



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. Найденко [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) простираения, 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.

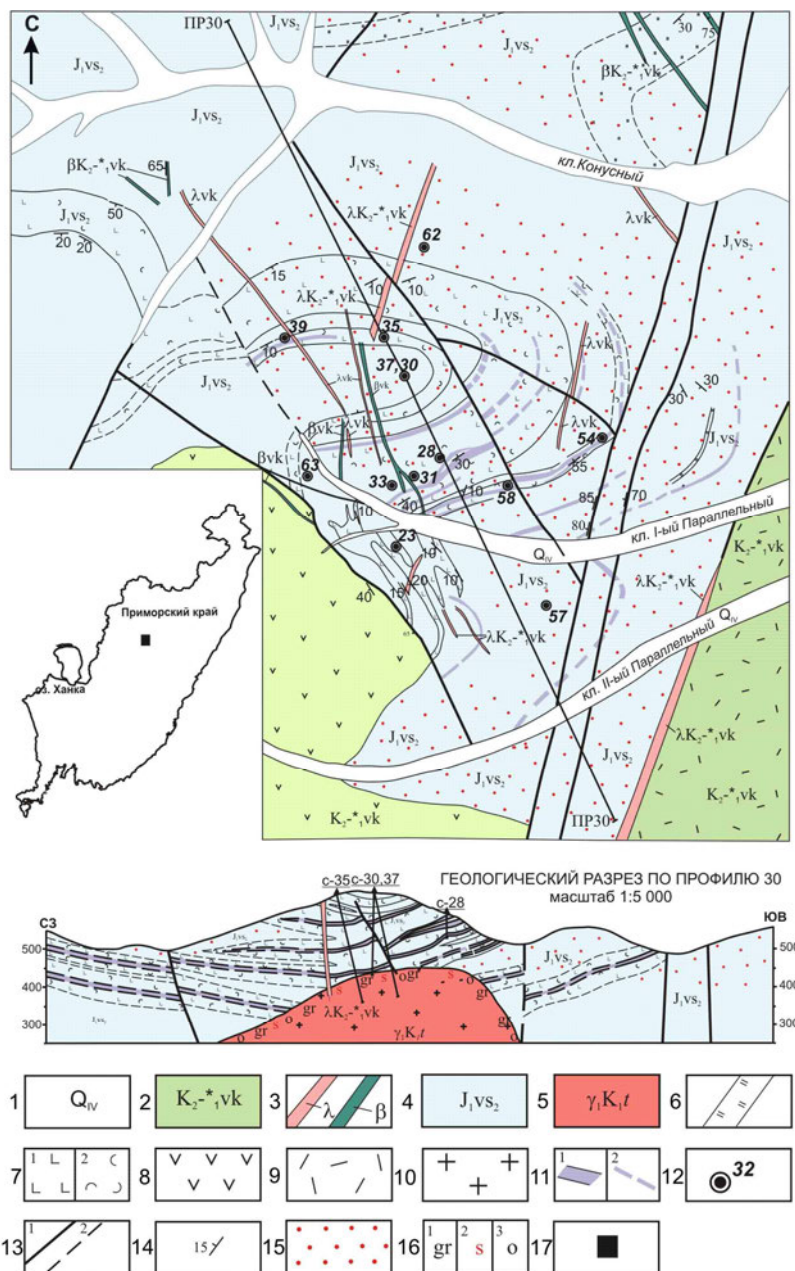


Рис. 1.1 Месторождение Кордонное геологопоисковая карта по [Найденко и др., 2007 ф] с дополнениями автора.

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).

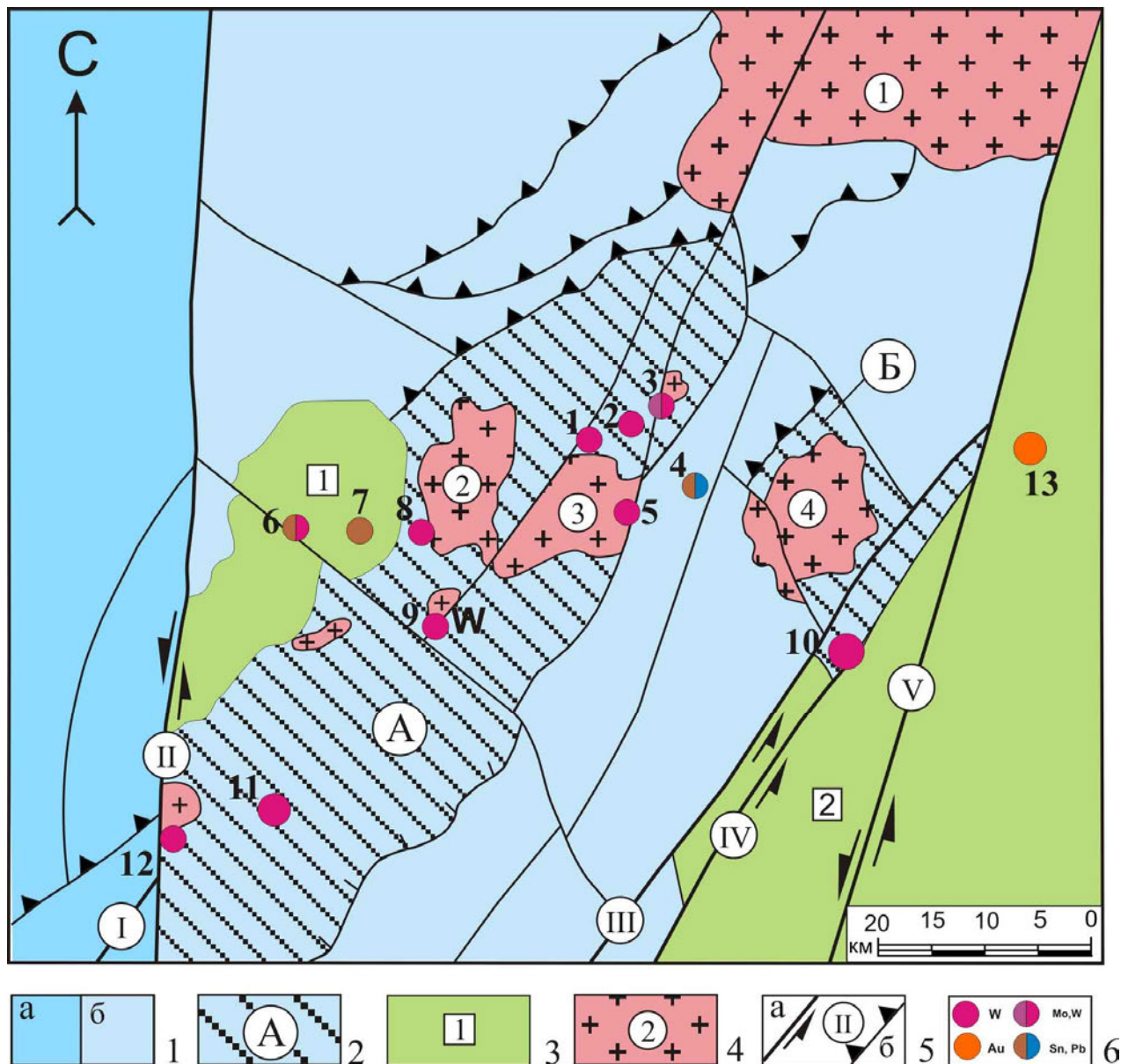


Рис. 1.2 Схема тектонического и металлогенического районирования Скрытого рудного узла по [Найденко и др., 2007 ф] с дополнениями автора.

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. Тамаринский (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. Ладошина. 260 м к западу
5	ГВ-1774	Биотит	6.32±0.07	39.08±0.13	87±2.0	Лев. борт кл. Ладошина. 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.

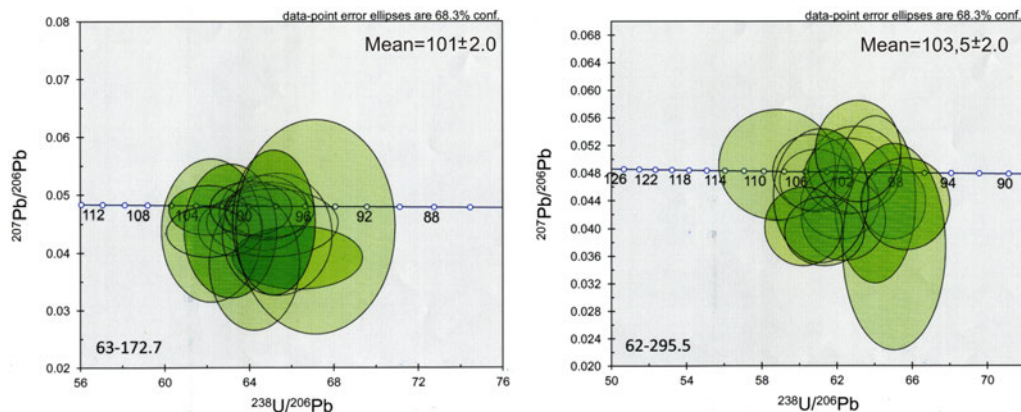


Рис. 2.1 Изотопный анализ цирконов из образцов гранитов 63-172.7, 62-259.5 [Федосеев и др.2014]

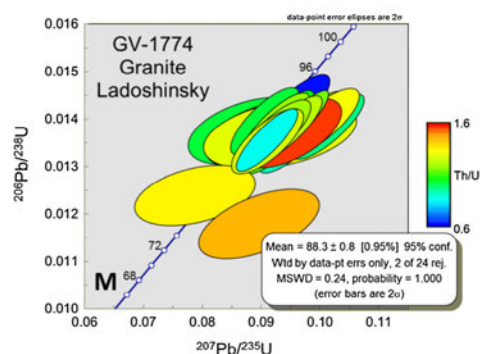


Рис. 2.2 Изотопный анализ цирконов из образцов гранитов ГВ-1774 [Bor-ming Jahn et al., 2015]

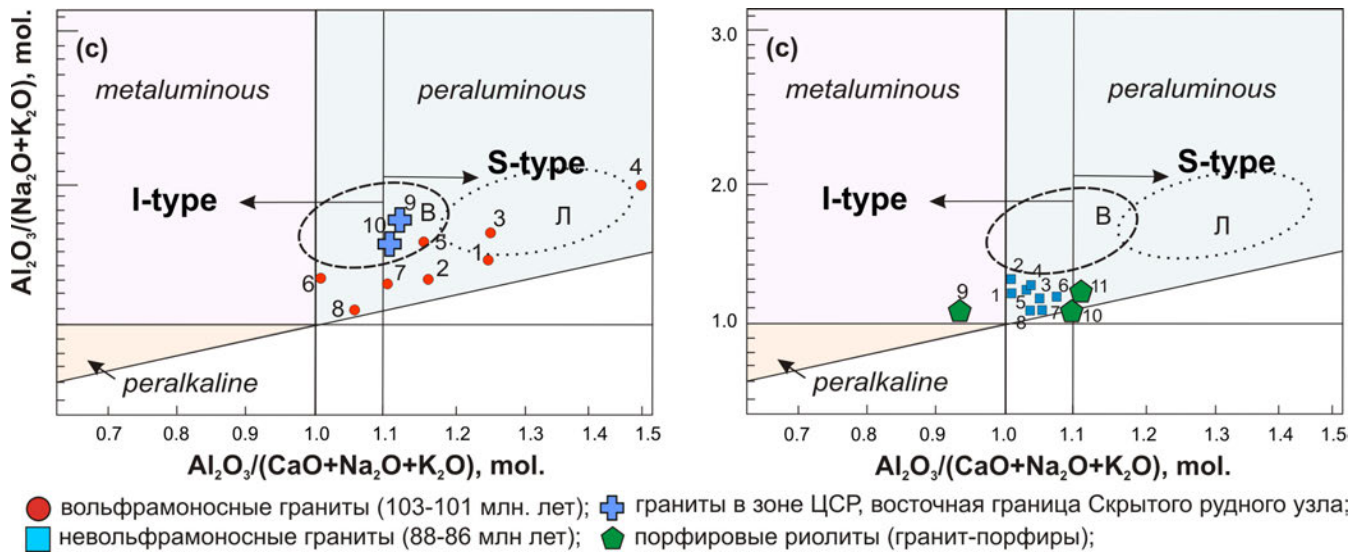


Рис. 2.3. Магматические породы месторождения Кордонное на классификационной диаграмме ANK/CNK [Frost et. al., 2001]. Metaluminous – малоглиноземистые, peraluminous – высокоглиноземистые, peralkaline – высокощелочные (аппаитовые). Поля вольфрамоносных гранитоидов: Восток-2 (В), Лермонтовское (Л) [Гвоздев,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

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

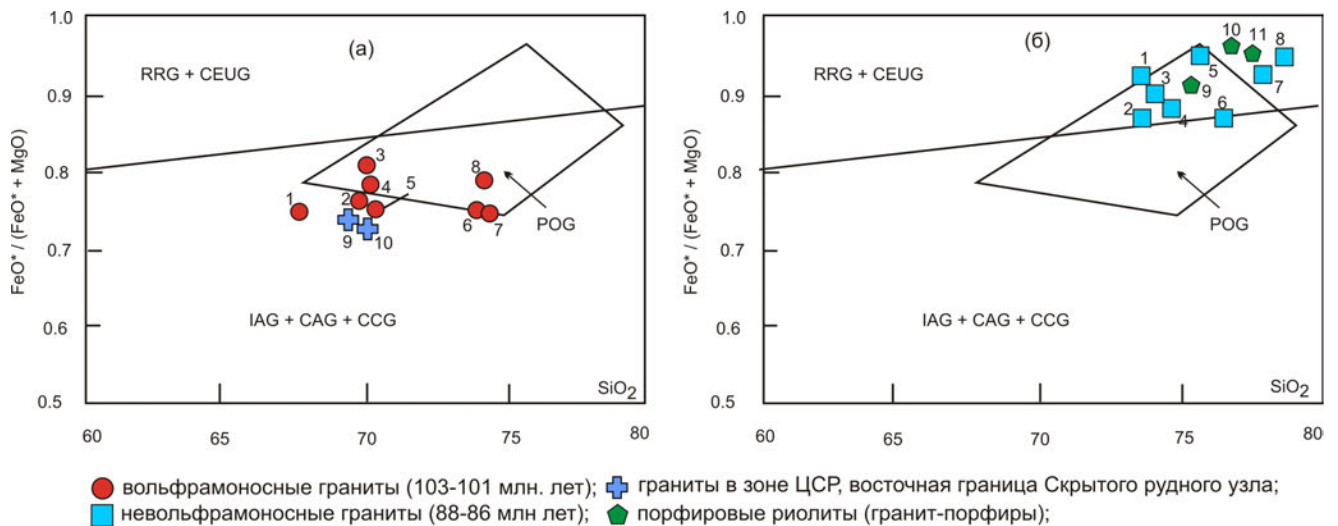


Рис. 2.4 Геодинамическая типизация гранитоидов месторождения Кордонное на диаграмме [по Maniar, Piccoli, 1989].

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).

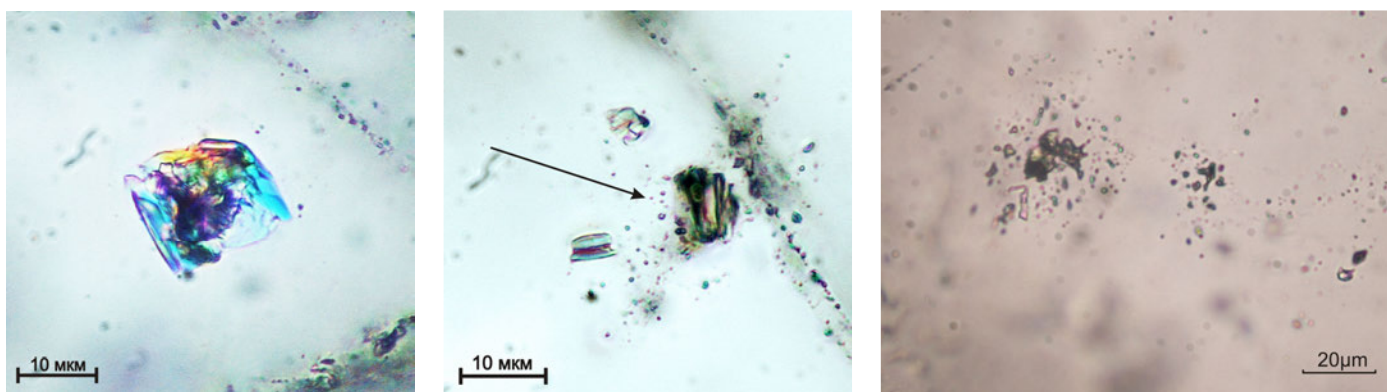


Рис 2.5. Включения в кварце гранитов первой (два первых фото) и второй (справа) групп.

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).

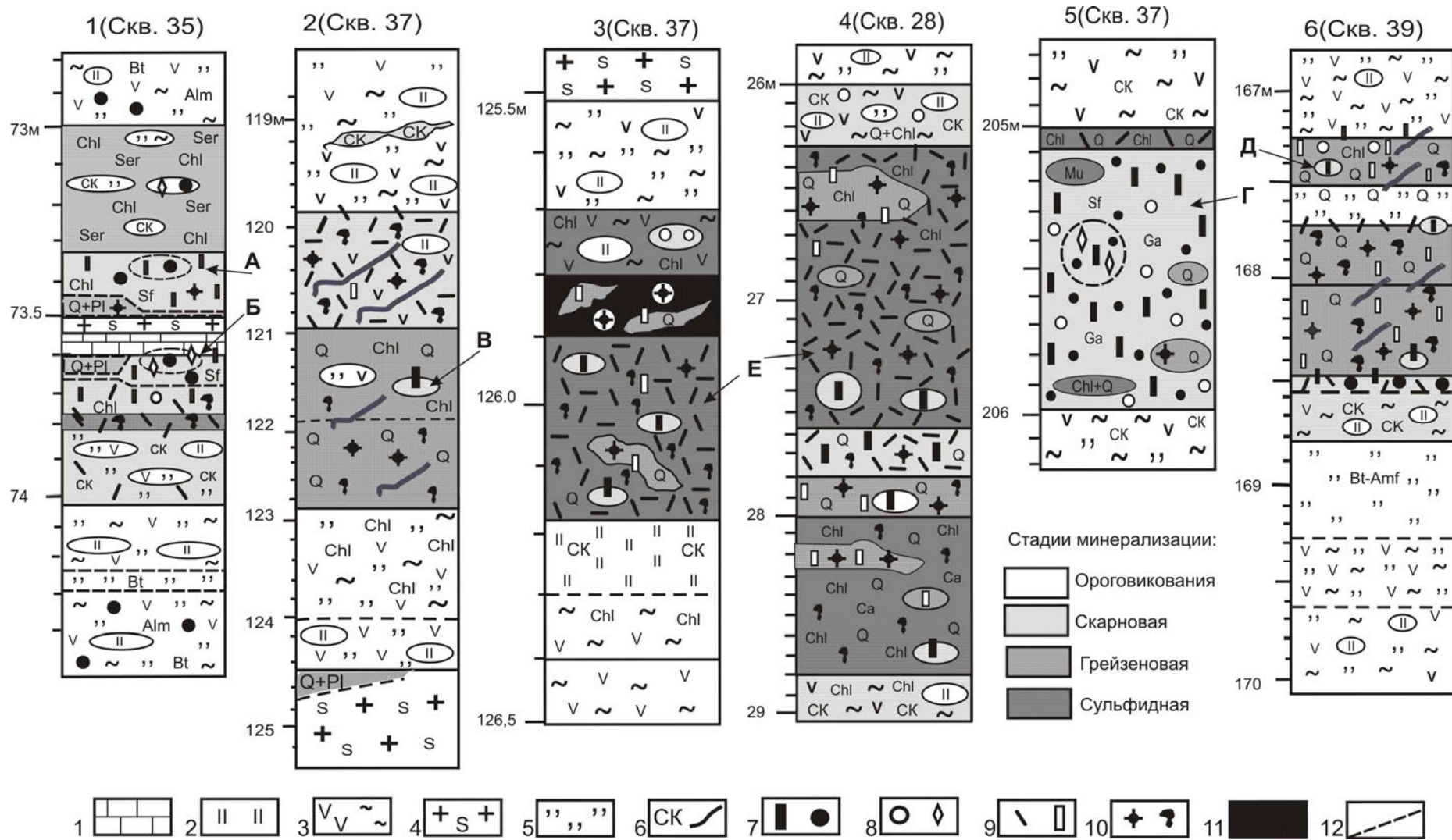


Рис. 3.1 Строение рудных тел по керну буровых скважин месторождения Кордонное [Гвоздев, Федосеев, 2013].

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

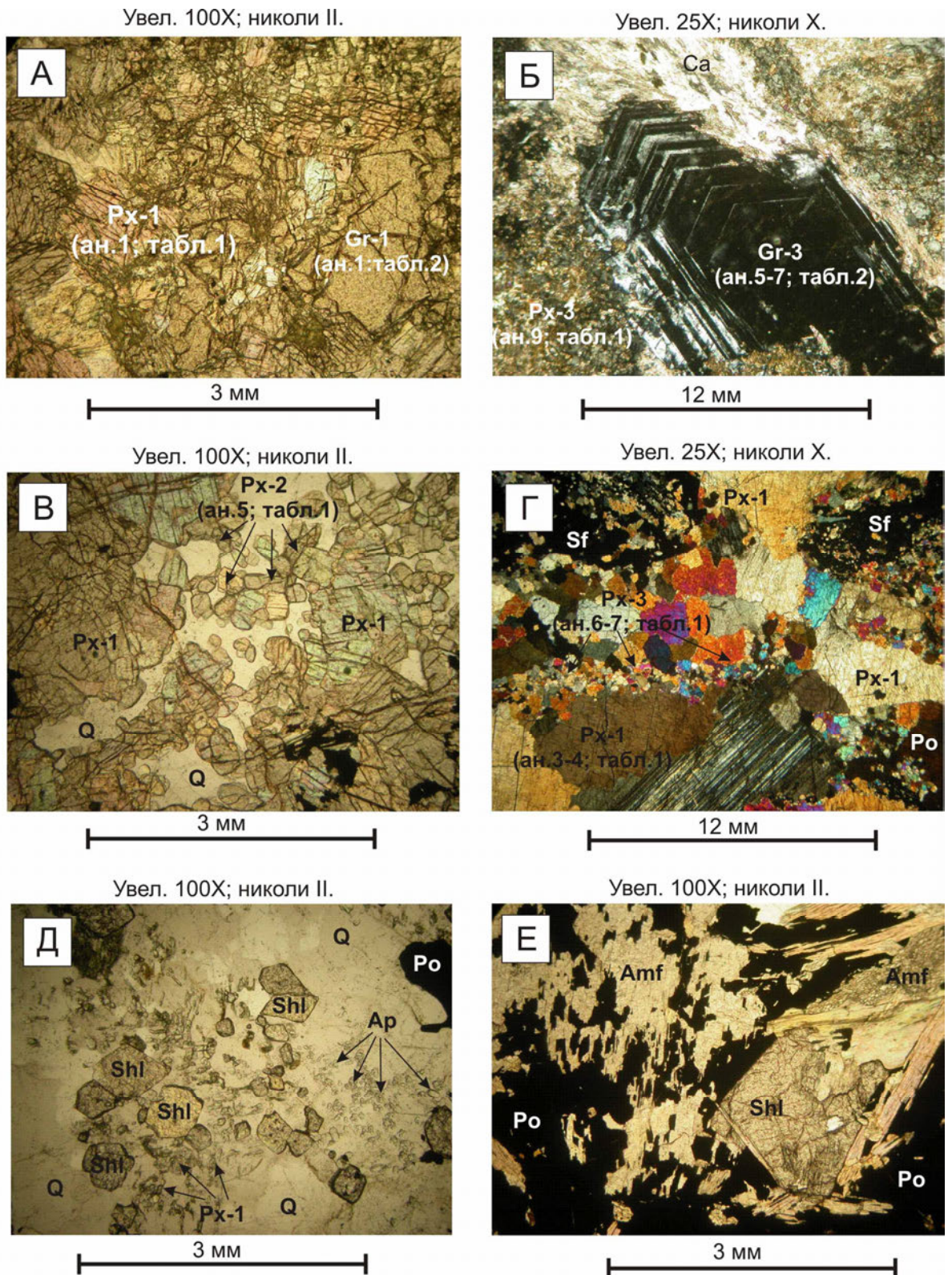


Рис. 3.2 Взаимоотношения минералов в скарнах месторождения Кордонное.

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.

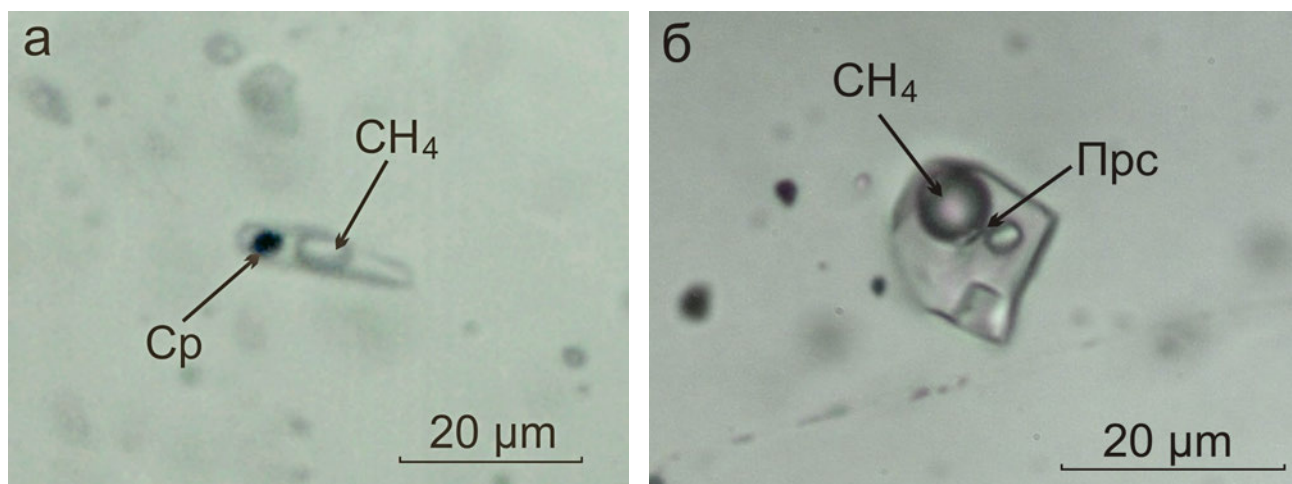


Рис. 3.4 Включения в кварце сульфидного прожилка

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.

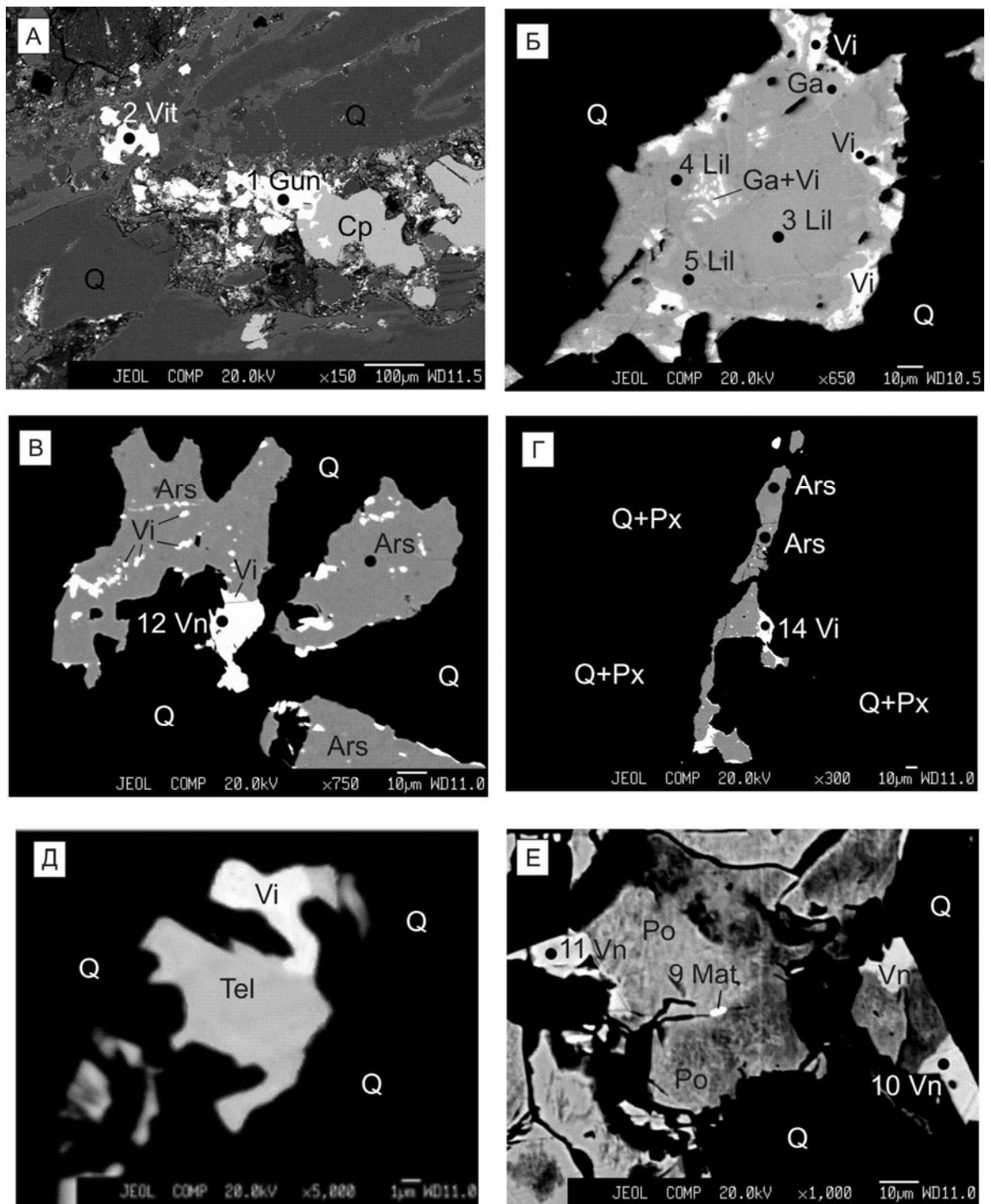


Рис. 4.1 Взаимоотношения редких минералов в рудах W-P группы в отраженных электронах.

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; субрафическая 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

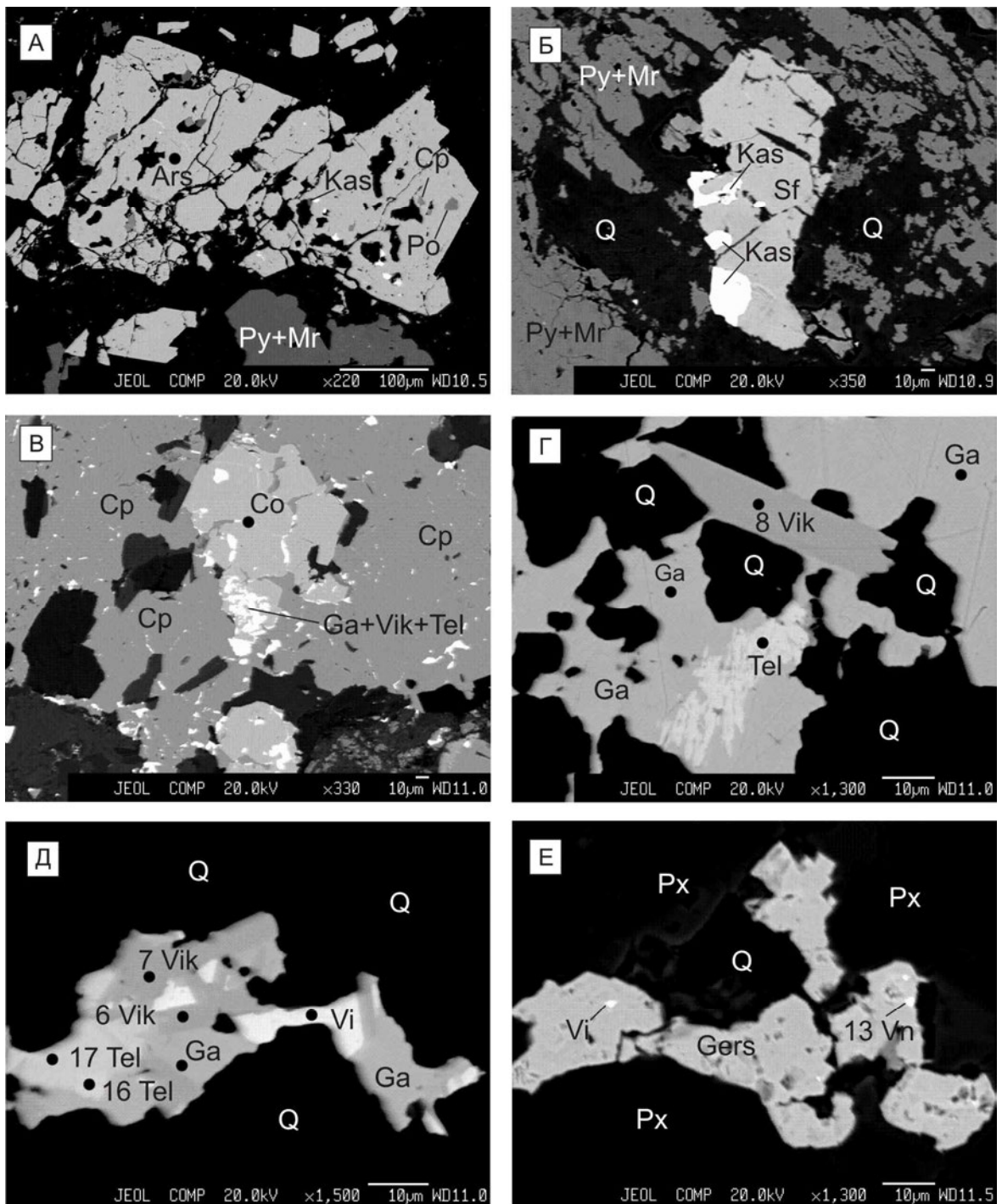


Рис. 4.2 Взаимоотношения редких минералов в рудах Sn-B группы.

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).

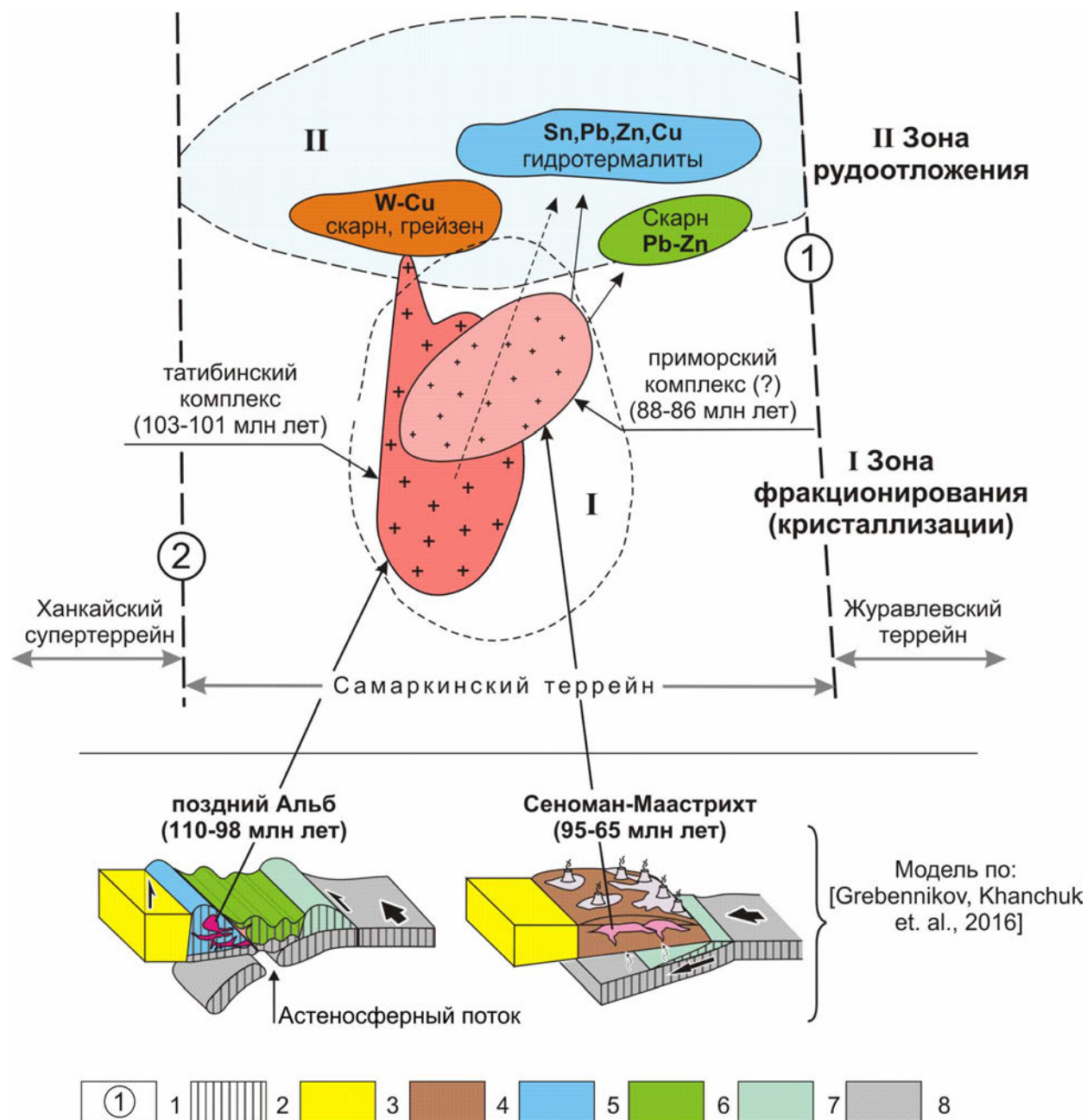


Рис. 5.1 Генетическая модель РМС Скрытого рудного узла и месторождения Кордонное.
 1 – зоны разломов: 1) Центральный Сихотэ-Алинский разлом, 2) Меридиональный разлом; 2 – океаническая литосфера 3 – раннемеловая континентальная литосфера, 4 – раннемеловая островодужная система, 5 – раннемеловой турбидитовый 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.