

Федосеев Дмитрий Геннадьевич

В 2009 г. окончил Дальневосточный государственный технический университет по направлению «геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» и поступил в очную аспирантуру Дальневосточного геологического института ДВО РАН. Является сотрудником лаборатории минерагении рудных районов этого института. Область научных интересов – изучение условий формирования вольфрамовых месторождений. Работает над кандидатской диссертацией по теме «Геология, минералогия и генезис скарнового шеелит-сульфидного месторождения Кордонное» под руководством доктора геолого-минералогических наук В.И. Гвоздева.

Исследования молодого ученого поддерживались грантами РФФИ (проект № 12-05-31372 мол-а) и ДВО РАН (проекты № 12-III-B-08-165, 13-III-B-08-044, 14-III-B-08-189, 15-II-2-026).

УДК 553.463.685+553.21/.24(571.63)

Д.Г. ФЕДОСЕЕВ

Геология и генезис разнометалльного оруденения в процессе формирования шеелит-сульфидного месторождения Кордонное (Дальний Восток России)

На основе результатов комплексного геолого-петрологического и минералого-геохимического изучения пород и руд шеелит-сульфидного месторождения Кордонное с применением современных аналитических методов определены термодинамические диапазоны условий формирования гранитов, скарнов, грейзенов, а также руд различной специализации (вольфрамовых и полиметаллических). Установлены минеральные ассоциации, характеризующие различные этапы формирования скарнов. Получены доказательства генетической связи вольфрамового оруденения с гранитами татибинского комплекса.

Ключевые слова: генезис вольфрамовых месторождений, скарны, грейзены, шеелит-сульфидное оруденение, флюидные включения.

Geology and genesis of diverse-metal mineralization in the formation of the Kordonnoe scheelite-sulfide deposit (Far East of Russia). D.G. FEDOSEEV (Far Eastern Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

ФЕДОСЕЕВ Дмитрий Геннадьевич – младший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). E-mail: fedoseev@fegi.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-05-00809, 16-05-00283 и ДВО РАН № 15-1-2-003о.

Complex geological, petrological, mineralogical, geochemical, as well as up-to-date analytical study of rocks and ores of the Kordonnoe scheelite-sulfide deposit made it possible to establish ranges of formation conditions for granites, skarns, greisens and ores of different (wolfram and polymetallic) types. The established mineral associations define various stages of skarn formation. The proofs of genetic relationship of wolfram mineralization with granites of the Tatibinsky complex have been obtained.

Key words: genesis of wolfram deposits, skarns, greisens, scheelite-sulfide mineralization, fluid inclusions.

Россия наряду с Китаем и Канадой обладает одной из крупнейших в мире ресурсных баз вольфрама. Наиболее перспективный регион его добычи на Дальнем Востоке – Приморский край. Здесь известны грейзеново-гидротермальные олово-вольфрамовые (Тигриное, Забытое) и скарновые шеелит-сульфидные (Восток-2, Лермонтовское) месторождения, на долю которых приходится 55 % объема добываемого вольфрама в России. Одним из самых перспективных на вольфрамовое оруденение является Малиновский рудный район, расположенный в центральной части Приморского края и включающий скарновые месторождения Скрытое, Кордонное и ряд гидротермальных рудопроявлений с молибден-вольфрамовой, оловянной и оловянно-полиметаллической минерализацией. Особый интерес представляет месторождение Кордонное в связи с его недостаточной изученностью и высокой потенциальной рудоносностью.

Одна из актуальных задач прогнозно-металлогенетических исследований – разработка геолого-генетических моделей рудных объектов. В первую очередь это относится к редкометалльному оруденению, тесно ассоциирующему пространственно и генетически с гранитоидным магматизмом. В дискуссии о причинах образования рудных месторождений, расположенных вблизи интрузий, чаще всего обсуждаются два возможных варианта формирования руд: 1) источником металлов служат гранитные расплавы; 2) гранитные расплавы обеспечивают энергетикой процесс рудообразования, а металлы экстрагируются из вмещающих пород. Вопрос о генезисе месторождения Кордонное, как и многих других полихронных объектов, является дискуссионным: пространственная совмещенность его с гранитными интрузиями указывает на связь между гранитами и рудными образованиями [7], в то же время геолого-структурные особенности свидетельствуют о возможности отнесения этого месторождения к стратиформному типу [4].

Малиновский рудный узел принадлежит к Сихотэ-Алинской аккреционно-складчатой области, примыкает с запада по бассейну р. Малиновка к Центральному Сихотэ-Алинскому разлому. В геологическом строении района и месторождения Кордонное принимают участие породы Самаркинской аккреционной призмы юрского возраста, которые по строению представляют собой олистостромовую толщу (рис. 1) [5, 9].

Среди интрузивных пород на площади месторождения различаются два генетически самостоятельных магматических комплекса – татибинский и синанчинский [8]. Рудные тела представлены горизонтами полого залегающих метаморфизованных и скарнированных карбонатно-кремнистых пород и локализованы над интрузивным телом гранитов, которые, по данным бурения, находятся на глубине около 100 м. Абсолютный возраст (K/Ar- и Rb/Sr-методы) татибинских гранитов соответствует интервалу $102,5 \pm 2$ млн лет [1], возраст синанчинских гранитов – 88–86 млн лет. Важным аргументом отнесения гранитов к разным комплексам послужили установленные признаки водонасыщенности материнских магм татибинских (рис. 2) [7] и маловодности – синанчинских гранитов [6].

Рудные тела на месторождении Кордонное пересекаются множеством прожилков кварц-полевошпат-шеелитового, кварц-шеелитового (иногда с апатитом и арсенопиритом) составов. Мощность скарнированных участков – от 0,2 до 7 м, чаще – в пределах нескольких сантиметров. Грейзены на месторождении представлены двумя минеральными ассоциациями: мусковит-кварцевой и шеелит-apatит-кварцевой [3]. Мусковит-кварцевая ассоциация наблюдается в виде зон небольшой мощности (до 0,05 м) в измененных гранитах или породах кремнистого облика. Кварц-карбонатные и карбонат-кварцевые прожилки занимают секущее положение относительно грейзеновых зон и, очевидно, являются более

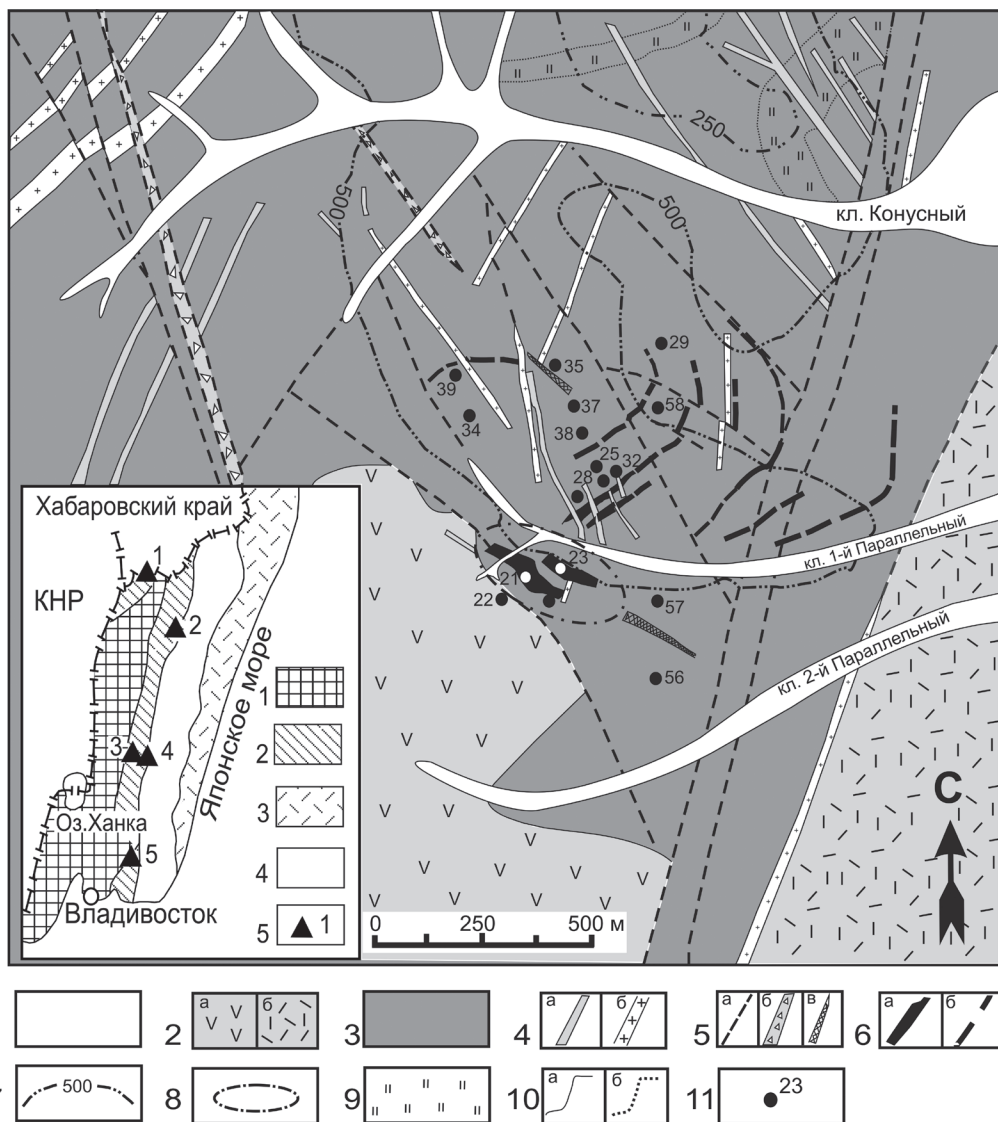


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Кордонное (по материалам П.В. Кораблинова и др. (1985 г.), дополненным данными А.В. Гурикова и С.И. Садкина (2012 г.).

1 – четвертичные отложения (галечники, пески, суглинки и др.); 2 – вулканический комплекс (K_2-P_1vk): андезиты, андезито-базальты (а), риолиты, дациты, кластолавы дацитов, их туфы и туффиты (б); 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) составов; 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 ВЭЗ-ВП (зондирование методом вызванной поляризации); 8 – контуры штокверкового тела; 9 – горизонты кремнистых пород; 10 – геологические границы и углы их падения (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 [5] и А.И. Ханчуку [9]. 1 – Ханкайско-Буреинский кристаллический массив и его обрамление; 2 – Самаркинская аккреционная призма (турбидит-олистостромовая); 3 – Прибрежный вулканический пояс; 4 – осадки турбидитового бассейна и прилежащих к нему островных дуг; 5 – скарновые месторождения шеелита (1 – Лермонтовское, 2 – Восток-2, 3 – Скрытое, 4 – Кордонное, 5 – Бенеовское)

поздними, имеют небольшую мощность (редко более 1 см) и включения рудных минералов (пирротина, пирита, магнетита, марказита). Кроме кварца и карбоната в них встречаются хлорит и эпидот. Сочетание вольфрамовых (шеелит, вольфрамит) и сульфидных (пирротин, халькопирит) минералов – отличительная особенность минерализации месторождения, определяющая его специализацию.

Накопленные к настоящему времени результаты исследований геолого-минералогических, петрологических особенностей и физико-химических условий образования гранитов, метасоматитов (скарнов и грейзенов) и руд

месторождения Кордонное сводятся к следующему. Установлено, что начало кристаллизации гранитов татибинского комплекса соответствует интервалу температур 750–775 °С, давлению флюида – около 150 МПа, водосодержанию магмы – 4,5–5,5 мас. %.

Особенность скарноворудных тел месторождения Кордонное – подчиненное распространение в скарнах «раннего» периода ассоциаций с везувианом и волластонитом и отсутствие зон полевошпатовых метасоматитов, которые на эталонных объектах (Восток-2 и Лермонтовское) сопряжены в пространстве и времени с зонами геденбергитовых скарнов, содержащих шеелитовую минерализацию.

Образование скарнов на месторождении – длительный полистадийный процесс. Скарны первого этапа («раннего» и «среднего» периодов, с вольфрамовым оруденением) по минеральному составу, физико-химическим условиям кристаллизации являются производными единого постмагматического раннещелочного гидротермального процесса [2]. Судя по типоморфным особенностям минералов (пироксен диопсид-геденбергит, гранат-гроссуляр, везувиан и др.), данные скарны месторождения Кордонное формировались из растворов, близких по составу и P-T-параметрам. Скарны второго этапа («позднего» периода, с полиметаллическим оруденением), вероятнее всего, следует генетически связывать с магматизмом более позднего возраста. Составы пироксенов (геденбергит с высокими концентрациями марганца) и гранатов (андрадит) этих скарнов указывают на более низкотемпературные условия их формирования относительно скарнов «раннего» этапа [3].

Парагенезис сосуществующих пироксенов (салит–ферросалит–геденбергит) и граната (гроссуляр) свидетельствует о формировании скарнов с вольфрамовыми рудами из растворов повышенной, а парагенезис геденбергита с андрадитом – об образовании скарнов с полиметаллическими рудами из растворов пониженной кислотности. Это может косвенно подтверждать относительно низкотемпературный характер скарнов изученного месторождения по сравнению со скарнами эталонных месторождений.

Температурный интервал формирования грейзенов – от 450 до 260 °С, концентрация солей в растворе – 14,6–5,4 мас. %-экв. NaCl, уголекислоты – 5,3–2,4 моль/кг раствора [8]. В период формирования дорудного кварца в растворе преобладали хлориды Na, K и Mg. Как установлено Раман-спектроскопией, газовая составляющая флюида представлена уголекислотой с примесью метана. Давление по двум типам сингенетичных включений составляет от 120 до 30 МПа.

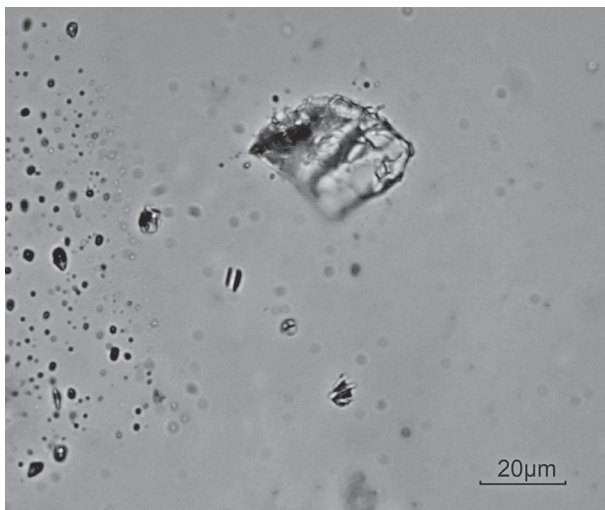


Рис. 2. Группа первичных рудных включений в кварце гранитов татибинского комплекса

Изучение состава включений в гидротермальных прожилках, содержащих шеелит, показало, что в растворе, формирующем эти образования, среди катионов преобладают Na и K, при этом Ca, Mg и Fe играют подчиненную роль.

Для выявления условий образования разнометалльного оруденения исследованы строение и минеральный состав рудоносных прожилков в роговиках мощностью от 1,5 до 3,0 см, имеющих четкие границы с вмещающей породой (прожилки выполнения) зонального строения. Зальбанды прожилков сложены шестоватыми и мелкозернистыми зернами кварца с вкраплениями шеелита, центральная часть – изометричными зернами кварца с неравномерными вкраплениями сульфидов. Взаимоотношения сульфидов и шеелита свидетельствуют о более позднем поступлении растворов, формирующих сульфидную минерализацию: зерна шеелита имеют оторочки сульфидов, а кварц зальбандов перекристаллизован. Данные о составе рудообразующих растворов и условиях формирования сульфидной минерализации получены в результате изучения кристаллов кварца, флюидные включения в котором имеют достаточно крупные размеры и подходят для изучения методами термометрии. В кварце зальбандов включения, пригодные для изучения, не обнаружены.

Для включений кварца кварц-сульфидной ассоциации характерны гетерогенизация растворов, а также присутствие микроминералов сульфидов (рис. 3б), захваченных в вакуоли. Среди дочерних фаз отмечаются гидросиликат Fe и Mn – пиросмалит (рис. 3а) [10]. Главным компонентом газовой фазы включений с пиросмалитом является метан, диагностированный методом Раман-спектроскопии. В более поздних включениях (рис. 3б) обнаружен халькопирит в виде самостоятельной фазы, что также свидетельствует о наличии рудного компонента в растворе.

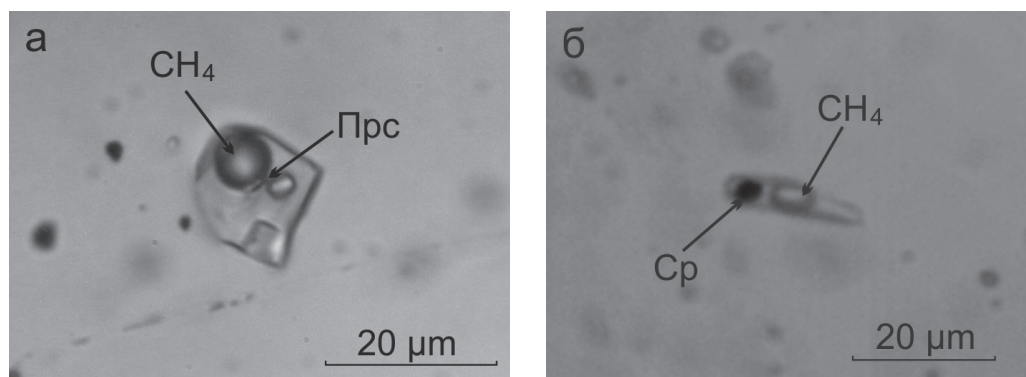


Рис. 3. Включения в кварце из кварц-сульфидного прожилка: а – первичное (дорудное), б – более позднее (послерудное)

Таким образом, в образовании рудных зон и прожилков принимал участие гетерогенный флюид, состоящий из высокосолёной высокоплотной фазы, содержащей хлориды Na, K, Mg, Fe, и низкоплотной газовой фазы, состоящей преимущественно из CO_2 и CH_4 . Составы включений в кварце рудных прожилков свидетельствуют о смешении окислительных (Fe^{3+} в гематите, определенном во включениях в кварце, сингенетичном шеелиту) и восстановительных (CH_4 и Fe^{2+} в пиросмалите, диагностированном во включениях в кварце, сингенетичном сульфидам и фтористому апатиту) процессов при формировании оруденения.

Анализ полученных результатов исследований магматических пород, скарнов, грейзенов и руд месторождения Кордонное приводит к следующим выводам.

1. Гранитоиды месторождения Кордонное представлены двумя фазами, которые различаются по возрасту, термобарогеохимическим параметрам формирования и металлогенической специализации.

2. Разновозрастные скарны месторождения имеют разный минеральный состав, типоморфные особенности породообразующих и преобладающих рудных минералов.

3. Для руд разной специализации (вольфрамовых и олово-полиметаллических) характерен разный минеральный и элементный состав сопутствующих компонентов: Pb-Bi и Ag-Pb-Bi соответственно.

4. При сопоставлении термобарогеохимических характеристик гидротермальных растворов и флюидов, сопровождающих формирование гранитов татибинской серии, выявлены признаки, указывающие на генетическую связь вольфрамового оруденения с татибинскими гранитами [8]. О генетическом родстве гранитов татибинского комплекса и вольфрамовых руд свидетельствуют и физико-химические параметры формирования рудно-магматической системы месторождения Кордонное. Развитие процесса рудоотложения происходило за счет магматического флюида, эволюционировавшего от магматического дистиллята до гидротермального раствора.

5. По стадийности минералообразования и типоморфным особенностям минералов скарнов и руд исследуемое месторождение Кордонное Малиновского рудного узла сопоставимо с объектами вольфрамовой группы скарновых месторождений шеелит-сульфидного генетического типа, к которому относятся такие крупные по запасам вольфрама объекты Приморского края, как Восток-2 и Лермонтовское.

Полученные нами результаты исследования являются новыми для месторождения Кордонное и могут повысить эффективность поисково-оценочных работ организаций, занимающихся разведкой и разработкой вольфрамовых месторождений Приморья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аленичева А.А., Сахно В.Г., Салтыкова Т.Е. U-Pb и Rb-Sr изотопное датирование гранитоидов Татибинской серии плутонического пояса Центрального Сихотэ-Алиня // Докл. АН. 2008. Т. 420, № 1. С. 70–75.
2. Гвоздев В.И. Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2010. 338 с.
3. Гвоздев В.И., Федосеев Д.Г. Скарны вольфрамового месторождения Кордонное (Приморский край) // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 32, № 2. С. 100–111.
4. Гетманская Т.И., Рассулов В.А., Материкова А.М. Минералогические особенности «стратиформного» вольфрамового оруденения Сихотэ-Алинской центральной зоны: материалы годичной сес. Моск. отд-ния Рос. минер. о-ва. М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 106–110.
5. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 240 с.
6. Рейф Ф.Г. Условия и механизмы формирования гранитных рудно-магматических систем (по термобарогеохимическим данным). М.: ИМГРЭ, 2009. 497 с.
7. 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 // Геол. руд. месторождений. 2014. Т. 56, № 6. С. 1–10.
8. Федосеев Д.Г., Пахомова В.А., Гвоздев В.И. Флюидные включения в минералах рудных ассоциаций месторождения Кордонное: тез. докл. XV Всерос. конф. по термобарогеохимии. М.: ИГЕМ РАН, 2012. С. 86–87.
9. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
10. Pan Y., Fleet M.E., Barnett R.L., Chen Y. Pyrosmalite in Canadian Precambrian sulfide deposits: mineral chemistry, petrogenesis and significance // Can. miner. 1993. Vol. 31. P. 695–710.