

СКАРНЫ ВОЛЬФРАМОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОРДОННОЕ
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

В.И. Гвоздев, Д.Г. Федосеев

ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159,
г. Владивосток, 690022; e-mail: gvozdev@fegi.ru; fedoseev@fegi.ru

Поступила в редакцию 13 марта 2012 г.

По керну буровых скважин изучены скарны месторождения Кордонного, расположенного в Малиновском рудном узле Приморского края. Выделены минеральные типы скарнов и околоскарновых пород; дано их краткое описание и установлена рудная специализация. Приведены типоморфные особенности породообразующих минералов скарнов в сравнении с эталонными объектами региона; обсуждаются вопросы генезиса скарнов.

Ключевые слова: скарны, минералогия, вольфрамовые месторождения, генезис, Приморский край.

ВВЕДЕНИЕ

Приморский край – один из регионов России, где открыты и обрабатываются два крупных скарновых шеелит-сульфидных месторождения – Восток-2 (Арминский рудный район) и Лермонтовское (Лермонтовский рудный узел), на долю которых приходится 55 % от объема добываемого вольфрама в России [8]. В этой связи одна из первоочередных задач – поиски и изучение в регионе месторождений похожего генезиса с целью обеспечения горнодобывающих предприятий сырьевой базой. Наиболее перспективным на вольфрамовое оруденение является Малиновский рудный узел, расположенный в центральной части Приморского края. Здесь известны скарновые месторождения Скрытое (подготавливается к эксплуатации), Кордонное и ряд гидротермальных рудопроявлений с молибден-вольфрамовой (Легкое и Александровское), оловянной и оловянно-полиметаллической минерализацией. Из перечисленных объектов месторождение Кордонное представляет наибольший интерес: слабо изучено и находится на стадии разведки.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
РАЙОНА И МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Малиновский рудный узел является составной частью Сихотэ-Алинской аккреционно-складчатой области, примыкая с запада по бассейну р. Малиновка к Центральному Сихотэ-Алинскому разлому.

В геологическом строении района и месторождения Кордонного принимают участие образования Самаркинской аккреционной призмы [13, 15] юрского возраста (рис. 1), которые как и на месторождениях Восток-2, Лермонтовское, Скрытое [Кораблинов и др., 1985 г., 2, 11], представлены алевролитами, песчаниками, сланцами, туфопесчаниками, вулканогенными породами (спилиты, базальты и др.), а также олистостромой с олистолитами карбонатно-кремнистых пород пермского возраста (Лосив и др., 1985 г.) [4, 15].

Магматические породы района разделены на три комплекса (два интрузивных и вулканический) (Найденко и др., 2007 г.): **юрский** (кокшаровский) – пластовые тела габбродиабазов, амфиболовых габбро, пироксенитов и др. (J_2); штоки и дайки габбро, пироксенитов, сиенитов (J_3); **поздне меловой** (татибинский) – диориты (первая фаза), биотитовые гранодиориты, граниты, лейкограниты (вторая фаза); **поздне меловой-палеогеновый** – дациты, риодациты, андезиты, их туфы, игнимбриты и др.

На площади рудного поля месторождения Кордонного магматические образования имеют подчиненное распространение. Они представлены преимущественно вулканогенными породами среднего состава поздне мелового–палеогенового возраста (рис. 1). Кроме этого встречаются: дайки, иногда межпластовые тела, залегающие согласно со слоистостью вмещающих пород, основного состава

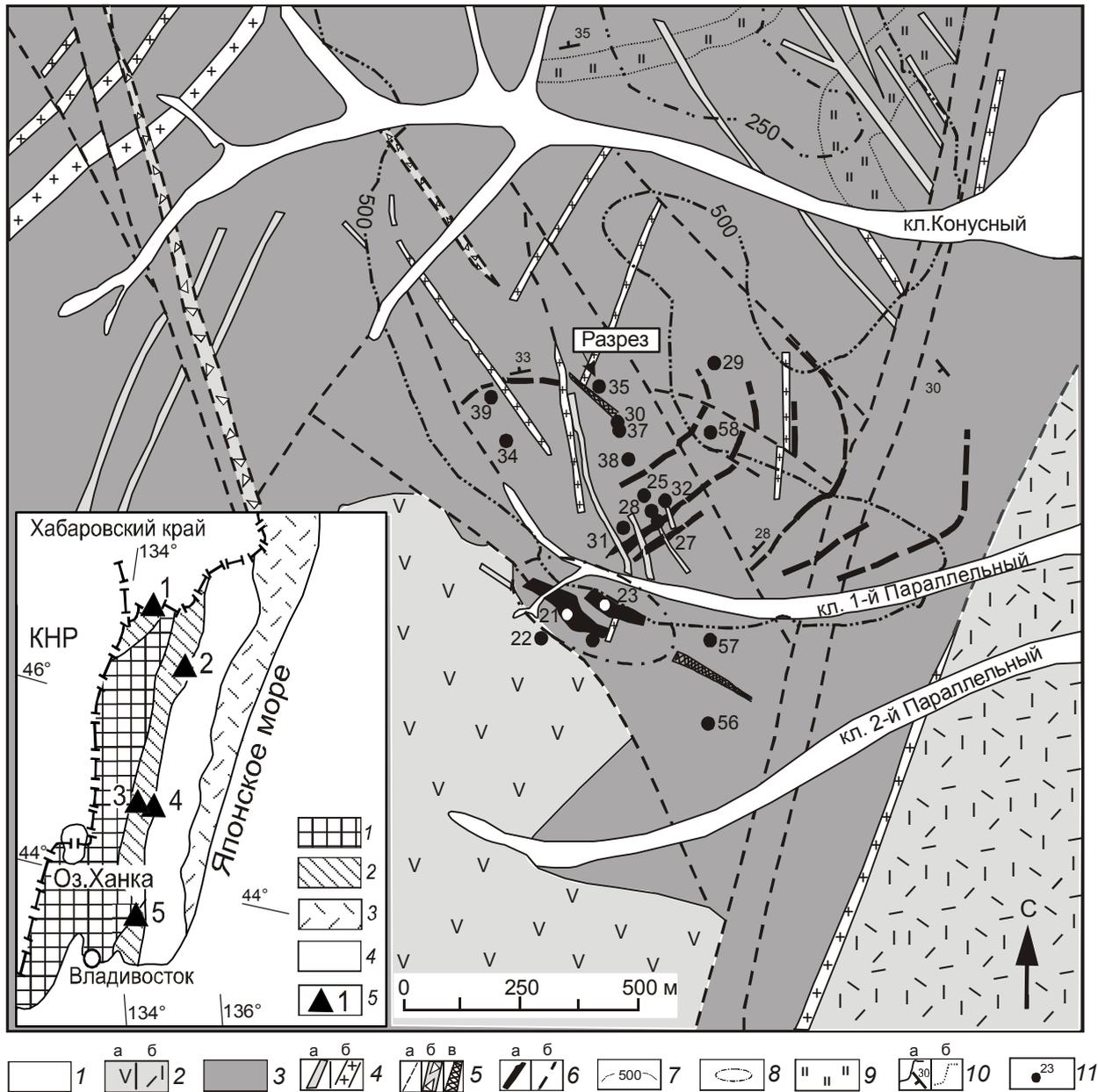


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Кордонного (по материалам П.В. Кораблинова и др., 1985 г., с добавлениями А.В. Гурикова и С.И. Садкина).

1 – четвертичные отложения (галечники, пески, суглинки и др.); 2 – вулканический комплекс (K_2-P_1vk): андезиты, андезибазальты (а), риолиты, дациты, кластолавы дацитов (б), их туфы и туффиты; 3 – вулканогенно-сланцевая толща (J_1vs_2), средняя подтолща: филлиты, кварциты, известняки, вулканогенно-осадочные породы среднего и основного состава, базальты; 4 – дайки (K_2-P_1vk ?) среднего (а) и кислого (б) состава; 5 – разрывные нарушения: разломы (а), зоны брекчирования (б), зоны повышенной трещиноватости (в); 6 – скарново-рудные тела: установленные (а), предполагаемые (б); 7 – изолинии глубины залегания массива гранитов по данным ВЭЗ и ВП; 8 – контуры штокверкового тела; 9 – горизонты кремнистых пород; 10 – геологические границы и элементы залегания слоев (а), фациальные границы (б); 11 – буровые скважины и их номер.

На врезке (фрагмент схемы террейнов Сихотэ-Алинского орогенного пояса и прилегающих территорий, по В.В. Голозубову [4] и А.И. Ханчуку с соавторами [14]):

1 – Ханкайско-Буреинский кристаллический массив и его обрамление; 2 – Самаркинская аккреционная призма; 3 – Прибрежный вулканический пояс; 4 – образования турбидитового бассейна и прилежащих к нему островных дуг; 5 – скарновые месторождения шеелита (1 – Лермонтовское, 2 – Восток-2, 3 – Скрытое, 4 – Кордонное, 5 – Беневское).

(гранодиориты, граниты) предположительно поздне-мелового возраста. Интрузивные породы имеют подчиненное распространение. На глубине буровыми скважинами вскрыт шток измененных (грейзенизированных) гранитов.

Вольфрамовая минерализация в Приморском регионе пространственно ассоциирует с гранитоидами второй фазы (111–98 млн лет) татибинского комплекса [16]. По данным А.А. Аленичевой с соавторами (U-Pb и Rb-Sr методы изотопного датирования), возраст гранитов в Малиновском рудном узле составляет 92.5–104 млн лет [1].

Рудные тела на месторождении (рис. 2) представляют собой горизонты (блоки, пластины, линзы) полого залегающих скарнированных и минерализованных (с сульфидами и шеелитом) карбонатно-кремнистых пород, протяженность которых достигает нескольких сот метров, а мощность – от менее 0.5 до более 2 м. Эти горизонты залегают полого (до 35°) и согласно со слоистостью толщи вулканогенно-осадочных пород (алевролиты, сланцы, туфопесчанники, туфоалевролиты, спилиты, базальты и др.) юрского возраста, которая интенсивно метаморфизована в

контакте штока гранитоидов. Рудные тела сложены минеральными ассоциациями роговиков, скарнов, грейзенов и сульфидных руд, характеризующими разные во времени стадии (этапы) минерализации. Наиболее наглядно это демонстрируют типовые колонки метасоматических пород, составленные по результатам минералого-петрографического изучения шлифов из керна буровых скважин (рис. 3). Максимальные концентрации шеелита (до 2–3%) сосредоточены в участках пересечения горизонтов скарнированных пород прожилками шеелит-полевошпатового и шеелит-кварцевого (иногда с хлоритом, амфиболом, карбонатом, апатитом, пирротинном, пиритом, арсенопиритом и др.) состава. Редко в прожилках встречаются турмалин, слюды, сфалерит, минералы висмута (самородный висмут, висмутин, свинцово-висмутовые сульфосоли, сульфотеллуриды висмута), касситерит, галенит, молибденит, станнин и др. Мощность прожилков – до 2 см. Количество и соотношения перечисленных минералов варьируют в широком диапазоне от единичных зерен до мономинеральных агрегатов того или иного состава. Шеелит – главный рудный минерал. Он распределен по

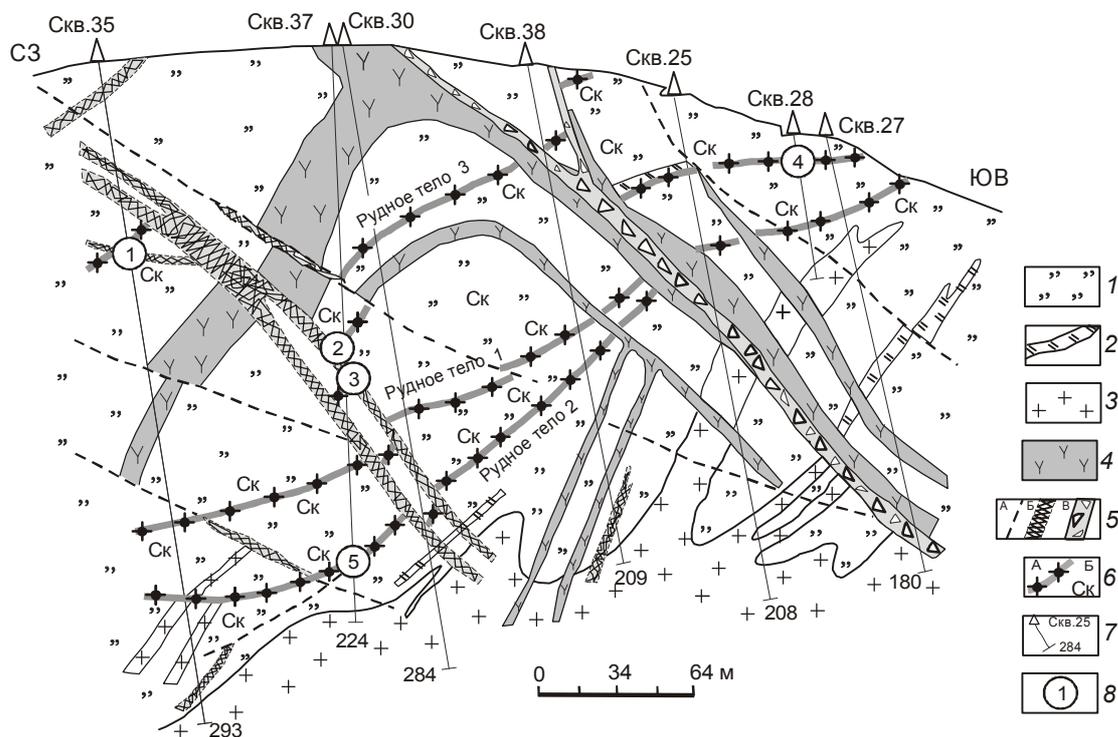


Рис. 2. Схематический геологический разрез месторождения Кордонного (по материалам П.В. Кораблинова и др., 1985 г.).

1 – ороговикованные породы (алевролиты, сланцы, вулканиты основного состава); 2 – пластины кремнистых пород; 3 – грейзенизированные граниты; 4 – дайки основного состава (диабазовые и диоритовые порфириды); 5 – разрывные нарушения: А) разломы, Б) зоны трещиноватости, В) зоны брекчирования; 6 – рудные тела (А) и скарнированные породы (Б); 7 – буровые скважины, их номер и глубина; 8 – порядковый номер метасоматической колонки рудного тела на рис. 3.

массе рудных тел крайне неравномерно и часто пространственно тяготеет к участкам окварцевания скарнов, кварцевым прожилкам или их зальбандам. Сульфидные минералы (арсенопирит, пирротин, халькопирит) локализованы как в самих прожилках, так и в зонах околожилльных метасоматитов.

На юго-западном фланге месторождения маломощными (до 1.5–2.5 см) прожилками такого же состава сложено штокверковое тело (рис. 1). Оно локализовано среди вулканогенно-осадочных пород и представляет собой серию крутопадающих (70–90°) прожилков, сближенных в пространстве (3–5 на пог. м) и имеющих северо-западное простирание.

Количество сульфидов в рудных зонах скарнирования и прожилкования месторождения Кордонное часто превышает 30 %, что позволяет относить его к сульфидному типу, как месторождения Восток-2 и Лермонтовское [3].

СКАРНЫ И ОКОЛОСКАРНОВЫЕ ПОРОДЫ

Особенностью месторождения Кордонное является многоэтапность скарнового процесса, а именно: присутствие в рудных телах скарнов двух типов, которые характеризуются разной металлогенической специализацией – *вольфрамовой и полиметаллической*. По минеральному составу в скарнах с вольфрамовой специализацией можно выделить типы (фации, ассоциации): пироксеновый, гранат-пироксеновый и гранат-пироксен-воластонитовый, а также ассоциирующие с ними околоскарновые породы – пироксен-плаггиоклазовые и амфибол-плаггиоклазовые. В скарнах с полиметаллической специализацией наблюдались только пироксен-гранатовый и пироксеновый типы (околоскарновых пород не встречено).

Среди “**вольфрамовых**” скарнов преобладают пироксеновые, а гранат-пироксеновые и гранат-воластонит-пироксеновые имеют подчиненное распространение.

Пироксеновые скарны на месторождении, судя по реликтам (колонки 2–4 и 6 на рис. 3), слагают метасоматические зоны (до 2 м), сформировавшиеся по мраморизованным известнякам, реже гнезда (до 2–3 см) или прожилки (до 2 см) – по ороговикопанним осадочным и вулканогенно-осадочным породам.

В метасоматических зонах, образовавшихся по мраморам, преобладают скарны мономинерального состава, сложенные преимущественно геденбергитом; в зонах по вулканогенно-осадочным породам – салитом-ферросалитом (пироксены первой генерации Pх-1). Породы имеют зеленый, светло-, темно-зеленый цвет и неравномернозернистое строение: зерна 0.01–0.1 мм – в скарнах по вулканогенно-осадочным породам; 1–1.5 см – в скарнах по мраморам.

Текстура пород массивная; структура метазернистая, аллотриоморфнометазернистая.

В пироксеновых скарнах часто встречаются гнезда (до 2 см) существенно кварцевого состава. Здесь среди кварца наблюдаются пойкилитовые, идиоморфные зерна (до 0.06 мм) пироксена второй генерации (Pх-2, рис. 4 В), иногда плаггиоклаза, сульфидов (пирротин, халькопирит) и шеелита. Присутствие амфибола в таких участках скарнов не характерно. Взаимоотношения перечисленных минералов свидетельствуют об их последовательной кристаллизации, что может указывать на сопряженность во времени формирования минералов скарнов и руд (сопутствующее оруденение). Не следует путать сопутствующее оруденение с окварцеванием скарнированных пород в результате более поздних процессов грейзенизации (с шеелит-полевошпат-кварцевыми прожилками) и сульфидизации (с амфибол-сульфидными метасоматитами). В таких породах (рудах) обычно сосредоточены более высокие концентрации шеелита, а пироксен (сохраняются только реликты) интенсивно замещается кварцем, часто содержащим пойкилитовую вкрапленность идиоморфных зерен апатита (структуры: гипидиоморфнозернистая, замещения, пойкилитовая и др.) (рис. 4 Д).

Гранат-пироксеновые скарны обычно встречаются по периферии зон пироксеновых скарнов, сформировавшихся по мраморам, тяготея к их контакту с алюмосиликатными (дайки гранитоидов, зоны ороговикопаннных вулканогенно-осадочных пород, роговиков) породами. Иногда гнезда (или реликты до 1–2 см) гранат-пироксенового состава наблюдаются среди пироксеновых скарнов, содержащих полиметаллическое оруденение (колонки 1 и 5 на рис. 3; рис. 4 А). Участки гранат-пироксеновых скарнов имеют бурый, буро-коричневый цвет, массивную текстуру и метазернистую структуру. В их составе преобладает пироксен (салит, 80–85 %) и гранат (гроссуляр, 15–20 %), редко встречаются амфибол и везувиан (единичные зерна), крайне редко – шеелит. В местах наложения на скарны шеелит-сульфидного оруденения по гранатам развивается эпидот и карбонат, а пироксены замещаются амфиболом и сульфидами (пирротин и халькопиритом).

Гранат-пироксен-воластонитовые скарны встречаются крайне редко. Они представлены маломощными зонами (до 1–2 см) или гнездами (до 3 мм), сформировавшимися на контакте мраморов с кремнистыми породами. Такой же минеральный состав имеют оторочки (до 1–2 мм), которые наблюдаются на контакте мраморов с пироксеновыми скарнами, и микропрожилки (менее 1 мм) в кремнистых породах. В минеральном составе скарнов преоблада-

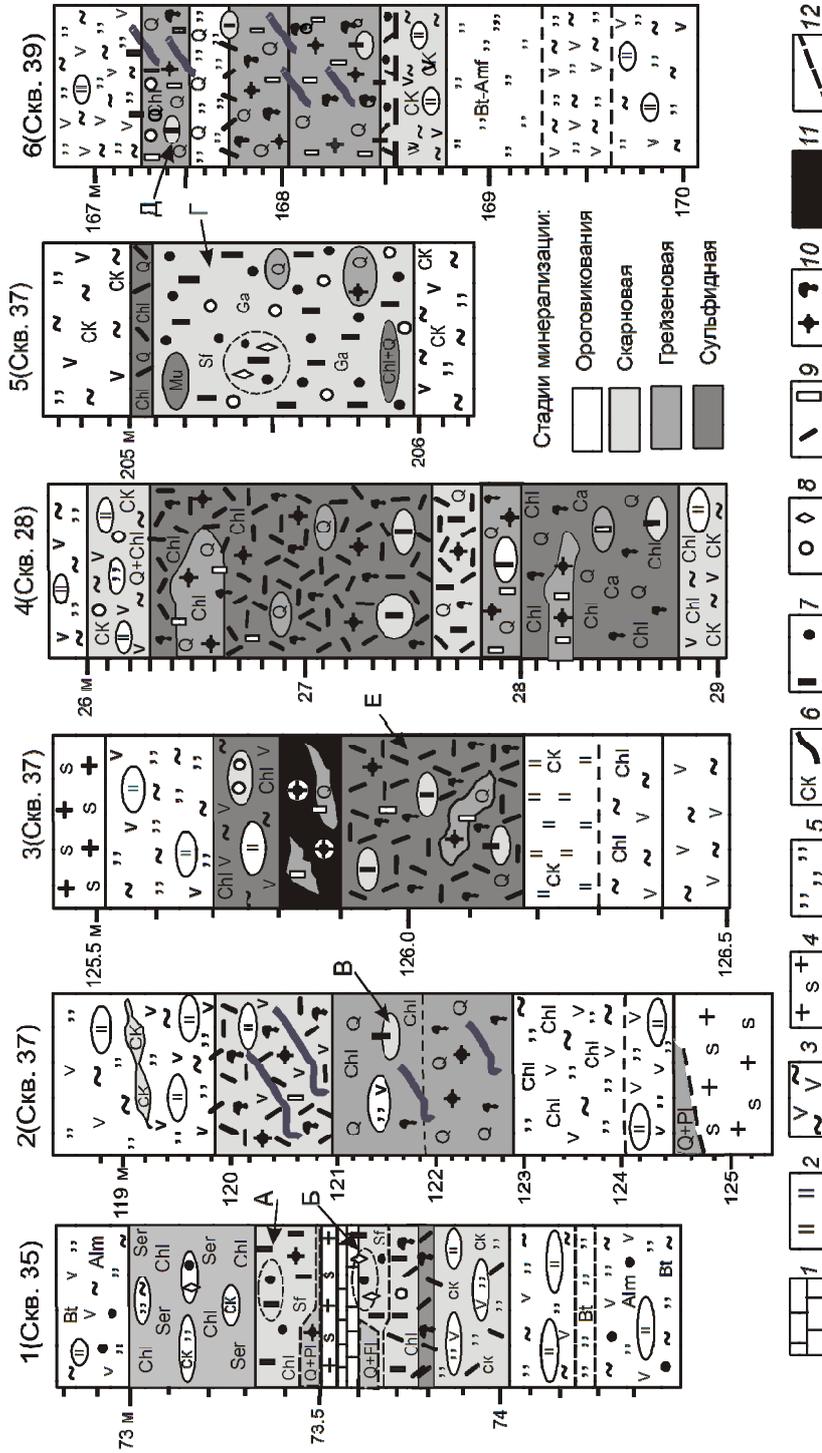


Рис. 3. Строение рудных тел по керну буровых скважин месторождения Кордонного.

1 – мраморизованные известняки; 2 – кремнистые породы; 3 – вулканогенно-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.

Буквами: А, Б, В, Г, Д, Е – обозначены фотографии шлифов на рис. 4.

Здесь и далее приняты сокращения минералов: Рх – пироксен; Gr – гранат (Gros – гроссулар, And – андрадит, Alm – альмандин); Vez – везувиан; Ep – эпидот; Ap – апатит; Shl – шеелит; Q – кварц; Chl – хлорит; Mu – мусковит; Bt – биотит; Amf – амфибол; Ca – карбонат; P1 – полевой шпат; Po – пирротин; Cr – халькопирит; Py – пирит; Ars – арсениопирит; Ga – галенит; Sf – сфалерит.

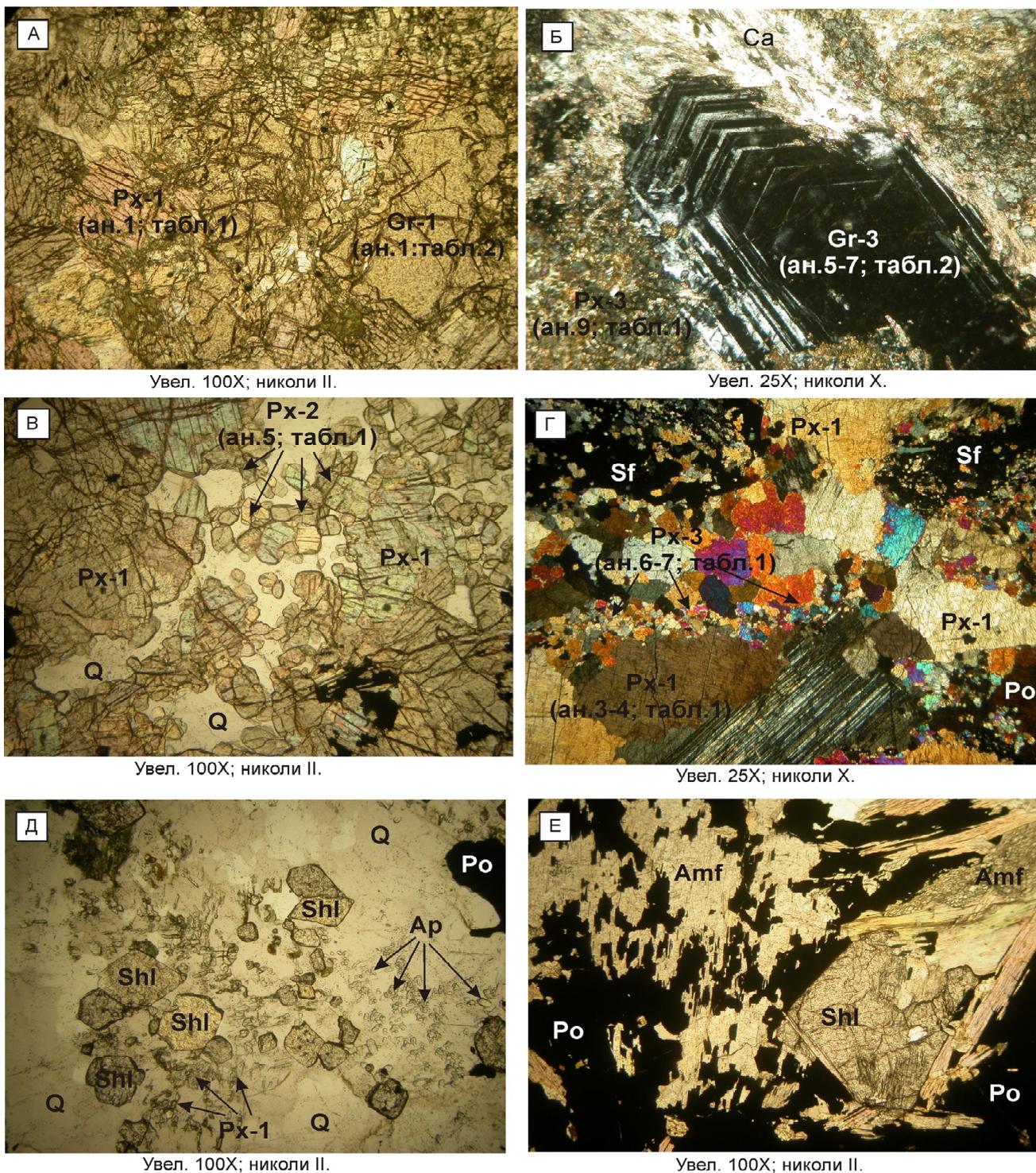


Рис. 4. Взаимоотношения минералов в скарнах месторождения Кордонного.

А – гранат-пироксеновый скарн: аллотриоморфометазернистая структура срастаний пироксена (Px-1) с гранатом (Gr-1; гроссуряр); Б – гранат-пироксеновый скарн в контакте мраморизованных известняков: идиоморфные, порфировые, зональные метакристаллы андрадита (Gr-3) среди пироксена (Px-3); В – пироксеновый скарн: участок окварцевания с кристаллизацией мелких идиоморфных зерен пироксена второй генерации (Px-2); Г – пироксеновый скарн с полиметаллической минерализацией (сфалерит, галенит): аллотриоморфометазернистое 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 (пирротин и халькопирит). А, В, Д – размер поля зрения – 3 мм, николи II; Б, Г, Е – размер поля зрения – 12 мм, николи X.

ет волластонит (до 70 %), пироксен (салит, до 25 %), гранат (гроссуляры, до 15 %); крайне редко встречается везувиан (образует тесные сростания с гроссуляром). Структура прожилков метапорфировая, мета-зернистая, сноповидная и др.

Околоскарновые пироксен-плагиоклазовые и амфибол-плагиоклазовые породы на месторождении выделены условно. Они наблюдались в виде реликтовых гнезд (до 2 см) среди зон метасоматических пород хлоритового и мусковитового состава, образовавшихся вдоль шеелит-сульфидно-кварцевых прожилков.

Пироксен-плагиоклазовые околоскарновые породы, вероятно, слагали маломощные (не более 2–3 см) зоны на границе пироксеновых скарнов с биотитовыми роговиками. В шлифах эти породы наблюдаются в виде реликтов (до 0.5 см) среди измененных пород хлорит-кальцит-мусковит-кварцевого состава, унаследовавших текстурный рисунок вулканогенно-осадочной породы. Реликты представляют собой породы мелкозернистого (зерна менее 0.01 мм) строения, сложенные преимущественно полевым шпатом, пироксеном и кварцем. Соотношение количества пироксена и плагиоклаза изменяется в широких пределах – от 1:5 до 5:1. Так, по мере приближения к зонам пироксеновых скарнов в составе пород количество полевого шпата и кварца уменьшается, а пироксена – увеличивается. Судя по показателю преломления, плагиоклаз представлен андезином, который часто до полных псевдоморфоз замещается тонкозернистым (менее 0.01 мм) агрегатом кальцита, кварца и серицита; пироксен – салит.

Амфибол-плагиоклазовые околоскарновые породы, как и пироксен-плагиоклазовые, наблюдались в виде реликтов среди околоскарновых метасоматитов. Они, вероятно, образовались по алюмосиликатным породам (предположительно вулканогенно-осадочным, судя по текстурному рисунку) и сложены преимущественно плагиоклазом (70–80 %; замещен кальцит-мусковитовым агрегатом) и амфиболом (актинолит); менее распространены кварц, рудный минерал и сфен.

Среди **“полиметаллических” скарнов** преобладают пироксен-гранатовые разновидности; менее распространены гранат-пироксеновые и пироксеновые. Фациальных переходов между минеральными разновидностями скарнов не наблюдалось. В то же время, скарны преимущественно гранатового состава более характерны для центральных, а пироксеновые – для периферийных участков метасоматических зон.

Пироксен-гранатовые и гранат-пироксеновые скарны с полиметаллическим оруденением визуально очень похожи на гранат-пироксеновые с вольфрамовым. Участки (до 5 см) таких скарнов имеют бурый,

буро-коричневый цвет, массивную текстуру. В составе скарнов преобладает гранат (андрадит: от 10–15 % – в гранат-пироксеновых до более 80 % – в пироксен-гранатовых). Краевые участки скарновых зон сложены мелкозернистым (менее 0.1 мм), а центральные – более крупнозернистым (до 0.3 мм) пироксеном, который замещается сфалеритом и галенитом (рис. 4 Г). Пироксен (Px-3) имеет геденбергитовый состав, а его количество в гранат-пироксеновых скарнах редко превышает 50 %. Крупные зерна (до 0.5 см) граната часто имеют зональное строение (третья генерация Gr-3, рис. 4 Б). В местах наложения на скарны сульфидного оруденения по гранату развивается эпидот (клиноцоизит) и карбонат. Кроме перечисленных минералов в скарнах присутствуют амфибол и сульфиды (пирит, пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит). Структура пород аллотриоморфно-метазернистая, гипидиоморфно-метазернистая, участками метапорфировая и др.

Пироксеновые скарны с полиметаллическими рудами имеют подчиненное распространение. Они слагают метасоматические прожилки и каемки по периферии гнезд пироксен-гранатового состава (Px-3, рис. 4 Г). Размеры метазерен пироксена (геденбергита) редко превышают 0.1 мм, а в скарнах часто наблюдаются структуры замещения пироксена сфалеритом.

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ СКАРНОВ

Наиболее информативными минералами в решении вопросов генезиса скарнов являются пироксен, гранат и везувиан, составы которых были изучены более детально на рентгено-спектральном микроскопическом анализаторе GEOL JXA-8100 (табл. 1, 2).

Пироксен – самый распространенный минерал в скарнах месторождения. По времени кристаллизации в вольфрамовых и полиметаллических скарнах можно наблюдать несколько его генераций.

В **“вольфрамовых” скарнах** пироксен-1 обычно более крупнозернистый по сравнению с пироксеном-2 и часто образует тесные сростания с гроссуляром и везувианом. На диаграмме состава пироксенов (рис. 5 А) его фигуративные точки располагаются в поле салитов-ферросалитов (ан. 1, 3, 4; табл. 1), как и на эталонных месторождениях Восток-2 и Лермонтовское [3]. Причем, более магниевые разновидности характерны для скарнов, сформировавшихся по вулканогенно-осадочным породам, а более железистые – по мраморам.

Пироксен-2 (идиоморфные зерна из окварцованных участков скарнов), так же как и пироксен-1, относится к салиту-ферросалиту (рис. 5 А), но отличается от него повышенными содержаниями магния, пониженными – железа и марганца (ан. 2, 5; табл. 1).

Таблица 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-б-5	276-б-5	275-м-1	275-м-1	277-е	275-м-6	275-м-7	275-м-2	276-б-4

Примечание. Анализы: 1, 3, 4 – Pх-1; 2, 5 – Pх-2; 6–9 – Pх-3. Здесь и далее анализы выполнены на четырехканальном рентгено-спектральном микроанализаторе GEOL JXA-8100 с энергодисперсионным спектрометром INKA-sight производства Oxford Instruments (Великобритания); аналитик Г.Б. Молчанова. Формульные коэффициенты пироксенов рассчитаны на 5 катионов по программе “Кристалл”.

Пироксены из мономинеральных скарнов (по мраморам) имеют размеры в краевых частях метасоматических зон от 0.1 до 0.3 см, а в центральных – от 0.5 до 1.5 см в длину. На диаграмме состава пироксенов (рис. 5 А) они соответствуют геденбергиту и попадают в поле “средние”. На эталонных объектах для таких геденбергитов характерны повышенные содержания марганца (по сравнению с “ранними”); в самих же скарнах постоянно отмечаются повышенные концентрации (более 0.1 % WO₃) вольфрама.

В околоскарновых пироксен-плаггиоклазовых породах состав пироксена такой же, как и в скарнах – салит-ферросалитовый.

В “*полиметаллических*” скарнах в ассоциации с андрадитом наблюдается пироксен-3. Все

проанализированные пироксены соответствуют по составу геденбергиту с высокими содержаниями марганца (4.2–5.3 вес. % – до 18 % иохансенитового минала). Причем, более марганцевые пироксены характерны для ассоциаций с гранатом (ан. 6, 7; табл. 1), а менее – для мономинеральных пироксеновых метасоматических зон и прожилков (ан. 8, 9; табл. 1). Следует заметить, что в пироксенах этой генерации почти постоянно присутствуют примеси глинозема (до 0.38 вес. % Al₂O₃) и магнезия (до 0.31 вес. % MgO).

Гранат – второй по распространенности минерал в скарнах месторождения. По времени кристаллизации и составу можно выделить несколько его генераций.

Таблица 2. Химический состав гранатов и везувианов месторождения Кодонное, вес. %.

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	40.35	37.60	36.76	37.00	37.61	36.70	35.42	35.21	34.96
TiO ₂	0.30	0.49	0.81	0.37	0.01	0.01	0.01	3.66	2.31
Al ₂ O ₃	16.85	19.65	17.60	18.88	0.04	0.15	0.27	14.09	15.06
Fe ₂ O ₃ +FeO	4.40	4.83	6.99	6.34	27.34	27.75	27.86	4.57	4.88
MnO	0.24	1.11	2.92	6.17	0.29	0.44	0.64	-	0.35
MgO	0.30	-	-	-	0.06	-	0.06	1.95	1.94
CaO	35.70	34.23	32.39	28.66	33.39	33.16	32.68	35.32	35.18
Na ₂ O	-	-	-	-	0.03	0.04	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	0.04	0.04	0.08	-	-
СУММА	98.14	97.91	97.48	97.41	98.82	98.30	97.02	94.78	94.67
Катионы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ca	2.99	2.86	2.74	2.45	3.03	3.03	3.03	9.16	9.11
Fe ⁺²		-	-	-	-	-	-	0.92	0.99
Mg	0.01	-	-	-	0.01	0.00	0.01	0.71	0.70
Mn	0.02	0.08	0.20	0.41	0.02	0.03	0.05	-	0.07
Сумма	3.02	2.94	2.94	2.86	3.06	3.07	3.09	-	-
Fe ⁺³	0.26	0.31	0.46	0.42	1.74	1.78	1.82	-	-
Ti	0.03	0.03	0.05	0.02	-	-	-	0.67	0.42
Al ^{vi}	1.52	1.66	1.49	1.56	-	0.02	0.03	3.54	3.71
Сумма	1.81	2.00	2.00	2.00	1.74	1.80	1.85	5.84	5.89
Si	3.18	2.92	2.91	2.94	3.19	3.13	3.07	8.52	8.46
Al ^{iv}		0.14	0.15	0.20	-	-	-	0.48	0.54
Сумма	3.18	3.06	3.06	3.14	3.19	3.13	3.07	9.00	9.00
Минералы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sp	1	4	9	16	-	-	2.5	-	-
And	14	14	20	16	98	97	95	-	-
Gros	83	81	70	67	1	2	2.5	-	-
Alm и др.	2	1	1	1	1	1	-	-	-
№ обр.	276-б-5	275-м-1	275-м-1	275-м-2	276-б-4	276-б-4	276-б-4	275-м-1	275-м-1

Примечание. Анализы: 1–4 – гроссуляр, гидрогроссуляр (1, 2 – Gr-1; 3, 4 – Gr-2); 5–7 – андрадит (Gr-3; формульные коэффициенты гранатов рассчитаны на 8 катионов по программе “Кристалл”); 8, 9 – везувиан. В анализах 8, 9 установлена примесь хлора, соответственно, 0.13 и 0.12 вес. % (формульные коэффициенты рассчитаны на 24 катиона).

В “вольфрамовых” скарнах наблюдался гранат-1, который по составу соответствует гроссуляру (81–83 % гроссулярового минала; ан. 1, 2; табл. 2). Рентгено-спектральным микроанализом в гранате установлены примеси титана (до 0.49 вес. % TiO₂) и марганца (до 1.11 вес. % MnO). На диаграмме (рис. 5 Б) точки составов гранатов этой генерации попадают в поле “ранние”, характеризующее гранаты из безрудных скарнов эталонных месторождений Восток-2 и Лермонтовское [3].

В поле “ранние” попадает и гранат-2. Этот гранат встречается в участках скарново-рудных тел, где на вольфрамовые гранат-пироксеновые скарны (с везувианом) наложены скарны с полиметаллическим оруденением. По данным рентгено-спектрального микроанализа, гранат-2 отличается от граната-1 более высокими значениями (9–16 %) алмадин-спессартитового минала (табл. 2; ан. 3, 4) и, судя по оптическим характеристикам (часто наблюдается псевдоанизотропия на пери-

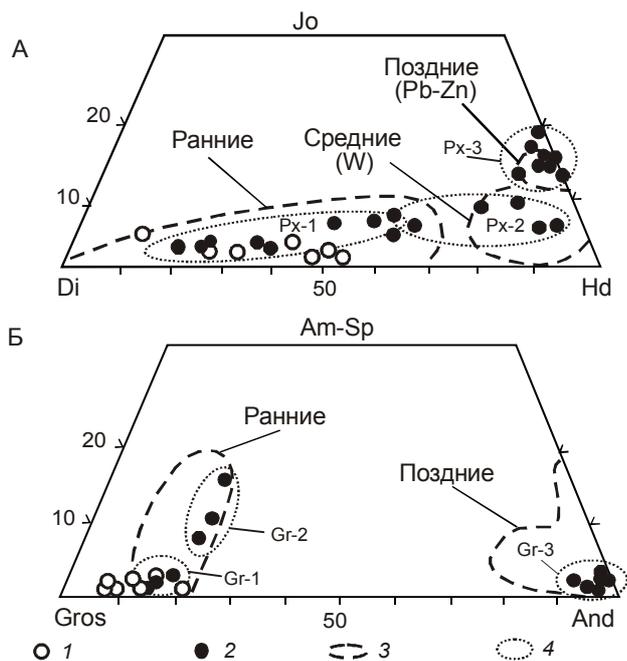


Рис. 5. Диаграммы состава пироксенов (А) и гранатов (Б) месторождения Кордонного.

1 – пироксены и гранаты месторождения Скрытого; 2 – пироксены и гранаты месторождения Кордонного; 3 – поля составов пироксенов и гранатов эталонных объектов (Восток-2 и Лермонтовского); 4 – поля составов пироксенов и гранатов из разных минеральных типов скарнов месторождения Кордонного.

ферийных участках крупных зональных зерен), относится к гидрогроссуляру.

В “*полиметаллических*” скарнах встречается только гранат-3. Его максимальное количество сосредоточено в зонах пироксен-гранатовых скарнов. На диаграмме (рис. 5 Б) точки составов гранатов этой генерации располагаются в поле “*поздние*” – андрадиты из скарнов с полиметаллической минерализацией эталонных объектов. Рентгено-спектральным микроанализом зонального зерна андрадита (рис. 4 Б) установлены незначительные вариации примесей глинозема и марганца (табл. 2, ан. 5–7).

Везувиан – редкий минерал в скарнах месторождения. Он наблюдался только в вольфрамовых “*ранних*” гранат-пироксеновых скарнах, слагающих реликты среди метасоматических зон с полиметаллической минерализацией (рис. 3; колонки 1, 5). Везувиан образует метазерна изометричной формы (до 1 мм) и часто находится в сростках с гроссуляром, от которого отличается по оптическим характеристикам (анизотропией с низкими цветами интерференционной окраски) и составу (примеси: TiO_2 – до 3.66 вес. %; MgO – до 1.95 вес. %; Cl – до 0.13 вес. %). Такие же высоко-

титанистые везувианы были установлены в “*ранних*” скарнах месторождений Лермонтовское и Восток-2 [3].

Волластонит – наблюдался в составе скарновых прожилков, локализованных в мраморах и кремнистых породах. Он образует удлиненные, шестоватые, сноповидные агрегаты зерен, находясь в тесном сростании с салитом-ферросалитом и гроссуляром (скв. 34; инт. 73.5–73.6 м). Размеры зерен не превышают 0.2 мм в длину. Волластонит кристаллизовался чуть раньше пироксена и граната, которые пространственно тяготеют к центральной частям прожилков. Состав волластонита не изучался, но по оптическим характеристикам он легко диагностируется.

Амфибол – в околоскарновых породах представлен изоморфным рядом тремолит-актинолит. Размеры зерен не превышают 0.1 мм в длину. Основная масса амфиболов отлагалась в послескарновые стадии минерализации, где он совместно с сульфидными минералами замещает пироксены. Для амфиболов этой группы характерен плеохроизм до зеленых-, сине-зеленых оттенков. Химический состав не изучался.

Плагноклаз – в пироксен- и амфибол-плагноклазовых околоскарновых породах замещается (до полных псевдоморфоз) серицитом, кальцитом и хлоритом; наблюдаются только его реликты. Изометричные метазерна размером до 0.3 мм представлены андезином (от 32 до 48 % анортитового минала).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам выполненных исследований установлено, что скарны месторождения Кордонного сформировались в два этапа, которые характеризуются разной металлогенической специализацией: вольфрамовой и полиметаллической. По аналогии с типовыми месторождениями региона в этапах можно выделить временные периоды образования скарнов: “*ранний*”, “*средний*” и “*поздний*”.

Первый этап – вольфрамовый. В этот этап на месторождении Кордонном формировались скарны “*раннего*” и “*среднего*” периодов. Пространственно “*ранние*” скарны преобладают в составе рудных тел центральной части рудного поля, а “*средние*” – на периферии.

“*Ранние*” скарны относятся к биметасоматическо-инфильтрационному типу, на что указывают: 1 – строение скарновых зон на контакте мраморов с алюмосиликатными породами (часто наблюдаются элементы биметасоматической зональности); 2 – строение скарновых зон в мраморах (тектонические контакты скарновых зон с хаотичным распределением породообразующих минералов). Эти скарны не содержат промышленных концентраций вольфрама. Для них

характерны более высокая (относительно “средних”) температура кристаллизации (волластонитовая фация – 750–500 °С; пироксен-гранатовая фация – 650–450 °С; [6]) и повышенная магнезиальность, что нашло свое отражение в минеральном составе скарнов: преобладают пироксены салит-ферросалитового состава, гранат – гроссуляр, присутствуют везувиан и волластонит. Судя по экспериментальным данным Л.П. Плюсниной с соавторами [10], скарны такого состава могут образоваться из гидротермальных растворов при низких концентрациях CO_2 и повышенной активности Al, Mg, летучих F, OH. Присутствие в около-скарновых породах парагенезиса пироксена с плагиоклазом позволяет относить эти скарны к фации нормальной щелочности, которая формируется из хлоридных гидротермальных растворов [7].

“Средние” скарны обычно наблюдаются непосредственно в контакте или вблизи даек (апофиз штока гранитов, вскрытого на глубине) кислого состава. В их минеральном составе преобладает геденбергит, реже встречаются гранат – гроссуляр, эпидот, кварц, пирротин. Эти скарны очень часто содержат промышленные (более 0.2 % WO_3) концентрации вольфрама. Судя по присутствию в этих скарнах пирротина, можно предположить, что они могли формироваться из растворов с повышенной активностью железа и серы, в восстановительной среде, на фоне увеличивающейся роли CO_2 (по сравнению с “ранними”), в температурном интервале 450–320 °С.

Согласно представлениям В.А. Жарикова с соавторами, минерализацию в таких скарнах по времени формирования следует подразделять на “сопутствующую” и “наложенную”, различающиеся между собой по структурно-текстурным особенностям и минеральному составу [6].

“Сопутствующая” минерализация представлена гнездами (до нескольких сантиметров) кварца (иногда с плагиоклазом) с мелкими идиоморфными кристаллами пироксена-2; в небольшом количестве (в сумме менее 2 %) присутствуют амфибол, шеелит и сульфиды (пирротин, халькопирит). Взаимоотношения перечисленных минералов указывают на их последовательную, близкородственную кристаллизацию (структуры замещения и перекристаллизации отсутствуют) в этом процессе. Обращает на себя внимание тот факт, что здесь в участках с сульфидной минерализацией амфиболизация пород не наблюдается, а пирротин и халькопирит выполняют пространство между зернами пироксена. Термобарометрическое изучение кварца из таких гнезд на эталонных объектах показало, что температура его кристаллизации лежит в диапазоне 300–350 °С [3, 12].

“Наложённая” минерализация обусловлена интенсивным окварцеванием, амфиболизацией и сульфидизацией пироксеновых скарнов в результате проявления поздних процессов (стадий) – полевошпатового метасоматоза, грейзенизации и др., что обусловило более разнообразный минеральный состав пород. Здесь пироксены по границам зерен и спайности разведаются кварцем и замещаются амфиболом, слюдами, сульфидами (пирротин, халькопирит), образуя многообразие структур замещения, коррозионных, реликтовых и др.

Второй этап – полиметаллический. Формируются скарны “позднего” периода. Они наблюдались в тектонических зонах, секущих “ранние” и “средние” скарны, а также рудные тела с шеелит-кварцевой и шеелит-сульфидной минерализацией (рис. 3). По структурным признакам – это скарны инфильтрационного типа. В их минеральном составе преобладает гранат – андрадит и геденбергит с высокой марганцовистостью (до 18 % иохансенитового минала). Присутствие в “поздних” скарнах небольшого количества эпидота позволяет относить их к низкотемпературной пироксен-эпидотовой фации, температура образования которой, по экспериментальными данными, менее 500 °С [7].

Сопоставляя полученные результаты исследований скарнов месторождения Кордонного с литературными данными, можно отметить следующее:

1. Образование скарнов Кордонного месторождения – растянутый во времени полистадийный процесс, что отражается как в структурно-морфологических особенностях скарновых тел, так и в рудоносности разных периодов их формирования. По геологической позиции, минеральному составу, физико-химическим условиям кристаллизации скарны первого этапа (“раннего” и “среднего” периодов с вольфрамовым оруденением) можно считать производными единого постмагматического раннещелочного (по Д.С. Коржинскому) [9] гидротермального процесса, связанного с позднемеловыми гранитоидами второй фазы татибинского комплекса. Судя по набору минеральных ассоциаций, их составу и типоморфным особенностям минералов (пироксен – диопсид-геденбергит, гранат – гроссуляр, везувиан и др.), эти скарны месторождения Кордонного, как и скарны эталонных месторождений (Восток-2, Лермонтовское), формировались из растворов, близких по составу и P-T параметрам.

Скарны второго этапа (“позднего” периода с полиметаллическим оруденением), вероятнее всего, следует генетически связывать с более молодым магматизмом позднемелового-палеогенового (вулканический) возраста. Состав пироксенов (геденбергит с

высокими концентрациями марганца) и гранатов (андрадит) этих скарнов указывает на более низкотемпературные (менее 400 °С) условия их формирования относительно скарнов «раннего» этапа, близкие к температурам образования аналогичных пород на эталонных объектах.

2. Особенностью скарноворудных тел месторождения Кордонного является подчиненное распространение в скарнах «раннего» периода ассоциаций (фаций) с везувианом и волластонитом; отсутствие зон полевошпатовых метасоматитов, которые на эталонных объектах сопряжены в пространстве и времени с зонами геденбергитовых скарнов, содержащих шеелитовую минерализацию.

Состав сосуществующих пироксенов (салитферросалит-геденбергит) и гранатов (гроссуляр) из скарнов с вольфрамовыми рудами указывает на их формирование при участии растворов повышенной, а скарнов с полиметаллическими рудами (парагенезис геденбергита с андрадитом) – пониженной кислотности. Это в совокупности с типоморфными особенностями минералов скарнов может косвенно свидетельствовать, в целом, об относительно низкотемпературном характере скарнов изученного месторождения по сравнению со скарнами эталонных месторождений.

3. По совокупности геологических и минералого-петрографических признаков скарнов, стадийности минералообразования и типоморфным особенностям минералов скарнов и руд месторождение Кордонное (как и Скрытое) Малиновского рудного узла следует относить к объектам вольфрамовой группы скарновых месторождений шеелит-сульфидного генетического типа, к которому относятся такие крупные по запасам WO_3 объекты Приморского края, как Восток-2 и Лермонтовское [5, 12].

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов конкурса ДВО № 12-III-A-08-146; 12-III-A-08-148; 12-III-B-08-162; 12-III-B-08-165.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аленичева А.А., Сахно В.Г., Салтыкова Т.Е. U-Pb и Rb-Sr изотопное датирование гранитоидов Татибинской серии плутонического пояса Центрального Сихотэ-Алия // Докл. РАН. 2008. Т. 420, № 1. С. 70–75.

2. Гвоздев В.И. Орехов А.А. Метасоматические породы и генезис шеелитового месторождения Скрытое (Приморье) // Геология руд. месторождений. 2004. Т. 46, № 6. С. 540–551.
3. Гвоздев В.И. Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2010. 338 с.
4. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
5. Жариков А.А. Скарновые месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. М.: Наука, 1969. С. 220–302.
6. Жариков В.А., Омеляненко Б.И. Классификация метасоматитов // Метасоматизм и рудообразование. М.: Наука, 1978. С. 9–28.
7. Жариков В.А. Физико-химические исследования околорудного метасоматизма // Геохимия. 1982. № 12. С. 1754–1787.
8. Козловский Е.А. Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность. М.: Изд-во МГУ, 2002. 849 с.
9. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматических рудных месторождениях. М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 335–456.
10. Плюснина Л.П., Лихойдов Г.Г. Устойчивость везувиана в водном и водноуглеродистом флюиде // Геохимия. 1993. № 5. С. 644–654.
11. Соловьев С.Г. Геолого-генетические особенности вольфрамового месторождения Скрытое в Центральном Сихотэ-Алине (Россия) // Геология руд. месторождений. 1995. Т. 37, № 2. С. 142–158.
12. Степанов Г.Н. Минералогия, петрография и генезис скарново-шеелит-сульфидных месторождений Дальнего Востока. М.: Наука, 1977. 178 с.
13. Ханчук А.И. Геологическое строение и развитие континентального обрамления северо-запада Тихого океана: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. М., 1993. 31 с.
14. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 1995. 66 с.
15. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
16. Хетчиков Л.Н., Говоров И.Н., Пахомова В.А. и др. Особенности генезиса гранитоидов Дальнинского комплекса Сихотэ-Алия по данным изотопных и термобарогеохимических исследований // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 15, № 2. С. 17–28.

Рекомендована к печати В.Г. Гоневчуком

V.I. Gvozdev, D.G. Fedoseev

Skarns of the Kordon tungsten deposit (Primorsky Territory)

Skarns of the Kordon tungsten deposit located in the Malinovy ore joint, Primorsky Territory were examined from cores of the boreholes. Mineral types of the skarns and near-skarn rocks have been defined, and a brief description and ore specialization are given. Typomorphic peculiarities of rock-forming skarns are correlated with reference objects of the region. The problems of skarn genesis are discussed.

Key words: skarns, mineralogy, tungsten deposits, genesis, Primorsky Territory.