто вдоль прожилков с «сажистым» молибденитом наблюдаются зеркала скольжения

сдвигового характера (Рисунок 2.15). Иногда молибденит III генерации можно встретить в виде «сажистых» налетов на кристаллах пирита (Рисунок 2.16).



Рисунок 2.15. «Сажистый» молибденит поздней генерации. Слева – прожилок; справа – зеркало скольжения сдвигового характера

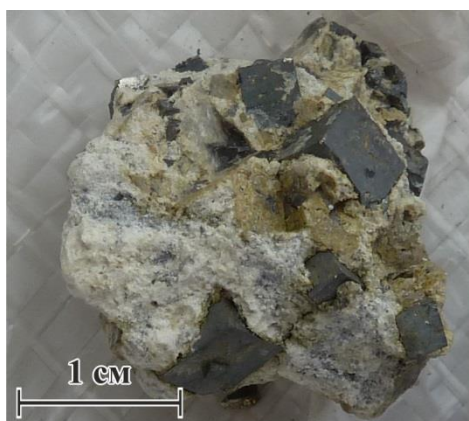


Рисунок 2.16. Примазки «сажистого» молибденита на кристаллах пирита

Следует подчеркнуть, что пирит является наиболее распространенным рудным минералом и отлагается на протяжении всех четырёх гидротермальных стадий рудного процесса. Он проявлен на всей площади месторождения, образуя равномерно вкрапленную, прожилково-вкрапленную и гнездово-вкрапленную текстуры руд в породе. Пирит так же образует вкрапленность с неявно проявленной полосчатостью, субпараллельной зальбандкам кварцевых прожилков, а также отдельные протяженные цепочки из кристалликов величиной до 1,0 мм и более крупных зерен. Гнездообразные скопления минерала иногда достигают 2 см. Преобладают кристаллы кубической формы, реже встречаются пентагон-додекаэдры и октаэдры. Размер зерен колеблется от 0,1 до 0,6 мм, иногда достигая 5,0 мм. Крупные зерна слабо трещиноваты, содержат многочисленные мелкие включения нерудных минералов неправильной формы. Встречаются сростки сложной скелетообразной формы размером до 1,2 мм.

Границы кристаллов пирита ровные и четкие, реже неровные, корродированные в зонах окисления.

Часто в пирите присутствует вкрапленность халькопирита, образующая изометричные или вытянутые выделения размером до 0,05 мм, редко крупнее. Иногда в пирите наблюдаются единичные включения тонкочешуйчатого молибденита, таблитчатой формы (Рисунок 2.17; Рисунок 2.18). Электронно-зондовый микроанализ элементов-примесей в пирите не обнаружил (Таблица 2.3). Однако иногда, при замещении пирита сфалеритом и галенитом, в нем устанавливается незначительное количество микропримеси мышьяка до 0,12 %.

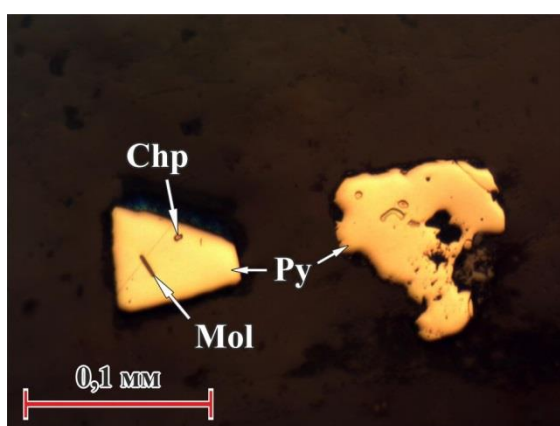


Рисунок 2.17. Пирит (Py) с включениями молибденита (Mol) и халькопирита (Chp). Изображение в отраженном свете без анализатора

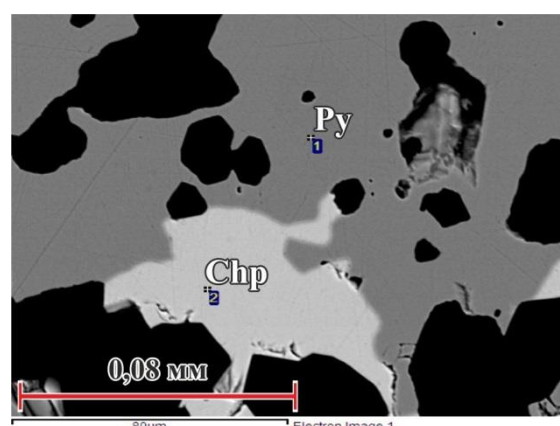


Рисунок 2.18. Пирит (Py) с включениями халькопирита (Chp). Изображение в обратно рассеянных электронах

Таблица 2.3. Результат электронно-зондового микроанализа обр. с-18031. Химический состав минералов в вес. % (см. Рисунок 2.18)

№ на рис.	S	Fe	Cu	Total	Минерал
1	53,74	45,09		98,83	Пирит
2	35,78	29,78	32,34	97,90	Халькопирит

В зоне окисления пирит замещается гетитом и гидрогетитом с образованием псевдоморфоз, границы которых часто бывают ровные, почти до прямолинейных. В крупных псевдоморфозах содержится по несколько реликтов (включений) пирита (не больше 8–10) неправильной угловатой и сложной скелетообразной формы.

Халькопирит — главный минерал — представляющий на месторождении медную минерализацию, развит широко и повсеместно. Впервые он проявляется в кварц-полевошпатовую стадию. Однако главные его количества связаны с кварц-карбонат-сульфидной стадией. Видимое содержание халькопирита не превышает 1 %. Он в основном наблюдается в маломощных прожилках штокверка в виде гнезд и пятен в измененных гранодиоритах второй фазы штока. Гнездообразные включения халькопирита встречается в карбонат-кварцевых прожилках и жилах в ассоциации с пиритом, галенитом и сфалеритом (Рисунок 2.19). Размер гнезд халькопирита до 2 см, зерен от 0,05 мм до 0,4 мм. Зерна нередко корродированы с неровными границами. Халькопирит наблюдается также в срастании с пиритом, образуя структуры замещения (Рисунок 2.20) и в виде мелких изометричных и вытянутых включений в пирите размером до 0,02 мм. Относительно пирита халькопирит является более поздним, он формируется по периферии зерен пирита. Как можно видеть (Таблица 2.3), химический состав халькопирита характеризуется отсутствием микропримесей. Часто при окислении вокруг халькопирита образуется ковелиновая зонка (Рисунок 2.21) с образованием каемочной структуры замещения. Редко он полностью замещает халькопирит, сохраняя его очертания (Рисунок 2.22).

Сфалерит представлен клейофаном светло-коричневого цвета и образует зерна изометричной формы с хорошо проявленным микроблочным строением. Встречается в кварц-карбонатных прожилках (см. Рисунок 2.19) и пропилитах, как в ассоциации с халькопиритом и галенитом, так и без них. Величина зерен колеблется от 0,1 до 1,2 мм. Крупные зерна содержат обильные включения породообразующих минералов. Границы зерен сфалерита неровные. Часто в сфалерите присутствует равномерно рассеянная вкрапленность халькопирита, образующая изометричные выделения размером до 0,05 мм, редко крупнее (Рисунок 2.23). Относительно халькопирита пропилитовой стадии сфалерит является более ранним, так как по периферии замещается халькопиритом (Рисунок 2.24), а относительно пирита — более поздним, так как он развивается

по периферии зерен пирита. В сфалерите присутствует кадмий (до 0,6 %) в виде изоморфной примеси (Таблица 2.4).

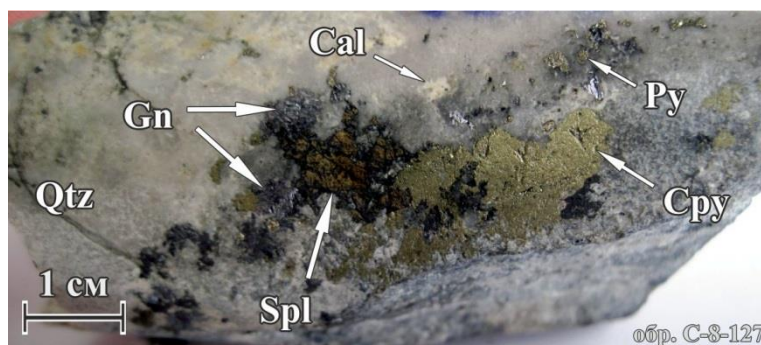


Рисунок 2.19. Кварц-карбонатная жила с полиметаллической минерализацией

Буквами обозначены минералы: Qtz — кварц, Cal — кальцит, Py — пирит, Cpy — халькопирит, Gn — галенит, Spl — сфалерит

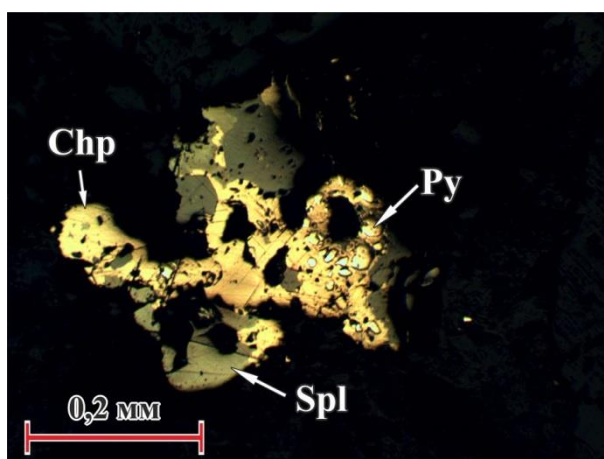


Рисунок 2.20. Пирит (Py), замещенный халькопиритом (Chp) и сфалеритом (Spl).
Изображение в отраженном свете без анализатора

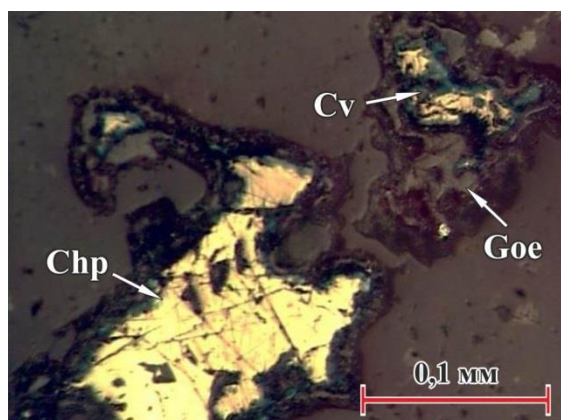


Рисунок 2.21. Каемочная структура замещения халькопирита (Chp) ковелином (Cv). Изображение в отраженном свете без анализатора

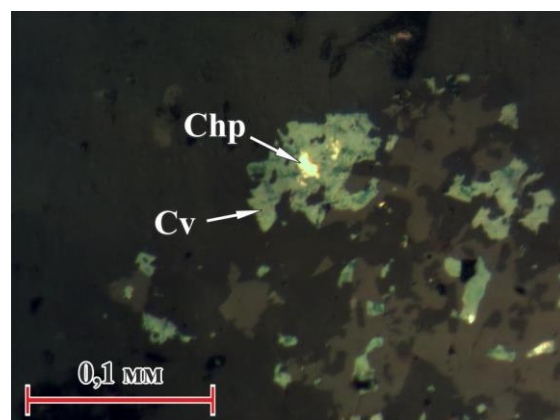


Рисунок 2.22. Гнездообразные выделения халькопирита (Chp) замещенные ковелином (Cv). Изображение в отраженном свете без анализатора

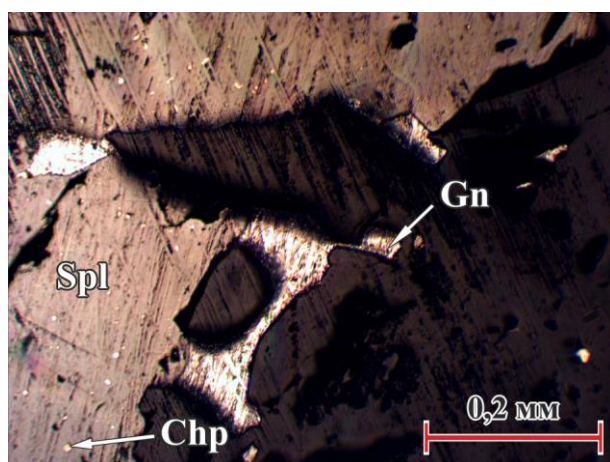


Рисунок 2.23. Структура последовательной кристаллизации сфалерита (Spl), халькопирита (Chp) и галенита (Gn). Изображение в отраженном свете без анализатора

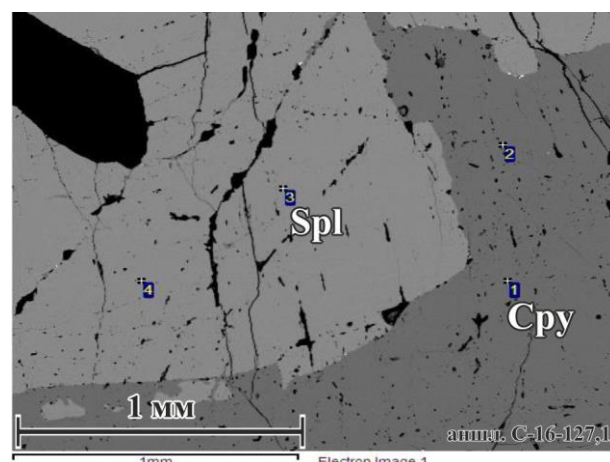


Рисунок 2.24. Сфалерит (Spl, 3, 4), замещенный по периферии халькопиритом (Chp, 1, 2). Изображение в обратно рассеянных электронах

Таблица 2.4. Результат электронно-зондового микроанализа (аналитик Г.Н. Нечелюстов). Химический состав минералов к Рисунок 2.24 (в вес. %)

№ на рис.	S	Fe	Cu	Zn	Cd	Total	Минерал
1	34,13	30,24	33,07			97,45	Халькопирит
2	34,60	30,06	33,75			98,41	Халькопирит
3	32,61	2,21		64,10	0,58	99,50	Сфалерит
4	32,13	2,09		64,26	0,59	99,07	Сфалерит

Галенит образует гнездово-вкрапленные выделения, приуроченные к кварц-карбонатным прожилкам и жилам (см. Рисунок 2.19). Размеры выделений до 5×10 мм. Форма их пятнообразная, угловатая с апофизами, развитыми вдоль трещин. Границы резкие, ровные, местами микрошероховатые. Кроме относительно крупных гнездово-вкрапленных выделений, встречаются зерна интерстиционной и пятнообразной формы, величиной до 2 мм, образующие прожилково-вкрапленные скопления, приуроченные к микротрещинам. Относительно пирита и сфалерита галенит является более поздним, так как он развивается по периферии и по трещинкам в этих минералах (Рисунок 2.25, Рисунок 2.26). По результатам электронно-зондового микроанализа иногда в нём устанавливается повышенное содержание (вес. %) меди (0,38), серебра (0,23, редко до 0,95) и редко сурьмы (до 1,18) в виде неравномерно распределенных изоморфных примесей (Таблица 2.5).

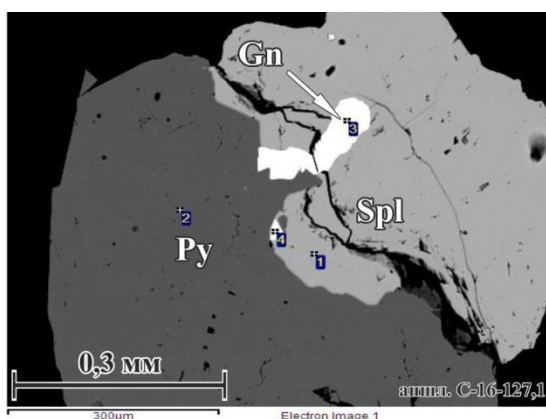


Рисунок 2.25. Развитие сфалерита (Spl, 1) совместно с галенитом (Gn, 3) по периферии пирита (Py, 2). Изображение в обратно рассеянных электронах

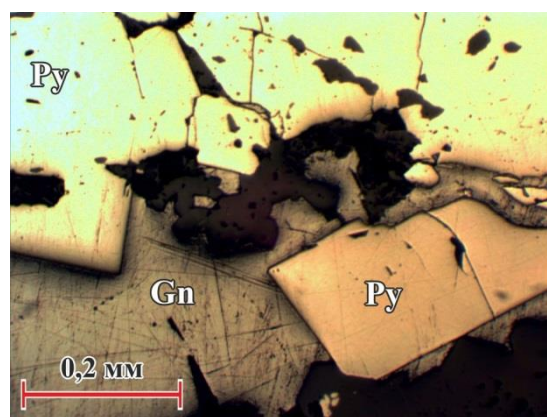


Рисунок 2.26. Структура последовательной кристаллизации пирита (Py) и галенита (Gn). Изображение в отраженном свете без анализатора

Таблица 2.5. Результат электронно-зондового микроанализа (аналитик Г.Н. Нечелюстов). Химический состав минералов к Рисунок 2.25 (в вес. %)

№ на рис.	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Sb	Pb	Total	Минерал
1	31,95	0,55		65,89			0,50			98,89	Сфалерит
2	52,17	45,98			0,12					98,26	Пирит
3	12,21					0,23			87,97	100,40	Галенит
4	23,41	1,81	30,97	7,02	3,32	8,19		23,55		98,27	Блеклая руда

Блеклые руды встречаются в кварц-карбонатных прожилках данной стадии, где они замещают галенит (Рисунок 2.27, Рисунок 2.28), образуя вокруг него кокардовые структуры. К блеклым рудам относятся обширная изоморфная группа ряда: тетраэдрит – теннантит – фрайбергит – зандбергит. Электронно-зондовым микроанализом в них обнаружены медь, серебро, сурьма, мышьяк, цинк (Таблица 2.5).

С галенитом и блеклыми рудами тесно ассоциируют сульфосоли свинца, мышьяка и сурьмы. Они присутствуют в виде изометричных и удлинённых выделений размером до 20 мкм. Особенности распределения микропримесей в блеклой руде приведены в Таблица 2.6.

С данной стадией минералообразования, которую по праву можно назвать полиметаллической, связано и золото. Золото присутствует в сульфидах (пирите и

халькопирите) в дисперсном состоянии. Оно образует тонкодисперсные субидиоморфные выделения в полевошпат-кварцевых и кварцевых прожилках. Размер его зерен колеблется от первых микрометров до 10 мкм. В отраженном свете также наблюдаются зерна золота ксеноморфной, иногда удлиненной формы со сглаженными очертаниями, реже угловатые. По результатам минералогических исследований, проведенных в ВИМСе, в технологической пробе Т-2 из скважины № 9 было установлено свободное золото в виде изометричных золотинок размером около 0,2 мм. В редких шлихах также были отмечены отдельные мелкие его знаки.

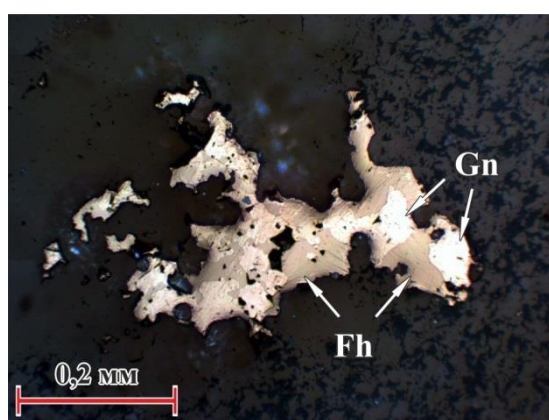


Рисунок 2.27. Замещение галенита (Gn, 1) блеклой рудой (Fh, 2). Изображение в отраженном свете без анализатора

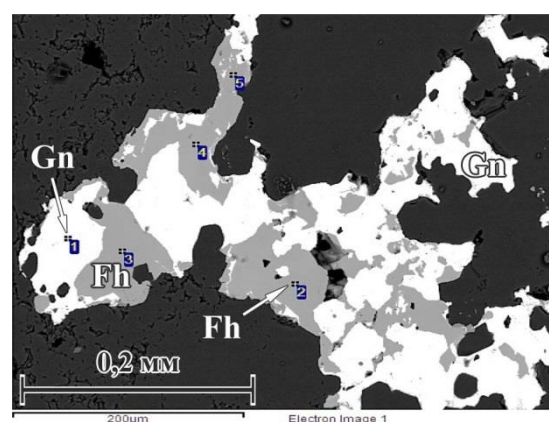


Рисунок 2.28. Галенит (Gn, 1), замещенный блеклой рудой (Fh, 2-5). Изображение в обратно рассеянных электронах

Таблица 2.6. Результат электронно-зондового микроанализа (аналитик Г.Н. Нечелюстов, ФГБУ «ВИМС»). Химический состав минералов к Рисунок 2.27

№ на рис.	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb	Pb	Total	Формула
1	12,52		0,38					87,01	99,91	$Pb_{1,08}Cu_{0,02}S$
2	24,11	0,98	32,21	5,99	3,98	7,80	22,04		97,11	$Cu_{8,77}Ag_{1,25}Zn_{1,59}Fe_{0,3}As_{0,92}Sb_{3,13}S_{13}$
3	24,24	1,01	32,78	6,01	3,85	8,25	23,30		99,46	$Cu_{8,87}Ag_{1,32}Zn_{1,58}Fe_{0,31}As_{0,88}Sb_{3,29}S_{13}$
4	24,10	1,06	29,47	6,32	2,91	11,63	25,25		100,74	$Cu_{8,02}Ag_{1,87}Zn_{1,67}Fe_{0,33}As_{0,67}Sb_{3,59}S_{13}$
5	24,62	0,72	31,95	6,53	4,22	7,38	22,42		97,83	$Cu_{8,52}Ag_{1,16}Zn_{1,69}Fe_{0,22}As_{0,95}Sb_{3,12}S_{13}$

Следует подчеркнуть, что вопрос золотоносности месторождения Бадис, к сожалению, не получил должного внимания во время проведения поисковых работ 2013–2015 гг. Вместе с тем, по данным М.З. Глуховского и др. [Окончательный..., 1974ф], по результатам пробирного анализа 50% всех

отобранных проб содержали 0,1–1,5 г/т золота. Оно неравномерно распределено в различных геологических образованиях, слагающих месторождение. В штокверке встречались содержания золота до 0,3 г/т. В «стрержневых», молибденит-кварцевых жилах содержание золота достигало 0,3–0,5 г/т. В кварцевых метасоматитах его содержания составляли 0,1–0,5 г/т, местами достигая 1,5–3,0 г/т. В брекчиях в центре штока содержания золота было в среднем около 1,0 г/т, и максимально — 10 г/т [Окончательный..., 1974ф; Отчет..., 2015ф].

В 1980-х годах В.Г. Амарским [Отчет..., 1989ф], в пределах Бадисского штока из гранодиорит-порфиров отобраны штучные пробы на рудное золото, показавшие содержания по данным пробирного анализа на уровне 0,15–1,5 г/т, а в брекчиях — до 3,4 г/т. Были также переопробованы старые канавы в западной части штока, где установлены интервалы мощностью 1,8–3,3 м с содержаниями золота 0,58–1,13 г/т. Однако, последними работами ГУ ГПП РС (Я) «Якутскгеология» [Поисковые..., 2015ф] такой уровень содержаний золота в зонах окварцевания гранодиорит-порфиров и брекчиях пока не подтверждается. Вместе с тем, спетрозолотометрический анализ бороздовых проб из этих канав показал повсеместное присутствие золота в пробах в количестве от 0,003 г/т до 0,01–0,03 г/т, реже 0,06 г/т. Причем «золотят» до 90–95 % отобранных бороздовых проб. То есть здесь мы имеем практически повсеместную зараженность окварцованных пород штока гранодиорит-порфиров и брекчий золотом. Все это свидетельствует о том, что, во-первых — золото следует рассматривать в качестве попутного элемента руд, во-вторых — очевидно, что перспективы золотоносности на Бадисе требуют дальнейшего пристального изучения.

Гипергенная стадия заключительная и характеризует процессы окисления сульфидов, представленных пиритом, молибденитом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом. Линейные гипергенные процессы связаны с зонами разломов, по которым проникали растворы. Проявлены они локально и выражены в образовании линейных кор выветривания с образованием глинистых минералов (каолинит, монтмориллонит и др.) с примесью гидрослюд. Глубина развития линейной коры выветривания достигает 50 метров. Площадные гипергенные

процессы связаны с выветриванием в результате взаимодействия поверхностных вод с сульфидами. Степень окисления зависит от количества сульфидов (прежде всего пирита), степени трещиноватости пород и их обводненности. По данным ВЭЗ-ВП глубина развития окисленных брекчиевых руд и, соответственно, низкой концентрации сульфидов достигает 70–100 м, и глубже их содержание существенно увеличивается.

Средняя мощность коры выветривания 0,2–3,0 м. Породы аргиллизированы, дезинтегрированы, окислены и выщелочены, нередко практически нацело замещены глинистыми минералами. Рудные минералы во всех морфологических типах оруденения окислены. Степень окисления слабая, редко умеренная. В обогащенных сульфидами участках наблюдаются каверны и пустоты выщелачивания. Из вторичных рудных минералов в зоне окисления встречаются повелит, ферримolibдит, лимонит, гетит, (гидрогетит), хризоколлa, малахит, азурит (Рисунок 2.29). При раздельном определении общего и окисленного молибдена установлена степень окисленности молибденита, равная 50 %. Это позволило предположить, что из зоны окисления в результате гипергенных процессов вынесено от 15 до 24 % молибдена. Таким образом, есть все основания полагать, что с глубиной, где гипергенные процессы не проявлены, средние содержания молибдена будут выше, что следует учитывать при перспективной оценке объекта.

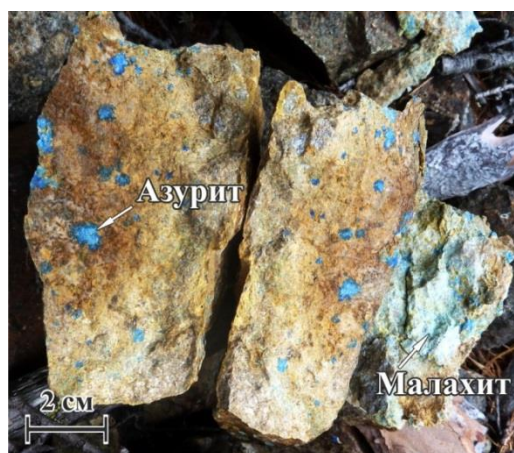


Рисунок 2.29. Медные минералы зоны гипергенеза месторождения Бадис

Важной дополнительной геолого-генетической информацией являются геохимические особенности руд. Тонкие особенности их состава порой позволяют

наметить новые критерии оценки оруденения и, в совокупности с другими факторами, дают основания для более уверенных выводов о рудном потенциале объекта. В этой связи нами была исследована геохимическая специализация основных рудных минералов месторождения.

Для определения микропримесей и более точного химического состава минералов был выполнен масс-спектральный анализ (ICP-ms) монофракций пирита, халькопирита, сфалерита и галенита (Таблица 2.7). Исследованиям были подвергнуты пириты, ассоциирующие с кварц-полевошпатовой стадией (пирит I) и с кварц-молибденитовой (пирит II), а также халькопирит, сфалерит и галенит, выделившиеся в кварц-карбонатно-сульфидную стадию.

Таблица 2.7. Результаты ICP-ms монофракций, мкг/г

Элемент		ПО	№ пробы, монофракция минерала				
			C-7-136	C-8-127,2	C-8-127,2	C-16-127,1	C-8-127,2
			пирит I	пирит II	х/пирит II	сфалерит	галенит
1		2	3	4	5	6	7
Оксид		С, %масс.					
Оксид натрия	Na ₂ O	0,00016	0,0079	0,028	0,011	0,005	0,0093
Оксид магния	MgO	0,00036	0,24	0,038	0,036	0,004	0,064
Оксид алюминия	Al ₂ O ₃	0,00031	0,27	0,38	0,44	0,052	0,073
Оксид калия	K ₂ O	0,00087	0,021	0,15	0,19	0,013	0,03
Оксид кальция	CaO	0,00067	0,21	0,12	0,22	0,011	0,074
Оксид титана	TiO ₂	0,000047	0,0087	0,027	0,0091	0,0057	0,0079
Оксид марганца	MnO	0,000018	0,0084	0,0039	0,0048	0,0063	0,0061
Оксид железа	Fe ₂ O ₃	0,0003	25,3	22,6	31,7	0,4	0,83
Элемент		С, мкг/г					
Литий	Li	0,048	1,44	0,56	0,22	0,97	0,23
Ванадий	V	0,1	16,7	15,1	16,4	0,76	1,24
Хром	Cr	0,11	7,53	2,83	<0,1	<0,1	1,93
Кобальт	Co	0,018	55,1	69,6	1,22	0,22	2,34
Никель	Ni	0,12	104,6	52,5	2,94	3,48	5,53
Медь	Cu	0,43	28520,1	93312,3	~28%	660,9	2010,1
Цинк	Zn	0,84	137,6	8336,8	6567,3	~36%	24405,7
Галлий	Ga	0,017	1,89	1,44	1,44	7,72	0,36
Мышьяк	As	0,5	<0,5	11,8	<0,5	42,3	<0,5
Селен	Se	0,69	13,4	<0,7	<0,7	15,8	1019,6
Рубидий	Rb	0,03	0,44	4,74	5,03	0,46	0,89
Стронций	Sr	0,014	30,5	8,48	3,24	1,36	1,25
Цирконий	Zr	0,044	6,9	9,34	4,88	2	2,77
Ниобий	Nb	0,016	0,51	1,88	0,4	0,17	0,31

1		2	3	4	5	6	7
Молибден	Mo	0,05	211,8	167	85,3	36,8	47,5
Родий	Rh	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Палладий	Pd	0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Серебро	Ag	0,034	50,9	136,2	26,5	156,7	419,8
Кадмий	Cd	0,0078	4,73	87	72,9	1097,2	315,3
Олово	Sn	0,039	3,16	0,51	0,26	1,82	0,66
Сурьма	Sb	0,031	0,94	2,45	1,39	390,4	3,94
Теллур	Te	0,022	72,9	24	3,16	0,68	590,6
Цезий	Cs	0,006	0,023	0,17	0,19	0,035	0,034
Барий	Ba	0,094	1,7	12,2	11,7	23	1,21
Гафний	Hf	0,0035	0,064	0,14	0,036	0,025	0,029
Тантал	Ta	0,0099	0,1	0,14	0,036	0,029	0,032
Вольфрам	W	0,019	0,22	2,33	0,42	0,14	0,34
Рений	Re	0,0089	<0,009	<0,009	0,018	<0,009	<0,009
Иридий	Ir	0,0062	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Платина	Pt	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Золото	Au	0,1	<0,1	0,18	<0,1	0,19	0,26
Таллий	Tl	0,0051	0,027	0,14	0,094	0,016	1,82
Свинец	Pb	0,15	336,3	11629,7	1428,1	2608,6	90160,9
Висмут	Bi	0,0052	321,1	236,7	43,4	1,58	7767,2
Торий	Th	0,0088	0,37	0,27	0,061	0,049	0,045
Уран	U	0,0048	0,21	0,26	0,078	0,025	0,046
Редкоземельные эл-ты:			23,4374	4,5209	1,3632	1,2646	1,316
в т.ч. Скандий	Sc	0,27	0,99	0,48	0,13	0,13	0,13
Иттрий	Y	0,0095	0,83	0,65	0,24	0,11	0,17
Лантан	La	0,024	3,82	0,7	0,22	0,27	0,22
Церий	Ce	0,032	9,87	1,25	0,38	0,35	0,37
Празеодим	Pr	0,0044	1,28	0,16	0,043	0,036	0,038
Неодим	Nd	0,017	4,88	0,64	0,17	0,15	0,22
Самарий	Sm	0,0062	0,73	0,17	0,045	0,055	0,048
Европий	Eu	0,0029	0,17	0,041	0,015	0,014	0,0058
Гадолиний	Gd	0,0058	0,46	0,13	0,032	0,014	0,021
Тербий	Tb	0,003	0,051	0,02	0,0054	0,0026	0,0062
Диспрозий	Dy	0,006	0,19	0,11	0,029	0,062	0,031
Гольмий	Ho	0,0025	0,028	0,024	0,0068	0,018	0,0045
Эрбий	Er	0,0038	0,069	0,067	0,024	0,031	0,018
Тулий	Tm	0,0017	0,0081	0,0064	0,001	0,001	0,0045
Иттербий	Yb	0,0056	0,053	0,066	0,018	0,02	0,028
Лютеций	Lu	0,0018	0,0083	0,0065	0,004	0,001	0,001
Халькофильные эл-ты без S, Cu, Zn, Pb			469,047	500,42	149,144	1714,406	10119,54
Литофильные эл-ты без оксидов			66,738	58,526	42,766	29,023	10,386
Сидерофильные эл-ты без Fe			371,5	289,1	89,478	40,5	55,37

Примечание: желтым цветом выделено повышенное содержание элементов

Как можно видеть, по результатам анализа ICP-ms устанавливаются различия в наборе элементов примесей с высокими содержаниями для сульфидных минералов, относящихся к разным стадиям минералообразования.

Пирит I характеризуется повышенным содержанием Li, V, Ni, Sr, Sn, Mo, Th и, что особенно характерно, - редкоземельных элементов РЗЭ (TR). При этом для него типичны суммарно наиболее высокие значения литофильных и сидерофильных элементов. Это свидетельствует о существенно литофильном геохимическом профиле кварц-полевошпатовой стадии минералообразования. Несколько повышенные содержания молибдена в пирите этой стадии коррелируют с установленным во время изучения стадийности фактом отложения в это время наиболее раннего молибденита I.

Для пирита II связанного с основной рудной стадией характерны повышенные значения халькофильных элементов. Особенно высоки содержания примесей меди, связанные видимо с включениями халькопирита, что подтверждается минераграфическими исследованиями. Аналогично повышенные содержания Zn и Pb в пирите II связаны с включениями сфалерита и галенита, что подтверждается и электронно-зондовым микроанализом. Отметим, что рост количества халькофилов в пирите этой стадии, а также существенные количества сидерофилов коррелируется с их увеличением в гранодиорит-порфирах второй фазы Бадисского штока (см. Рисунок 1.14), что указывает на тесную парагенетическую связь главной стадии рудогенеза с гранитоидами этой фазы. Для халькопирита установлены повышенные содержания V, Rb, Cs, Re. Для сфалерита — Ga, Cd, As, Sb, Ba; для галенита — Se, Ag, Te, Au, Tl, Bi. Для последнего обращают на себя внимание очень высокие значения суммы халькофильных элементов, что типично для сульфидных руд. Для галенита выявляются также и повышенные содержания золота. Это возможно, связано с тонкими микровключениями золота, что характерно для многих месторождений данного типа сульфидных руд и требует дальнейших специализированных исследований.

В качестве дополнительных заключений, по итогам минералого-геохимических исследований можно предположить, что повышенное содержание Se в изученных сульфидах объясняется изоморфным замещением серы селеном, что определяется близостью их ионных радиусов; наличием теллуридов, так как селен является спутником химически сходного с ним теллура. Повышенные содержания Ag, Te, и Bi в галените связаны с включениями теллуридов висмута и серебра, что подтверждается электронно-зондовым микроанализом. Повышенные содержания Ga и Cd в сфалерите, по-видимому, связаны с изоморфным замещением цинка галлием и кадмием (присутствуют в виде изоморфных включений), а повышенное содержание As и Sb — с изоморфным замещением серы мышьяком и сурьмой, что характерно для сфалерита. И наконец, повышенное содержание Re в халькопирите объясняется присутствием его в качестве элемента-примеси, что характерно для данного типа сульфидных руд.

Таким образом, геохимическая специализация, выявленная нами путем исследования мономинеральных фракций основных рудных минералов, объясняется изоморфными и механическими включениями в минералах. Это следует учитывать при технологических исследованиях, а также переработке и обогащении руд.

2.3. Выводы

Приведённая во Глава 2-ой Главе информация позволяет сформулировать следующие основные выводы.

1. Минералого-геохимические особенности и вещественный состав руд молибденового месторождения Бадис обусловлены длительным, многоэтапным развитием процессов тектоно-магматической активизации. Начальный этап в перераспределении элементов, который можно считать рудоподготовительным, по-видимому, следует связать с позднепротерозойской металлогенической эпохой, когда в общих чертах наметился структурный план территории, обусловленный динамическими явлениями, происходившими в зоне Станового разлома. Кульминация же рудогенеза, приведшая к масштабному накоплению и

отложению рудных компонентов, приходится на период мезозойской активизации, во время которой происходило становление штока рудоносных порфировых гранитоидов, сопровождавшееся интенсивными метасоматическим и гидротермальным процессами.

2. На изученном месторождении широко развит метасоматоз, выразившийся в биотитизации, калишпатизации, пропилитизации, окварцевании, пиритизации, и аргиллитизации. При этом метасоматические процессы проявлялись как по его площади, охватывая весь объём пород, так и локально, приурочиваясь к трещинным парагенезисам, возникшим в ходе формирования линейно-кольцевой структуры месторождения. Особая роль при этом принадлежит северо-восточным тектоническим направлениям, вдоль которых активно развивался кварц-биотит-хлоритовый метасоматоз и более поздние его типы.

3. Вещественный состав руд формировался синхронно с развитием структуры месторождения, и обусловлен последовательным проявлением шести стадий минералообразования, из которых основными являются четыре, знаменующими постмагматический гидротермальный процесс. При этом ведущей является кварц-молибденитовая стадия, обеспечившая отложение главной массы молибдена. Следующей по значимости и интенсивности развития является кварц-карбонатно-сульфидная (полиметаллическая) стадия, ответственная за отложение основной массы меди в виде халькопирита.

4. Малоизученная золотая минерализация, присутствующая на месторождении в сульфидах в дисперсном состоянии, и не получившая должной оценки, по-видимому, может рассматриваться в качестве попутного компонента Бадисских руд. Она также связана с полиметаллической стадией и образовалась на заключительных этапах формирования месторождения, после отложения основной массы молибдена и по времени, видимо, близсинхронна с образованием трубки брекчий. Примечательно, что золотоносность подобных месторождений-аналогов, каким, например, является месторождение Бугдая, является достаточно типичной. Это обстоятельство может явиться фактором, повышающим ценность Бадисских руд.

5. Изученные геохимические особенности состава руд, на основе масс-спектрального анализа (ICP-ms) монофракций пирита, халькопирита, сфалерита и галенита позволили установить различия в наборе элементов примесей с высокими их содержаниями для сульфидов, относящихся к разным стадиям минералообразования. Так в пирите основной рудной стадии существенные количества сидерофилов коррелируется с их увеличением в гранодиорит-порфирах второй фазы Бадисского штока, что подтверждает тесную парагенетическую связь главной стадии рудогенеза с гранитоидами этой фазы. В целом же геохимическая специализация минералов объясняется наличием в них изоморфных и механических включений, которые отражают геолого-генетические особенности и условия рудогенеза.

Глава 3. ФОРМАЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРОГНОЗ ОРУДЕНЕНИЯ

Настоящая глава в большей своей части посвящена обоснованию третьего защищаемого положения. Рудно-формационный анализ является одним из наиболее эффективных методов при металлогенических исследованиях и прогнозе оруденения [Рундквист, 1986; Рудоносность..., 1982; Кривцов, 1983; Покалов, 1993; Филатов, 1988] и др. Вместе с тем существуют различные подходы к существу рудно-формационного анализа, подробно проанализированные [Кучеренко, 2004]. Их детальное рассмотрение выходит за рамки настоящей работы, однако, уместно заметить, что имеющиеся подходы и классификации дополняют друг друга. В полной мере это, как можно видеть, касается и месторождений молибдена (Рисунок 3.1).

В.Т. Покалов	В.Т. Матвеевко, Е.А. Радкевич	И.Г. Павлова, Г.В. Александров
<i>Формация медно-молибденовая</i> Типы: Халькопирит-молибденитовый в калишпатизированных, серицитизированных, аргиллизированных породах Халькопирит-молибденитовый в известковых скарнах <i>Формация молибденовая</i> Типы: Молибденитовый в калишпатизированных, окварцованных, серицитизированных, аргиллизированных породах Молибденитовый в известковых скарнах <i>Формация вольфрам-молибденовая</i> Типы: Молибденит-вольфрамитовый (шеелитовый) в альбитизированных, грейзенизированных и менее калишпатизированных породах Шеелит-молибденитовый в известковых скарнах	<i>Формация молибденит-аплитовая</i> (редкометалльных апогранитов, – И.К.) <i>Формация молибденит-пегматитовая</i> <i>Формация молибденит-скарновая</i> <i>Формация молибденит-грейзено-кварцевая</i> <i>Формация молибденит-железисто-силикатная</i> (W, Sn, Mo) <i>Формация молибденит-халькопирит-порфировая</i>	<i>Формация молибденит-халькопирит-магнетитовая скарновая</i> <i>Формация молибденитовая скарновая</i> <i>Формация молибденит-шеелитовая скарновая</i> <i>Формация вольфрамит-молибденит-касситерит-редкометалльная грейзеновая</i> <i>Формация молибденит-вольфрамитовая грейзеновая, гумбент-грейзеновая</i> <i>Формация молибденит-вольфрамитовая березит-грейзеновая</i> <i>Формация молибденитовая гумбентовая</i> <i>Формация молибденит-халькопиритовая аргиллизит-гумбентовая, вторично-кварцит-аргиллизитовая, пропилитовая</i> <i>Формация молибденит-халькопиритовая березитовая</i> <i>Формация молибденит-галенит-сфалеритовая, березит-аргиллизитовая</i> <i>Формация настуран-молибденитовая березит-аргиллизитовая</i>

Рисунок 3.1. Формационные классификации месторождений молибдена

Так В.Т. Покалов [Покалов, 1970], вслед за Н.А. Хрущёвым [Хрущёв, 1959], избрал в качестве главного классификационного признака промышленно интересные металлы, подчеркнув комплексный характер оруденения. В классификации В.Т. Матвеевко и Е.А. Радкевич метасоматические формации выведены на один уровень с рудными [Матвеевко, 1976]. Напротив, в наиболее дифференцированной систематике И.Г. Павловой и Г.В. Александрова [Павлова, 1978], в составе одной метасоматической формации участвует несколько рудных, либо, наоборот. Очевидно, все эти классификации имеют право на

существование, так как раскрывают ту или иную прогнозно-оценочную характеристику объекта. Тем не менее, далее диссертант, (будучи представителем прогнозно-металлогенической школы ВИМСа), будет в своих разработках, касающихся молибденового месторождения Бадис, преимущественно основываться на подходах В.Т. Покалова, многие годы являвшегося куратором и руководителем молибденовой проблемы в нашей стране.

3.1. Геохимическая характеристика, зональность и эрозионный срез оруденения

Изучение геохимических характеристик и зональности оруденения является важнейшим компонентом рудно-формационного анализа [Павлова, 1978; Соловов, 1985]. В.Т. Покаловым [Покалов, 1970, 1993] подчеркивается, что геохимические (металлогенические) связи молибдена с другими металлами являются одним из ведущих классификационных признаков и выявление их весьма актуально при прогнозно-металлогенических исследованиях разного масштаба.

Ранее поисковыми геохимическими работами [Окончательный..., 1974ф] в Бадисском рудном поле были выявлены вторичные и первичные ореолы элементов-индикаторов молибденового оруденения. Установлен сопряженный и унаследованный характер распространения первичных эндогенных ореолов в коренных породах и вторичных ореолов в рыхлых отложениях, что позволило для решения поставленных задач использовать информационную базу по рыхлым отложениям.

Математико-статистическая обработка имеющихся химико-аналитических данных заключалась в расчетах статистических параметров элементов (средние содержания, медианные значения, стандартные отклонения, коэффициенты вариации (K_v) и концентрации (K_k)) в специально подобранных выборках геохимических проб над различными петрографическими разностями и для месторождения в целом. Медианные значения содержания элементов принимались за фоновые содержания для петрографических разностей пород.

Нормированием средних содержаний на медианные значения были рассчитаны коэффициенты концентрации элементов, на основании которых проведено построение рудно-формационных рядов. Проявление неоднородности распределения элементов выражалось в значениях коэффициентов вариации. Известно, что, как правило, процессы рудообразования характеризуются высокими значениями коэффициентов вариации элементов [Соловов, 1985; Инструкция..., 1983] и др., отражая интенсивные процессы их привноса-выноса. На основе корреляционно-парагенетического и факторного анализов выделялись и анализировались рудогенные геохимические ассоциации. Выявленные рудно-формационные ассоциации и ряды использовались при определении генетического типа оруденения и его формационной принадлежности, что в конечном итоге применялось и учитывалось при оценке ресурсного потенциала рассматриваемого объекта.

Рассчитанный для общей выборки результатов анализов проб рыхлых отложений рудного поля Бадис ($n=1025$) геохимический рудно-формационный ряд химических элементов имеет следующий вид (индекс — коэффициенты концентрации относительно медианы выборки, в скобках — значения коэффициентов вариации в %): **Mo_{1,73}(146) Bi_{1,58}(122) Cu_{1,43}(99) Pb_{1,39}(83) Ag_{1,32}(114) W_{1,18}(76) Ba_{1,18}(42) Zn_{1,14}(71)**. Рассмотрение его свидетельствует о наиболее высоких коэффициентах концентрации и дисперсии для молибдена и специализации площади на рудную минерализацию медно-висмут-молибденового типа, характерную для медно-молибденовой рудной формации.

Комплексность состава оруденения (Mo, Bi, Cu, Pb), высокие значения таких геохимических параметров как общая интенсивность концентрации и дифференцированность ($\sum Kk_{\text{сумм.}} = 10,95$, $Kv_{\text{ср.}} = 94\%$) указывают на масштабный процесс рудоконцентрации и несомненное присутствие на исследуемой площади значительного рудного объекта. По выборкам геохимических проб рыхлых отложений над различными петрографическими разностями пород получены следующие частные геохимические рудно-формационные ряды элементов:

- Вмещающие Бадисский шток древние лейкократовые граниты раннепротерозойского комплекса (n=276): $\text{Bi}_{1,6}(103)$ $\text{Ba}_{1,21}(35)$ $\text{W}_{1,16}(97)$ $\text{Zn}_{1,06}(67)$ $\text{Pb}_{1,01}(75)$ $\text{Cu}_{0,87}(82)$ $\text{Ag}_{0,85}(98)$ $\text{Mo}_{0,67}(118)$; $\sum \text{Kk}=8,43$; $\text{Kv ср.}=88\%$.
- Роговообманково-биотитовые гранодиориты первой фазы раннемелового комплекса (n=238): $\text{Pb}_{1,38}(77)$ $\text{Ba}_{1,34}(36)$ $\text{Zn}_{1,27}(65)$ $\text{W}_{1,09}(107)$ $\text{Ag}_{1,07}(108)$ $\text{Bi}_{0,94}(67)$ $\text{Cu}_{0,87}(104)$ $\text{Mo}_{0,55}(136)$; $\sum \text{Kk}=8,51$; $\text{Kv ср.}=87\%$.
- Роговообманково-биотитовые гранодиорит-порфиры второй фазы раннемелового комплекса (n=431): **$\text{Mo}_{2,92}(109)$ $\text{Cu}_{1,96}(83)$ $\text{Bi}_{1,89}(130)$ $\text{Pb}_{1,68}(84)$ $\text{Ag}_{1,57}(105)$** $\text{W}_{1,21}(47)$ $\text{Zn}_{1,14}(79)$ $\text{Ba}_{1,05}(49)$; $\sum \text{Kk}=13,42$; $\text{Kv ср.}=86\%$.
- Брекчии (n=47): **$\text{Mo}_{3,03}(114)$ $\text{Ag}_{2,67}(103)$ $\text{Bi}_{2,16}(101)$ $\text{Cu}_{2,14}(97)$** $\text{W}_{1,32}(34)$ $\text{Ba}_{1,32}(33)$ $\text{Zn}_{1,03}(57)$ $\text{Pb}_{0,99}(39)$; $\sum \text{Kk}=14,66$; $\text{Kv ср.}=72\%$.

Из приведенных данных видно, что для, вмещающих Бадисский шток раннепротерозойских гранитов рамы, характерны наиболее низкие значения суммарного коэффициента концентрации. Раннепротерозойская металлогеническая эпоха, таким образом, оказывается для рассматриваемой площади относительно слабо продуктивной. С мезозойской активизацией и внедрением в раннем мелу Бадисского порфирового штока связано последовательное нарастание интенсивности рудогенеза. Если во время становления гранодиоритов первой фазы данный процесс лишь вступил в начальную свою стадию ($\sum \text{Kk}$ лишь немного выше, чем для раннепротерозойских гранитов рамы), то для гранодиорит-порфиров второй фазы и эксплозивных брекчий значения $\sum \text{Kk}$ оказываются существенно выше. При этом для этих пород характерны наибольшие коэффициенты концентрации молибдена, меди, а также висмута. Всё это подтверждает приведенное ранее мнение о парагенетической связи молибденового и сопутствующего оруденения с заключительными фазами становления Бадисского штока. А также его принадлежности к медно-молибденовой рудной формации, а в её рамках к перспективному по В.Т. Покалову [Покалов, 1970] халькопирит-молибденитовому типу. По классификациям [Кривцов, 1989; Бин, Титли 1984; Портнов и др., 2015; Cook and etc., 2005; Sillitoe, 2010], рассматриваемое оруденение относится к молибденит-

халькопирит-порфировой формации, чем подчёркивается его генетическая связь с интрузиями порфирового типа, к которым собственно и относится Бадисский шток. Причём, из полученных данных следует, что интенсивная рудоконцентрация молибдена и меди, стартовавшая в период становления гранодиорит-порфиров второй фазы штока, продолжалась позже, — во время формирования трубки эксплозивных брекчий. Более того, судя по коэффициентам концентрации, интенсивность этого процесса со временем нарастала. Также обращает на себя максимальный коэффициент концентрации серебра для брекчий, с которыми, как показано в Глава 2, ассоциирует полиметаллическая стадия минералообразования.

Нами также осуществлен факторный анализ геохимической информации по рыхлым отложениям. Полученная матрица факторных нагрузок позволила выделить три рудогенные ассоциации элементов, связанных с процессами формирования аномального геохимического поля (АГП): PF1(+) Ag_{0,79} Cu_{0,74} Mo_{0,47} Bi_{0,43} W_{0,41}; PF2(+) Zn_{0,89} Pb_{0,81}; PF3(+) Ba_{0,90} Ag_{0,38}. Очевидно, что наиболее значимой рудогенной ассоциацией является PF1, где присутствуют основные компоненты месторождения молибден и медь.

Неотъемлемым компонентом геохимической части диссертационных исследований явилось выполненное нами определение латеральной геохимической зональности. В пределах аномального геохимического поля (АГП) месторождения Бадис были построены и проанализированы схемы поэлементных вторичных ореолов (Рисунок 3.2). И в дальнейшем — проанализирована их позиция относительно Бадисского штока в целом, относительно слагающих его фаз, а также других составных частей структуры месторождения [Выдрич, 2016a].

Рассмотрение пометальных схем показывает, что ореолы молибдена, меди и частично вольфрама располагаются конформно штоку, наследуя кольцевые направления. При этом, если два главных металла руд занимают центр штока, сложенного наиболее поздними его магматическими составляющими, и располагаются непосредственно над штоком, то ореолы вольфрама их окаймляют и локализуются над гранодиоритами первой фазы штока.

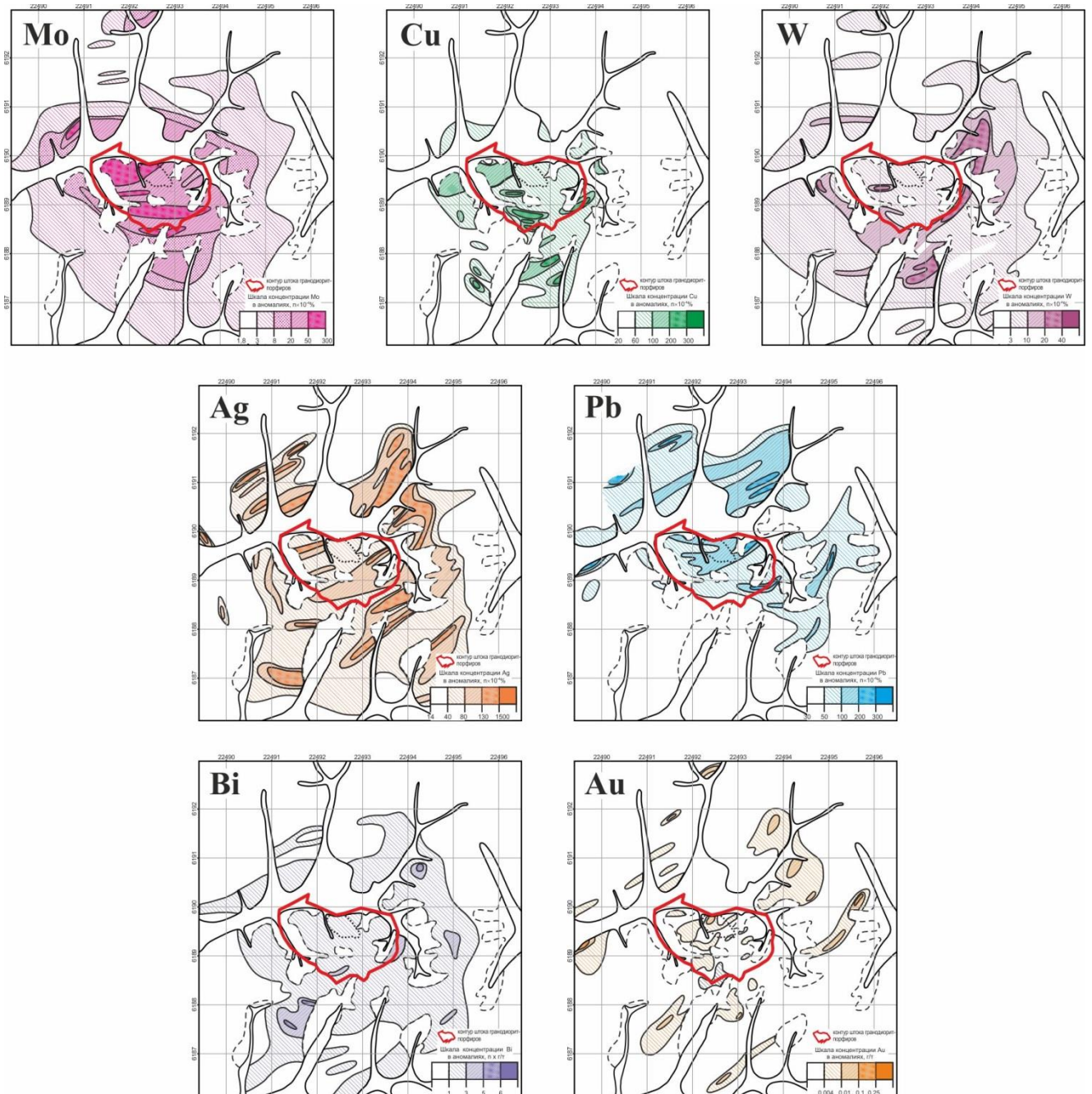


Рисунок 3.2. Схемы поэлементных геохимических ореолов. Составлено автором по материалам [Отчет партии..., 1989ф]

Ореол серебра образует внешнее обрамление ореола вольфрама, но уже не выглядит столь чётко изометрично-кольцевым. В его конфигурации начинают активно проявляться линейные тектонические направления северо-восточного простирания. Данные деформационные структуры, как было показано выше, играют существенную роль в геологическом строении месторождения Бадис. Что касается ореолов свинца, висмута и золота, то они, слагая периферию

аномального геохимического поля, в основной своей части испытывают чёткий северо-восточный структурный контроль.

Таким образом, установлено проявление латеральной зональности от центра к периферии: **Cu→Mo→W→Bi→(Pb, Zn)→Ag→Ba→Au** (Рисунок 3.3), которая контролируется геологическими структурами месторождения. Особенно чётко это проявляется на схеме распределения рудных ассоциаций (Рисунок 3.4). Эти ассоциации выделены нами на основании латерального ряда зональности и факторного анализа, в ходе которого использованы следующие факторы: F1 – Cu, Mo; F2 – Bi, W; F3 – Zn, Pb; F4 – Ba, Ag.

Элементы-спутники оруденения, расположенные правее молибдена и вольфрама, такие как висмут, свинец и серебро могут являться индикаторами фланговых и надрудных зон. Центральная часть представлена ореолами меди и молибдена, располагающимися над рудоносным штоком. Далее к периферии в рыхлых отложениях, над вмещающими Бадисский шток раннепротерозойскими гранитами, распространены ореолы вольфрама, висмута, свинца, цинка, серебра, бария и золота. Вышеуказанная латеральная зональность является, по своей сути, пространственным выражением вертикальной зональности элементов (снизу-вверх): **Cu→Mo→W→Bi→(Pb, Zn)→Ag→Ba→Au**.

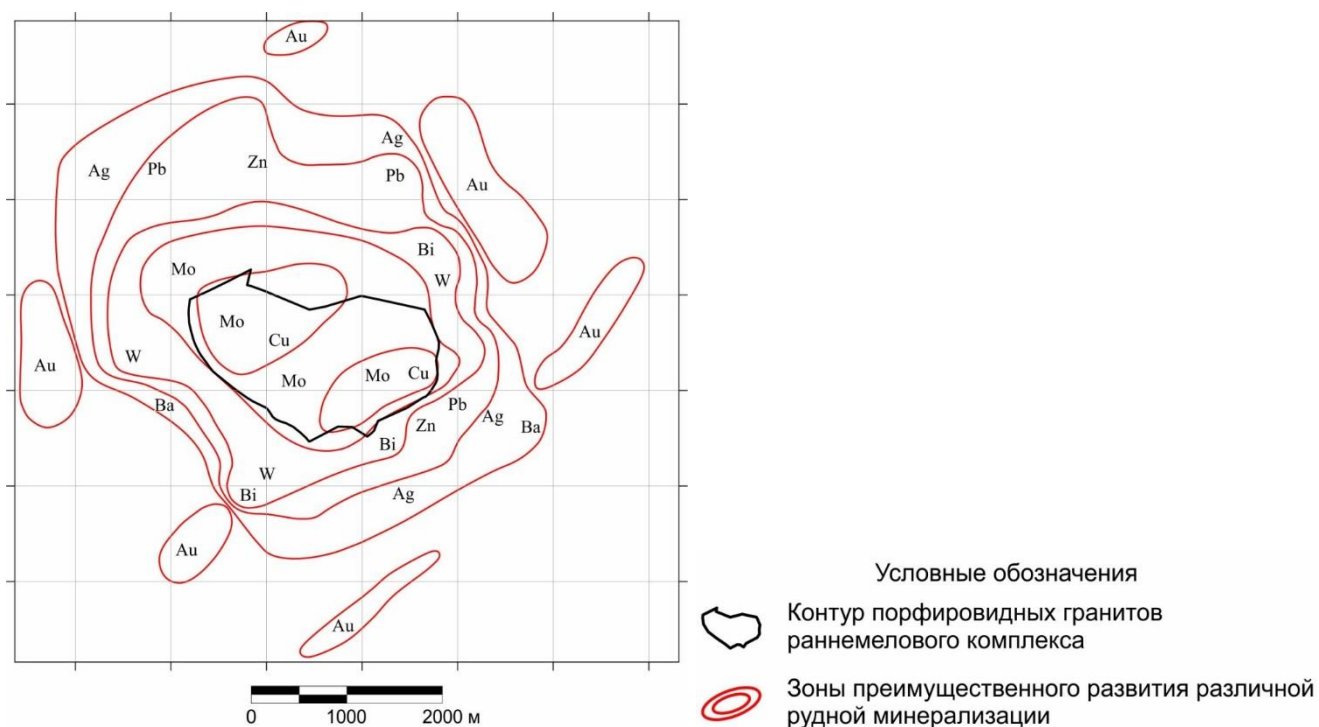


Рисунок 3.3. Схема геохимической зональности (по вторичным геохимическим ореолам)

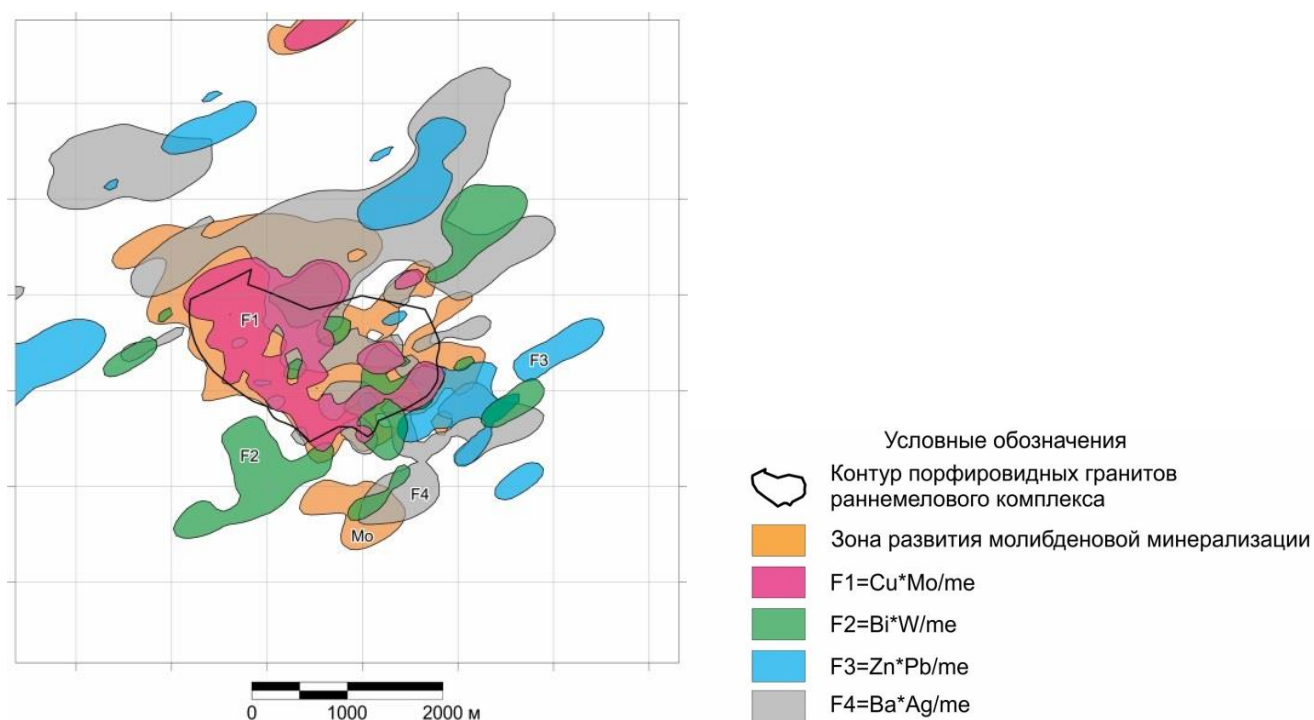


Рисунок 3.4. Схема распределение рудных ассоциаций элементов

По конфигурации ореолов в пространстве, их поэлементно-факторной характеристике и зональности можно сделать определённые выводы об эрозионном срезе различных участков месторождения. Пространственный анализ схемы (см. Рисунок 3.4), показывает, что аномалии факторов 2, 3, 4 окаймляют рудную ассоциацию фактора 1. При этом очевидно влияние зон северо-восточного простирания на позицию аномалий факторов 2, 3, 4. Интерпретируя этот факт можно заключить, что для полиметаллической минерализации, отлагавшейся после главной массы медно-молибденовых руд, тектонические структуры северо-восточного простирания оказывали существенное влияние на её размещение. Анализ зонального расположения геохимических аномалий и факторов, как их производных, дает возможность оценить уровень эрозионного среза. Место пересечения всех факторов, и большая площадь аномалии 1-ой рудной ассоциации элементов, очевидно, отвечают рудному (среднерудному) уровню эрозионного среза. Области наложения всех факторов при малой площади 1-ой ассоциации — верхнерудному уровню. Периферийные участки, где происходит наложение 2, 3 и 4-го факторов, — соответствуют надрудному уровню среза. Исходя из этого, обращает на себя внимание участок в северо-

восточной части Бадисского штока, который характеризуется верхнерудным уровнем эрозионного следа, и в пределах которого на глубине можно ожидать наличие продуктивного медно-молибденового оруденения.

Весьма полезным, как свидетельствует опыт, при определении уровня эрозионного среза молибденоваторудных объектов играет анализ метасоматически изменённых пород. Интенсивность и масштабность гидротермально-метасоматических изменений, захватывающих значительные площади, далеко выходящие за контуры рудных тел, является характерной чертой крупно-объемных штокверковых месторождений медно-молибден-порфирового и молибденит-кварцевого типов [Sillitoe, 2010; Кривцов, 2001; Gruen and etc., 2010]. Взяв за основу принципиальную схему метасоматической зональности медно-молибден-порфировых месторождений разработанную Ж.Д. Ловеллом и Ж.М. Гилбертом [Lowell and Guilbert, 1970], можно сделать определённые заключения о степени эродированности месторождения. Так, на слабо эродированных объектах, широко проявлены внешние зоны метасоматитов, представленные пропилитами, аргиллизитами, серицит-кварцевыми метасоматитами, сопровождающимися прожилково-жильным окварцеванием с полисульфидной минерализацией и повышенными концентрациями золота, серебра, свинца, цинка. На умеренно эродированных объектах преобладают метасоматические изменения внутренних зон рудной колонны. Это преимущественно биотит-каливошпат-кварцевые метасоматиты, при подчиненной роли серицит-кварцевых и аргиллизитов, сопровождающиеся прожилково-вкрапленным штокверковым оруденением с преобладающим молибденитом, в меньшей степени — халькопиритом, и характеризующиеся высокими концентрациями молибдена, меди, реже вольфрама. И, наконец, на максимально эродированных объектах (нижнерудный или подрудный срез) практически отсутствуют образования внешних зон; максимально проявлены кварц-калишпатовые метасоматиты, безрудное окварцевание, широкое развитие имеет магнетит, и руды характеризуются убогими содержаниями молибдена, меди и др. элементов. В этой модели

зональность метасоматитов — есть результат повышения кислотности растворов по мере снижения их температуры.

Модель корреспондируется с имеющейся, в нашем случае, конкретной ситуацией на месторождении Бадис и была принята за основу. Она конкретизирована и дополнена информацией по особенностям и масштабам проявления метасоматитов расположению минеральных и морфологических типов руд (изложенных выше в Глава 1 и Глава 2), что дало возможность наметить положение уровня эрозионного среза, вскрывшего оруденение на рассматриваемом месторождении (Рисунок 3.5). Из анализа схемы можно заключить, что уровень среза на объекте в целом соответствует среднерудному.

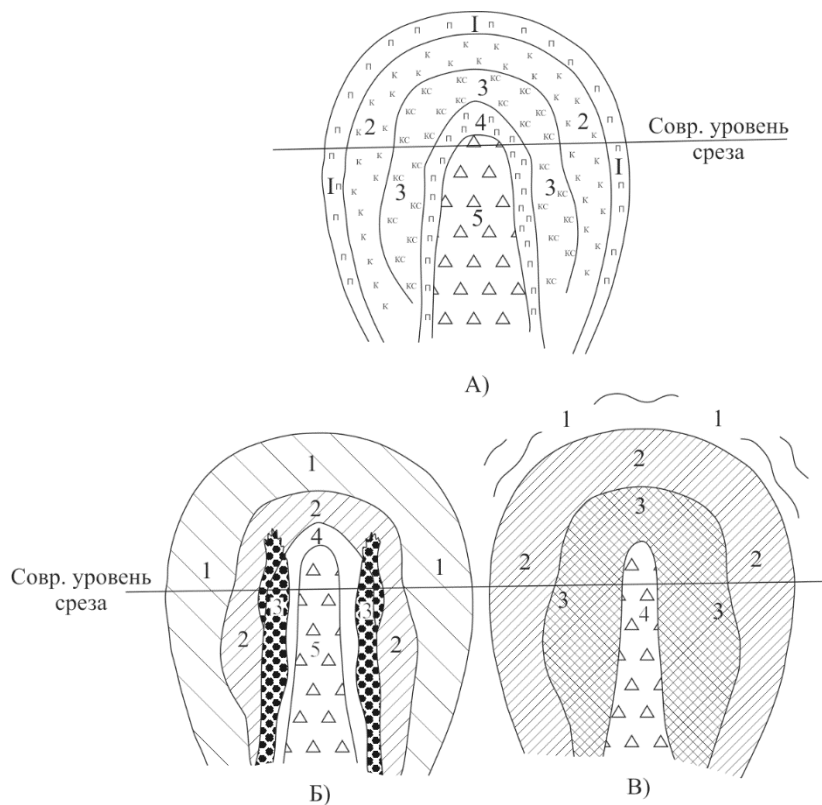


Рисунок 3.5. Схема концентрической зональности метасоматических пород, рудной минерализации и положения уровня эрозионного среза на месторождении Бадис. Составлено с использованием [Lowell and Guilbert, 1970]

А). Схема распределения зон гидротермально изменённых пород: 1 – пропилиты; 2 – калиевые метасоматиты; 3 – кварц-серицитовые метасоматиты; 4 – пропилиты; 5 – взрывчатые брекчии.

Б). Схема зональности минерализации: 1 – периферийная зона: халькопирит - сфалерит - галенит - золото - серебро; пирита 2%; 2 – пиритовая зона: пирита 10%, халькопирита 0.1-3%, молибденита следы; 3 – зона «железных» руд: халькопирита 1-3%, молибденита 0,03-0,1 %; 4 – зона «бедных» руд (халькопирит, пирит, молибденит); 5 – взрывчатые брекчии с вкрапленностью пирита, халькопирита и молибденита в кварцевых обломках.

В). Схема расположения морфологических типов оруденения: 1 – зона стрессовых жил; 2 – прожилково-жильная зона; 3 – штокверковая зона; 4 – зона взрывчатых брекчий.

Для перехода от общей оценки среза к конкретным его цифрам анализируем и используем для расчётов следующую геологическую информацию. Известно, что глубины формирования рудоносных интрузий и молибденит-кварцевых штокверков колеблются от 0,5 до 2–3 км. Вертикальный же размах оруденения для крупных молибденовых месторождений составляет 500–1200 м, а иногда и более [Портнов и др., 2015; Sillitoe, 2010; Lowell and Guilbert, 1970; Кривцов, 2001; Gruen, and etc., 2010]. При этом очевидно, что сводовое воздымание региона, имевшее место в эпоху мезозойско-кайнозойской активизации [Молибденоносность..., 1986ф; Максимов и др., 1982] не могло не сказаться на сохранности первичных рудных концентраций. Амплитуда вертикальных перемещений блоков достигала 500–1000 м. Денудация наиболее затрагивала приподнятые блоки, в которых, по данным Л.Г. Васютиной [Окончательный..., 1974ф], она максимально могла достигать 2–2,5 км.

При конкретизации оценки глубины эрозионного среза необходимо опираться на совокупность признаков. При этом целесообразно представить их в виде соответствующей схемы (Рисунок 3.6), принимая во внимание степень вскрытости гранитоидных массивов, а также морфоструктурные особенности территории. Так, центральная часть Станового свода, где обнажаются сильно эродированные крупные массивы гранитоидов, не перспективна для выявления сколько-нибудь крупных проявлений молибдена. А вот во фланговых его частях, где вскрываются прикровельные апикальные зоны массивов, вероятно обнаружение сохранившихся крупных молибденоворудных объектов. Представляется, что последняя ситуация как раз и имеет место для месторождения Бадис. Учитывая, что объект связан с порфировым штоком магматических пород, относящихся к гипабиссальной и субвулканической фациям глубинности, принимаем, что максимальное его проникновение вверх при внедрении составляло порядка 500 м от палеоповерхности. Принимаем средний вертикальный размах оруденения — 1000 м, допуская, что уровни среза расположены равномерно по данному интервалу. Среднерудный (как установлено выше, типичный для объекта), уровень среза расположен посередине рудной

колонны. А верхнерудный и надрудный будут находиться соответственно в 250 и 500 м выше.



Рисунок 3.6. Схема эрозионного вскрытия Бадисской рудно-магматической системы

1 — гранитоиды 1-й фазы; 2 — гранодиорит-порфиры 2-й фазы; 3 — брекчии; 4 — «внутренние» граниты; 5 — дайки линейной системы северо-восточного простирания; 6 — дайки радиально-концентрической системы; 7 — кварцево-жильные зоны; 8 — контур рудной колонны

Тогда, как следует из подсчета по масштабным шкалам на схеме (см. Рисунок 3.6), величина денудационного среза от палеоповерхности составляла порядка 200 м на периферии объекта; 450 м — в блоках с верхнерудным срезом; и 700 м — в наиболее эродированной части месторождения. Расстояние от верхнерудной до нижнерудной зоны составляет 500 м. Это центральная, наиболее продуктивная часть рудной колонны. Поэтому очевидно, что осуществлённое на месторождении бурение наклонными скважинами длиной около 200 м, позволило реально вскрыть не более 160–170 м его общего вертикального разреза. И если для участков, где эрозия обнажила среднерудный уровень, недоизученными на глубину осталось порядка 80–90 м, то в наиболее перспективных верхнерудных блоках, оказалось недоразведано 330–340 м продуктивной глубины. Эти цифры, конечно, являются ориентировочными, но они количественно характеризуют порядок явления, и дают представление о минимальных его параметрах. Если же рудная колонна была более растянута, размах оруденения был больше, а

гранитоиды штока при своём внедрении продвинулись на расстояние менее чем 0,5 км до поверхности (что вполне возможно), то цифры приведенных оценок возрастут. Таким образом, как бы то ни было, расчёты показывают, что на глубину месторождение недоразведано, и имеется настоятельная необходимость его доизучения с бурением скважин глубиной 500–600 м.

Вместе с тем, уже выполненный на месторождении комплекс горно-буровых работ с результатами опробования канав и скважин позволяет детализировать полученные выводы о зональности, вертикальном размахе оруденения, его эрозионном срезе и рудно-формационной принадлежности на основе использования закономерностей распределения первичных (эндогенных) ореолов. С этой целью диссертантом, с использованием пакета программ Gold Digger, был статистически обработан имеющийся материал по коренному опробованию, построен и интерпретирован ряд геохимических разрезов первичных ореолов (Рисунок 3.7–Рисунок 3.9), которые соответствуют отдельным фрагментам (сечениям) структуры геохимического поля объекта.

В целом при обработке результатов химического состава 8652 коренных проб из канав и поисковых скважин получается следующий геохимический рудно-формационный ряд элементов (коэффициенты концентрации относительно медианы участка, в скобках — значения коэффициентов вариации в %): Pb_{2,7}(327) **Mo_{2,5}(405)** Cu_{1,9}(136) Sb_{1,7}(316) Bi_{1,5}(201) Zn_{1,5}(211) Cd_{1,5}(135) W_{1,4}(92). Обращает на себя внимание максимальное значение коэффициента вариации для молибдена, что свидетельствует об интенсивном процессе перераспределения вещества, типичном при формировании масштабных рудных концентраций. Нами получен также ранжированный ряд элементов относительно их кларкового содержания в гранитах [Кривцов, 1983; Бин, 1984]: Mo_{94,5} Ag_{60,6} Sb_{41,3} Cu_{38,5} Cd_{29,7} As_{27,4} Bi_{22,7} Cr_{11,4} Co_{7,1} W_{6,2} Ni_{4,6} Pb_{4,2} Zn_{4,0} Ti_{1,7} V_{1,7}. Он также показывает, что оруденение может быть отнесено к медно-молибденовой (по В.Т. Покалову [Покалов, 1970]) рудной формации. При этом обращает на себя внимание присутствие в данном ряду таких элементов, как Cr, Co, Ni, Ti, V, которые являются элементами-индикаторами зон интенсивных гидротермально-метасоматических изменений

пород, вмещающих оруденение, что собственно и имеет место на месторождении Бадис.

На основании обработки имеющегося материала опробования коренных пород ($n=8652$) на месторождении Бадис факторным анализом были также выделены три рудогенных ассоциации:

PF3(-) **W-0,63Ag-0,59Bi-0,53Sn-0,50Cu-0,25Ti-0,24Ga-0,21Mo-0,21Pb-0,19**;

PF6(-) **Mo-0,71 Ge-0,22 Ag-0,20 Bi-0,18 Ni-0,10 Sn-0,10 As-0,09**;

PF2(+) **Cd0,83 Zn0,82 Pb0,71 Cu0,34 Ag0,25 Sb0,25**.

Предполагается, что данные ассоциации соответствуют трем стадиям эндогенного рудообразования: кварц-калишпатовой (PF3), кварц-молибденитовой (PF6) и кварц-карбонатно-сульфидной (PF2), минералогические особенности проявления которых описаны ранее в Глава 2.

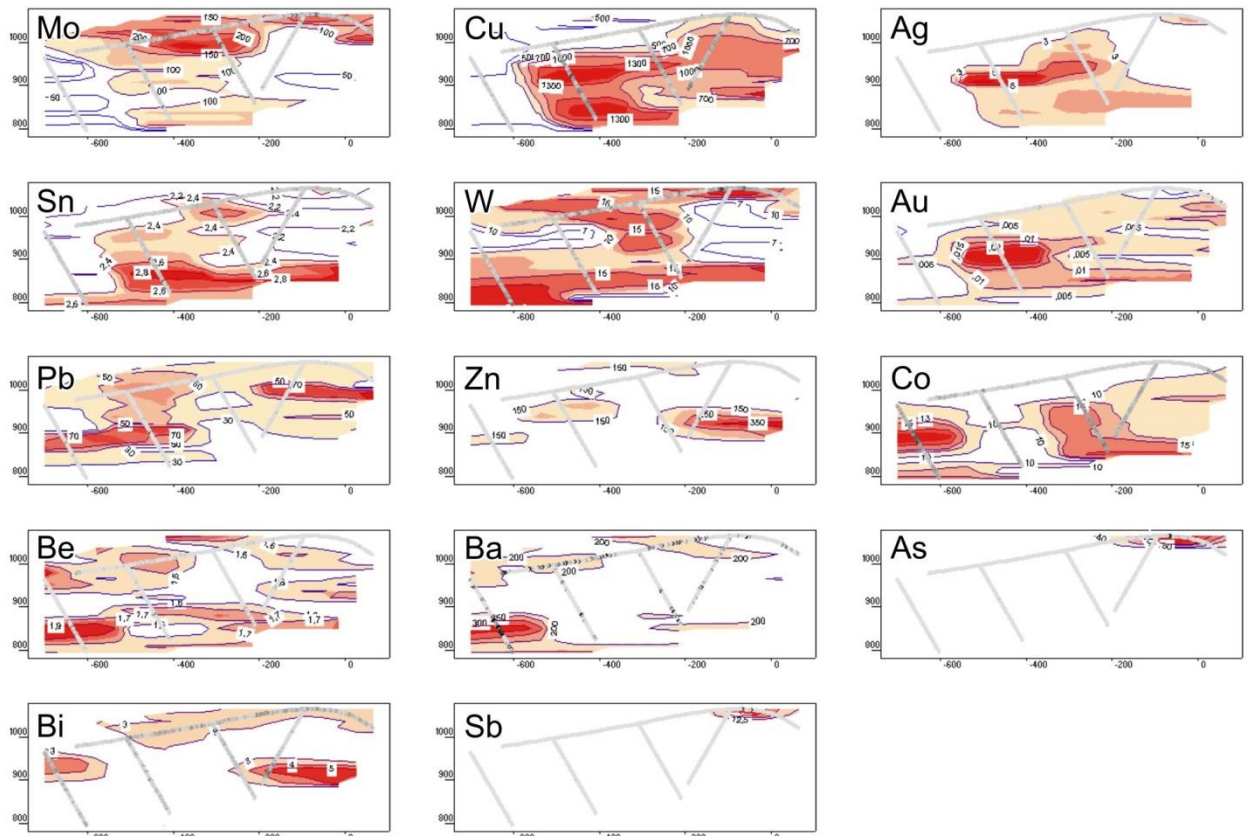
Как было упомянуто выше, нами отдельно были проанализированы разрезы, характеризующие различные фрагменты геохимического поля на глубину. Западный фрагмент (фланг) геохимического поля, представлен на Рисунок 3.7. Анализ геохимических данных по разрезу свидетельствует, что ореолы меди локализуются на более низких гипсометрических уровнях по отношению к молибдену. Если максимум развития последнего наблюдается в интервале 1050–1000 м, то для меди наиболее типичен интервал 900–800 м. При этом возможен рост её концентраций с глубиной. Ореолы золота в концентрации от 0,01 до 0,2 г/т фиксируются в ассоциации с ореолами меди, серебра, свинца на среднем уровне (+850–950 м).

Продольный разрез по канаве 1, характеризующий западный фланг геохимического поля, (см. Рисунок 3.7, А), был разделён по абсолютным высотным отметкам на горизонты через 50 метров. Для каждого из 6 горизонтов рассчитаны статистические параметры, линейная корреляция химических элементов в породах, выполнен их факторный анализ, и выделены следующие частные рудно-формационные ряды элементов:

Горизонт №1 (> 1050 м) **As_{2,1}(173) Ag_{1,6}(288) Au_{1,5}(150) Sb_{1,4}(147) Mo_{1,3}(89);**

Горизонт №2 (1050–1000 м) **Zr_{1,7}(108) Cu_{1,6}(70) Pb_{1,5}(147) **Bi_{1,4}(67) W_{1,4}(69)** Ba_{1,3}(51) Ag_{1,3}(51) Ni_{1,3}(55) Mo_{1,2}(74);**

А)



Б)

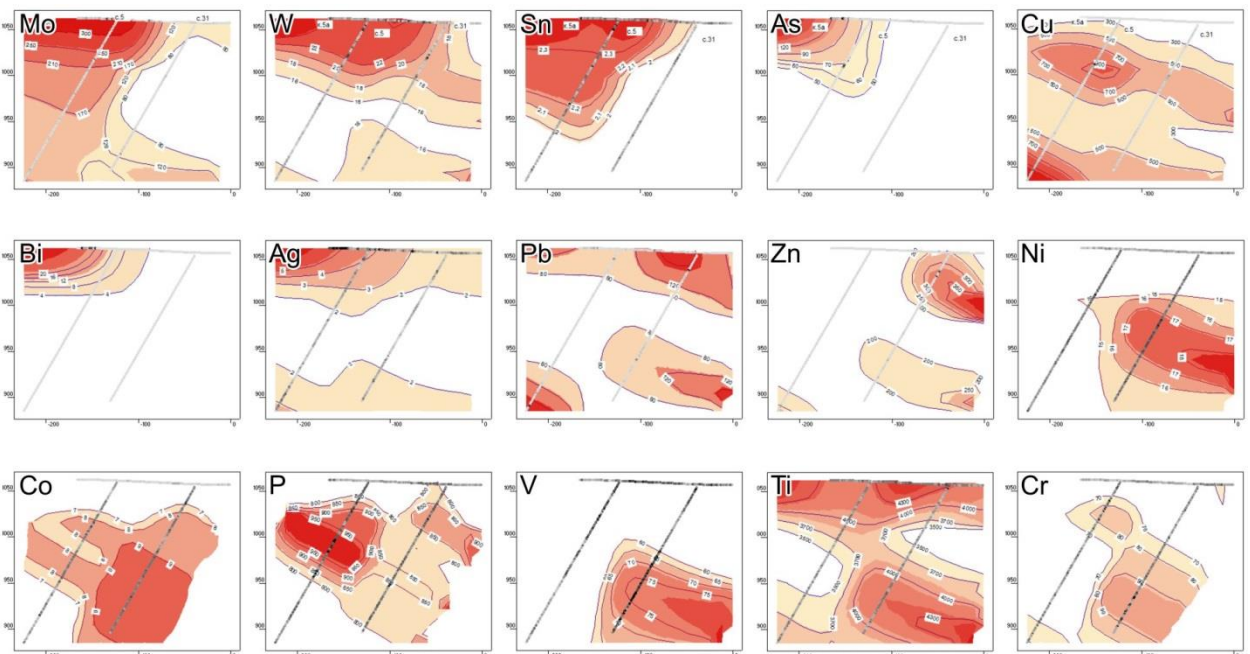


Рисунок 3.7. Первичные геохимические ореолы (г/т), западный фланг месторождения:
 А) продольный разрез в направлении ЮЗ-СВ, кан. 1 скв. 1-4; Б) поперечный разрез в
 направлении ССЗ-ЮЮВ, кан. 5а, скв. 5, 31

Горизонт №3 (1000–950 м)

Pb_{2,3}(179) Ni_{1,8}(103) Au_{1,7}(120) Zr_{1,5}(119) Ag_{1,4}(58) Zn_{1,3}(93) Mo_{1,2}(115);

Горизонт №4 (950–900 м)

Zr_{2,3}(112) Au_{1,8}(218) Pb_{1,7}(189) W_{1,4}(83) Mo_{1,4}(98) Cu_{1,3}(87);

Горизонт №5 (900–850 м)

Zr_{2,7}(130) **Pb_{2,2}(395)** Au_{1,7}(110) Mo_{1,5}(162) Ni_{1,5}(69) **W_{1,4}(81)** Ba_{1,4}(52) Sn_{1,2}(43) Zn_{1,2}(57);

Горизонт №6 (< 850 м)

Mo_{2,2}(172) Cu_{2,1}(85) **Au_{2,0}(100)** Pb_{1,6}(209) Ba_{1,6}(52) Zr_{1,6}(115) Ag_{1,5}(71) **Sn_{1,3}(40)**;

На основании составленных частных рудно-формационных рядов для горизонтов и линейной корреляционной связи в них элементов выделен вертикальный ряд зональности от верхнего горизонта №1, к нижнему — №6 (в скобках указаны элементы характерные для данного горизонта, и они ранжированы по значениям корреляции): (As, Sb, Ag) → (Bi, Pb, Ag) → (Pb, Zn, Au, Ag) → (W, Mo, Cu) → (Pb, Mo, Sn, Au, Zn) → (Mo, Sn, Cu, Au, Ag). Обращает на себя внимание поведение молибдена (подчёркнут). Если с первого до третьего горизонта роста его коэффициента концентрации не отмечается, то, начиная с четвертого горизонта и глубже, он начинает увеличиваться, достигая максимума на шестом горизонте. Этот факт даёт основание предполагать, что при дальнейшем разбуривании глубин в этой части месторождения следует ожидать встречи продуктивной молибденовой минерализации.

Фрагмент геохимического поля, характеризующий центр месторождения, представлен меридиональным разрезом по канавам 6 и 4 проходящим через Бадисский порфиновый шток и трубку брекчий. В его пределах наблюдается аналогичная вышеописанной картина. Поэтому, на Рисунок 3.8 приводятся выборочные данные. Примечательно, что и для центра месторождения, наблюдается ситуация аналогичная охарактеризованной ранее: ореол меди локализуется гипсометрически ниже ореола молибдена. Его максимум находится в интервале 1050–950 м. При этом интересна пространственная картина характеризующая процесс миграции и перераспределения элементов в ходе рудоконцентрации. Видно, что если центр месторождения (см. разрез по канаве 6), характеризуется привносом Mo и Cu то, например, такие элементы как V и Cr выносятся и отлагаются на периферии. Это ещё раз наглядно иллюстрирует явления взаимной миграции и перераспределения элементов в ходе рудогенеза.

Латеральная зональность в расположении ореолов с севера на юг через трубку взрывных breccий имеет вид: (V-Cr-Ag-Bi-W)–(Mo, Cu, Sn)–(Bi-Pb-Cr-V). То есть медь и молибден, оказываются в центре трубки, остальные элементы уходят на периферию.

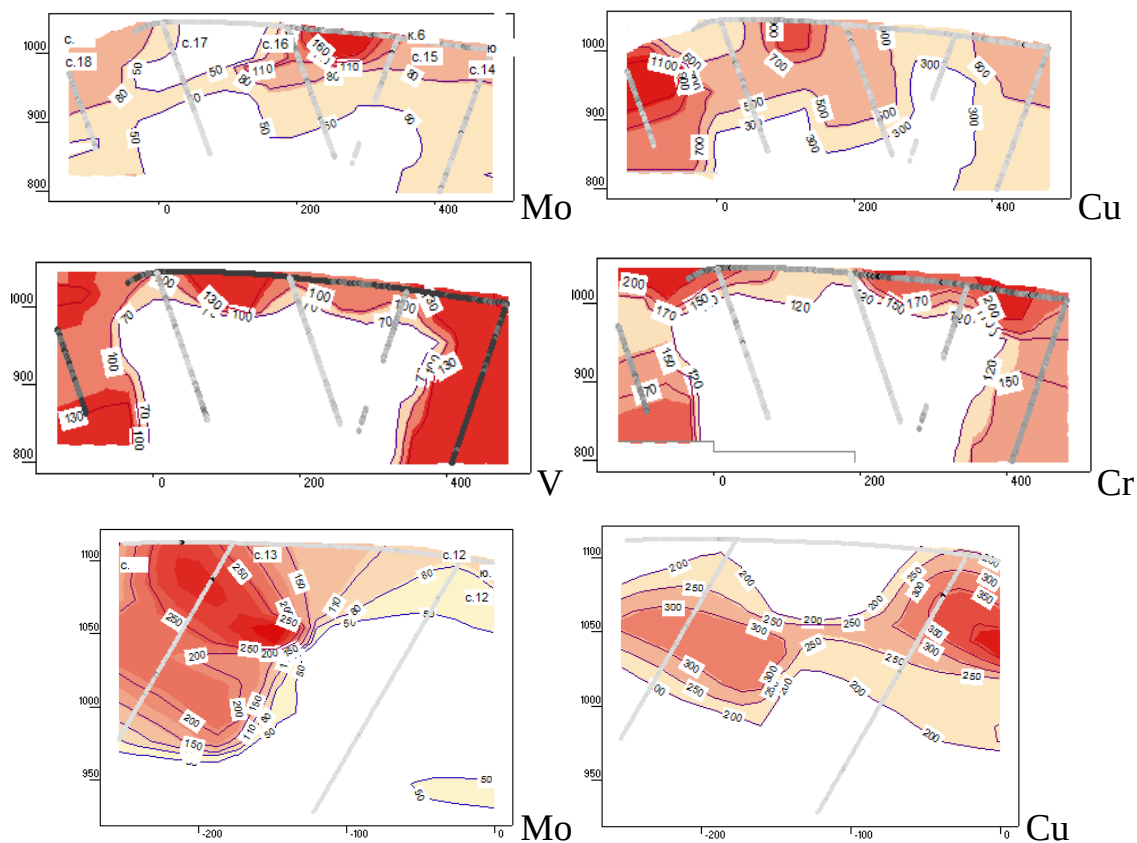


Рисунок 3.8. Первичные ореолы Mo, Cu, V, Cr (г/т) через центр месторождения: разрезы в направлении С-Ю: четыре сверху — по канаве 6, скв. 14–18; два внизу — по канаве 4, скв.12,13

Юго-Восточный фрагмент (фланг) геохимического поля представлен разрезом по канаве 10 (Рисунок 3.9). В этой части месторождения контрастные ореолы Mo и Cu располагаются приблизительно на одном гипсометрическом уровне — 1100–1150 м. Медь лишь несколько смещена к юго-востоку. Таким образом, если судить по молибдену, то, по сравнению с двумя вышеописанными участками, молибден здесь локализуется приблизительно на 100 м выше, что возможно указывает на более глубокий срез рудной колонны в данном блоке. По латерали с северо-запада на юго-восток по опробованию полотна канавы устанавливается следующий ряд элементов: V-Cr-Ni-(As,Bi)-(Mo,Sn)-W-Cu-Bi-

Ag-Pb-Zn-Ti. То есть вектор полиметаллической минерализации направлен на юго-восток, что соответствует общей картине зональности объекта.

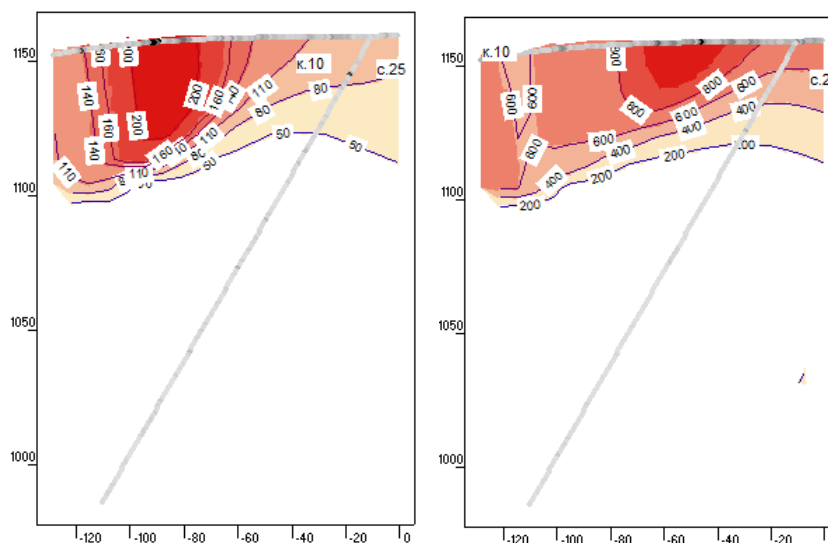


Рисунок 3.9. Первичные ореолы Mo (слева), Cu (справа) (г/т), юго-восточный фланг месторождения: разрез в направлении СЗ-ЮВ по канаве 10, скв. 25

Аналогично исследован восточный фрагмент геохимического поля. Для чего использован разрез по меридиональной канаве 12 (скв.32 и 33). Здесь ореол молибдена интенсивностью 80–150 г/т подсечен на горизонте +1160–1050 м. По зональности ореолов по канаве в северном направлении от скв.33 устанавливается следующий ряд элементов: (Mo, Cu)-(Bi,W,Sn)-(Pb,Ag)-Zn-(Ni,Co). То есть, можно полагать, что полиметаллическая составляющая ряда простирается в северо-восточном направлении, что соответствует генеральной тенденции периферического положения сульфидно-полиметаллической минерализации.

Таким образом, первичные (эндогенные) геохимические ореолы, являясь фрагментами геохимического поля объекта, подтверждают общую блоково-линейно-концентрически зональную его структуру, обусловленную особенностями геологического строения месторождения. Они позволяют уточнить особенности поведения элементов и выявить некоторые закономерности в вертикальном разрезе. При этом очевидно, что глубина разрезов (как и плотность разведочной сети), явно недостаточны для адекватного суждения обо всей рудно-геохимической колонне, и представления её в объемном формате 3D,

что ещё раз подчёркивает необходимость дальнейшего изучения месторождения глубоким бурением.

3.2. Прогнозно-поисковая модель и оценка рудного потенциала объекта

В настоящее время основу разномасштабного прогнозирования составляют модели рудных объектов, описываемые набором признаков (критериев) разной информативности [Рудоносность..., 1982; Кривцов, 1989; Zvezdov and etc., 1993; Ройзенман, 1996; Геохимия..., 1982; Бойцов и др., 1991; и др.]. Подобный подход применён нами и в настоящей работе. Охарактеризованные в предыдущих разделах геолого-структурные и минералого-геохимические характеристики объекта, представляют собой совокупность критериев (признаков), составляющих фактографическую основу при создании прогностической модели месторождения. При этом мерой информативности признака выступает его связь с оруденением. Данный аспект, является наиболее важным при осуществлении прогнозирования разных масштабов, однако до сих пор он не имеет однозначного решения. Обычно, используются корреляционные связи, например, между структурными, и рудными параметрами [Ройзенман, 1996; Бойцов и др., 1991] и др., а также ряд математических подходов, основанных на априорных предположениях. Это, например, так называемый, направленный поиск, использование коэффициентов типичности, меры сходства и т.д. [Бойцов и др., 1991; Фролов и др., 1996; Кузнецов и др., 2005] и др. Однако, опыт свидетельствует, что традиционный метод экспертных оценок, (в различных его вариантах, в т.ч. с применением способов математической обработки его результатов), по своей эффективности не уступает формальным математическим подходам. По экспрессности же и оперативности он их превосходит. В связи с этим в настоящей работе информативность критериев определена нами по результатам экспертной оценки, и выражена в баллах: 3 — высокоинформативные; 2 — среднеинформативные; 1 — малоинформативные критерии. Основные модельные элементы-признаки месторождения Бадис приведены в Таблица 3.1. В фигурных скобках приведена информативность признаков в баллах по данным экспертной оценки.

Таблица 3.1. Модельные признаки месторождения Бадис

п/п	Элементы модели	Признаки (критерии) и их информативность в баллах – цифры в квадратных скобках
1	2	3
1. Общие		
1.1	Металлы	Мо, Cu {2}
1.2	Геолого-промышленный тип	Молибденитовый с рением в штокверках с флотационным технологическим типом руд {2}
2. Формационные		
2.1	Рудоносная формация	Медно-молибденовая (молибденит-халькопирит-порфировая) {3}
2.2	Возраст	Мезозойский (меловой) {2}
2.3	Рудно-формационный тип	Молибденит-халькопиритовый в калишпатизированных и аргиллизированных породах {2}
3. Структурно-тектонические		
3.1	Региональные	Сочленение архейского Алданского щита со Становой нижнепротерозойской складчатой областью по зоне Станового глубинного разлома {3} Область тектоно-магматической активизации {3} Область региональной гранитизации коры {2}
3.2	Среднемасштабные	Долгоживущая шовная зона глубинного Станового разлома, сопровождаемая процессами вязкого (зеленосланцевой и амфиболитовой фаций) и хрупкого динамометаморфизма умеренных и высоких степеней {2} Пояса даек в структурах северо-восточного простирания, возникших при движениях по Становому разлому {2} Малообъемные порфировые штокообразные тела мезозойских амфибол-биотитовых гранитоидов {3}
3.3	Локальные (крупномасштабные)	Многофазовое строение интрузивного штока, с наличием трубки эксплозивных брекчий. Первая фаза представлена роговообманково-биотитовыми гранодиоритами. Вторая фаза, парагенетически связанная с оруденением, - гранодиорит-порфирами. Предполагается наличие на глубине третьей фазы «внутренних» гранитов {3} Комбинированный мегаштокверк, повторяющий очертания порфирового штока, в совокупности с линейными «стержневыми» жильно-штокверковыми зонами северо-восточного

1	2	3
		простираения {3} Наличие брекчиевого и метасоматического типов руд {2}
4. Метаморфические		
4.1	Типы преобразованных пород	Мезозональный динамометаморфизм (зеленосланцевой и амфиболит-зеленосланцевой фаций). Выразился в гнейсовидности пород, возникшей за счет бокового сжатия, приведшего к одноосной ориентировке слюдистых минералов {1}
5. Метасоматические		
5.1	Гидротермально-метасоматические изменения	Наиболее развитые изменения: калишпатизация, биотитизация, объемное (метасоматическое) окварцевание, пропилитизация, карбонатизация и аргиллизация {3}
5.2	Рудовмещающие измененные породы	Кварц-полевошпатовые метасоматиты, прожилково-жильные и штокверковые линейно-вытянутые зоны окварцевания {3}
6. Геохимические		
6.1	Геохимические аномалии	Поперечный ряд латеральный зональности элементов-индикаторов: вторичные ореолы: (Cu, Mo) → W → Bi → (Pb, Zn) → Ag → Au {3} Рудно-формационный ряд элементов: Mo_{1,73}(146) → Bi_{1,58}(122) → Cu_{1,43}(99) → Pb_{1,39}(83) → Ag _{1,32} (114) → W _{1,18} (76) → Ba _{1,18} (42) → Zn _{1,14} (71) {3} Рост коэффициентов концентрации Mo глубиной от Mo _{1,2} (74) до Mo _{2,2} (172) {2} Ассоциации факторного анализа: PF3(-) PF6(-) PF2(+), отвечающие трем стадиям эндогенного рудообразования {1}
7. Геофизические		
7.1	Физические поля	Повышенные значения кажущегося сопротивления, связанные с окварцеванием {3} Аномальные значения вызванной поляризации в рудных зонах ассоциирующиеся с повышенным содержанием пирита (5-7%) {3} Повышенные значений поля dT вне зоны развития рудной минерализации, связанные с биотитизацией и дайками, а области отрицательного поля – с областями развития гидротермальных процессов {2} Оси положительных магнитных аномалий,

1	2	3
		отвечающие зонам бластомилонитов и дайкам {1} Оси магнитных аномалий имеющие С-В простираение, подчеркивающие преобладающие направления структур рудного поля{2}
8. Морфология, состав и залегание рудных зон		
8.1	Морфология рудных зон	Изометричные и линейно вытянутые штокверки, прожилково-жильные зоны, рассеянно-вкрапленные и брекчиевые рудные тела {3}
8.2	Параметры рудных зон	Существенно изменчивые {2}
8.2.1	Длина, м	200–1200 м{3}
8.2.2	Мощность, м	0,5–150 м{3}
8.2.3	Вертикальный размах, м	Более 400 м{3}
8.3	Условия залегания рудных зон	Падение рудных зон в основном крутое и среднее – согласно с тектоническими условиями формирования {2}. Выдержанное по простиранию с неравномерным характером распределения полезных компонентов внутри рудных зон{2}
8.4	Структура руд	Мелко- и тонкозернистая{2}
8.5	Текстура руд	Вкрапленная, гнездово-вкрапленная, прожилково-вкрапленная, брекчиевая{2}
8.6	Основные геолого-промышленные типы руд	Медно-молибденовый с рением (возможно с попутным золотом) в штокверках и жильно-штокверковых зонах{3}
8.7	Главные минералы руд	Молибденит{3}
8.8	Второстепенные минералы руд	Халькопирит и др. медные минералы, галенит, сфалерит{3}
8.9	Средние содержания главных элементов в рудах	Mo — 0,03 %; Cu — 0,03 %; Re в молибдените — 100 г/т{2}
8.10	Попутные компоненты	Re, Au, Bi, Ag {2}

Схематически в обобщённом виде прогностическая модель месторождения Бадис представлена на Рисунок 3.10. Подобная наглядная модель, несомненно, полезна при ограниченном объеме имеющейся геологической информации, позволяя в общих чертах представить прогнозируемый объект. Наличие же базовых характеристик признаков модели, даёт возможность осуществить

количественных оценку объекта с использованием аддитивного показателя перспективности и сравнить оцениваемое месторождение с известными эталонными аналогами. Метод был разработан в ВИМСе и показал свою эффективность при оценке молибден-олово-вольфрамового, комплексного редкометального, и иного оруденения [Фролов и др., 1996; Белов, Фролов, 1988]. Значение аддитивного показателя перспективности месторождения Бадис, представляющего собой сумму баллов, равно 95. Для сравнения были взяты и проанализированы Бугдаинское, Жирекенское [Выдрич, 2015a], а также Сорское молибденовые месторождения. По своим характеристикам они во многом сходны с месторождением Бадис, относясь к субклассу молибден-порфировых месторождений типа Кляймакс. В современных классификациях они отнесены к субклассу риолитовых Мо-порфировых месторождений [Бин, 1984; Портнов и др., 2015; Cook and etc., 2005; Sillitoe, 2010; Кривцов, 2001; Zvezdov and etc., 1993; Richards, 2003; Звездов и др., 2018] Считается, что эти месторождения характерны для областей внутриплитной тектоно-магматической активизации.

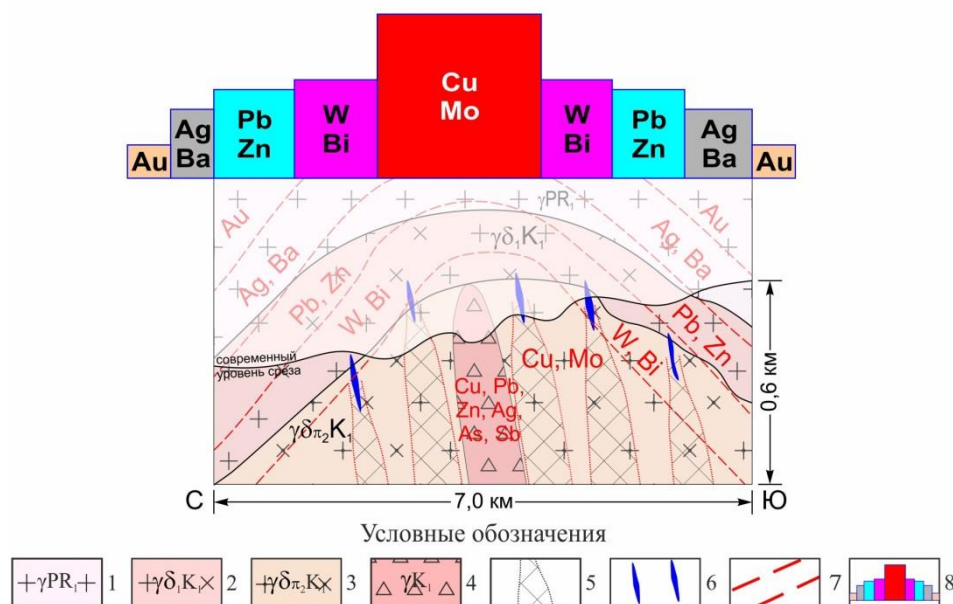


Рисунок 3.10. Схематическая прогностическая модель месторождения Бадис

1 – раннепротерозойские субщелочные граниты; 2 – гранодиориты первой фазы раннемелового комплекса; 3 – гранодиорит-порфиры второй фазы раннемелового комплекса; 4 – эксплозивные брекчии; 5 – зоны штокверкового окварцевания; 6 – зоны прожилково-жильного окварцевания; 7 – геохимические ореолы; 8 – обобщенная гистограмма суммы коэффициентов концентрации химических элементов во вторичных ореолах

Так на Бугдаинском месторождении в Забайкалье [Подсчет..., 1997ф; Ершов, 1998; Изучение..., 1998ф], как и на Бадисе, ранняя дорудная стадия проявилась после внедрении субвулканического штока гранит-порфиров в виде калишпатизации и интенсивного окварцевания. Вслед за ними при высоких (550–380°C) температурах из концентрированных растворов-рассолов Mg-Na-хлоридного состава сформировалась штокверковая и жильно-прожилковая W-Mo-минерализация кварц-молибденитовой стадии. Серицитизация, пиритизация и последующее образование кварц-сульфидных жил и прожилков с самородным золотом, сульфидами полиметаллов и разнообразными Ag-Cu-Pb-Bi-Sb-сульфосолями происходили после изменения плана тектонических деформаций при более низких температурах (360–140°C) из гомогенных Na-K-Cl(HCO₃SO₄)-гидротермальных растворов средней солености. Завершился гидротермальный процесс отложением аргиллизитовой минеральной ассоциации. Месторождение крупное. Среднее содержание молибдена — 0,08 %. Запасы были утверждены по категориям В+С₁: молибдена — 347,5 тыс. тонн, золота — 11,2 тонн, серебра — 193,5 тонн, свинца — 41,4 тыс. тонн; по категории С₂: молибдена — 252, 2 тыс. тонн [Государственный..., 2019]. Таким образом, объект отличают более высокие содержания и существенная промышленная золотоносность.

Жирекенское месторождение молибдена, в Читинской области, приурочено к меридиональной трансформной тектонической структуре в центральной части Монголо-Охотской складчатой системы [Покалов, 1992; Выдрич, 2015а; Сотников, 1995]. Локализовано в верхней части одноимённого плутона, сложенного амфибол-биотитовыми гранитами среднеюрского возраста. В центре месторождения расположена брекчевидная трубка. Рудный штокверк площадью 800×900 м в плане изометричен, его нижняя граница прослежена на глубинах от 320 м на юго-западе до 670 м на северо-востоке. Руды прожилковые, прожилково-вкрапленные, вкрапленные, и брекчиевые. Последние являются наиболее богатыми и залегают в центральной части штокверка в виде крутопадающей линзообразной зоны мощностью до 28 м. Главные рудные минералы: молибденит, халькопирит, пирит. В меньших количествах присутствуют: галенит, сфалерит,

шеелит, молибдошеелит, пирротин, арсенопирит, марказит, борнит, халькозин, магнетит, блеклые руды, самородные медь и золото. Молибденит содержит до 30–40 г/т рения. Медь распространена в контуре молибденовой минерализации и за его пределами, где её содержание увеличивается. Руды содержат (%): Мо — 0,105, Cu — 0,086, Pb — 0,0174, Zn — 0,02, Sb — 0,002, Bi — 0,001, Re — 82 г/т. Запасы молибдена по категориям А+В+С₁ 61,6 тыс. тонн [Государственный..., 2019]. Таким образом, объект по сравнению с Бугдаей, имеет меньший ресурсный потенциал, но характеризуется более высокими содержаниями и существенной глубиной распространения оруденения.

Сорское штокверковое месторождение в республике Хакасия [Покалов, 1992; Берзина и др., 2007] лидер по добыче молибдена в России. В 2016 году добыча составила 3886 тонн Мо [Государственный..., 2018]. Сорская рудно-магматическая система, включает близкие по геохимическим характеристикам и металлогенической специализации плутоногенный, порфировый и дайковый комплексы. Последний образует пояс северо-западного простирания, прослеживающийся далеко за пределами рудного поля. В краевых частях штока гранит-порфиров имеются взрывные брекчии тесно с ним связанные. Балансовые запасы молибдена составляли: разведанные (категорий А+В+С₁) — 99,4 тыс. т, предварительно оценённые (С₂) — 0,2 тыс. т, при среднем содержании Мо в рудах — 0,06 %. Особенностью объекта является существенная доля легкообогатимых руд, из которых можно извлечь 89,5–90,5 % молибденита в концентрат. Указанные руды составляют 40 % от всей руды. По своим параметрам объект весьма близок к Бадису. Поэтому для последнего при оценках прогнозных ресурсов, бортовое содержание молибдена было принято, как на Сорском месторождении — 0,02 %.

Напомним, что в ходе проводившихся исследований, на Бадисе был выявлен ряд элементов геологического строения характерных для вышеуказанных молибденовых месторождений аналогов. В частности, речь идет о «стреловых» жилах в составе прожилково-жильных зон [Выдрич, 2016б], которые, если проводить аналогию с указанными объектами, могут свидетельствовать о наличии

на глубине высокопродуктивных рудных тел. Сравнение дает основание также предположить, что Бугдаинское месторождение, по отношению к Бадису, имеет и более значительный уровень среза. Это для последнего является, несомненно, конкурентным позитивным фактором. На месторождении Бадис, по сравнению с месторождениями–аналогами, вмещающая интрузив рама сложена древними породами, подвергшимися динамометаморфизму с образованием линейных структур, унаследовано использованных во время мезозойской активизации, и существенно повлиявших на общую структуру Бадиса. Вместе с тем, на месторождении Бадис оруденение располагается в основном вне контуров отрицательной магнитной аномалии — в краевой части гранодиорит-порфиров. Это указывает на несколько более низкую интенсивность гидротермальной и метасоматической проработки внутри общей рудной колонны.

Анализ информации свидетельствует, что в принципе объекты аналоги в структурно-тектоническом отношении и в геологическом строении имеют с Бадисом много общего. Можно, частности, указать, например, на следующие:

- положение объектов относительно тектонических структур древнего плана: все они находятся в узлах их пересечения;
- признаки мощных тектонических движений, происходивших на фоне общего сводового воздымания во время активизации, что приводило к омоложению ранее возникших и образованию новых разломов, формировавших общую деформационную структуру месторождений;
- связь месторождений с молодыми многофазными интрузиями умеренно-кислого состава;
- наличие брекчиевых трубок и кварцевых ядер конусовидной формы.
- наличие раскисления (в форме «внутренних» гранитов) во внутренних ядерных частях штоков массивов биотит-амфиболитового состава;
- пространственная связь трещинных кольцевых структур с участками проявления глубинного магматического диапиризма интрузивных массивов;
- высокий уровень контроля штокверкового оруденения как радиально-концентрическими, так и линейными трещинными парагенезисами;

- существенное сходство морфологических и аномальных особенностей геофизических и геохимических полей;
- похожий вещественный состав руд и близ идентичная стадийность минералообразования, укладывающаяся в общую схему для данной рудной формации: магнетит → молибденит → халькопирит (с золотом) → пирит → сфалерит, галенит, блеклая руда (с золотом);
- широкое развитие на всех месторождениях кварц-каливошпатовых метасоматитов;
- похожая геохимическая зональность, укладывающаяся в общую принципиальную схему (от центра к периферии) $\text{Fe} \rightarrow \text{Mo} \rightarrow \text{Cu} (\text{Mo}) \rightarrow \text{Cu} (\text{Au}) \rightarrow \text{Fe} \rightarrow \text{Pb} + \text{Zn} (\text{Au}, \text{Ag})$;
- признаки на Бадисе возможной попутной золотоносности, промышленная ценность которой, например, на месторождении Бугдая, была выявлена спустя четыре десятилетия после постановки запасов молибдена на госбаланс [Подсчет..., 1997ф; Изучение..., 1998ф].

Вместе с тем, анализ приведенной информации показывает, что вышеуказанные объекты, использованные в качестве сравнительных эталонов, имеют по сравнению с Бадисом отличия. Так для них характерны более высокие содержания полезных компонентов (особенно для Жирекена); бóльшая, по данным бурения, глубинность оруденения; существенная доля легкообогатимых руд; более значительная роль золота, как попутного компонента. В оценочном плане данные отличия приводят к тому, что бальная оценка этих параметров в месторождениях — эталонах будет для этих критериев на один балл выше, чем для месторождения Бадис. На аддитивном показателе перспективности это отразится тем, что его значения его будут на 4–5 баллов выше, чем на тестируемом объекте и выразятся цифрой в 97–98 баллов. Таким образом, по результатам балльной оценки Бадис получает несколько более низкий ранг (порядка 95 баллов), тем не менее, он представляется достаточно весомым.

Опыт прогнозной оценки оруденения с использованием аддитивного показателя перспективности свидетельствует, что для слаборудоносных объектов

его величина обычно как минимум на 10–15 баллов ниже, чем для высокопродуктивных эталонов [Бойцов и др., 1991; Фролов и др., 1996; Белов, 1988]. В случае Бадиса такого разрыва, как свидетельствуют его параметры оценки, не отмечается [Выдрич, 2018]. Кроме того, имеется задел сокращения разрыва и его большего приближения к месторождениям эталонам. Он состоит в том, что есть реальная перспектива увеличения средних содержаний молибдена и сопутствующих элементов с глубиной, что было установлено по некоторым буровым линиям. Очевидно и то, что при продолжении изучения месторождения на глубину увеличится и вертикальный размах оруденения. Для месторождений рассматриваемого типа он превышает 1200 м. Кроме того, «стержневые» жилы, приуроченные к апикали штокверка, также могут, как уже говорилось, являться признаком наличия более продуктивного оруденения на глубине. Естественно, что всё это может позитивно отразиться на аддитивном показателе перспективности, и его значения для Бадиса ещё более, вплотную приблизятся к цифрам характерным для месторождений-эталонов. Приведенная информация указывает на существенные промышленные перспективы рассматриваемого объекта. Это мнение подтверждается и благоприятным преимущественно верхнерудным уровнем эрозионного среза, установленным исходя из минералогическо-геохимической, зональности.

В прогностическом плане полезно рассмотреть историю оценок прогнозных ресурсов, выполненных по объекту в различные годы. В 1974 г. М. З. Глуховским [Окончательный..., 1974ф] прямым расчётом определены прогнозные ресурсы рудопроявления Бадис до глубины 300 м, отвечающие категории P_3 : молибдена — 375 тыс. т при среднем содержании 0,035 %; меди — 214 тыс. т при среднем содержании 0,02 %; рения — 50 тонн. Позже в 2003 г. В.Г. Ветлужских с соавторами [Оценка..., 2003ф] прогнозные ресурсы молибдена категории P_2 до глубины 300 м были оценены в количестве 50 тыс. т. В 2012 г. Алданским филиалом ГУГГП РС (Я) «Алдангеология» по итогам поисковых работ выполнен подсчет прогнозных ресурсов молибдена и сопутствующих элементов

[Материалы..., 2012ф], учитывающий, как указывают авторы, особенности морфологии рудных тел и условия их залегания (Таблица 3.2).

Таблица 3.2. Прогнозные ресурсы категории P_3 рудного узла Бадис [Материалы..., 2012ф]

Вид полезного ископаемого	Среднее содержание, г/т, %	Прогнозные ресурсы категории P_3
Молибден, тыс. т.	0,02%	470
Золото, т.	1,0 г/т	175
Медь, тыс. т.	0,01%	236
Рений, т.	135 г/т	64

Было отмечено, что наличие меди в руде следует учитывать в пересчете на условный молибден, что позволяет более полно оценить промышленную значимость руд. Рудные зоны при бортовом содержании молибдена 0,02 % были выделены через коэффициент приведения к условному молибдену ($Mo_{\text{усл}}$) равному 0,04 %. Здесь следует отметить, оценку прогнозных ресурсов золота, которая в дальнейшем не проводилась, т.к. данные опробования по золоту оказались утрачены.

По итогам работ, продолжавшихся на объекте, в 2015 году произведена новая оценка прогнозных ресурсов молибдена методом разрезов. Использованы следующие кондиции: бортовое содержание 0,02 % минимальная мощность рудного тела 10 м и максимальной мощность безрудных интервалов, включаемых в контур рудного тела, 5 м. Итоги такой оценки молибдена, меди и рения по категории P_1 и P_2 представлены в Таблица 3.3.

Таблица 3.3. Прогнозные ресурсы рудного поля Бадис (2015 г.)

Металл	Категория прогнозных ресурсов	
	P_1	P_2
Mo	53 тыс. т	25 тыс.т
Cu	39 тыс. т	19 тыс.т
Re	15 т	5 т

Впоследствии проведена переоценка прогнозных ресурсов молибдена категории P_2 , на основе объемной удельной продуктивности прогнозных ресурсов категории P_1 , для всего гранитоидного штока рудного поля Бадис, где по

результатам ГРР локализовано молибденовое и сопутствующее оруденение (Таблица 3.4). Переоценка ресурсов выполнена согласно «Методическому руководству по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» [Методические..., 2003] и «Методическим рекомендациям по применению классификации запасов месторождений к месторождениям молибденовых руд» [Методические..., 2005], а также рекомендаций межинститутской рабочей группы Роснедр (М., ЦНИГРИ, 2010).

Таблица 3.4. Прогнозные ресурсы молибдена и рения категории P_2

Полезные компоненты	Площадь рудной зоны, м ²	Глубина прогноза, м	Объем рудной зоны, м ³	Объем блока категории P_1 , м ³	Объемная продуктивность, т/м ³	Коэф. подобия	Прогнозные ресурсы категории P_2 , тыс. т
Mo	3270000	300	981000000	31459350	0,0004062	0,5	193,0
Re							31

К апробации по месторождению Бадис в 2015 г. рекомендованы следующие прогнозные ресурсы молибденовых рений содержащих руд:

- категории P_2 молибдена в количестве 193 тыс. т при среднем содержании 0,025 % Mo; рения — 31 т, при среднем содержании 35,5 г/т Re в молибденовом концентрате.

- категории P_1 молибдена в количестве 12,8 тыс. т, при среднем содержании 0,025 % Mo; рения — 2 т, при среднем содержании 35,5 г/т Re в молибденовом концентрате.

Следует заметить, что исходя из параметров объекта, добыча меди может быть экономически целесообразной только совместно с молибденом. Поэтому содержание меди также следует учитывать при оконтуривании рудных зон и оценке среднего содержания полезного компонента путем его приведения к условному молибдену ($Mo_{\text{усл}}$). Коэффициент приведения Cu к $Mo_{\text{усл}}$, может быть приблизительно выведен по соотношению цен этих металлов: $K = \text{цена Cu} / \text{цена Mo} = 7,1 / 21,8 = 0,32$. При бортовом содержании молибдена 0,02% $Mo_{\text{усл}} = 0,02 + 0,06 \times 0,32 = 0,04$ %. Это является наиболее оптимальным при оконтуривании и прогнозной оценке оруденения. Средние содержания $Mo_{\text{усл}}$ по разведочным

пересечениям оказываются существенно выше, по сравнению со средним содержанием одного Мо. Порой, они вплотную приближаются к экономически обоснованному содержанию 0,1 %. Исходя из разумного компромисса между экономически обоснованным содержанием Мо в руде и реальным распределением Мо и Cu в штокверке Бадис, на данном этапе оценки, наиболее целесообразно бортовое содержание 0,02 % Мо_{усл.} Поэтому именно такой вариант оценки был принят к дальнейшему рассмотрению и анализу (Таблица 3.5). Заметим, что бортовое содержание 0,02 % было, в своё время, рекомендовано ГКЗ и использовано при оконтуривании рудного штокверка на Сорском месторождении, рассматриваемом как объект-аналог. Итоги данной оценки свидетельствуют, что по объёму предварительно локализованных ресурсов молибдена (250,76 тыс. т) и меди (382,34 тыс. т), рений (40 т) рассматриваемый объект относится к категории крупных. Руды комплексные, медно-молибденовые рений содержащие, что повышает значимость объекта. По содержанию молибдена руды рядовые (0,01–0,1 %).

Таблица 3.5. Прогнозные ресурсы категории P₁ и P₂ при бортовом содержании Мо усл 0,02 % методом разрезов

Полезные компоненты	Прогнозные ресурсы категории	
	P ₁	P ₂
Мо	150,76 тыс. т	100,00 тыс. т
Cu	227,80 тыс. т	154,54 тыс. т
Re	24 т	16 т

Заметим, что на апробацию (в которой диссертант участвовал как член комиссии) по состоянию на 10.11.2015 г. по месторождению Бадис были представлены прогнозные ресурсы категории P₁:

- молибден 150,76 тыс. т при содержании 0,026%;
- медь 227,80 тыс. т при содержании 0,039%;
- рений 24 т при содержании 96,24 г/т в молибдените.

категории P₂:

- молибден 100,00 тыс. т при содержании 0,020%;

- медь 154,54 тыс. т при содержании 0,031%;
- рений 16 т при содержании 96,24 г/т в молибдените.

В результате замечаний комиссии количество прогнозных ресурсов медно-молибденовых порфировых штокверков для открытой отработки было несколько снижено из-за исключения из подсчёта отдельных некондиционных блоков и, таким образом, было апробировано категории P_1 :

- молибдена 12,8 тыс. т при содержании 0,025%;
- меди 129,0 тыс. т при содержании 0,044%;
- рения 2 т при содержании 35,5 г/т в молибденовом концентрате.

категории P_2 :

- молибдена 193,0 тыс. т при содержании 0,025%;
- рения 31 т при содержании 35,5 г/т в молибденовом концентрате.

Анализируя ретроспективно историю прогнозных оценок можно сделать ряд полезных заключений (Таблица 3.6). Из таблицы видно, что разброс в цифрах ресурсов оказывается существенным. Очевидно, что он отражает различный уровень изученности объекта и принятые подходы к оценкам.

Таблица 3.6. Сравнение результатов прогнозных оценок разных лет

Ресурсы металлов по категориям	P_3 от – до\ среднее	P_2 от – до\ среднее	P_1 от – до\ среднее
Молибден, тыс. т	375–470\ 423	50–193\123	12,8–150,8\82
Медь, тыс. т	214–236\225	25–155\90	129–228\179
Рений, т	50–64\57	5–31\26	2–24\13

Вместе с тем, если для молибдена (а также и рения) при переходе от категории P_3 к P_2 и далее к P_1 средние цифры прогнозных ресурсов испытывают закономерное снижение, то для меди подобного не происходит. Нижняя оценка ресурсов категории P_2 очевидно явно занижена, что приводит к аналогичному снижению среднего значения. В тоже время, рассчитанные средние цифры дают основание в целом судить о потенциальном ранге объекта. Таким образом, с учётом вышеизложенных результатов прогнозные ресурсы рудного поля Бадиса

категории P_2 молибдена составляют 205 тыс. т; меди — 269 тыс. т; рения — 39 т. Учитывая, что глубины оценки составляли 200–300 м, а анализ эрозионного среза и зональности указывают на продолжение рудной колонны, по меньшей мере, ещё на такую же глубину, есть все основания вдвое увеличить данные параметры прогнозных ресурсов: молибдена до 410 тыс. т, меди — 538 тыс. т, рения — 78 т. В связи с чем, месторождение Бадис, следует отнести к разряду потенциально крупных объектов. Хотя очевидно, что при переводе его прогнозных ресурсов в разряд запасов промышленных категорий, цифры последних закономерно снизятся. Однако, по всей вероятности, они будут находиться в интервале между молибденовыми запасами месторождений Жирекенского (61,6 тыс. т) и Бугдаинского (347,5 тыс. т), но видимо несколько ближе к запасам Сорского месторождения (99,4 тыс. т). Данный вывод свидетельствует о крупном масштабе месторождения Бадис, что согласуется с результатами вышеприведенной бальной оценки.

Говоря о комплексности руд, повышающей значимость объекта, нельзя не упомянуть о проблеме его золотоносности. По мнению многих исследователей [Окончательный..., 1974ф; Глуховский, 1974; Молибденоносность..., 1986ф; Кастрыкин, 1978; Кастрыкин и др., 1976] и др. наиболее продуктивной в отношении золота в пределах Алдано-Становой провинции является мезозойская минерагеническая эпоха, с которой, собственно и связано возникновение месторождения Бадис. В Таблица 3.2 приведены прогнозные ресурсы золота категории P_3 , составляющие 175 тонн. Представляется, что это, однако, явно завышенные значения. Хотя, как подчёркивает Е.П. Максимов с соавторами [Молибденоносность..., 1987ф], золото, молибден и, в подчиненном значении, медь определяют профильную глубинную металлогеническую специализацию территории, и эти металлы являются сквозными элементами в рудных формациях Южной Якутии. Ю.П. Кастрыкиным [Кастрыкин и др., 1976], прогнозные ресурсы золота оценивались в 20–30 т, что, кажется более близким к реальности. По его данным 50 % всех проб, подвергнутых пробирному анализу содержали 0,1–1,5 г/т золота. К сожалению, материал этот был утрачен. Позже филиалом

«Алданский» ГУГГП РС (Я) «Якутскгеология» прогнозные ресурсы золота категории P_1 и P_2 были оценены в 7,0 тонн. При этом авторами подчеркивалась пространственная приуроченность проявлений золота к зоне Станового глубинного разлома, при общем халькофильном (золото-серебро-медь-молибден) профиле оруденения. Таковы оценки и общие предпосылки золотоносности рассматриваемой территории.

Вместе с тем, для более адекватного суждения о проблеме, целесообразно проанализировать имеющиеся (хотя и разрозненные) факты. Во-первых, довольно крупный шлиховой ореол золота выделяется по р. Нуям ниже устья ручья Бадис (см. Рисунок 1.3), т.е. на западном фланге месторождения, где оно встречается в единичных знаках, но довольно часто. Во-вторых, в пределах центра месторождения зафиксировано около полутора десятков относительно мелких (до $0,2 \text{ км}^2$) ореолов золота. ($0,1\text{--}1,5 \text{ г/т}$). Поля максимальных его концентраций, в которых подсчитаны ресурсы золота категорий P_1 и P_2 оконтурены В.Г. Амарским с учетом штучных проб, показавших содержания до $3,7 \text{ г/т}$. Эти поля, как можно видеть, образуют, вытянутый к северо-западу, субкольцевой ореол охватывающий центр месторождения и приуроченный к трубке брекчий (Рисунок 3.11).

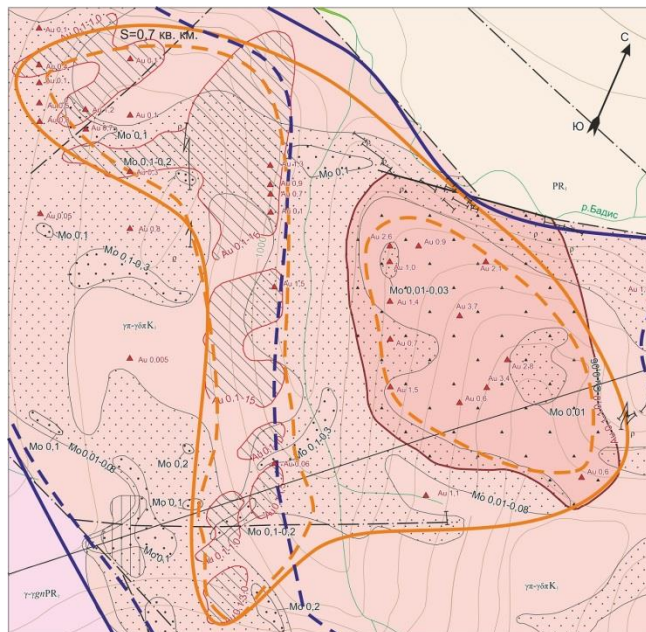


Рисунок 3.11. Области наибольшей концентрации золота в центре месторождения (оранжевые контуры), в пределах которых подсчитаны прогнозные ресурсы категорий P_2 (сплошная линия) и P_1 (пунктирная линия) по В.Г. Амарскому

Вместе с тем, из схемы зональности (см. Рисунок 3.3), следует, что ореолы золота, слагают периферию аномального геохимического поля, обрамляя его медно-молибденовый центр. При этом, как известно (см. Глава 2), золото присутствует в сульфидах в дисперсном состоянии и отлагалось в сульфидно-полиметаллическую стадию, проявившуюся после молибденовой, в связи с формированием на завершающем этапе рудогенеза трубки взрывных брекчий. В соответствии с данной фактурой, которую нам даёт изучение месторождения, возникает вопрос: каким образом могла возникнуть подобная картина пространственного размещения повышенной золотоносности?

Ответ на него нам представляется следующим. Полиметаллическая золотоносная ассоциация, отлагаясь позже молибденовой, в своем расположении заняла более высокие гипсометрические уровни, проникнув наиболее далеко вверх и по латерали. Это становится вполне очевидным, если принять во внимание, что трубка брекчий прорывала гранодиорит-порфиры второй фазы штока и внедрялась в самые верхние этажи кровли. Далее наблюдаемую ныне картину формировал различный эрозионный срез блоков. В центре месторождения, он, вскрывая среднерудный (для Cu-Mo колонны) уровень, для золотоносной сульфидно-полиметаллической колонны, обнажил, по всей видимости, её нижнерудный уровень. На периферии же объекта, где срез блоков был невелик, денудация вскрыла лишь самые верхи золотоносной сульфидной колонны (Рисунок 3.12).

Исходя из предложенной модели, можно предположить, что масштабы золотоносности центра месторождения не будут очень существенными. Это, с одной стороны, даёт основание цифру прогнозных ресурсов для этой части объекта не увеличивать, оставив её на уровне с 7 тонн. С другой стороны, повышенные ореолы золотоносности в периферийных блоках, могут указывать на перспективы вскрытия золотосодержащих руд при их глубоком разбурировании. Там может содержаться дополнительно несколько тонн тонкодисперсного золота. Данное соображение даёт основание в конечном итоге суммарно оценить прогнозные ресурсы попутного золота на месторождении на уровне 10–15 тонн.

На первый взгляд это достаточно небольшая цифра. Однако на выше охарактеризованном месторождении–аналоге Бугдае, запасы золота составляют 11 тонн, и это обстоятельство существенно повысило его статус в глазах инвесторов.

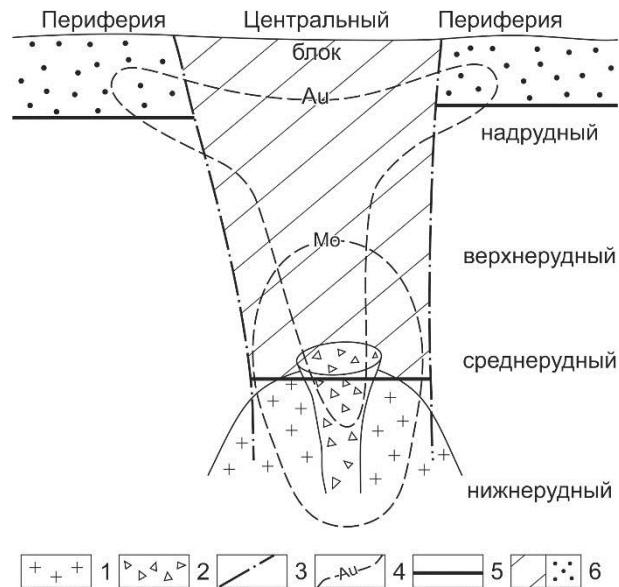


Рисунок 3.12. Схема вскрытия золотоносного ореола на месторождении Бадис в блоках с разным эрозионным срезом

1 — гранитоиды Бадисского штока; 2 — брекчия; 3 — разломы; 4 — контуры золотоносной и молибденовой рудной колонны; 5 — положение эрозионного среза блоков; 6 — области существенной и неглубокой денудации

При оценке месторождений важным аспектом является вопрос рациональной технологии обогащения руд. Для медно-молибденовых рений содержащих руд Бадиса в ВИМСе были исследованы возможности флотационной и гравитационно-флотационной технологий обогащения [Исследование..., 2015ф]. Показано преимущество флотационной технологии по сравнению с гравитационной. Разработана рациональная технология флотационного обогащения. Обычно в практике промышленного обогащения комплексных молибденовых руд, содержащих медь, золото, рений, применяют схему коллективной флотации с выделением коллективного концентрата. К сожалению, недостаточная масса исследованной пробы (92 кг), не позволила сделать окончательные выводы, в частности, о возможности выделения из сульфидного продукта попутного золота. Учитывая эти обстоятельства, представляется необходимым, параллельно с изучением глубоких горизонтов бурением, провести

укрупненные лабораторно-технологические испытания на представительной пробе, массой 500–600 кг.

Таким образом, учёт ресурсов попутного золота, естественно, может повысить ценность месторождения Бадис, что в современных условиях, является важным фактором для потенциальных инвесторов, для которых привлекательна весьма высокая ликвидность этого драгметалла. Вместе с тем, чтобы понять роль этого компонента руд относительно общей их ценности следует оценить суммарную извлекаемую стоимость четырех металлов исходя из цен на мировых рынках и подсчитанных ресурсов. Расчёт показывает, что суммарная извлекаемая рыночная стоимость полезных компонентов составляет порядка 10 млрд. \$. При этом на молибден приходится 60 % от этой суммы, 30 % приходится на медь и 10 % на золото и рений. Такова реальная экономическая ситуация по рассматриваемому объекту.

Возвращаясь же к вопросу рудно-формационной принадлежности месторождения можно заключить, что оно относится к семейству золотосодержащих медно-молибден порфировых месторождений. Мировой опыт показывает, что среди этого семейства имеются весьма крупные рудные объекты [Cook and etc., 2005; Sillitoe, 2010; Кривцов, 2001; Richards, 2003; Бескин, 2016; Звездов, 2005]. Представляется, что при целенаправленном проведении геологоразведочных работ месторождение Бадис может занять среди них достойное место.

3.3. Выводы

Изложенные в Глава 3 данные позволяют сформулировать следующие наиболее существенные выводы и заключения.

1. Применительно к молибдену существующие рудно-формационные классификации дополняют друг друга, раскрывая различные прогнозно-оценочные характеристики месторождений. В качестве одного из ведущих классификационных признаков при определении формационно-генетической

принадлежности оруденения использованы поведение молибдена и его геохимические (металлогенические) связи с другими металлами.

2. Рассчитанный геохимический рудно-формационный ряд имеет вид: $\text{Mo}_{1,73}(146) \text{ Bi}_{1,58}(122) \text{ Cu}_{1,43}(99) \text{ Pb}_{1,39}(83) \text{ Ag}_{1,32}(114) \text{ W}_{1,18}(76) \text{ Ba}_{1,18}(42) \text{ Zn}_{1,14}(71)$. Рассмотрение его свидетельствует о наиболее высоких коэффициентах концентрации и дисперсии для молибдена и специализации на минерализацию медно-висмут-молибденового типа, характерную для медно-молибденовой рудной формации.

3. Комплексность состава оруденения, высокие значения интенсивности и дифференцированности рудоконцентрации указывают на масштабный процесс рудогенеза и несомненное присутствие на исследуемой площади месторождения со значительным ресурсным потенциалом.

4. Анализ частных геохимических рудно-формационных рядов показывает, что раннепротерозойская металлогеническая эпоха, оказывается для рассматриваемой площади слабо продуктивной. Речь может идти лишь о наличии в древних гранитоидах рамы надфоновых содержаний металлов (древних геохимических ореолов), впоследствии регенерированных.

5. С мезозойской активизацией и внедрением Бадисского порфирового штока связано последовательное нарастание интенсивности рудогенеза. Если во время становления гранодиоритов первой фазы штока данный процесс лишь вступил в начальную свою стадию, то для гранодиорит-порфиров второй фазы и эксплозивных брекчий, значения коэффициентов концентрации становятся существенно выше. Это дополнительно подтверждает приведенный в Глава 2 вывод о генетической связи оруденения с заключительными фазами становления Бадисского штока.

6. Анализ геохимической информации по рыхлым отложениям, выявил не только пространственную латеральную зональность элементов от центра к периферии: $\text{Cu} \rightarrow \text{Mo} \rightarrow \text{W} \rightarrow \text{Bi} \rightarrow (\text{Pb}, \text{Zn}) \rightarrow \text{Ag} \rightarrow \text{Ba} \rightarrow \text{Au}$, но и её явный контроль элементами геологической структуры месторождения. Особенно чётко это

проявляется на схеме распределения рудных ассоциаций элементов, связанных с процессами формирования аномального геохимического поля.

7. Центральная часть его представлена ореолами меди и молибдена, располагающимися над рудоносным штоком. Далее к периферии в рыхлых отложениях, над вмещающими Бадисский шток раннепротерозойскими гранитами, конформно распространены ореолы вольфрама, висмута, свинца, цинка, серебра, бария и золота. Выявленная латеральная зональность элементов является, пространственным выражением вертикальной зональности (снизу-вверх): $\text{Cu} \rightarrow \text{Mo} \rightarrow \text{W} \rightarrow \text{Bi} \rightarrow (\text{Pb}, \text{Zn}) \rightarrow \text{Ag} \rightarrow \text{Ba} \rightarrow \text{Au}$.

8. Для сульфидно-полиметаллической минерализации, отлагавшейся после главной массы медно-молибденовых руд, тектонические структуры северо-восточного простирания оказывали существенное влияние на её размещение. Образование минерализации данного типа происходило в условиях затухания активности энергетического центра локальных радиальных напряжений и доминирующей роли регионального тангенциального стресса, ответственного за формирование разрывов этого направления.

9. Анализ зонального расположения геохимических аномалий и факторов, как их производных, дает возможность оценить уровень эрозионного среза. В значительной части блоков он характеризуется верхнерудным уровнем, в их пределах на глубине можно ожидать наличие продуктивного медно-молибденового оруденения, что подтверждается анализом интенсивности и масштабности гидротермально-метасоматических изменений.

10. Величина денудационного среза от палеоповерхности составляла порядка 200 м на периферии объекта; 450 м — в блоках с верхнерудным срезом; и 700 м — в более эродированной части месторождения, где вскрыт среднерудный уровень. Вертикальное расстояние от верхнерудной до нижнерудной зоны составляет около 500 м. Это центральная, наиболее продуктивная часть рудной колонны. Поэтому осуществлённое бурение наклонными скважинами позволило вскрыть лишь не более 160–170 м общего вертикального рудного разреза. И если для участков, где эрозия обнажила среднерудный уровень, недоизучено на

глубину осталось 80–90 метров, то в наиболее перспективных верхнерудных блоках, оказалось недоразведанным не менее 330–350 м.

11. Детализация полученных выводов о зональности, вертикальном размахе оруденения, его эрозионном срезе и рудно-формационной принадлежности возможна на основе изучения первичных (эндогенных) ореолов. С этой целью был статистически обработан материал по опробованию, построен и интерпретирован ряд геохимических разрезов, соответствующих отдельным фрагментам (сечениям) геохимического поля. Установлено, что ореолы меди локализируются на более низких гипсометрических уровнях по отношению к молибдену. При этом с глубиной коэффициент концентрации последнего закономерно растет, что даёт основание предполагать, на глубине продуктивную молибденовую минерализацию.

12. Построенные по данным бурения первичные геохимические ореолы, являясь фрагментами геохимического поля объекта, подтверждают общую блоково-линейно-концентрически зональную его структуру, обусловленную особенностями геологического строения месторождения. Они позволяют уточнить особенности поведения элементов и выявить некоторые закономерности в вертикальном разрезе. При этом становится очевидным, что глубина скважинных разведочных пересечений явно недостаточна для адекватного суждения обо всей рудно-геохимической колонне.

13. Основу применённого диссертантом подхода к прогнозированию составила многофакторная модель, описываемая набором признаков (критериев), в качестве которых выступили изученные геолого-структурные и минералого-геохимические характеристики разной информативности. При этом, последняя, определена по результатам экспертной оценки, исходя из их связи с орудением, и выражена в баллах.

14. Наличие балльных характеристик признаков модели, дало возможность осуществить количественную оценку объекта с использованием аддитивного показателя перспективности и сравнить оцениваемое месторождение с известными объектами-аналогами: месторождениями Бугдая, Жирекен, Сора. Значение

аддитивного показателя перспективности месторождения Бадис, представляющего собой сумму баллов, ненамного уступает эталонам, которые в структурно-тектоническом и минералого-геохимическом отношении имеют с Бадисом много общего.

15. Ретроспективный анализ истории оценок прогнозных ресурсов, выполненных в различные годы, рассчитанные средние их цифры дают основание в целом количественно судить о потенциальном ранге объекта. Из этих данных следует, что месторождение Бадис, необходимо отнести к разряду крупных, что согласуется с результатами балльной оценки. Вместе с тем, надо ожидать, что при переводе его прогнозных ресурсов в запасы промышленных категорий, цифры последних несколько снизятся.

16. Ценность объекта возрастает в связи с комплексностью руд, в которых, помимо рения, присутствует попутное золото, изучению которого рекомендуется уделить пристальное внимание. Сульфидно-полиметаллическая золотоносная ассоциация, отлагаясь позже молибденовой, заняла более высокие гипсометрические уровни, проникнув наиболее далеко вверх и по латерали. Затем наблюдаемую ситуацию формировал различный эрозионный срез. В центре месторождения, он, обнажил, нижнерудный уровень золотоносной сульфидной колонны. На периферии, где срез был невелик, денудация вскрыла лишь самые её верхи.

17. Масштабы золотоносности центра месторождения не будут очень значительны. Определенные перспективы, могут быть связаны со вскрытием глубоких горизонтов в периферических блоках, окаймляющих центр месторождения. В практическом плане для решения вопроса попутного извлечения металла необходимо провести укрупненные лабораторно-технологические испытания на представительной пробе, массой 500–600 кг для получения выводов, о возможности выделения золота из сульфидного промпродукта.

Суммируя вышеизложенное, ещё раз подчеркнём, что объект принадлежит к медно-молибденовой рудной формации, а в её рамках к перспективному по В.Т.

Покалову халькопирит-молибденитовому типу. Вместе с тем, с одной стороны, более полная рудно-формационная характеристика предполагает указание на его порфировый тип, как один из существенных параметров рудогенеза. С другой стороны, приведенная информация дает основание отнести Бадис к семейству золотосодержащих по [Gruen and etc., 2010; Zvezdov and etc., 1993; Richards, 2003] медно-молибден порфировых месторождений. Практика геологоразведочных работ последних десятилетий в ряде стран показала, что такие объекты порой обладают комплексной попутной металлогенией. Во фланговых зонах их рудоносных интрузивов присутствуют золото-полисульфидная минерализация. Среди них нередко крупные месторождения. Диссертант полагает, приведенная информация свидетельствует, что именно такая ситуация в данном случае и имеет место.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги диссертационной работы, автор считает целесообразным обобщенно изложить цепь последовательных структурных и рудно-метасоматических процессов, приведших к формированию данного месторождения. Это представляется важным и с прогностической точки зрения, давая возможность адекватно понять причины и предпосылки произошедшей на рассматриваемой территории весьма существенной рудоконцентрации. Эту цепь можно представить следующей:

1. Допорфировый (рудоподготовительный) этап.

Заложение в зоне динамического влияния Станового разлома во время позднедокембрийской активизации первичного структурного каркаса территории. Здесь в обстановке сжатия условиях правого всбросо-сдвига, закономерно возникали оперяющие дизъюнктивные парагенезисы, растяжения и сжатия. Последние, контролировали образование северо-восточных деформационных структур, представленных телами бластомилонитов. Активно проявившийся в это время динамометаморфизм и диафторез приводили к перераспределению элементов, формированию надфоновых ореолов и первоначальной рудоконцентрации. Древние толщи, таким образом, можно считать одним из потенциальных источников молибдена, в которых в ходе метаморфизма шло его первичное накопление.

2. Порфировый этап.

Тектонические движения в зоне Станового глубинного разлома во время мезозойской активизации проявлялись унаследовано и приводили к подновлению ранее возникших структур. Область его пересечения с грабенообразным Таксакандинским разломом северо-западного простирания, будучи наиболее проницаемой зоной, явилась местом внедрения Бадисского порфирового штока. Определив тем самым геотектоническую позицию месторождения.

Шток развивался как многофазный концентрически-зональный диапир и динамически воздействовал на ослабленную разломами кровлю, окончательно формируя её трещинный рудовмещающий каркас. При этом важная роль

принадлежала ранее существовавшим тектоническим зонам северо-восточной ориентировки, которые испытывали подновление, наращивание и последующее раскрытие с заполнением кварцево-рудным веществом. Синпорфировое молибденовое оруденение парагенетически ассоциирует с гранодиорит-порфирами второй фазы штока. С их внедрением связано образование ореола биотит-калишпат-кварцевых метасоматитов и отложение в жильно-прожилковых зонах главной массы молибдена.

3. Постпорфировый (эксплозивный) этап.

Продолжавшееся развитие рудно-магматической системы выразилось в росте флюидонасыщенности магмы, и телескопированном внедрении в более высокие горизонты трубки эксплозивных брекчий, с которой ассоциируют ореолы аргиллизитов, серицит-кварцевых метасоматитов и золотосодержащая сульфидно-полиметаллическая минерализация. Завершается этап образованием радиально-концентрической системы даек, явившейся очевидно результатом давления снизу со стороны «внутренних» гранитов.

Денудация рудно-магматической системы вскрыла блоки с надрудным, верхнерудным, и среднерудным уровнем эрозионного среза. Большая её часть сохранилась. Гипергенные процессы привели к дезинтеграции пород и формированию линейных и площадных кор выветривания.

Таким образом, формирование рассматриваемого рудного объекта в вещественном и пространственно-временном отношении проходило последовательно, и на главном его этапе было тесно сопряжено с развитием Бадисской медно-молибден-порфировой системы, по отношению к которой молибденовое оруденение, в большей своей части, может рассматриваться как синпорфировое, а золотосодержащее сульфидно-полиметаллическое как постпорфировое.

Подводя итоги диссертационной работы, можно сформулировать следующие научно-практические выводы.

1. Анализ структурно-тектонической ситуации, и её идентификация с известными экспериментальными и теоретическими тектонофизическими

моделями, дали основание считать, что месторождение Бадис сформировано в зоне Станового глубинного разлома, где в условиях правого всбросо-сдвига, закономерно возникали оперяющие дизъюнктивные парагенезисы, растяжения и сжатия. Последние, контролировали образование северо-восточных деформационных структур, представленных телами бластомилонитов, даек и жильно-прожилковых зон. Грабенообразные структуры растяжения северо-западного направления, определили положение Таксакандинского разлома, пересечение которого со Становым, явилось магмоподводящим (а позднее, и рудоподводящим) каналом и центральной осью, формировавшейся радиально-концентрической порфировой рудно-магматической системы.

2. Структура месторождения имеет сложное комбинированное строение и длительную геологическую историю. Начало её формирования связано с тангенциальными усилиями в позднепротерозойскую металлогеническую эпоху, когда в зоне Станового разлома, в связи с динамометаморфизмом и диафторезом, происходило перераспределение молибдена и его первичная рудоконцентрация. В это время был заложен общий структурный каркас территории, с доминированием северо-восточных дизъюнктивов. Эти направления унаследовано развивались впоследствии в мезозойскую металлогеническую эпоху. Завершение формирования трещинной структуры месторождения связано с радиальными усилиями, при магматическом диапиризме в ходе многофазного внедрения порфирового штока, взрывной трубки брекчий и системы радиально-кольцевых даек.

3. Медно-молибденовое оруденение парагенетически связано с внедрением второй фазы гранодиорит-порфиров штока и взрывной трубки, активно воздействовавших на ослабленную разломами кровлю, в которой наиболее благоприятными для рудолокализации явились ранее существовавшие, и впоследствии активизированные тектонические нарушения северо-восточной ориентировки. В морфологическом плане структура месторождения представляет собой сочетание штокверков, жильно-прожилковых зон, возникших в связи с

тангенциальными и радиальными усилиями, и минерализованных взрывчатых веществ. Подчинённое значение имеет взрывчатно-метасоматический тип руд.

4. Формирование структуры месторождения и закономерности рудолокализации обусловлены процессами докембрийской и мезозойской тектоно-магматической активизации. Их поэтапное унаследованное проявление обеспечило образование всех элементов структуры месторождения: трещинных, магматических и постмагматических парагенезисов, и формирование нескольких структурно-морфологических типов руд. При этом, если общие масштабы месторождения Бадис определяются штокверковым типом руд с рядовыми содержаниями, то геологической обстановкой проявления более богатого оруденения, являются жильно-прожилковые зоны, в составе которых присутствуют «стержневые» кварцевые жилы северо-восточного простирания.

5. Минералого-геохимические особенности, вещественный состав руд и значительные масштабы месторождения обусловлены длительным, многоэтапным развитием процессов тектоно-магматической активизации. Начальный этап в перераспределении элементов, который можно считать рудоподготовительным, следует связать с позднепротерозойской металлогенической эпохой, когда в общих чертах наметился структурный план территории, обусловленный динамическими явлениями, происходившими в зоне Станового разлома. Кульминация рудогенеза, приведшая к масштабному накоплению и отложению рудных компонентов, приходится на период мезозойской активизации. В это время на пересечении Станового и Таксакандинского разломов возникла область локального растяжения, инициировавшая декомпрессионное частичное плавление глубинного субстрата, последующий подъём магмы и становление порфирового штока рудоносных гранитоидов с трубкой взрывчатых веществ, сопровождавшееся интенсивным метасоматическим и гидротермальным процессами.

6. Минеральный состав руд формировался синхронно с развитием структуры месторождения, и обусловлен последовательным проявлением шести стадий минералообразования, из которых основными являются четыре,

знаменующими постмагматический гидротермальный процесс. При этом ведущей, определившей ценность месторождения, является кварц-молибденитовая стадия, обеспечившая отложение главной массы молибденита. Следующей по значимости и интенсивности развития является кварц-карбонатно-сульфидная (полиметаллическая) стадия, ответственная за отложение основной массы меди в виде халькопирита. Эта стадия отделена от кварц-молибденитовой внедрением трубки взрывных брекчий.

7. Малоизученная золотая минерализация, присутствующая в сульфидах в дисперсном виде и в меньшей степени в свободном состоянии, и не получившая должной оценки, может рассматриваться в качестве попутного компонента Бадисских руд, что является фактором, повышающим их ценность. Золотоносность подобных месторождений-аналогов, каким, например, является месторождение Бугдая, является достаточно типичной.

8. При определении формационно-генетической принадлежности объекта в качестве ведущей рудно-формационной характеристики использован рассчитанный рудно-формационный ряд: $\text{Mo}_{1,73}(146)$ $\text{Bi}_{1,58}(122)$ $\text{Cu}_{1,43}(99)$ $\text{Pb}_{1,39}(83)$ $\text{Ag}_{1,32}(114)$ $\text{W}_{1,18}(76)$ $\text{Ba}_{1,18}(42)$ $\text{Zn}_{1,14}(71)$. Рассмотрение его свидетельствует о наиболее высоких коэффициентах концентрации и дисперсии для молибдена и специализации на минерализацию медно-висмут-молибденового типа, характерную для медно-молибденовой рудной формации.

9. Последовательное нарастание интенсивности рудообразования коррелируется с поэтапным внедрением Бадисского порфирового штока и флюидонасыщенностью магмы. Если во время становления гранодиоритов первой фазы штока данный процесс лишь вступил в начальную стадию, то для гранодиорит-порфиров второй фазы и взрывных брекчий, он проявился в полную силу, о чём свидетельствует рост коэффициентов концентрации элементов и флюидонасыщенности. Это подтверждает вывод о парагенетической связи оруденения с заключительными фазами Бадисского порфирового штока.

10. Выявленная латеральная зональность от центра к периферии: $\text{Cu} \rightarrow \text{Mo} \rightarrow \text{W} \rightarrow \text{Bi} \rightarrow (\text{Pb}, \text{Zn}) \rightarrow \text{Ag} \rightarrow \text{Ba} \rightarrow \text{Au}$, является, отражением вертикальной,

которая согласуется с общей моделью зональности порфировых систем. Установлен её контроль элементами геологической структуры месторождения. Центр представлен ореолами меди и молибдена, располагающимися над рудоносным порфировым штоком. Далее к периферии, конформно распространены ореолы вольфрама, висмута, свинца, цинка, серебра, бария и золота, на размещение которых, оказывали существенное влияние разрывные структуры северо-восточного простирания.

11. Анализ геохимических ореолов, интенсивности и масштабности гидротермалитов, восстановление мезозойской палеоповерхности показали, что в центре месторождения, в наиболее продуктивной части рудной колонны, уровень эрозионного среза преимущественно среднерудный. В периферийных блоках он характеризуется верхнерудным уровнем. Глубина проведённого бурения недостаточна для оценки всей рудно-геохимической колонны. Недоизученными на глубину осталось от 80–90 метров (для блоков со среднерудным срезом) до 330–350 м в верхнерудных блоках. На глубине есть все основания ожидать наличие продуктивного оруденения, о чём свидетельствует и рост на глубину коэффициентов концентрации.

12. Основу авторского подхода к прогнозированию составила оригинальная многофакторная модель, описанная набором признаков (критериев), в качестве которых выступили геолого-структурные и минералого-геохимические характеристики разной информативности. Последняя определена по результатам экспертной оценки, исходя из связи признаков с орудением, и выражена в баллах. Бальные характеристики дали возможность осуществить количественную оценку с использованием аддитивного показателя перспективности и сравнить оцениваемое месторождение с известными объектами-аналогами. Показатель перспективности месторождения Бадис ненамного уступает эталонам (Бугдаинское, Жирекенское, Сорское), которые в структурно-тектоническом и минералого-геохимическом отношении имеют с ним много общего. Модель Бадисского месторождения, может служить провинциальным эталоном для оценки аналогичных объектов как в Чакатай-Бадисском рудном узле, в состав которого входит объект, так и на

прилегающих площадях Южной Якутии, где проявились процессы мезозойской активизации.

13. Высокая бальная оценка месторождения коррелируется с результатами ретроспективного анализа истории оценок прогнозных ресурсов, выполненных в различные годы, что позволило количественно судить о возможном потенциальном ранге объекта. Из этих данных следует, что месторождение Бадис, относится к разряду крупных, инвестиционная привлекательность его возрастает в связи с комплексностью руд, в которых, помимо рения, присутствует попутное золото, изучению которого рекомендуется уделить пристальное внимание. В том числе провести укрупненные технологические испытания для получения выводов, о возможности выделения золота с сульфидного промпродукта.

Резюмируя и подводя итоги можно констатировать, что в целом по совокупности признаков изученный объект принадлежит к медно-молибденовой рудной формации и входит в семейство золотосодержащих медно-молибден порфировых месторождений. По результатам бальной оценки он представляется аналогом, месторождений Бугдая, Жирекен, Сора и других промышленно значимых формационных аналогов, что является позитивным фактором, повышающим его перспективы. Прогнозно-ресурсный потенциал месторождения Бадис складывается из ресурсов молибдена, 410 тыс. тонн, меди — 538 тыс. тонн, рения — 78 тонн, и золота — 15 тонн, позволяя отнести его к разряду крупных. Извлекаемая ценность четырёх полезных компонентов составляет порядка 10 млрд. \$. Представляется, что эти цифры характеризует нижнюю границу его суммарного рудного потенциала, который может быть реализован и расширен при проведении в будущем целенаправленных геологоразведочных работ. Актуальность и целесообразность их несомненна в условиях повышения мировых цен на медь, рений, золото, ожидаемого внутрироссийского роста потребления молибдена, а также в связи с созданием в Нерюнгринском районе республики Саха (Якутия) комплексного горно-металлургического кластера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная

1. Александров, И. А. Метаморфические породы амфиболитовой фации Джугджуро-Становой складчатой области (условия образования и состав протолитов) / И. А. Александров. — Владивосток: Дальнаука, 2010. — 212 с.
2. Аркадьев, Н. А. Очерк пульсационной геотектонической гипотезы, основанной на космогонии и учении о сдвиговых деформациях / Н. А. Аркадьев. — С.Петербург: Изд-во «Невский диалект», 1998. — 95 с.
3. Белов, С. В. Напряженно-деформированное состояние геосреды, магматизм и рудогенез / С. В. Белов. — М.: Изд-во ВИМС, 2004. — 194 с.
4. Белов, С. В. Оптимальные прогнозно-поисковые комплексы для штокверковых вольфрамовых месторождений Центрального Казахстана / С. В. Белов, А. А. Фролов // Разведка и охрана недр. — 1988. — № 1. — С. 17–27.
5. Белов, С. В. Тектонофизическая модель рудоносной системы: интрузив и его кровля / С. В. Белов // Геотектоника. — 1993. — № 2. — С.64–72.
6. Берзина, А. П. Геодинамические условия формирования Сорского Cu-Mo-порфирового магматического центра (Кузнецкий Алатау) / А. П. Берзина и др. // Тектоника и металлогения Северной Циркум-Пацифики и Восточной Азии: материалы конференции посвященной памяти Л.М. Парфенова (Хабаровск, 11-16 июня 2007 г.). — Хабаровск, 2007. — С. 45–49.
7. Бескин, С. М. Медно-порфировое оруденение России / С. М. Бескин, А. К. Алексеева. — Москва: Научный мир. — 2016. — 78 с.
8. Бин, Р. Э. Медно-порфировые месторождения / Р. Э. Бин, С. Р. Титли // Генезис рудных месторождений: В 2-х томах. Т. 1. Пер. с англ./Под ред. Б. Скиннера — М.: Мир, 1984. — С. 245–333.
9. Бойцов, В. Е. Факторы локализации и прогноз оруденения / В. Е. Бойцов, В. О. Вальков, А. А. Фролов. — М.: Недра, 1991. — 234 с.
10. Выдрич, Д. Е. Геолого-поисковая модель медно-молибден-порфировой формации с золотом в пределах Джетского рудного узла / Д. Е. Выдрич, А. В. Сучков // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки

- месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. Сборник тезисов докладов VII научно-практической конференции. (13–14 апреля 2017 г., Москва, ФГУП ЦНИГРИ). – М.: ЦНИГРИ, 2017. — С. 61–62.
11. Выдрич, Д. Е. Геолого-структурные особенности штокверковых месторождений молибденовой формации Восточной Сибири и Якутии (на примере Жирекенского и Бугдаинского месторождений и рудного поля Бадис) / Д. Е. Выдрич // Материалы IV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского, 16–20 февраля 2015 г., Санкт-Петербург, ФГУП «ВСЕГЕИ». — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2015а. — С. 89–91.
12. Выдрич, Д. Е. Геохимические особенности молибденового рудного поля Бадис / Д. Е. Выдрич // XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва: Российский государственный геологоразведочный университет, 8–10 апреля, 2015 г.): в 2 т.: доклады / ред. коллегия: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. — Т. 1. — М.: МГРИ-РГГРУ, 2015б. — С. 186–187.
13. Выдрич, Д. Е. Интерпретация аномальных геохимических полей медно-молибденового оруденения (рудное поле Бадис) / Д. Е. Выдрич // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Роль геохимии в развитии МСБ ТПИ. Прогноз, поиски, оценка и инновационные технологии освоения редкометалльных объектов», 21–23 ноября 2016 г., Москва, ФГУП «ИМГРЭ». — М.: ИМГРЭ, 2016а. — С. 48–49.
14. Выдрич, Д. Е. Новые данные о геологическом строении и промышленных перспективах рудопроявления молибдена Бадис (Южная Якутия) / Д. Е. Выдрич // Разведка и охрана недр. — 2016б. — № 6. — С. 15–21.
15. Выдрич, Д. Е. Новые представления о морфологических типах руд и стадийности минералообразования рудопроявления молибдена Бадис / Д. Е. Выдрич // XIV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва: Российский государственный геологоразведочный университет, 3–5 апреля, 2019 г.): в 7 т.: доклады / ред.

- коллегия: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. — Т. II. — М.: МГРИ-РГГРУ, 2019. — С. 53–56.
16. Выдрич, Д. Е. Особенности молибденого рудопроявления Бадис (Южная Якутия) / Д. Е. Выдрич // Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых. Тезисы докладов шестой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. — М.: ФГУП «ВИМС», 2015в. — С. 44–46.
 17. Выдрич, Д. Е. Ресурсный потенциал и промышленные перспективы молибденового месторождения Бадис / Д. Е. Выдрич, С. В. Белов // Использование и охрана природных ресурсов России. — 2018. — № 4. — С. 7–16.
 18. Геологическая карта СССР, масштаба 1:200 000, лист N-52-III, сер. Становая / Г.В. Гиммельфарб, Е.Е. Калганов, Е.Е. Федоров. — Москва: ВАГТ, ВСЕГЕИ, 1969.
 19. Геохимия гидротермальных рудных месторождений. — М.: Мир, 1982. — 622 с.
 20. Гзовский, М. В. Основы тектонофизики / М. В. Гзовский. — М.: Наука, 1975. — 540 с.
 21. Глуховский, М. З. Тектоника и магматизм района сочленения Станового и Тыркандинского глубинных разломов / М. З. Глуховский, Е. А. Синцера // Геотектоника. — 1974. — № 1. — С. 44–48.
 22. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Лист N-52 (Зея) // Объяснительная записка. Авторы: Сережников А. Н., Волкова Ю. Р., Яшнов А. Л. и др. — С.-Петербург, 2005. — 282 с.
 23. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах», главный редактор Е.А. Киселев, МПР РФ, «Минерал-Инфо». — Москва, 2018. — 372 с.

24. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2017 и 2018 годах», главный редактор Е.А. Киселев, МПР РФ, «Минерал-Инфо». — Москва, 2019. — 425 с.
25. Данковцев, Р. Ф. Глубинные рудоформирующие энерго-магматические системы Енисейского кряжа и Байkitской антеклизы / Р. Ф. Данковцев, Б. Н. Шашорин, Д. Е. Выдрич // Разведка и охрана недр. — 2015а. — № 3. — С. 8–16.
26. Данковцев, Р. Ф. Плотностная инфраструктура недр Северо-Енисейского уран-золотоносного района и глубинные факторы минерагенического контроля / Р. Ф. Данковцев, Б. Н. Шашорин, Д. Е. Выдрич // Разведка и охрана недр. — 2015б. — № 5. — С. 24–31.
27. Ершов, В. В. Тектонофизические условия формирования структуры Бугдаинского месторождения / В. В. Ершов // Проблемы геологии и освоения минерально-сырьевой базы Восточной Сибири (Инф.мат.научн.-практ.конф.). — Иркутск, 1998. — С. 77–79.
28. Звездов, В. С. Крупные и сверхкрупные месторождения медно-порфирового семейства в ранговых рядах запасов и содержаний / В. С. Звездов // Отечественная геология. — 2005. — № 2. — С. 46–56.
29. Звездов, В. С. Морфологические типы медно-порфировых штокверков и обстановки их формирования / В. С. Звездов, И. Ф. Мигачев, О. В. Минина // Руды и металлы. — 2018. — № 4. — С. 37–53.
30. Имаев, В. С. Сейсмоструктурная Якутии / В. С. Имаев, Л. П. Имаева, Б. М. Казьмин. — М.: Геос, 2000. — 226 с.
31. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М-во геологии СССР. — М.: Недра, 1983. — 191 с.
32. Казьмин, Ю. Б. Становой глубинный разлом, его развитие и влияние на магматизм и металлогению / Ю. Б. Казьмин // Материалы по региональной геологии. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — С. 98–102. (Труды ВАГТ, вып. 8).

- 33.Кастрыкин, Ю. П. Геологические особенности нового рудопроявления молибдена Бадис / Ю. П. Кастрыкин // Геология и геофизика. — 1978. — № 4. — С. 47–56.
- 34.Кастрыкин, Ю. П. Опыт прогнозной оценки молибденового оруденения в восточной части Станового хребта / Ю. П. Кастрыкин, М. А. Белобородов, С. В. Денисов // Геология и геофизика. — 1976. — № 10. — С. 144–149.
- 35.Кривцов, А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений / А. И. Кривцов — М.: Недра, 1983. — 256 с.
- 36.Кривцов, А. И. Медно-порфировые месторождения / А. И. Кривцов. — М.: ЦНИГРИ, 2001. — 232 с.
- 37.Кривцов, А. И. Прикладная металлогения / А.И. Кривцов. — М.: Недра, 1989. — 286 с.
- 38.Кузнецов, О. Л. Геоинформатика и геоинформационные системы / О. Л. Кузнецов, А. А. Никитин, Е. Н. Черемисина. — Москва: Издание ВНИИГеосистем, 2005. — 453 с.
- 39.Кучеренко, И. В. Теория и практика формационного метода в рудной геологии. Часть 2 / И. В. Кучеренко // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — т. 307. — № 5. — С. 28–35.
- 40.Максимов, Е. П. Орогенная структура Центрального Алдана и связь с ней магматизма и оруденения / Е. П. Максимов, В. В. Середин, И. Н. Томсон и др. // Разломы и эндогенное оруденение Байкало-Амурского региона: сб. науч. статей / АН СССР, Ин-т геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии; отв. ред. В.А. Кузнецов. — М.: Наука, 1982. — С. 121–138.
- 41.Маловицкая, Н. Л. Глубинное строение зоны сочленения Алданского щита и Становой области / Н.Л. Маловицкая, А.И. Ромашкин // Тихоокеанская геология. — 1985. — № 6. — С. 106–112.
- 42.Малышев, Ю. Ф. Гравитационные аномалии Дальнего Востока / Ю. Ф. Малышев, Л. М. Парфенов, Э. Л. Рейнлиб, Н. П. Романовски // Районирование

- геофизических полей и глубинное строение Дальнего Востока. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. — С. 18–29.
43. Матвеевко, В. Т. К поиску молибденовых и молибден-медных месторождений на востоке СССР / В. Т. Матвеевко, Е. А. Радкевич // Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Ответственный редактор академик В. И. Смирнов. — Новосибирск: Наука, 1976. — С. 56–75. (Труды ИГиГ СО АН СССР, вып 376).
44. Мельников, А. И. Механизмы деформаций в зонах сдвигового течения горных пород / А. И. Мельников, В. И. Переляев. — Иркутск: Изд.-во ИГУ, 2014. — 302 с.
45. Методические рекомендации по применению Классификации запасов к месторождениям молибденовых руд. — М., ГКЗ, 2005. — 42 с.
46. Мирлин, Г. А. Минеральные ресурсы на рубеже XX и XXI столетий (Прогноз развития минерально-сырьевых ресурсов мира) / Г. А. Мирлин // Proc.: Symp.: New Miner. Raw Mater. (NEMIRAM) Karlovy Vary, June 10-12, 1986. — Praha, 1986. — p. 139–143.
47. Муратов, М. В. Строение и развитие эвгеосинклинальных прогибов и их магматизм / М. В. Муратов // Изв. АН СССР, сер. геол. — 1971. — № 5. — С. 3–11.
48. Невский, В. А. Структуры рудных месторождений кольцевого типа / В. А. Невский, А. А. Фролов. — М.: Недра, 1985. — 247 с.
49. Овчинников, Л. Н. Прогноз рудных месторождений / Л. Н. Овчинников. — М.: Недра, 1992. — 308 с.
50. Павлова, И. Г. Молибден / И. Г. Павлова, Г. В. Александров. // Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д. В. Рундквиста. — Л.: Недра, 1978. — С. 237–255.
51. Парфенов, Л. М. Континентальные окраины и островные дуги мезозойда Северо-Востока Азии / Л. М. Парфенов. — Новосибирск: Наука, 1984. — 191 с.
52. Паталаха, Е. И. Тектонофациальный анализ складчатых сооружений фанерозоя / Е. И. Паталаха. — М.: Недра, 1985. — 168 с.

- 53.Паталаха, Е. И. Тектонофации мезозоны / Е. И. Паталаха, А. И. Лукиенко, В. А. Дербенев. — Алма-Ата: Изд. Наука Каз. ССР, 1987. — 181 с.
- 54.Покалов, В. Т. Методические рекомендации по оценке прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых / В. Т. Покалов, А. Б. Павловский, С. В. Белов, В. М. Бороданов, А. М. Материкова и др. — М.: ВИМС, 2003. — 280 с.
- 55.Покалов, В. Т. Опыт классификации эндогенных месторождений молибдена на тектоно-магматической основе / В. Т. Покалов // Советская геология. — 1970. — № 1. — С. 74–87.
- 56.Покалов, В. Т. Рудноформационный анализ и некоторые аспекты его применения / В. Т. Покалов // Отечественная геология. — 1993. — № 5. — С. 9–15.
- 57.Покалов, В.Т. Рудно-магматические системы гидротермальных месторождений / В. Т. Покалов. — М.: Недра, 1992. — 288 с.
- 58.Портнов, В. С. Основные классификационные признаки медно-порфировых месторождений / В. С. Портнов, А. Т. Сарбасова, Д. К. Макат, А. К. Жумабеков // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 2-14. — С. 3105–3109.
- 59.Ройзенман, Ф. М. Система количественной оценки оруденения / Ф.М. Ройзенман // Изв. вузов, геол. и разв. — 1996. — № 3. — С. 140–141.
- 60.Рудоносность и геологические формации структур земной коры / Под ред. Д. В. Рундквиста. — Л.: Недра, 1982. — 423 с.
- 61.Рундквист, Д. В. О значении формационного анализа при прогнозных исследованиях / Д. В. Рундквист // Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д. В. Рундквиста. — 2-е изд. — Л.: Недра, 1986. — С. 17–39.
- 62.Соловов, А. П. Геохимические методы поисков рудных месторождений / А. П. Соловов, А. А. Матвеев. — Москва: Издательство МГУ, 1985. — 232 с.
- 63.Соловьев, С. Г. Железооксидно-золото-медные и родственные месторождения / С. Г. Соловьев. — Москва: Научный мир, 2011. — 246 с.
- 64.Сотников, В. И. Жирекенское медно-молибденовое месторождение / Сотников В. И. и др. // Месторождения Забайкалья / Коллектив авторов. Под ред. акад. Н.

- П. Лаверова (в 2 книгах). М.: Геоинформмарк, 1995. — Т. 1, кн. 1. — С. 180–186.
65. Сотников, В. И. Особенности распределения хлора и фтора в минералах интрузивных и постмагматических образований молибденовых рудопроявлений Станового хребта / В. И. Сотников, Ю. П. Кастрыкин, Е. И. Никитина // Геохимия. — 1981. — № 3. — С. 361–370.
66. Стоянов, С. С. Механизм формирования разрывных зон / С. С. Стоянов. — М.: Недра, 1977. — 144 с.
67. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2030 года, МПР РФ. — Москва, 2017. — 24 с.
68. Стриха, В. Е. Мезозойские гранитоиды золотоносных районов Верхнего Приамурья / В.Е. Стриха. — Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2012. — 188 с.
69. Структуры рудных полей и месторождений вольфрама, молибдена и олова // Б.В. Макеев, А.Б. Павловский, В.Т. Покалов и др. — М.: Недра, 1983. — 234 с.
70. Филатов, Е. И. Формационный анализ рудных месторождений / Е. И. Филатов, Е. П. Ширай. — М.: Недра, 1988. — 144 с.
71. Филько, А. С. Из истории открытия месторождений полезных ископаемых / А. С. Филько. — М.: МПР, Геокарт, РосГео, 1999. — 464 с.
72. Филько, А. С. Из опыта разведки месторождений твердых полезных ископаемых / А. С. Филько. — М.: Геокарт: ГЕОС, 2005. — 496 с.
73. Фотиади, Э. Э. Тектонофизическое районирование зоны сочленения Алданского щита и Станового нагорья по данным геофизических измерений / Э. Э. Фотиади, Н. П. Есиков, Г. В. Бочаров и др. // Геология и геофизика. — 1982. — № 3. — С. 3–15.
74. Фролов, А. А. Перспективы увеличения ресурсов апатитовых руд и размещение сырьевых источников в России (на примере месторождений карбонатитового типа) / А. А. Фролов, С. В. Белов, А. А. Бурмистров // Руды и металлы. — 1996. — № 1. — С. 9–17.
75. Фролов, А. А. Рудоносные вулканогенные структуры / А. А. Фролов. — М.: Недра, 1994. — 284 с.

- 76.Фролов, А. А. Штокверковые рудные месторождения / А. А. Фролов. — М.: Недра, 1987. — 278 с.
- 77.Хрущёв, Н. А. Классификация месторождений молибдена / Н. А. Хрущёв // Геология рудных месторождений. — 1959. — Т. 1. — № 6. — С. 52–67.
- 78.Шарпенюк, Л. Н. TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для химической классификации и диагностики plutonic пород / Л. Н. Шарпенюк, А. Е. Костин, Е. А. Кухаренко // Региональная геология и металлогения. — 2013. — № 56. — С. 40–50
- 79.Шашорин, Б. Н. Геологическое строение и ресурсно-сырьевой потенциал металлоносных территорий Северного Сихотэ-Алиня / Б. Н. Шашорин, В. В. Руднев, А. И. Макаров, Д. Е. Выдрич // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 7. — С. 17–27.
- 80.Шашорин, Б. Н. Геолого-геофизическая модель Малмыжской рудно-магматической системы и возможности её использования в прогнозировании (Северный Сихотэ-Алинь) / Б. Н. Шашорин, А. И. Макаров, В. В. Руднев, Д. Е. Выдрич // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 2. — С. 8–18.
- 81.Шерман, С. И. Тектонофизические исследования в Институте земной коры СО РАН: принципиальные достижения и актуальные задачи / С. И. Шерман, К. Ж. Семинский // Геодинамика и тектонофизика. — 2010. — № 1. — С. 4–23.
- 82.Шерман, С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры/ С. И. Шерман. — Новосибирск: Наука, 1977. — 102 с.
- 83.Cook, D. R. Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls / Cook D.R., Hollings P., Walshe J.L. // Econ. Geol. — 2005. — Vol. 100. — P. 801–818.
- 84.Gruen, G. The Bingham Canyon Porphyry Cu-Mo-Au Deposit. II. Vein Geometry and Ore Shell Formation by Pressure-Driven Rock Extension / Gruen G., Heinrich C.A., Schroeder K. // Econ. Geol. — 2010. — Vol. 105. — P. 69–90.
- 85.Lowell, J. D. Lateral and vertical mineralization zoning in porphyry ore deposits /Lowell J.D. and Guilbert J.M. // Economic Geology. — 1970. — Vol. 65. — P. 373–408.

86. Richards, J. P. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation / Richards J.P. // Econ. Geol. — 2003. — Vol. 98. — P. 1515–1533.
87. Seedorff, E. Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features / Seedorff E., Dilles J.H., Proffett J.M., Einaudi M.T., Surcher L., Stavast W.J.A., Johnson D.A. and Barton M.D. // Economic Geology. — 2005. — 100th Anniversary, Volume. — P. 251–298.
88. Sillitoe, R. H. Porphyry Copper Systems / Sillitoe R.H. // Econ. Geol. — 2010. — Vol. 105. — P. 3–41.
89. Sylvester, A. G. Strike-slip faults / Sylvester A.G. // Geol. Soc. Of Amer. Bull. — 1988. — v. 100. — N 11. — P. 1666–1703.
90. Zvezdov, V. S. Porphyry copper deposits of the CIS and the models of their formation / Zvezdov V.S., Migachev J.F., Girfanov M.M. // Ore Geology Reviews. — 1993. — Vol. 7. — № 6. — P. 511–549.

Фондовая

91. Изучение геолого-структурных условий локализации золотосодержащих руд и их обогащенных участков Бугдаинского месторождения: отчет НИР / Шафиков А.Х., Ершов В.В., и др. — Чита: ЗабНИИ, 1998. — 117 с.
92. Исследование обогатимости проб молибденсодержащих руд рудного поля Бадис (республика Саха (Якутия)) по гравитационно-флотационной схеме: отчет о НИР / Ануфриева С.И., Иванков С.И., Ожогина Е.Г. и др. — Москва: ФГУП "ВИМС", 2015. — 171 с.
93. Материалы к апробации прогнозных ресурсов молибдена, золота и меди рудного поля Бадис. Якутск: ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология», 2012. — 13 с.
94. Материалы к апробации прогнозных ресурсов молибдена, рения и меди рудного поля Бадис. Якутск: ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология», 2015. — 29 с.
95. Молибденоносность территории юга Дальнего Востока. Задание: 0.50.01.04.02.07 Н / Сухов В.И., Родионов С.М., Шлейснер О.В. и др. — Хабаровск: ДВИМС, 1986. — 181 с.
96. Молибденоносность Южной Якутии. Отчет по теме "Мезозойские гранитоиды и перспективы связанного с ними порфирового оруденения Южной Якутии

- (зона БАМ)" за 1983-1987 гг. / Максимов Е.П., Уютов В.И., Петрова Л.Л. и др. — Якутск: Якутскгеология, 1987. — 441 с.
97. Окончательный отчет о геологосъемочных работах листов N-52-7-А,Б,В,Г, N-52-8-А,Б,В,Г, N-52-19-А,Б,В,Г / Глуховский М.З., Васютина Л.Г., Синцерова Е.А. и др. — Москва: ПГО «Аэрогеология», 1974. — 643 с.
98. Отчет о поисковых работах в Верхне-Тимптонском и Сутамском золотоносных районах в 1986-89 гг. Якутская АССР / Амарский В.Г., Амарская А.М., Скопич С.И. и др. — Чульман: Якутскгеология, 1989. — 440 с.
99. Отчет партии № 3/86-88 по литохимической съемке масштаба 1:200 000 на восточно-становой площади (БАМ) за 1986-88 гг. / Домчак В. В., Третьяков В. Н., Конюшенко Г. Ф. и др. — Александров: Центр геофизика, 1989. — 502 с.
100. Отчет по объекту "Изучение структурно-вещественных комплексов, особенностей локализации и состава молибденового и сопутствующего оруденения рудного поля Бадис (Республика Саха (Якутия))": Отчет о НИР / Рахманов Н. Л., Шашорин Б. Н., Макаров А. И., Выдрич Д. Е. и др. — Москва: ВИМС, 2015. — 152 с.
101. Оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых Южной Якутии по состоянию на 01. 01. 2003 г. / Ветлужских В. Г., Каменцев М. В., Дик И. П. и др. — Якутск: ГУГГП РС (Я) «Якутскгеология», 2003. -
102. Подсчет запасов золотосодержащих руд юго-восточного участка Бугдаинского месторождения (Iя очередь подземного рудника) по состоянию на 01.10.96. Отчет АООТ ППГХО / Вахрушев В. А., Толстобров В. А. — Краснокаменск, 1997. — 155 с.
103. Поисковые работы на рудном поле Бадис (Республика Саха (Якутия)). Отчет по объекту 111-20(102-8) за 2013-2015 гг. Гос.контракт № 08/13 от 13.05.13 г. / Анисимова Е.В., Катаева В.Н., Вишняк С.В. и др. — Якутск: ГУ ГГП РС (Я) «Якутскгеология», 2015. — 661 с.