



ФЕДОСЕЕВ ДМИТРИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ

**ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУД И ГЕНЕЗИСА
ШЕЕЛИТ-СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОРДОННОЕ
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)**

Специальность 25.00.11 – геология, поиски и разведка
твёрдых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения РАН.

Научный руководитель: академик
Ханчук Александр Иванович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Копылов Михаил Иннокентьевич
Институт тектоники и геофизики
им. Ю.А. Косыгина (ИТИГ ДВО РАН);
г. Хабаровск

кандидат геолого-минералогических наук
Аристов Василий Васильевич
Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН),
г. Москва

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт земной коры
СО РАН, г. Иркутск

Защита диссертации состоится 24 октября 2019 г., в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 005.006.01 при Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159, Дальневосточный геологический институт.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ДВО РАН и на сайте <http://www.fegi.ru>

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета к.г.-м.н. Перевозниковой Елене Валериевне по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159, ДВГИ ДВО РАН.
E-mail: elena_valper@yandex.ru

Автореферат разослан « » августа 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук  Е.В. Перевозникова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Скарновые шеелитовые месторождения Приморского края Дальневосточного региона России принадлежат к приоритетным объектам, обеспечивающим восполнение и расширение минерально-сырьевой базы вольфрама и попутных металлов (меди, висмута, золота, серебра и других элементов) в РФ.

Детальное изучение конкретных месторождений вольфрама имеет существенное значение для выяснения общих условий образования и закономерностей локализации эндогенного оруденения. В последние десятилетия наиболее перспективными для промышленной отработки вольфрамовых руд считаются месторождения стратиформного и штокверкового типов, известные в Австралии (Кинг-Айленд), Франции (Сало), на Северном Кавказе (Кти-Теберда) и во многих других регионах мира. Не является исключением и Приморский край, где на базе скарновых шеелит-сульфидных месторождений Лермонтовское и Восток-2 работают горно-обогатительные комбинаты, требующие расширения сырьевой базы, поскольку запасы руд на этих объектах неуклонно сокращаются. Очевидна необходимость реанимации отрасли, что подразумевает вовлечение в изучение новых рудных районов и месторождений региона. В Приморье наиболее перспективной является Малиновская рудная площадь (район), где известны месторождения вольфрама разных генетических типов. Одно из них – это слабо изученное месторождение Кордонное.

Недостаточная исследованность месторождения, и предполагаемая схожесть стадийности минералообразования с эталонными объектами (Восток-2 и Лермонтовское) несомненно, повлияли на выбор этого месторождения в качестве объекта диссертационного исследования.

Предмет исследования – происхождение вольфрамовых руд месторождения Кордонное на основе применения комплекса современных аналитических методов, уточнения геологического строения рудной площади и месторождения, выяснения минералого-петрологических и геохимических особенностей гранитоидов, метасоматитов и руд, реконструкции физико-химических условий их формирования.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – установить особенности вещественного состава руд и генезиса шеелит-сульфидного месторождения Кордонное для совершенствования общих представлений о металлогении вольфрама, уточнения геологических и минералогических критериев прогнозирования коренной вольфрамоносности в геологических структурах Приморья.

В соответствии с целью, задачи настоящей работы сформулированы следующим образом:

- изучить магматические образования, размещенные на площади месторождения и соответствующие факторы контроля вольфрамового оруденения;
- исследовать метасоматические породы, ассоциирующие с шеелитовой минерализацией;
- изучить минеральные ассоциации и сопутствующие рудные элементы;
- установить физико-химические параметры формирования магматических пород и шеелитовых руд для определения критериев рудоотложения и генезиса месторождения.

Фактический материал, методы исследования и личный вклад автора в решение проблемы. Основой для написания диссертационной работы послужили материалы, собранные автором и сотрудниками лаборатории рудно-магматических систем ДВГИ ДВО РАН в период 2011-2014 г.г. в процессе полевых исследований на площади месторождения Кордонное. При подготовке диссертации проанализирован фактический материал, отобраны наиболее информативные образцы для всего спектра аналитических исследований, в том числе изотопной геохронологии, геохимии, парагенетического анализа рудных минералов, петрографического, микрорентгено-структурного и других видов прецизионных анализов минералов и пород. Было изготовлено 150 шлифов и 70 пластинок, для минералого-петрографических исследований. Выполнено 45 силикатных анализов для определения основных компонентов пород и 15 спектральных анализов магматических и метасоматических пород. В 20 пробах определены содержания петрогенных элементов, микроэлементов, редких и редкоземельных элементов методом ICP-MS, в 30 пробах – рентгенфлуоресцентным методом. Состав рудных и породообразующих минералов изучен методом локального рентгеноспектрального анализа на микроанализаторе «JXA-8100», оснащенного энергодисперсной приставкой «Inca», возраст гранитоидов и сопутствующих им грейзенов определен K-Ar и U-Pb методами.

Методами термобарогеохимии (главным образом крио- и термометрия) изучались физико-химические условия образования минералов пород и руд. В термометрических опытах изучено около 150 флюидных включений. Проанализировано более 20 минеральных включений, 30 расплавных, 25 существенно газовых, сингенетичных расплавным. Методом Раман-спектроскопии исследованы десятки флюидных включений для определения состава газовой фазы. Выполнен пересчет результатов химического анализа породообразующих и рудных минералов на кристаллохимические формулы с использованием программы Mathematica.

Автором выполнялось петрографическое изучение прозрачных и полированных шлифов пород и руд под руководством В.И. Гвоздева. Проведены исследования расплавных и флюидных включений в кварце, гранате и шеелите, проведена интерпретация полученных данных относительно условий процесса рудоотложения. Научные задачи исследования и основные подходы к их решению были определены совместно с научным руководителем д.г.-м.н В.И. Гвоздевым, к.г.-м.н. В.А. Пахомовой, д.г.-м.н. В.Г. Гоневчуком, академиком А.И. Ханчуком, к.г.-м.н. А.С. Вахом. В течение двух лет автор руководил проектом РФФИ №12-05-31372 мол_а по теме диссертации "Месторождение Кордонное (Дальний Восток России): генезис вольфрамовой минерализации и физико-химические условия образования рудных ассоциаций", а также руководил проектами (ДВО РАН) №12-III-B-08-165 «Минеральные ассоциации скарнов и руд вольфрамового месторождения Кордонное (Приморский край)», №13-III-B-08-189 «Роль магматизма в гидротермальном рудообразовании и проблема источника рудного вещества на примере изучения месторождений Сихотэ-Алинской вольфрамоносной провинции», в 2015 году руководил разделом гранта №15-II-2-026 «Генезис месторождения Кордонное и проблемы источника вольфрама по результатам геолого-петрологических и термобарогеохимических исследований».

Научная новизна.

1. Впервые в ассоциации пород месторождения Кордонное выделены два типа гранитоидов, разных по возрасту, геохимическим, петрографическим и термобарогеохимическим признакам. Установлено, что они различаются также по минеральному составу, петро-геохимическим признакам и металлогенической специализации.

2. Установлены P-T параметры кристаллизации магматических пород, а также физико-химические характеристики образования самостоятельных кварц-шеелитовых прожилков, определяющих в основном вольфрамоносность постмагматических образований.

3. В процессе изучения вещественного состава руд месторождения Кордонное выявлены новые, ранее не известные на месторождении минералы (козалит, жозеит, матильдит, самородные золото, висмут, лиллианит, икунолит и др.).

4. Разработана геолого-генетическая модель формирования магматических пород и рудообразования месторождения Кордонное, учитывающая современные представления о геологическом строении региона и металлогении.

Практическая значимость. В пределах Скрытого рудного узла выявлены и охарактеризованы различные по возрасту и составу типы магматических пород – раннемеловой (103-101 млн лет), и позднемеловой (88-86 млн лет), представляющие разные геодинамические этапы эволюции региона. Установлена связь вольфрамового оруденения с раннемеловыми гранитами, для которых описаны новые критерии распознавания.

Выявленные геохимические и петрологические особенности пород, данные о флюидном режиме кристаллизации гранитоидов, различающихся по продуктивности на вольфрамовое оруденение, могут быть использованы для прогноза оруденения, ассоциированного с гранитоидами.

Изложенные в работе результаты исследования, направленные на разработку критериев прогнозирования вольфрамового оруденения, могут найти применение в производственной практике для выявления геологических объектов в слабоизученных районах Приморского края и Дальнего Востока.

Методические подходы, предложенные автором, могут найти применение при выяснении роли гранитоидов в формировании эндогенных рудных месторождений и при изучении эволюции рудоносных систем.

Основные защищаемые положения:

1. В геологическом строении рудного поля месторождения Кордонное участвуют две группы гранитоидов, принадлежащие раннемеловому (103-101 млн лет), и позднемеловому (88-86 млн лет) магматическим комплексам. Генетическая самостоятельность выделяемых групп подтверждается различиями их локализации и петролого-геохимическими характеристиками. Первые относятся к I и S-, вторые – к I-типу.

2. На месторождении Кордонное пространственно совмещены скарны разного минерального состава и металлогенической специализации. Ранние вольфрамоносные скарны из высокотемпературных пироксеновых, гранат-пироксеновых и гранат-пироксен-волластонитовых минеральных ассоциаций сопряжены с шеелит-халькопирит-пирротинным оруденением. С поздними пироксен-андрадитовыми скарнами ассоциирует полиметаллическая (касситерит-сфалерит-галенитовая) минерализация.

3. Минералого-геохимические особенности рудной минерализации месторождения Кордонное определяются пространственным совмещением двух типов руд: ранних – шеелит-сульфидных и поздних – олово-полиметаллических (с турмалином). Каждый из типов сопровождается Au-Bi минерализацией, различающейся по элементному составу сульфосолей. Для вольфрамовых руд характерны простые свинцово-висмутовые сульфосоли, для олово-полиметаллических – сульфосоли сложного Ag-Pb-Bi состава.

Соответствие результатов работы научным специальностям. Результаты работы соответствуют пунктам 1 (Условия образования месторождений твердых полезных ископаемых) и 3 (Металлогения и минерагения) паспорта специальности 25.00.11.

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертации изложены в 13 публикациях, из них 5 – статьи, опубликованные в рецензируемых российских журналах из списка ВАК. Основные результаты представлены в виде устных докладов на конференциях разного уровня: на XXII Молодежной научной конференции посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца, Апатиты, 2011; в работе научной школы-конференции «Новое в познании процессов рудообразования» Москва, 2012 и 2013; на IV Региональной конференции молодых ученых «Современные проблемы геологии, геохимии и экологии Дальнего Востока России» Владивосток, 2012 и 2013; на XV Всероссийской конференции по термобарогеохимии, Москва, 2012; на IV Региональной конференции молодых ученых «Современные проблемы геологии, геохимии и экологии Дальнего Востока России» Владивосток, 2012 и 2013; на конкурсе научных работ молодых ученых и специалистов ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, 2014; на XX Всероссийской научной конференции «Уральская минералогическая школа-2014» Екатеринбург 2014; на конкурсе научных работ молодых ученых и специалистов ДВГИ ДВО РАН, 2015.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, общим объемом 170 страниц. В ней содержится 61 рисунок и 31 таблица. Список литературы включает 132 наименования.

Благодарности. На разных этапах работы исследованиями автора руководили д.г.-м.н. В.И. Гвоздев, д.г.-м.н. В.Г. Гоневчук, академик А.И. Ханчук. Автор выражает им глубокую признательность за научное руководство, огромную поддержку и внимание на всех этапах выполнения работы, замечания и советы в процессе написания диссертации.

Особую благодарность автор выражает к.г.-м.н. В.А. Пахомовой за постоянную поддержку, и помощь в проведении термометрических исследований, а также к.г.-м.н. Б.Л. Залищаку за высококвалифицированные консультации по петрографической диагностике минералов. За советы, заинтересованное внимание, критические замечания, высказанные при обсуждении диссертации способствующие ее улучшению, автор выражает искреннюю благодарность: к.г.-м.н. А.С. Ваху, д.г.-м.н. И.В. Кемкину, д.г.-м.н. В.В. Голозубову, д.г.-м.н. Ю.Г. Волохину, к.г.-м.н. А.В. Гребенникову, д.г.-м.н. В.В. Раткину, д.г.-м.н. В.Г. Хомичу, к.г.-м.н. Б.И. Семеняку, к.г.-м.н. С.А. Касаткину, д.г.-м.н. В.Т. Казаченко, чл.-корр. В.Г.Сахно.

Автор благодарит администрацию Дальневосточного геологического института (ДВГИ ДВО РАН): директора, к.г.-м.н. И.А. Александрова, зам. директора д.г.-м.н. И.А Тарасенко и ученого секретаря к.г.-м.н. О.Ю. Лихачеву

за поддержку в проведении исследований и доброжелательное отношение к диссертанту.

Автор считает приятным долгом поблагодарить коллектив лаборатории рудно-магматических систем: н.с. С.Ю. Культенко, к.г.-м.н. О.А. Елисееву, к.г.-м.н. Ю.А. Степнову, к.г.-м.н. В.Б. Тишкину, м.н.с. А.А. Орехова, за помощь при проведении полевых работ и внимание.

За участие в проведении аналитических работ автор благодарит: к.г.-м.н. А.А. Карабцова, Н.И. Екимову, Г.Б. Молчанову, к.г.-м.н. Е.А. Ноздрачёва, а также сотрудников лаборатории аналитической химии Н.В. Зарубину, Д.С. Остапенко, к.г.-м.н. М.Г. Блохина, Е.А. Ткалину.

Автор благодарит сотрудников ООО ГП «Таежная экспедиция» А.В. Гурикова, С.И. Садкина за оказанную поддержку при проведении полевых работ, предоставление дополнительной информации, образцов пород и руд месторождения, а также за плодотворную работу над совместными публикациями.

Глава 1. Краткий геолого-металлогенический очерк

Месторождение Кордонное располагается в центральной части Приморского края на левобережье верхнего течения р. Малиновки (бассейн р. Бол. Уссурки), руч. Ладошина и его левых притоков (рис. 1.1). Первые представления о геологии месторождения получены во время целенаправленных поисков на участках Малиновской площади [Иголкин и др., 1974 ф]. Детальные поисковые работы подтвердили перспективность рудопроявлений Скрытое и Кордонное [Кораблинов, 1987 ф]. Современные представления о геологическом строении Скрытого рудного узла (осадочные, магматические и метаморфические породы, металлогенический очерк), приводятся в работе с использованием фондовых материалов по А. Н. Найдено [Найденко и др., 2007 ф], и Г.С. Белянского [Белянский и др., 2013 ф]. Особое внимание в этой главе уделено описанию в рамках концепции террейнового строения Сихотэ-Алиня юрской вулканогенно-сланцевой толщи, которая, по мнению некоторых исследователей является не только рудовмещающей, но и служит одним из источников рудных компонентов [Гетманская, 2012 ф].

Обсуждается металлогеническая иерархия объектов исследования и особенности геологического строения Скрытого рудного узла (рис. 1.2), который занимает северную и центральную части рудной площади и расположен в зоне сочленения разломов северо-восточного (Центральный Сихотэ-Алинский) и северного (Меридиональный) простирания, что, по мнению многих исследователей, является благоприятным фактором локализации скарнового шеелит-сульфидного оруденения в Приморском крае.

Представления о стратиграфии района в начальный период исследований базировались на геологических материалах прежних лет [Геология СССР, 1969] и геологических отчетах, в частности [Белянский, 2013 ф; Найденко и др., 2007 ф], которые не учитывали современных данных тектонических и литолого-стратиграфических исследований, сформированных в рамках концепции террейнового строения Сихотэ-Алиня. Большой вклад в современные представления о геологии и стратиграфии рассматриваемого района внесли ученые ДВГИ ДВО РАН (А.И. Ханчук, И.В. Кемкин, В.В. Голозубов, Ю.Г. Волохин, А.Н. Филиппов, В.С. Руденко и др.). Выполненное с их участием картирование

Самаркинского террейна показало, что оптимальным является выделение не свит, а тектоно-стратиграфических комплексов [Кемкин, Ханчук, 1992, 1993], представляющих собой залегающие на различных структурных уровнях геологические тела, которые формировались в юре в процессе субдвигивания океанической плиты.

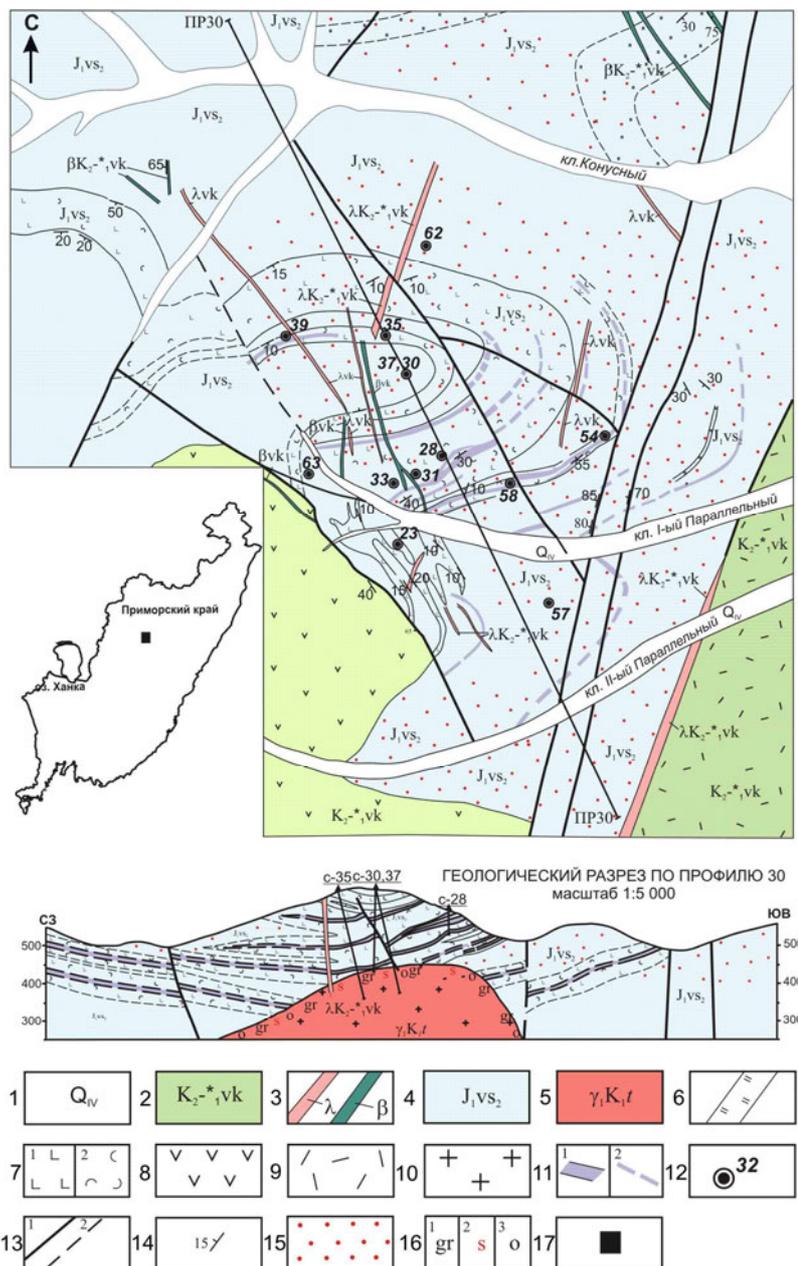


Рис. 1.1 Месторождение Кордонное геологопоисковая карта по [Найденко и др., 2007 ф] с дополнениями автора.

1 – современные аллювиальные отложения: галечники, гравийники, пески, суглинки; 2 – вулканический комплекс: риолиты, дациты, их туфы, туффиты, кластолавы дацитов; 3 – дайки кислого (λ) и средне-основного (β) состава; 4 – вулканогенно-сланцевая толща: филлиты, кварциты, мраморизованные известняки, вулканогенно-осадочные породы основного и среднего состава, базальты; 5 – татибинский комплекс: граниты среднезернистые биотитовые (только на разрезе); 6 – кремни, кремнистые сланцы, глинисто-кремнистые сланцы; 7 – лавы (1) и туфы (2) основного состава; 8 – андезиты, андезибазальты; 9 – лавы и туфы кислого состава; 10 – Граниты (только на разрезе), 11 – Пластовые скарноидные залежи по вулканитам основного состава установленные (1) и предполагаемые (2); 12 – скважины; 13 – разрывные нарушения установленные (1), предполагаемые (2); 14 – Элементы залегания пород, тектонических нарушений; 15 – ороговикование; 16 – вторичные изменения: грейзенизация (1), сульфидизация (2), окварцевание (3); 17 – район исследований (на врезке).

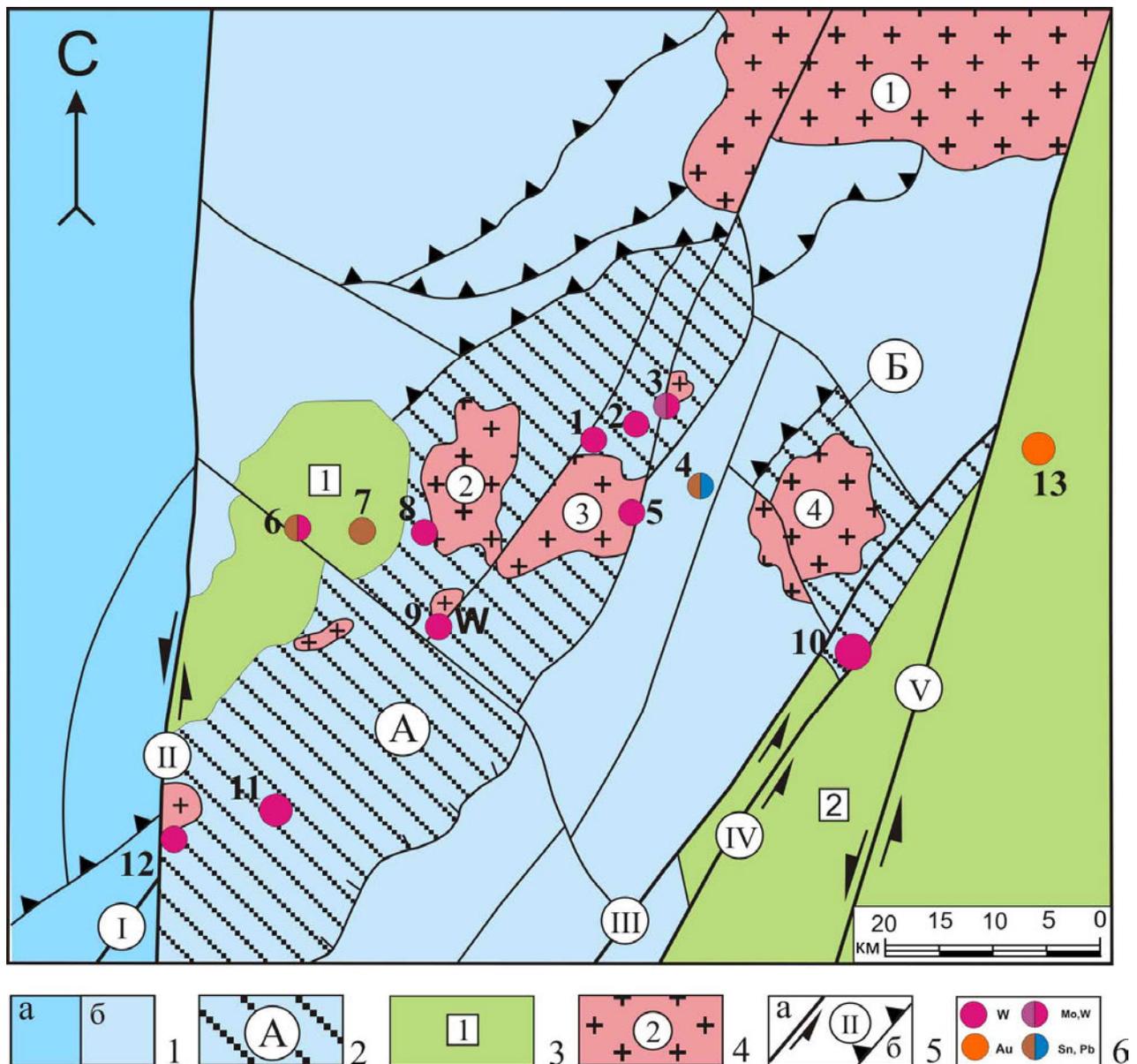


Рис. 1.2 Схема тектонического и металлогенического районирования Скрытого рудного узла по [Найденко и др., 2007 ф] с дополнениями автора.

1 – юрская система (Самаркинская металлогеническая зона): а – Ариадненская подзона, б – Самаркинская подзона; 2 – блоки юрских вулcano-терригенных пород, вмещающих вольфрамовое оруденение: А – Малиновский блок, Б – Ладошинский блок; 3 – поздний мел – палеогеновые вулcano-тектонические структуры: Заоблачная (Водораздельная) – 1, Тиссовая – 2 (номера в квадратах); 4 – гранитоиды татибинского комплекса: Горный – 1, Водораздельный – 2, Ореховский – 3, Ладошинский – 4 (номера в кружках); 5 – разрывные нарушения: а) – сдвиги, б) – надвиги, разломы (номера в кружках): Самаркинский – I, Меридиональный – II, Быстринский – III, Медвежинский – IV, Центральный Сихотэ-Алинский (зона ЦСР – восточная граница Скрытого рудного узла) – V; 6 – месторождения и рудопроявления (номера и типы минерализации): кл. Большой (W) – 1, кл. Тамирский (W) – 2, кл. Александра (W, Mo) – 3, кл. Левый Скальный (Sn, Pb) – 4, Эльдовакское (W) – 5, Черное (Sn, W) – 6, Бурное (Sn, W) – 7, кл. Широкого (W) – 8, Легкое (W) – 9, Кордонное (W) – 10, Скрытое (W) – 11, Рекетинское (W) – 12, Малиновское (Au) – 13.

Площадь Скрытого рудного узла сложена породными ассоциациями нижнего структурного уровня Самаркинского террейна, выделяемыми в Бреевский тектоно-стратиграфический комплекс [Кемкин, 2006]. Ранее [Геология СССР, 1969] эти образования входили в состав тудовакской и самаркинской свит.

В целом строение района исследований представляет собой пакет тектонических пластин, сложенных в различных сочетаниях породами кремнисто-терригенной последовательности и образованиями субдукционного меланжа.

Интенсивное меланжирование связано, по – видимому, с тем, что при формировании комплекса субдуцировались не только слоистые толщи, но и подводные горы (гайоты) и их карбонатные «шапки» [Ханчук и др., 1989]. Матрикс меланжа представлен алевролитами с отдельными горизонтами песчаников, туфоалевролитов и пепловых туффитов основного состава, в которых заключены глыбы и обломки базальтов, кремней, известняков [Кемкин 2006; Голозубов 2006].

Глава 2. Особенности генезиса и рудоносности гранитоидной ассоциации месторождения Кордонное и его ближайшего обрамления

Особое внимание в этой главе уделялось изучению гранитоидов, поскольку гранитоидный магматизм в моделях разных авторов рассматривается как обязательный (определяющий) фактор рудообразующей системы с вольфрамовой специализацией. На эталонных объектах региона вольфрамовую минерализацию связывают с гранитоидами татибинского комплекса, которые представлены двумя петрохимическими типами: S-тип – Лермонтовское (124 млн лет; хунгарийская серия высокоглиноземистых гранитоидов; Изох и др. 1967) и I-S тип – Восток-2 (110-95 млн лет; татибинская известково-щелочная серия; [«Геология СССР...», 1969; Говоров, Левашев, 1973; Назаренко, Бажанов, 1987; Хетчиков и др., 1996; Крымский и др. 1998; Сахно, 2001; Гоневчук, 2002; Гвоздев, 2010].

Возраст гранитов штока месторождения Кордонное определялся K-Ar методом по слюдам (табл. 2.1). Установлено, что возраст мусковита из гранитов с «объемной» мусковитизацией составляет 102.5 ± 2 млн лет, в то время как мусковиты из прожилков – 91 ± 2 млн лет.

Результаты K-Ar изотопного датирования подтверждены U-Pb датированием по циркону, выделенному из проб вольфрамоносных гранитов [Федосеев и др., 2014] (Рис. 2.1), а также невольфрамоносных гранитов [Vor-ming Jahn et al., 2015] (Рис. 2.2).

Сопоставив результаты изотопного датирования, можно сделать вывод, что в формировании рудно-магматической системы месторождения Кордонное принимали участие гранитоиды двух возрастных групп: 1 – $95-105 \pm 2$ млн лет; 2 – $85-90 \pm 2$ млн лет, которые в схемах геодинамической эволюции региона характеризуют разные геодинамические обстановки [Ханчук, Кемкин 2003].

Это убедительно иллюстрируют использованные классификационные диаграммы ANK/CNK по [Frost et. al., 2001], где точки гранитов разных групп образуют обособленные поля (рис. 2.3). В отличие от сильно пересыщенных глиноземом (S-типа) гранитов первой группы, граниты второй группы определяются как (I-тип) слабо пересыщенные глиноземом. Обе изученные группы гранитоидов по [Maniari, Piccoli, 1989] попадают в поле посторогенных гранитоидов (POG), но характеризуют разные геодинамические обстановки (рис. 2.4). Так, гранитоиды первой группы формировались в условиях островных (IAG), и континентальных (CAG) дуг и зон континентальной коллизии (CCG); гранитоиды второй группы – в условиях рифтообразования (RRG) и континентальных эпиорогенных поднятий (CEUG).

Изотопный возраст гранитов и грейзенов

| № | проба | Минерал | Калий, % ± σ | ⁴⁰ Ar/ад (нг/г) ± σ | Возраст, млн. лет ± 2 σ | Привязка |
|---|----------|----------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | 62-259.5 | Биотит | 6.55±0,07 | 48.42±0.18 | 103,5±2,0 | М-е. Кордонное. Скв. 62. 259 м Гранит слабо измененный. |
| 2 | 63-172.7 | Биотит | 7.13±0.08 | 51.47±0.17 | 101±2.0 | М-е. Кордонное. Скв. 63. 173 м Гранит изменённый. |
| 3 | 63-146 | Мусковит | 8.61±0,09 | 63.0±0,2 | 102.5±2.0 | М-е. Кордонное Скв. 63. 146 м. Грейзенизированный гранит |
| 4 | АГ-334 | Биотит | 6.73±0.07 | 41.16±0,13 | 86.1±1.9 | Устье кл. Ладوشина. 260 м к западу |
| 5 | ГВ-1774 | Биотит | 6.32±0.07 | 39.08±0.13 | 87±2.0 | Лев. борт кл. Ладوشина. 500 м к югу от устья |
| 6 | ГВ-1778 | Биотит | 6.98±0.07 | 42.93±0.14 | 86.6±1.8 | Пр. борт р. Малиновка (шток). |
| 7 | ГВ-1818 | Мусковит | 8.91±0.10 | 57.41±0.18 | 91±2.0 | Скв. 58. 166 м. Грейзен на выходе из рудного интервала. |
| 8 | ГВ-1891а | Биотит | 7.39±0.08 | 50.10±0.17 | 95±2.0 | Интрузив в зоне ЦСР (восточная граница). |

Примечания. К/Ar изотопный возраст определен в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН (г. Москва) В.А. Лебедевым.

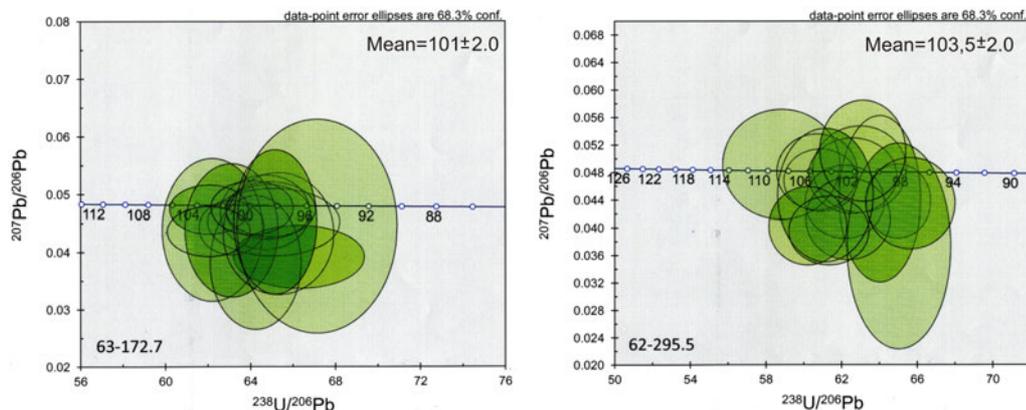


Рис. 2.1 Изотопный анализ цирконов из образцов гранитов 63-172.7, 62-259.5 [Федосеев и др.2014]

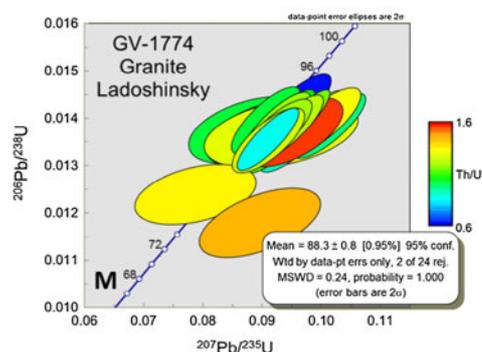


Рис. 2.2 Изотопный анализ цирконов из образцов гранитов ГВ-1774 [Bor-ming Jahn et al., 2015]

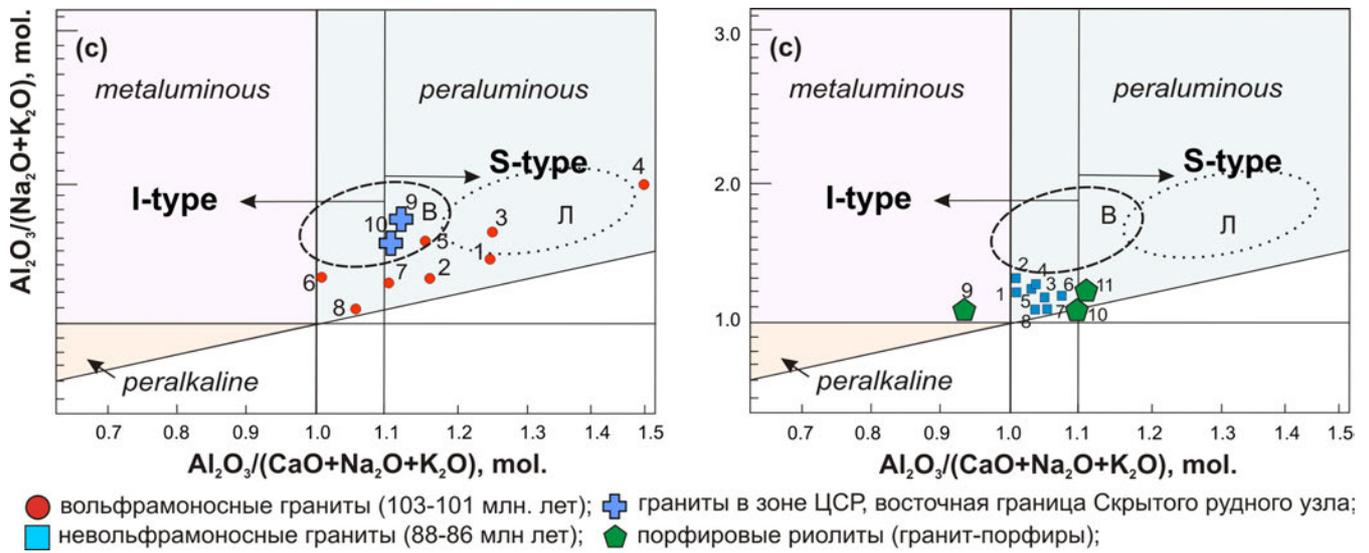


Рис. 2.3. Магматические породы месторождения Кордонное на классификационной диаграмме ANK/CNK [Frost et. al., 2001]. Metaluminous – малоглиноземистые, peraluminous – высокоглиноземистые, peralkaline – высокощелочные (аппаитовые). Поля вольфрамоносных гранитоидов: Восток-2 (В), Лермонтовское (Л) [Гвоздев, 2010].

При объяснении противоречивости геохимических характеристик необходимо иметь в виду, что это – один из признаков магматизма трансформных окраин [Ханчук А.И. 2003].

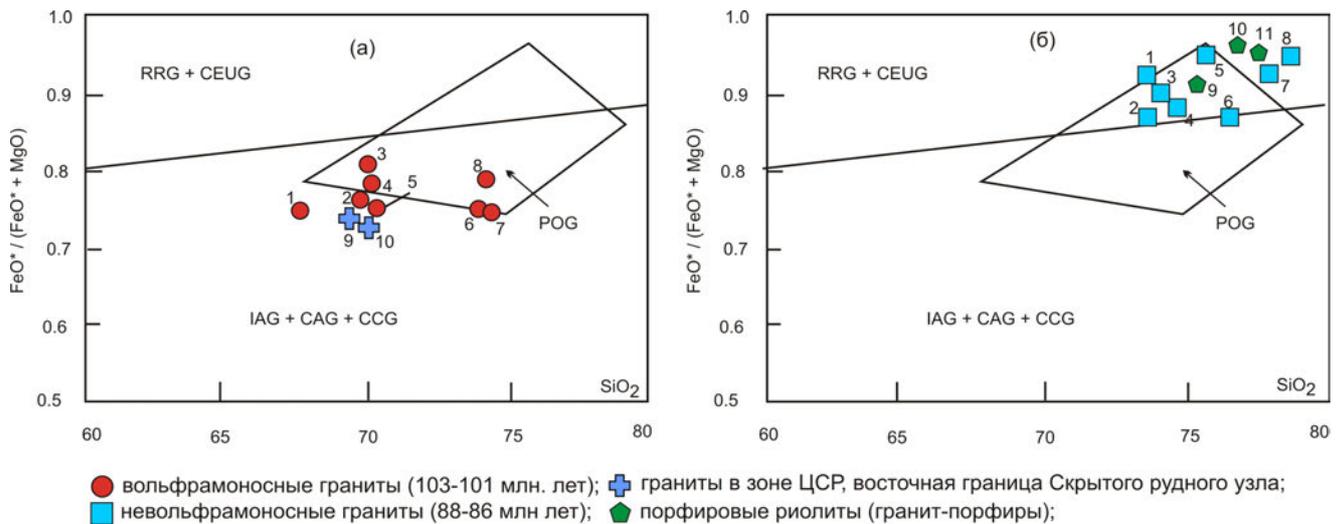


Рис. 2.4 Геодинамическая типизация гранитоидов месторождения Кордонное на диаграмме [по Maniar, Piccoli, 1989].

Примечание. На диаграмме выделены поля: IAG – гранитоиды островных дуг, CAG – гранитоиды континентальных дуг, CCG – гранитоиды обстановок континентальной коллизии, POG – посторогенные гранитоиды, RRG – гранитоиды связанные с рифтами, CEUG – гранитоиды континентальных эпиорогенных поднятий.

Физико-химические параметры кристаллизации гранитов и условия отделения рудообразующего флюида определялись по включениям минералообразующей среды в гранитах первой группы [Федосеев и др., 2014], с которыми, по мнению многих исследователей, связано вольфрамовое оруденение как на самом месторождении, так и в пределах Малиновской рудной площади. Предыстория магмы, сформировавшей интрузивные породы месторождения Кордонное, может быть восстановлена лишь частично, так как

доступными для исследований оказались расплавные включения в гранитах только первой группы.

В гранитах второй группы, представленных на площади рудного поля, расплавные включения не обнаружены, что может служить косвенным признаком невысокой флюидонасыщенности материнских расплавов (Рис 2.5).

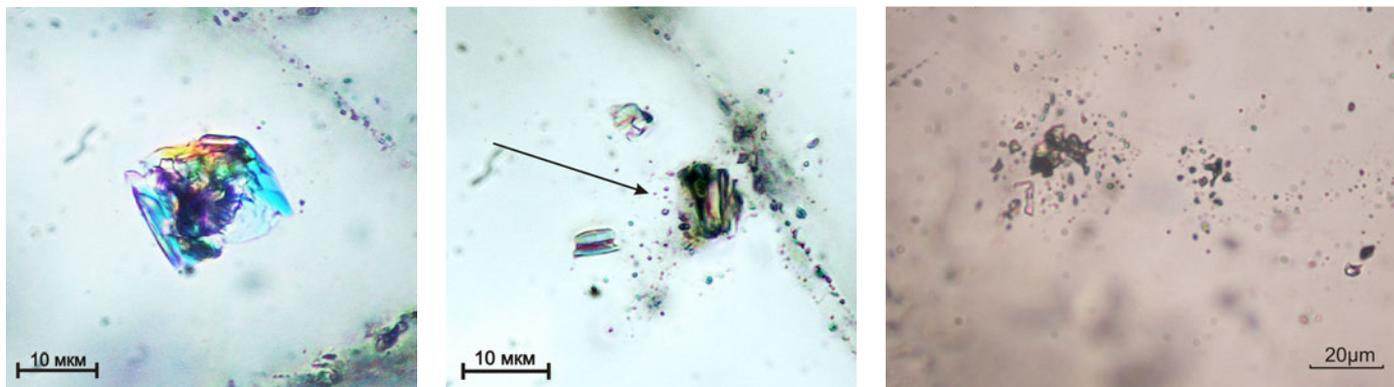


Рис 2.5. Включения в кварце гранитов первой (два первых фото) и второй (справа) групп.

Результаты, полученные автором по гранитоидному магматизму района и месторождения Кордонное, позволяют сделать следующие выводы:

В составе гранитоидов месторождения Кордонное присутствуют две группы, различающиеся по составу, генезису и металлогенической специализации.

Гранитоиды первой группы (101 ± 2.0 – 103.5 ± 2.0) следует рассматривать как производные раннемелового татибинского комплекса (Хунгарийская серия), формирование которого обусловлено деятельностью внутрикоровых магматических очагов, продуцирующих расплавы I-S типа при ограниченном участии глубинных (сквозьмагматических) флюидов. В схемах геодинамической эволюции Приморского региона эти породы соответствуют этапу, в котором доминировал режим скольжения литосферных плит [Ханчук, Кемкин 2003; Гвоздев, 2010; Grebennikov et. al., 2016; Крук и др., 2016].

Результаты исследования первичных расплавных включений в кварце гранитов первой группы свидетельствуют о высокой флюидонасыщенности магм, сравнительно низких температурах начала кристаллизации и участии продуктов магматической дистилляции в метасоматическом и гидротермальном процессах.

Гранитоиды второй группы (86.6 ± 1.8 – 88.3 ± 0.8) представляют ассоциацию пород Прибрежного (Сихотэ-Алинского) вулканогенного пояса, вероятнее всего – приморский вулcano-плутонический комплекс. В пользу такого вывода свидетельствуют не только выявленные особенности минерального и химического составов пород, но и присутствие вблизи месторождения обширного покрова андезитов. Металлогеническая специализация гранитоидов приморского комплекса определяется связью с ними месторождений и рудопроявлений Pb, Zn, Ag, отчетливо проявленной в пределах Сихотэ-Алинского вулканического пояса.

Глава 3. Гидротермально-метасоматическое образование скарнов и околоскарновых пород

Эта глава включает четыре раздела: минеральные типы вмещающих пород, минеральные ассоциации скарнов и околоскарновых пород, минеральные ассоциации руд, геохимические и термобарогеохимические параметры формирования метасоматических пород и руд.

В главе приводится характеристика рудовмещающих пород месторождения Кордонное. Рудная минерализация на месторождении представлена ассоциациями полевошпатовых метасоматитов, скарнов, грейзенов и гидротермальных шеелит-сульфидных руд (рис. 3.1). Особенностью месторождения является многоэтапность скарнового процесса. Среди минеральных ассоциаций скарнов и околоскарновых пород выделены два типа скарнов, которые характеризуются разной металлогенической специализацией: вольфрамовой и полиметаллической.

По минеральному составу среди скарнов вольфрамовой специализации выделены: пироксеновый (преобладает), гранат-пироксеновый и гранат-пироксен-волластонитовый, с ними ассоциируют пироксен-плагиоклазовый и амфибол-плагиоклазовый типы околоскарновых пород.

Среди полиметаллических скарнов выделяются пироксен-гранатовый и пироксеновый типы. Однако пироксен (табл. 3.1) и гранат из разных типов скарнов различаются по составу и представлены разными генерациями (рис. 3.2).

Грейзены на месторождении представлены мусковит-кварцевой ассоциацией. Различаются две группы: 1 – «площадные», грейзенизированные граниты первой группы и 2 – «локальные», околоскарновые метасоматиты, сопровождающие кварцевые жилы с шеелитом.

Полевошпатовые метасоматиты, апатит-шеелит-кварцевые и кварцевые прожилки с шеелитом отнесены к одной ассоциации для акцентирования внимания на процессе рудообразования на месторождении.

Сульфидные ассоциации преобладают в рудах месторождения. Среди них можно выделить: арсенопирит-кварцевую (мышьяковую), пирротин-халькопирит-кварцевую (медно-колчеданную), сфалерит-галенит-кварцевую (полиметаллическую) и пирит-карбонат-кварцевую (колчеданную). Во всех случаях совмещения сульфидных ассоциаций с шеелитом очевидно более позднее поступление растворов формирующих сульфидную минерализацию, так как зерна шеелита имеют оторочки сульфидов.

Анализ полученных результатов по исследованию минеральных ассоциаций руд, в совокупности с данными термобарогеохимических исследований, позволяет сделать следующие выводы о формировании метасоматических пород и руд.

Ранняя минерализация скарнов характеризуется высокими температурами и давлениями, участием растворов высокой солености и преобладанием в газовой фазе флюида метана.

Грейзены, которые образовались при участии магматического дистиллята гранитной интрузии, наследуют высокое давление, участие в составе флюида незначительной доли углекислоты и высокие концентрации растворов, формирующих шеелитовое оруденение (грейзеноподобные и кварцевые прожилки).

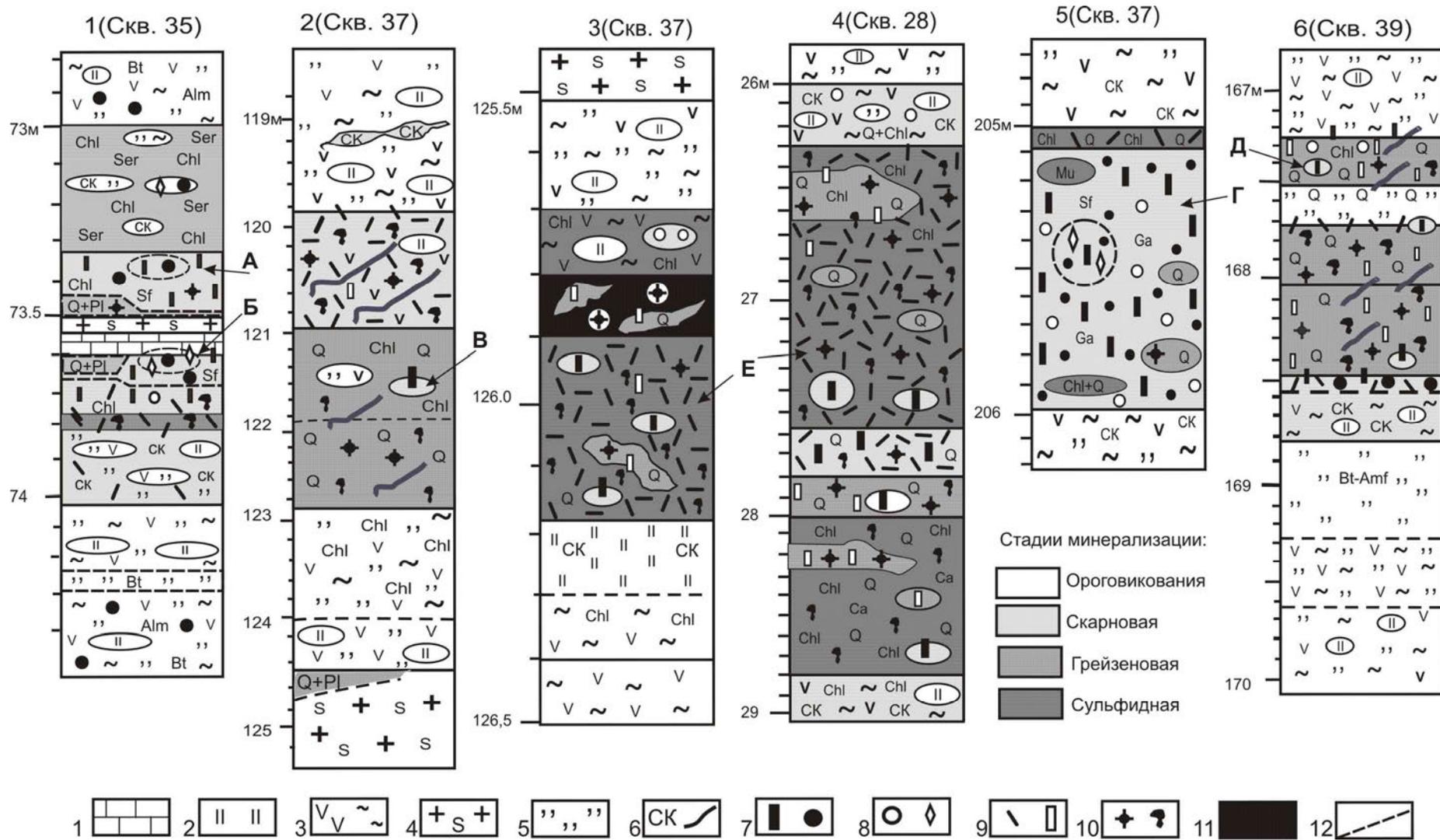


Рис. 3.1 Строение рудных тел по керну буровых скважин месторождения Кордонное [Гвоздев, Федосеев, 2013].

1 – мраморизованные известняки; 2 – кремнистые породы; 3 – вулканогенные и осадочные породы; 4 – грейзенизированные граниты; 5 – ороговикованные породы; 6 – скарнированные (СК) породы и сульфидно-кварцевые прожилки; 7 – пироксен, гранат; 8 – эпидот, везувиан; 9 – амфибол, апатит; 10 – шеелит, сульфиды (пирротин, халькопирит, пирит); 11 – сплошные сульфидные руды; 12 – фациальные границы. Здесь и далее приняты сокращения: Px – пироксен; Gr – гранат (Gros – гроссуля, And – андрадит, Alm – альмандин); Vez – везувиан; Ep – эпидот; Ap – апатит; Shl – шеелит; Q – кварц; Chl – хлорит; Mu – мусковит; Bt – биотит; Amf – амфибол; Ca – карбонат; Pl – полево шпат; Po – пирротин; Cr – халькопирит; Py – пирит; Ars – арсенопирит; Ga – галенит; Sf – сфалерит

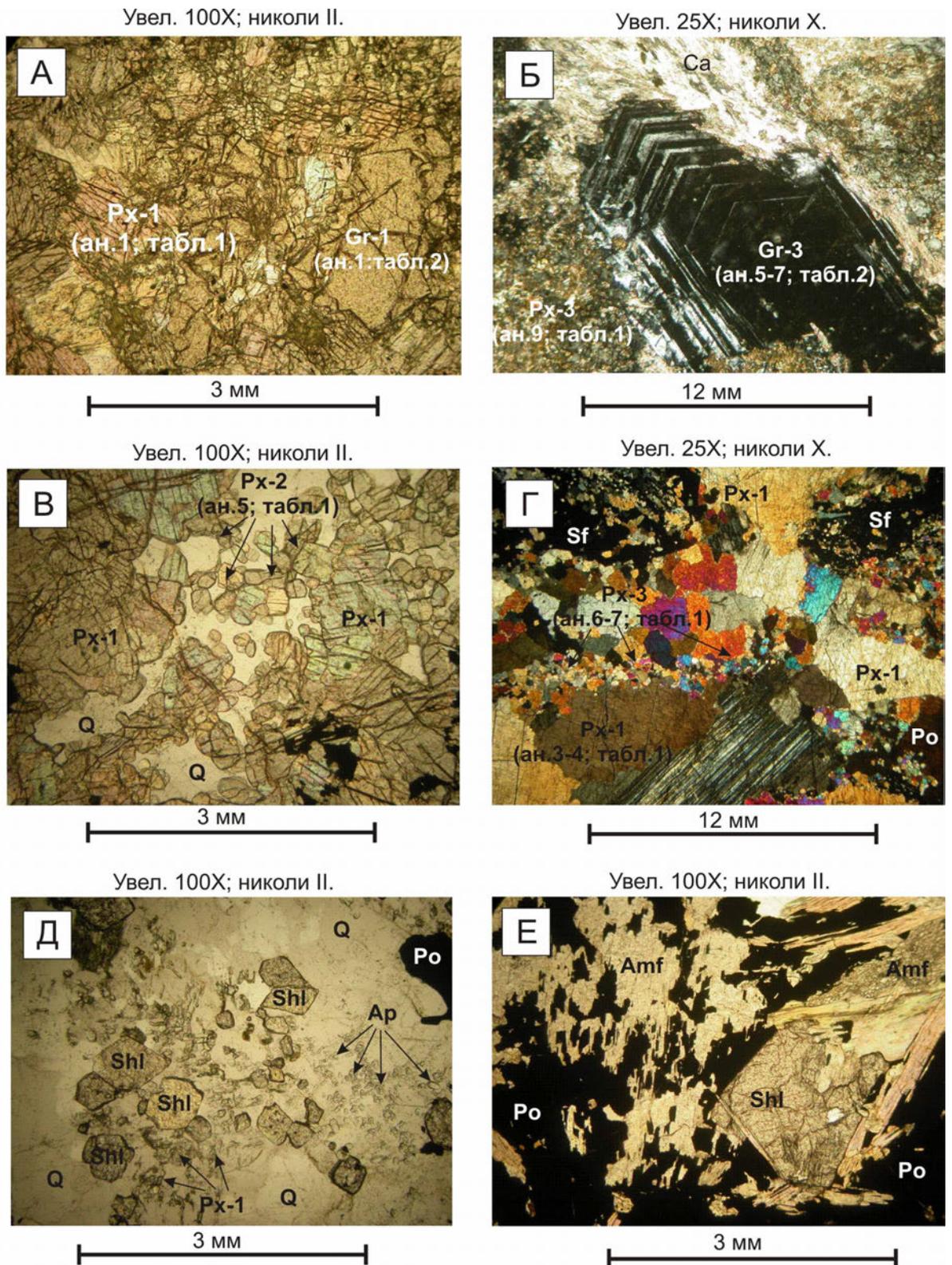


Рис. 3.2 Взаимоотношения минералов в скарнах месторождения Кордонное.

А – Гранат-пироксеновый скарн: аллотриоморфнометазернистая структура срастаний пироксена (Рх-1) с гранатом (Gr-1; гроссуря); **Б** – Гранат-пироксеновый скарн в контакте мраморизованных известняков: идиоморфные, порфировые, зональные метакристаллы андрадита (Gr-3) среди пироксена (Рх-3); **В** – Пироксеновый скарн: участок окварцевания с кристаллизацией мелких идиоморфных зерен пироксена второй генерации (Рх-2); **Г** – Пироксеновый скарн с полиметаллической минерализацией (сфалерит, галенит): аллотриоморфнометазернистое строение метасоматической зоны поздних пироксеновых скарнов; **Д** – шеелит-кварцевые руды с апатитом, наложенные на пироксеновые скарны (реликты пироксена-1 среди кварца); **Е** – шеелит-сульфидные руды с амфиболом (по пироксеновым скарнам): идиоморфное метазерно шеелита корродируется амфиболом (актинолитом), который в свою очередь замещается сульфидными минералами (пирротином и халькопиритом).

Таблица 3.1

Химический состав пироксенов месторождения Кордонное, вес. %

| № п.п. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| SiO ₂ | 51.17 | 51.92 | 48.52 | 49.67- | 51.75 | 47.37 | 48.65 | 46.86 | 49.13 |
| TiO ₂ | - | - | - | - | 0.04 | 0.03 | 0.01 | - | 0.05 |
| Al ₂ O ₃ | - | - | - | - | 0.32 | 0.15 | 0.21 | 0.38 | 0.09 |
| FeO+Fe ₂ O ₃ | 15.19 | 12.08 | 20.92 | 17.47 | 12.19 | 24.64 | 23.99 | 24.69 | 23.06 |
| MnO | 2.37 | 1.85 | 2.46 | 2.12 | 1.26 | 4.46 | 4.21 | 5.24 | 5.19 |
| MgO | 8.14 | 9.99 | 3.94 | 7.11 | 10.81 | 0.31 | 0.30 | - | 0.28 |
| CaO | 24.13 | 24.68 | 23.19 | 23.92 | 24.06 | 22.66 | 22.94 | 22.28 | 23.10 |
| Na ₂ O | - | - | - | - | 0.01 | 0.01 | - | - | 0.04 |
| K ₂ O | - | - | - | - | 0.01 | - | 0.04 | - | 0.04 |
| СУММА | 101.00 | 100.52 | 99.03 | 100.30 | 100.45 | 99.62 | 100.36 | 99.45 | 100.99 |

| Катионы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ca | 1.00 | 1.01 | 1.00 | 1.02 | 0.98 | 1.00 | 1.01 | 0.99 | 1.01 |
| Mg | 0.47 | 0.56 | 0.24 | 0.42 | 0.61 | 0.02 | 0.02 | - | 0.02 |
| Fe ⁺² | 0.49 | 0.39 | 0.71 | 0.53 | 0.39 | 0.85 | 0.82 | 0.85 | 0.79 |
| Mn | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.07 | - | 0.16 | 0.15 | 0.18 | 0.18 |
| Сумма | 2.03 | 2.02 | 2.04 | 2.04 | 2.02 | 2.03 | 2.00 | 2.02 | 2.00 |
| Si | 1.97 | 1.98 | 1.96 | 1.96 | 1.96 | 1.96 | 1.99 | 1.94 | 2.00 |
| Al ^{iv} | - | - | - | - | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | - |
| Сумма | 1.97 | 1.98 | 1.96 | 1.96 | 1.97 | 1.97 | 2.00 | 1.98 | 2.00 |
| fo | 51 | 41 | 75 | 56 | 39 | 98 | 98 | 100 | 98 |

| Миналы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|
| Jo | 6 | 5 | 9 | 7 | 3 | 16 | 15 | 17 | 18 |
| Gd | 48 | 39 | 59 | 52 | 38 | 83 | 83 | 79 | 80 |
| Di | 46 | 56 | 32 | 41 | 59 | 1 | 2 | - | 2 |
| Прочие | - | - | - | - | - | - | - | 4 | - |
| № обр. | 276-6-5 | 276-6-5 | 275-м-1 | 275-м-1 | 277-е | 275-м-6 | 275-м-7 | 275-м-2 | 276-6-4 |

Примечание. Анализы: 1, 3, 4 – Pх-1; 2, 5 – Pх-2; 6-9 – Pх-3, ранние пироксены (Pх-1, Pх-2), поздние пироксены (Pх-3).

Как полагают многие исследователи, высококонцентрированные растворы необходимы для образования шеелита [Wood, Samson, 2000]. Вероятно, значимую роль в переносе вольфрама также играли фосфатные комплексы [Manning, Henderson, 1984]. Высокосолевые водные флюиды могли возникнуть в процессе кристаллизации расплава, из которого формировались граниты первой группы и сопутствующее вольфрамовое оруденение.

После значительного падения давления (до 370-400 бар), поздние растворы гидротермального этапа характеризуются пониженной температурой (340-330 °С) с высоким содержанием углерода, с преобладанием метана.

Флюид, формирующий олово-полиметаллическое оруденение, скорее всего, представляет более глубокий магматический источник. Исследования

включений в кварце олово-сульфидных прожилков обнаруживают значительное содержание метана.

Как показано в работах многих исследователей, например [Смирнов, 2014; Konnerup-Madsen et al., 1985; Бакуменко и др., 1999; Liu, Fei, 2005] метан зафиксирован во включениях из базальтов мантийного происхождения, однако не является характерным флюидным компонентом гранитных магм.

Возможная причина обогащения метаном флюидной фазы – участие флюида мантийного происхождения, который фильтруется в зоне глубинного разлома и смешивается с водой, выделявшейся из гранитной магмы при ее кристаллизации. В пользу этого предположения свидетельствует локализация месторождения на сопряжении разноглубинных разломов, а также присутствие в рудном поле генетически самостоятельных гранитоидов, которые относятся к I-типу.

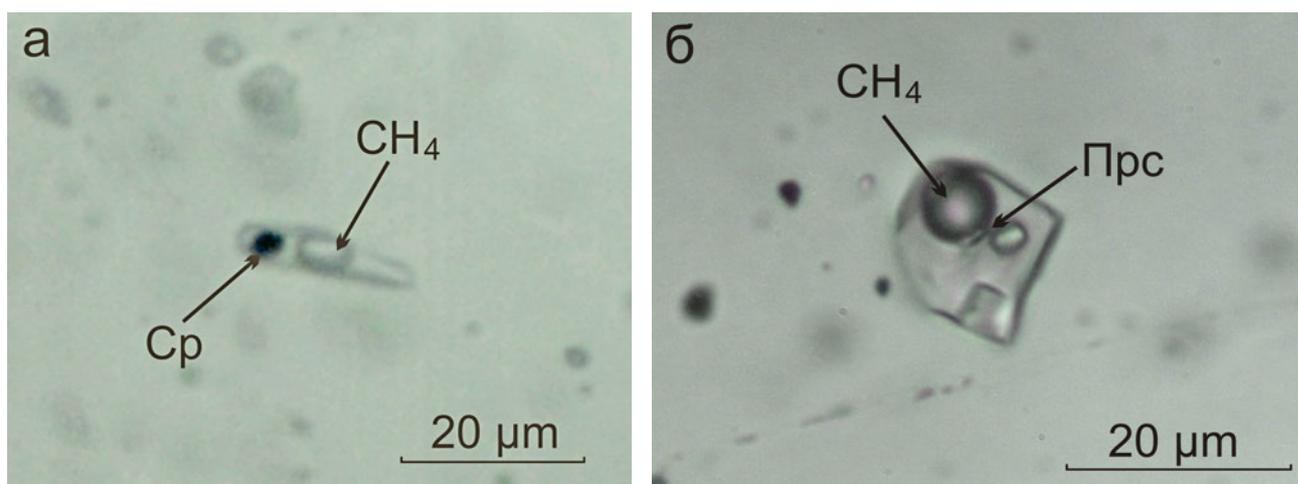


Рис. 3.4 Включения в кварце сульфидного прожилка

Примечание: халькопирит (Ср), пиросмалит (Прс), метан (CH₄);

Проведенные исследования позволяют сделать заключение о том, что условия образования вольфрамоносных скарнов, грейзенов и гидротермальных рудных прожилков с шеелитом свидетельствуют о генетическом родстве гранитов татибинского комплекса и вольфрамовых руд. Олово-полиметаллическая минерализация, проявленная позднее и наложенная на шеелит-полиметаллическую, имеет иные параметры образования и связана с проявлением гранитоидного магматизма второго этапа.

Глава 4. Минералого-геохимические аспекты рудной минерализации и генезис месторождения Кордонное

Эта глава состоит из трех разделов: породообразующие минералы, рудные и главные минералы. Охарактеризована минералогия области концентрирования и рудоотложения месторождения Кордонное: руд, пред- и пострудных метасоматитов. Рассмотрена минералогия сульфидных руд и выделены две ассоциации (Pb-Bi и Ag-Pb-Bi) сопутствующих элементов, соответственно, с вольфрамовой и оловянной минерализацией. Приведено подробное описание сульфидных и редких минералов, показаны их взаимоотношения и охарактеризованы типоморфные особенности.

На месторождении выявлено более 50 минералов и их разновидностей. Около 90% объема приходится на кварц, пироксены, амфиболы и пирротин (табл. 4.1).

Минералы метасоматических пород и руд месторождения Кордонное и степень их распространения

| | Главные | Второстепенные | Редкие |
|----------|---|--|--|
| Нерудные | Кварц Пироксены (диопсид-геденбергит) Амфибол (актинолит, тремолит) | Гранат (гроссуляр, андрадит) Мусковит (серицит) Хлорит (пеннин. Тюрингит, делессит) Полевые шпаты Биотит Эпидот (клиноцоизит) Сидерит Кальцит | Сфен Апатит Куммингтонит Гранат (альмандин) Тальк (?) Серпентин (?) Волластонит Везувиан Пренит Анкерит Стильпномелан |
| Рудные | Шеелит Пирротин | Пирит Халькопирит Сфалерит Арсенопирит Марказит Магнетит | Галенит Висмутин Икунолит Матильдит Самородный висмут Самородное золото Лиллианит-густавит Козалит Жозеит-В-А Кобальтин Герсдорфит Станнин Касситерит Молибденит Гематит |

Основные минералы метасоматических пород и руд месторождения Кордонное: кварц, пироксены, амфиболы, гранаты, хлориты, карбонаты; меньшим распространением пользуются слюды, карбонаты, апатит, везувиан, эпидот, сфен и др. Особое внимание в работе уделено изучению пироксенов и гранатов, типоморфные особенности которых позволяют сравнивать генезис метасоматических пород месторождения Кордонное с породами эталонных объектов (Восток-2 и Лермонтовское). Описание минералов приведено в порядке их распространенности на месторождении.

Главный рудный минерал – шеелит. Его концентрации в рудах незначительны и в среднем (по рудным телам) не превышают 0.5% WO_3 . Среди сульфидных минералов преобладают пирротин и пирит; подчиненное распространение имеют халькопирит, арсенопирит, сфалерит и галенит; редко встречаются касситерит, станнин, молибденит и др. Минералы группы свинцово-висмутовых сульфосолей, сульфиды и сульфотеллуриды висмута, самородные висмут и золото, минералы кобальта, установлены на месторождении впервые.

Ассоциация Pb-Bi сульфосолей на месторождении пространственно тяготеет к участкам окварцованных сульфидных (халькопирит-пирротинных по пироксеновым скарнам) руд с кварцевыми и кварц-полевошпатовыми прожилками. В составе таких руд, кроме пирротина и халькопирита, часто

присутствует арсенопирит, редко – сфалерит и галенит. В химическом составе халькопирита и арсенопирита значимого количества примесей не установлено; в сфалеритах – 5.36-7.66 мас. % Fe и 0.76-1.28 мас.% Cd; в галенитах – до 6.20 мас.% Bi и до 0.95 мас.% Ag. Висмутовые минералы образуют тесные сростания с халькопиритом, арсенопиритом (по границам метазерен) и пирротинном (периферия метазерен) или вкрапленники изометричной формы (до 0.1 мм в поперечнике) среди кварца. Из висмутовых минералов присутствуют гунгаррит, виттит, лиллианит, висмутин, самородный висмут, сульфотеллуриды висмута; самородное золото, галенит (рис 4.1).

Менее распространена, по сравнению с предыдущей, ассоциация Ag-Pb-Bi сульфосолей. Она наблюдается в окварцованных участках дисульфидизированных халькопирит-пирротинных руд. В этих рудах, кроме пирита и марказита, присутствуют герсдорфит, кобальтин, халькопирит, сфалерит, галенит, станнин, касситерит и др. Здесь арсенопирит (ранний; содержит микровкрапленники пирротина и халькопирита) интенсивно катаклазирован (трещины выполнены кварцем, иногда с касситеритом и висмутовыми минералами); пирротин вокруг вкрапленников сфалерита и касситерита - полностью замещен криптокристаллическим агрегатом пирита с марказитом, халькопирит обычно не изменен, замещается кобальтином, а по границам его метазерен наблюдается тонкая (менее 0.01 мм) вкрапленность галенита и висмутовых минералов. Интересно отметить, что здесь сфалериты содержат эмульсионную вкрапленность станина, являются более высокожелезистыми (до 11.16 мас.% Fe) и содержат устойчивую примесь марганца до 0.95 мас.%. Висмутовые минералы в этой ассоциации представлены викингитом, ширмеритом, берриитом-? (густавитовый ряд), сульфотеллуридами висмута, самородным висмутом, висмутином; икунолитом, матильдитом и самородным золотом (рис. 4.2; табл. 4.2).

Отличительной особенностью месторождения Кордонное является то, что в скарнах с полиметаллическими рудами присутствует оловянная минерализация (касситерит, станнин), которая сопровождается специфическим набором минералов-попутчиков (ширмерит, викингит, трежерит и др.). Учитывая геолого-структурное положение района и месторождения Кордонное, выделение в его рудах двух групп продуктивной (вольфрам и олово) и сопутствующей (соответственно Pb-Bi и Ag-Pb-Bi) минерализации вполне уместно и подтверждается как минеральным составом руд, так и типоморфными особенностями минералов.

Таким образом, руды месторождения Кордонное подразделяются на вольфрамовые (минеральная ассоциация - шеелит-сульфидная) и оловянные (касситерит-сфалерит-галенитовая минеральная ассоциация).

Сопутствующая минерализация вольфрамовых руд месторождения Кордонное представлена широким спектром высокотемпературных свинцово-висмутовых сульфосолей (виттит, гунгарит, лиллианит), Pb-содержащими сульфотеллуридами. Причем, значимого количества примеси сурьмы в висмутовых минералах и Sb-содержащих минералов (типа кобеллита) не установлено.

Сопутствующая минерализация оловянных руд месторождения Кордонное представлена более низкотемпературными сульфосолями сложного Ag-Pb-Bi состава, Pb-содержащими (до 14.98 мас. % Pb) сульфотеллуридами, матильдитом, и др.

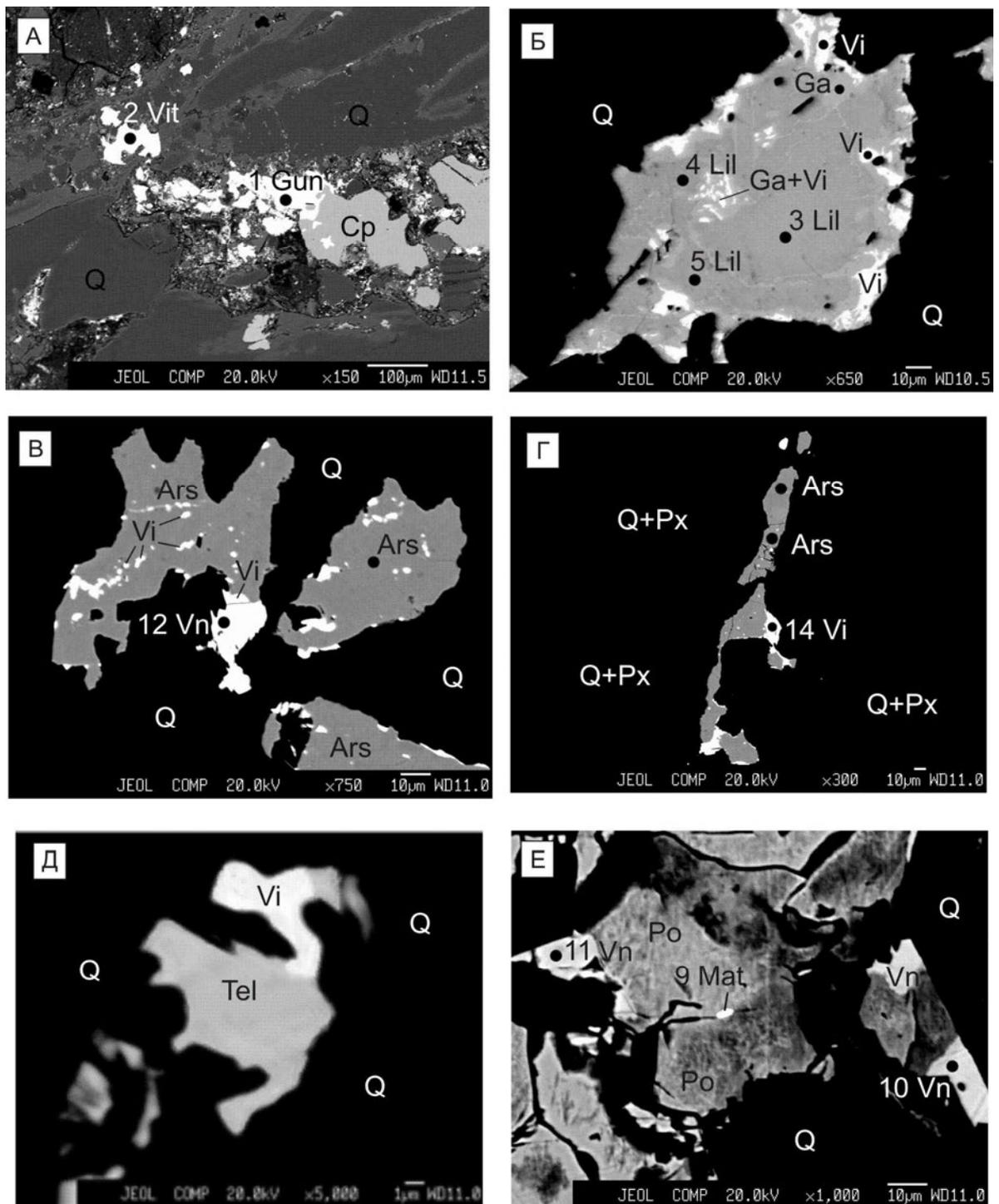


Рис. 4.1 Взаимоотношения редких минералов в рудах W-P группы в отраженных электронах.

А – Срастания гунгаррита (Gun) и виттита (Vit) с халькопиритом (Cp);

Б – Среди кварца (Q) изометричные вкрапленники лиллианита (Lil), который в центральной части вкрапленника распадается на самородный висмут и галенит (Ga+Vi; субграфическая структура) или замещаются по периферии галенитом (Ga) и самородным висмутом (Vi);

В – Самородный висмут (Vi) и висмутин (Vn) развиваются по периферии вкрапленников арсенопирита (Ars) и границам его зерен (зальбанда кварцевой жилы с шеелитом);

Г – То же самое в окварцованном пироксеновом скарне (Q+Px);

Д – Характерные срастания сульфотеллурида висмута (Tel) с самородным висмутом (Vi) в арсенопирите (Ars);

Е – Висмутин (Vn) совместно с пирротинном (Po) выполняют интерстиции зерен кварца (Q); в микротрещинах с поздним кварцем и карбонатом встречается матильдит (Mat).

Примечание: точки с цифрами – номера анализов в таблице 4.2

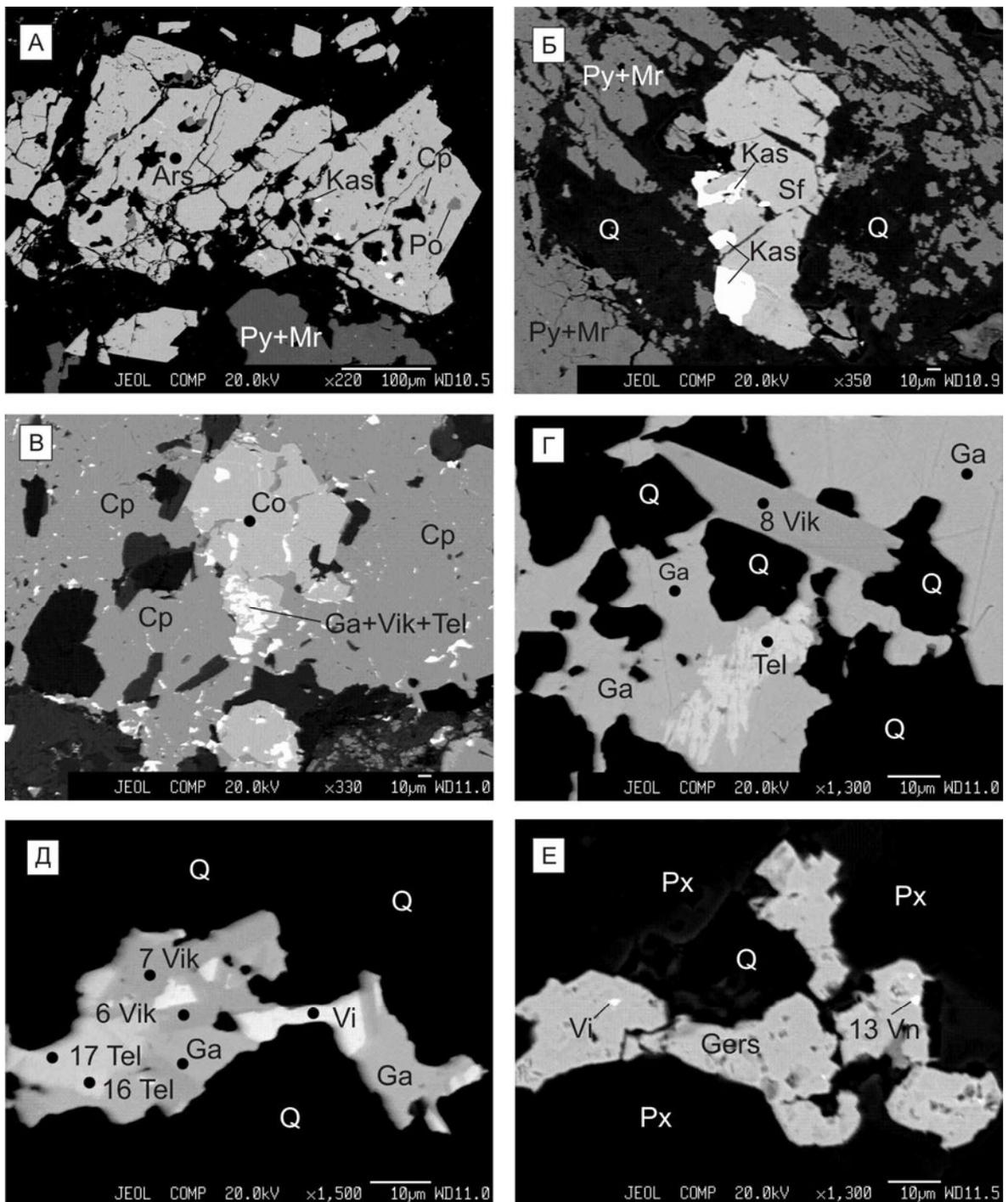


Рис. 4.2 Взаимоотношения редких минералов в рудах Sn-B группы.

А – Раздробленные метакристаллы раннего арсенопирита (Ars) с вкрапленностью пирротина (Po) и халькопирита (Cp); трещины сцементированы кварцем (Q), в которых встречаются зерна касситерита (Kas), самородного висмута и Ag-Pb-Bi сульфосолей (мелкие зерна белого цвета); пирротин замещается криптокристаллическим агрегатом пирита (Py) и марказита (Mr);

Б – Метавкрапленник сфалерита (Sf) с эмульсионной вкрапленностью станина и зернами касситерита (Kas) по его периферии; пирротин замещен криптокристаллическим агрегатом пирита (Py) и марказита (Mr);

В - Метавкрапленник кобальтина (Co) замещает халькопирит (Cp) и в свою очередь замещается агрегатом галенита (Ga), викингита (Vik) и сульфотеллуридов висмута (Tel);

Г – То же самое, увеличенный фрагмент: срастания галенита с викингитом и сульфотеллуридом висмута (Tel);

Д – Реликты викингита (Vik) среди агрегата галенита (Ga), самородного висмута (Vi) и сульфотеллуридов висмута (Tel) – окварцованный участок руд;

Е – Метазерна герсдорфита (Gers) с микровкрапленностью висмутита (Vn) и самородного висмута (Vi) в «позднем» пироксеновом (Px) скарне с полиметаллической минерализацией.

Примечание: точки с цифрами – номера анализов в таблице 4.2.

Состав висмутовых минералов месторождения Кордонное, мас. %.

| Эл-т | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|-------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Pb | 54.7 | 31.33 | 39.56 | 35.1 | 34.39 | 28.66 | 28.5 | 31.34 | 13.84 | - | - | - | - | - | - | 5.1 | 5 |
| Ag | 1.64 | 2.13 | 4.08 | 6.29 | 5.85 | 9.67 | 9.85 | 8.89 | 21.95 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Bi | 27.8 | 50.64 | 43.71 | 45.5 | 44.3 | 44.7 | 46.08 | 44 | 52.02 | 78.7 | 79.89 | 77.97 | 80.36 | 96.15 | 65.78 | 74.75 | 75.06 |
| Fe | - | - | - | - | - | 1.27 | - | - | - | 2.58 | 1.09 | 1.19 | 0.47 | 2.4 | 1.84 | - | - |
| Te | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 26.3 | 14.57 | 14.65 |
| Se | - | - | - | - | - | 1 | - | 0.69 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S | 14.09 | 14.51 | 13.72 | 13.72 | 13.78 | 14.18 | 13.92 | 14.02 | 14.15 | 17.9 | 18 | 17.13 | 18.08 | - | 5.05 | 3.64 | 5.58 |
| Сумма | 98.23 | 98.57 | 101.07 | 100.61 | 98.32 | 99.48 | 98.35 | 98.94 | 101.96 | 99.18 | 98.98 | 99.53 | 98.91 | 98.55 | 98.97 | 98.06 | 100.29 |
| Формульные коэффициенты | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Эл-т | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Pb | 3.4 | 1.92 | 2.43 | 2.13 | 2.12 | 1.65 | 1.71 | 1.87 | 0.28 | - | - | - | - | - | - | 0.26 | 0.35 |
| Ag | 0.2 | 0.25 | 0.48 | 0.73 | 0.69 | 1.07 | 1.13 | 1.02 | 0.85 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Bi | 1.72 | 3.07 | 2.65 | 2.75 | 2.7 | 2.56 | 2.74 | 2.6 | 1.03 | 1.92 | 1.98 | 2.01 | 2.01 | 0.91 | 1.77 | 2.06 | 1.65 |
| Fe | - | - | - | - | - | 0.28 | - | - | - | 0.23 | 0.1 | 0.11 | 0.03 | 0.09 | 0.19 | - | - |
| Сумма Me | 5.32 | 5.24 | 5.56 | 5.61 | 5.51 | 5.56 | 5.58 | 5.49 | 2.16 | 2.15 | 2.08 | 2.12 | 2.04 | 1 | 1.96 | 2.32 | 2 |
| Te | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.16 | 0.93 | 1.01 |
| Se | - | - | - | - | - | 0.15 | - | 0.11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S | 5.68 | 5.76 | 5.44 | 5.39 | 5.49 | 5.29 | 5.42 | 5.4 | 1.84 | 2.85 | 2.92 | 2.88 | 2.96 | - | 0.88 | 0.75 | 0.99 |
| Сумма S | 5.68 | 5.76 | 5.44 | 5.39 | 5.49 | 5.44 | 5.42 | 5.51 | 1.84 | 2.85 | 2.92 | 2.88 | 2.96 | - | 2.04 | 1.68 | 2 |
| Нхим | 6.14 | 3.08 | 4 | 4.56 | 4.41 | 5.9 | 5.9 | 6.14 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 4 | 4 | 4 |
| % Gus | 12.3 | - | 38.5 | 63.6 | 52.9 | 71.4 | 70.3 | 60.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Примечание: 1 – гунгариит; 2 – виттит; 3-5 – лиллианит-густавит; 6-8 – ширмерит (викингит); 9 – Pb-матильдит; 10-13 – висмутин; 14-15 – самородный висмут; 16-17 – сульфотеллуриды висмута группы жозеитов.

Обращает на себя внимание тот факт, что сфалерит из этих руд более высокожелезистый (до 11.16 мас. % Fe) по сравнению со сфалеритом из вольфрамовых руд и постоянно содержит примесь марганца.

В целом, оба геохимических типа сопутствующей минерализации носят относительно высокотемпературный характер, на что указывает присутствие в них серебро- и висмутсодержащего галенита (250°C – твердый раствор галенита и кубической модификации β -матильдита; [Ненашева, 1975]), а так же самородного висмута, который кристаллизуется последним при температуре 270°C [Колонин, 1971].

На основании вышеизложенного формулируются три основных защищаемых положения:

1. В геологическом строении рудного поля месторождения Кордонное участвуют две группы гранитоидов, принадлежащие раннемеловому (103-101 млн лет), и позднемеловому (88-86 млн лет) магматическим комплексам. Генетическая самостоятельность выделяемых групп подтверждается различиями их локализации и петролого-геохимическими характеристиками. Первые относятся к I и S-, вторые – к I-типу.

2. На месторождении Кордонное пространственно совмещены скарны разного минерального состава и металлогенической специализации. Ранние вольфрамоносные скарны из высокотемпературных пироксеновых, гранат-пироксеновых и гранат-пироксен-волластонитовых минеральных ассоциаций сопряжены с шеелит-халькопирит-пирротинным оруденением. С поздними пироксен-андрадитовыми скарнами ассоциирует полиметаллическая (касситерит-сфалерит-галенитовая) минерализация.

3. Минералого-геохимические особенности рудной минерализации месторождения Кордонное определяются пространственным совмещением двух типов руд: ранних – шеелит-сульфидных и поздних – олово-полиметаллических (с турмалином). Каждый из типов сопровождается Au-Bi минерализацией, различающейся по элементному составу сульфосолей. Для вольфрамовых руд характерны простые свинцово-висмутовые сульфосоли, для олово-полиметаллических – сульфосоли сложного Ag-Pb-Bi состава.

Заключение

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы:

1. В геологическом строении рудного поля месторождения Кордонное установлено участие двух типов гранитов. По совокупности признаков – возрасту, геологической позиции района, минералого-петрохимическим особенностям магматических комплексов и их металлогенической специализации, месторождение Кордонное можно рассматривать как сложную рудно-магматическую систему (РМС), эволюция которой происходила в условиях чередования трансформной (скольжения литосферных плит) и субдукционной обстановок.

2. Скарны месторождения представлены двумя типами, которые ассоциируют с разными магматическими комплексами и каждый из которых характеризуется собственной металлогенической специализацией. Первый тип скарнов представлен гроссуляр-пироксеновой с везувианом и волластонитом минеральной ассоциацией и сопряженным шеелит-халькопирит-пирротинным оруденением. Скарны второго типа – пироксен-андрадитовые, с ними связана

полиметаллическая (олово-сфалерит-галенитовая) минерализация. В количественном отношении на месторождении преобладают скарны первого типа. Для «вольфрамоносных» характерны восстановительные условия, на что указывает присутствие в ассоциации гроссуляра и пирротина, для «полиметаллических» – окислительные (присутствие в скарнах андрадита и пирита).

3. Грейзены на месторождении представлены двумя минеральными ассоциациями: мусковит-кварцевой и шеелит-апатит-кварцевой. Судя по результатам исследования включений в кварце, грейзены образовались при участии магматического дистиллята гранитной интрузии. В составе флюида, формирующего шеелит-апатит-кварцевую ассоциацию, отмечены высокие концентрации растворов, участие в газовой фазе углекислоты и метана. Вероятно, значимую роль в переносе вольфрама также играли вскипание флюида и фосфатные комплексы (апатит).

4. В пределах месторождения Кордонное проявлено два типа минерализации: шеелит-сульфидный и олово-полиметаллический. Сочетание вольфрамовых (шеелит) и сульфидных (пирротин, халькопирит) минералов является особенностью минерализации месторождения и определяет его специализацию. Взаимоотношения рудных зон и прожилков на месторождении не всегда однозначны, однако можно утверждать, что во всех наблюдаемых случаях скарновые и грейзеновые зоны, содержащие шеелит, пересекаются более поздними сульфидными прожилками, что отражает одновременные эпизоды минерализации.

5. Учитывая геолого-структурное положение района и наблюдаемые взаимоотношения рудных минералов, выделяется вольфрамовая (с пирротинном) и слабо проявленная олово-полиметаллическая типы минерализации, что подтверждает минеральный состав руд и типоморфные особенности сопутствующих минералов.

Сопутствующая минерализация вольфрамовых руд месторождения Кордонное представлена широким спектром высокотемпературных свинцово-висмутовых сульфосолей (витит, гунгарит, лиллианит), Pb-содержащими сульфотеллуридами.

Сопутствующая минерализация олово-полиметаллических руд представлена более низкотемпературными сульфосолями сложного Ag-Pb-Bi состава, Pb-содержащими (до 14.98 мас. % Pb) сульфотеллуридами, матильдитом.

6. Сопоставление термобарогеохимических характеристик гидротермальных растворов и флюидов, сопровождающих формирование гранитов татибинского комплекса, показало присутствие признаков, указывающих на возможность признания генетической связи вольфрамового оруденения с гранитами татибинского комплекса.

7. На основании анализа результатов комплексных исследований предложена обобщенная модель рудно-магматической системы Скрытого рудного узла и входящего в его состав месторождения Кордонное (рис. 5.1).

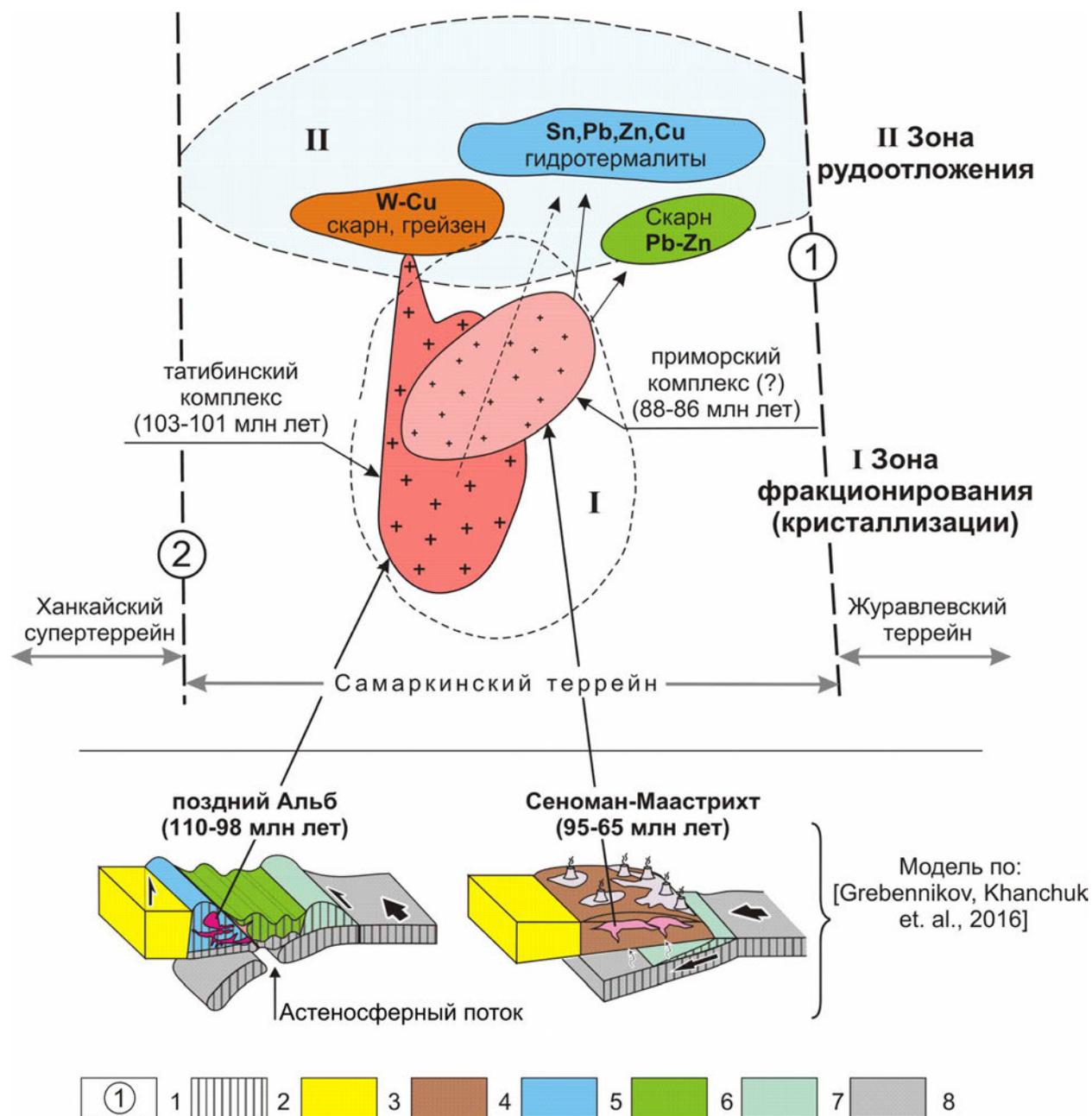


Рис. 5.1 Генетическая модель РМС Скрытого рудного узла и месторождения Кордонное.
 1 – зоны разломов: 1) Центральный Сихотэ-Алинский разлом, 2) Меридиональный разлом; 2 – океаническая литосфера 3 – раннемеловая континентальная литосфера, 4 – раннемеловая островодужная система, 5 – раннемеловой турбидитовый бассейн, 6 – юрская аккреционная призма, 7 – раннепалеозойская континентальная литосфера, 8 – Палео-Тихоокеанская плита.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах

1. Гвоздев В.И., **Федосеев Д.Г.** Скарны вольфрамового месторождения Кордонное (Приморский край) // Тихоокеанская геология, 2013, Том 32, № 2. С. 100-111.
2. Гвоздев В.И., **Федосеев Д.Г.**, Гуриков А.В., Садкин С.И., Семеняк Б.И., Раткин В.В. Минералогия сопутствующих элементов руд скарнового шеелит-сульфидного месторождения Кордонного (Приморский край) // Тихоокеанская геология, 2014, Том 33, № 3. С. 52-65.
3. **Федосеев Д.Г.**, Пахомова В.А., Гвоздев В.И., Зарубина Н.В., Буравлева С.Ю., Тишкина В.Б. Критерии связи скарнового шеелит-сульфидного месторождения Кордонное с разновозрастным магматизмом // Геология рудных месторождений, 2014, Том 56, №6. С. 486-496
4. Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н., Вах А.С., Горячев Н.А., Степанов В.А., **Федосеев Д.Г.** Малиновское месторождение – новый тип золоторудной минерализации в Приморском крае, Россия (геология, минералогия, генезис) // Тихоокеанская геология, 2016, Том 35, № 1. С. 37-53.
5. **Федосеев Д.Г.** Геология и генезис разнометалльного оруденения в процессе формирования шеелит-сульфидного месторождения Кордонное (Дальний Восток России) // Вестник ДВО, 2017, № 4. С.114-119.

Основные тезисы докладов на российских конференциях

1. Гвоздев В.И., **Федосеев Д.Г.** Эволюция вольфрамоносных рудно-магматических систем на примере Малиновского рудного узла (Приморский край) // Всероссийская конференция с международным участием. Владивосток, Дальнаука, 2011. С. 340-343.
2. **Федосеев Д.Г.**, Гвоздев В.И. Минеральные ассоциации скарнов и руд вольфрамового месторождения Кордонное (Приморский край) // Молодежная научная конференция, посвященная памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца. Апатиты, КНЦ РАН. 2011, С. 141-143.
3. **Федосеев Д.Г.**, Пахомова В.А., Гвоздев В.И., Степнова Ю.А. Физико-химические условия формирования минеральных ассоциаций месторождения Кордонное // IV Региональной конференции молодых ученых «Современные проблемы геологии, геохимии и экологии дальнего востока России» Дальнаука, 2012. С. 122-124.
4. **Федосеев Д.Г.**, Пахомова В.А., Гвоздев В.И. Флюидные включения в минералах рудных ассоциаций месторождения Кордонное // XV Всероссийская конференция по термобарогеохимии ИГЕМ РАН, Москва, 2012. С. 86-87.
5. **Федосеев Д.Г.**, Пахомова В.А., Гвоздев В.И., Степнова Ю.А. Метасоматические породы и руды шеелит-сульфидного месторождения Кордонное (Дальний Восток, Россия) // II научная молодежная школа-конференция «Новое в познании процессов рудообразования» ИГЕМ РАН, Москва, 2012. С. 193-195.
6. **Федосеев Д.Г.**, Гвоздев В.И., Остапенко Д.С., Зарубина Н.В., Степанов О.В., Тишкина В.Б., Буравлева С.Ю. Редкоземельные элементы в магматических породах и рудах скарнового шеелит-сульфидного месторождения Кордонное (Приморский край) // III научная молодежная школа-конференция «Новое в познании процессов рудообразования», ИГЕМ РАН, Москва, 2013. С. 66-69.

7. **Федосеев Д.Г.**, Пахомова В.А., Гвоздев В.И., Степнова Ю.А. Геодинамический аспект эволюции РМС месторождения Кордонное по данным минералогии и геохимии // Конференция молодых ученых «Современные проблемы геохимии», ИГХ СО РАН, Иркутск, 2013. С. 71-73.

8. **Федосеев Д.Г.**, Пахомова В.А., Гвоздев В.И., Тишкина В.Б., Буравлева С.Ю., Степанов О.В. Изучение расплавных и флюидных включений в гранитах и рудных прожилках для решения генетических вопросов // XVI Всероссийская конференция по термобарогеохимии, ИГХ СО РАН, Иркутск, 2014. С. 124-125.