

УДК 553.21:553.463

Колесникова Н.Б. (ФГБУ «ВИМС»), Борисов В.Н. (ООО ГП «Таежная экспедиция»), Раков Л.Т. (ИГЕМ РАН)

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА СУЛЬФИДНОЙ И ВОЛЬФРАМ-МОЛИБДЕНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ОДНОМ ИЗ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ПРИМОРЬЯ

*Проведены исследования пород, вмещающих сульфидную и вольфрам-молибденовую минерализацию рудопроявления Александра, позволившие выявить некоторые особенности его генезиса. Результаты проведенных работ дают основание сделать предположение о зависимости состава и характера рудной минерализации от вмещающих пород, о роли последних как одном из возможных источников рудного вещества и значении гидротермального процесса в формировании оруденения. **Ключевые слова:** шеелит, молибденит, рудообразование, штокверк, гидротермальный процесс.*

Kolesnikova N.B. (VIMS), Borisov V.N. (Taezhnaya expedition), Rakov L.T. (IGEM)

SULFIDE AND TUNGSTEN-MOLYBDENUM MINERALIZATION FEATURES OF THE GENESIS ONE OF THE OCCURRENCES OF PRIMORYE

*Rocks enclosing sulphide and tungsten-molybdenum mineralization occurrences Alexander has identified some features of its genesis were studied. The results of this work provide a basis to make an assumption about the dependence of the composition and nature of mineralization of the host rocks, the role of the latter as one of the possible sources of ore matter and significance of hydrothermal process in the formation of mineralization. **Key words:** scheelite, molybdenite mineralization, stockwork, hydrothermal process.*

Рудопроявление Александра расположено в Дальнереченском районе Приморского края в 20 км к северо-востоку от вольфрамового месторождения Скрытое. Ближайший населенный пункт — с. Мартынова Поляна расположен в 25 км к юго-востоку от объекта.

Район, включающий рудопроявление, изучался в ходе геологических съемок с попутными поисками масштабов 1:200 000 и 1:50 000 (Максименко, 1970) и геофизических исследований масштаба 1: 200 000 (Шамин, 1984). Часть площади рудопроявления Александра изучена в процессе детальных поисков (Максименко, 1970; Иголкин, 1974). В последние годы были проведены прогнозно-поисковые работы по оценке ресурсного потенциала перспективной на вольфрам Малиновской площади (Найденко, 2007), в состав которой входит исследуемый объект.

В 2013–2015 гг. силами ООО ГП «Таежная экспедиция» на объекте проводились работы с целью расширения МСБ проектируемого предприятия по освоению вольфрамового месторождения Скрытое с оценкой прогнозных ресурсов по кат. P_1 и P_2 . В рамках прово-

дившихся работ отбирались образцы вмещающих и рудосодержащих пород с последующим исследованием прозрачных шлифов, аншлифов, проведением рентгено-спектального и других видов анализов. Цель исследований — установить характер связи рудной минерализации с вмещающими породами и роль последних в формировании оруденения, определить генетическую принадлежность рудопроявления. Решение данных вопросов предопределяет дальнейшее направление поисковых работ в пределах перспективных площадей указанного района.

Краткая геологическая характеристика объекта. Модель рудопроявления

Комплекс проведенных геолого-геофизических работ позволил конкретизировать представления о геологическом строении рудопроявления Александра. Основные особенности, характеризующие строение исследуемой площади:

- пологое залегание рудовмещающих толщ, представленных разными типами переслаивающихся метаморфизованных осадочных и вулканогенных пород, смятых в пологие складки с углами падения 10–25°;

- наличие эродированной гранитной интрузии;

- наличие широко развитой системы полого и крутопадающих трещин преимущественно северо-восточного, северо-западного и субширотного простирания.

Гранитный массив Александра относится к нижнемеловому татибинскому комплексу, пересечен многочисленными пострудными дайками диоритов, дацитов, андезитобазальтов, диабазов.

Рудопроявление Александра представляет собой сложно построенную зону, включающую два рудных штокверка и серию стратиформных рудных залежей (рис. 1). Оба рудных штокверка характеризуются жильным и прожилково-вкрапленным оруденением. Один из них расположен в массиве гранитов и отличается рудами, в составе которых в качестве главного полезного элемента преобладает вольфрам. Минеральный тип руд молибденит-шеелитовый. В составе руд второго штокверка в качестве полезного компонента преобладает молибден. Штокверк расположен к востоку от гранитного интрузива в толще метаморфогенных пород и представляет собой серию разнонаправленных мусковит-кварцевых и мусковит-сульфидно-кварцевых прожилков с молибденитом, реже с шеелитом. В рудах этих штокверков значительную долю составляют сульфиды: пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит. В отдельных пробах установлено большое содержание серебра.

К западу от интрузива гранитов выделяются пластообразные рудные тела скарноидов по эффузивам основного состава с шеелитовой минерализацией. Наряду с рудными штокверками они учтены при подсчете прогнозных ресурсов данного объекта.

Основными элементами структурного каркаса штокверков служат три системы тектонических нарушений

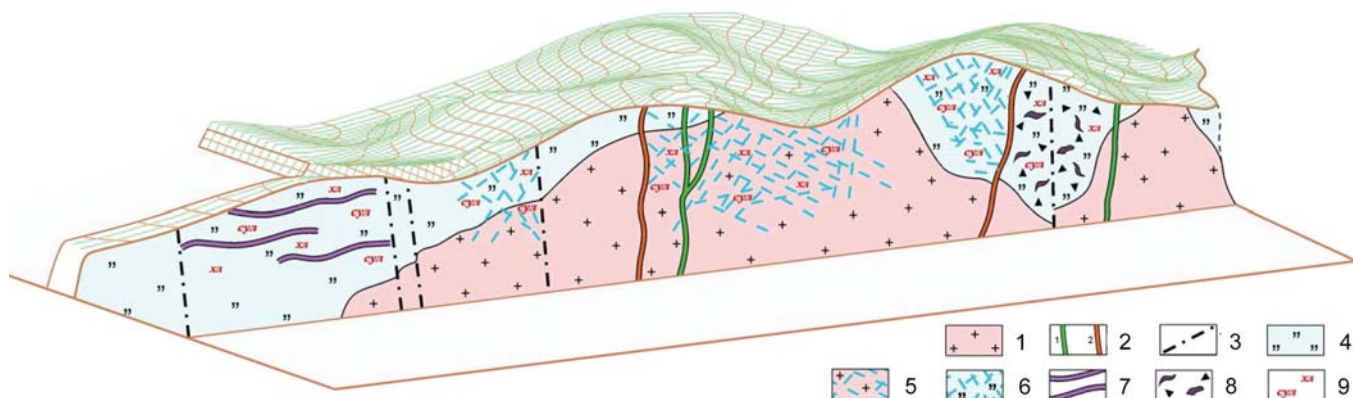


Рис. 1. Модель рудопроявления Александра: 1 — граниты биотитовые; 2 — дайки: 1 — основных пород, 2 — кислых пород; 3 — тектонические нарушения; 4 — метаморфогенные породы; 5 — рудный штокверк в гранитах с молибденит-шеелитовой минерализацией; 6 — рудный штокверк в метаморфогенных породах с шеелит-молибденитовой минерализацией; 7 — стратиформные тела скарноидов с шеелит-сульфидной минерализацией; 8 — прожилково-жильные кварц-сульфидные руды, кварцевая рудная брекчия; 9 — наложенная пропилюитовая стадия хлорит-серицит-сульфидная минерализация

преимущественно северо-восточного и северо-западного направлений, в меньшей степени — субширотного. Они определяют расположение как рудных, так и дорудных преимущественно кварцевых прожилков. Сливной молочно-белый, реже сахаровидный дорудный кварц формирует серии сближенных прожилков мощностью от 1 до 5–7 см и жильные образования мощностью от 0,5–0,7 до 1,5 м. Такой кварц практически не содержит рудной минерализации, лишь изредка в нем отмечаются тонкая вкрапленность пирита или отдельные кристаллы арсенопирита. Простирание зон прожилково-жильных образований северо-восточное, азимут падения — 320–325°, угол 70–85°, контакты жил и прожилков четкие, близкие к прямолинейным.

Распространение рудной минерализации определяется положением ранее сформировавшихся прожилково-жильных безрудных зон. Кварц, ассоциирующий с молибденитом и шеелитом, средне- или крупнокристаллический светло серого цвета. Формирование оруденения происходило в условиях последующего приоткрывания части трещин, ранее заполненных безрудным кварцем, и образования новых.

Прямые геологические наблюдения указывают на наличие предположительно трех генераций молибденита.

Первая генерация — наиболее ранняя, связана с малочисленными прожилками кварца, отличающимися незначительным содержанием молибденита, иногда в ассоциации с пиритом.

Вторая генерация (основная) представлена молибденит-кварцевыми прожилками, секущими прожилки первой генерации. С этой стадией рудоотложения связывается, по существу, вся минерализация, определяющая промышленную значимость объекта по молибдену.

Третья генерация молибденита (предположительно самая поздняя?) формируется в виде редкой, звездчатой вкрапленности в слабо измененных вторичными преобразованиями гранитах, вне ассоциации с кварцем.

В табл. 1 показаны результаты анализа мономинеральных фракций молибденита. Проба № К-214А-71,3 отобрана из молибденит-кварцевого прожилка с

аз. пад. 800, угол падения 70–800. Молибденит в прожилке преимущественно мелкочешуйчатый. Проба № К-214-40 отобрана из молибденит-кварцевого прожилка с аз. пад. 3200, угол падения 700. Молибденит в прожилке преимущественно крупночешуйчатый. Оба прожилка размещены в метаморфогенно-осадочных породах. Проба № С-27-73 отобрана из прожилка в слабо грейзенизированных гранитах, молибденит крупночешуйчатый.

Столь значительная разница в содержаниях рения может быть обусловлена разными стадиями процесса минералообразования. Отложение молибденита во времени происходило неоднократно, каждый раз сопровождая процесс приоткрывания новых систем трещин, способствующих циркуляции гидротерм и их взаимодействию с породами.

Шеелитовая минерализация развивается вслед за молибденитовой. Она фиксируется в прожилках кварц-слюдистого и кварц-полевошпатового составов, ассоциируется с пиритом, реже арсенопиритом и халькопиритом, а также в виде вкрапленности в гранитах и метаморфических породах.

Широко распространены вольфрамит-шеелитовые зерна, агрегаты зерен, мелкокристаллические корки шеелита, внутри которых сохраняется вольфрамит. В литературе, посвященной изучению вольфрамового оруденения, подобные вольфрамит-шеелитовые выделения описаны достаточно широко. Считается, что такой шеелит образуется путем замещения вольфрамита. Однако для рассматриваемого случая более приемлемой представляется другая точка зрения. Известно [4], что в гидротермальном процессе состав образующихся

Таблица 1
Содержание рения в мономинеральных фракциях молибденита

№ п/п	Номер пробы	Re, %
1	К-214А-71,3	0,00617
2	К-214-40	0,00112
3	С-27-73	0,00025

минеральных фаз определяется совокупностью меняющихся параметров: температурой, давлением, pH, концентрацией компонентов и их активностью. При этом температура снижается не только от одной стадии минералообразования к другой, но и в пределах каждой стадии, что несет за собой изменение и остальных параметров. Не исключено, что осаждение вольфрама в разных минеральных формах обусловлено сменой температурного и кислотно-щелочного режима, т.е. составом и концентрацией растворенных компонентов в жидкости, взаимодействующей с породой. Если в начале процесса с вольфрамом связывалось железо, то к его завершению с вольфрамом связывается кальций. Оба элемента при этом заимствуются из боковых пород. В результате центральная часть зерен образована вольфрамитом, а периферия — шеелитом. Образующиеся скопления таких двухфазных выделений создают впечатление раздробленного зерна с включениями реликтового вольфрамита. Совместное нахождение шеелита и вольфрамита в одном скоплении — явление не единичное для гидротермальных вольфрамовых рудопроявлений.

Одна из характерных черт исследуемого рудопроявления — субпараллельность основной массы прожилков и жил, которая сохраняется и при изменении их простираения в различных частях минерализованной зоны вне зависимости от вмещающего субстрата. Это обстоятельство косвенно указывает на связь рудоотложения с тектоническими подвижками и связанной с ними гидротермальной деятельностью.

Вышеописанные особенности исследуемого объекта позволяют предположить, что роль интрузива по отношению к рудной минерализации не является основным фактором в процессе рудоотложения. Речь идет о преимущественно гидротермальной природе рудообразования без видимой прямой связи со становлением гранитной интрузии. В данном случае как интрузивный массив, так и собственно рудопроявление могут рассматриваться как разные производные более глубоких магматических очагов, игравших роль источника тепла в процессах рудообразования. Поднимаясь к верхним частям земной коры, магма прогревала находящиеся там водные растворы, инициировавшие рудоотложение как в гранитах, так и во вмещающих толщах.

Исследования пород методом оптической микроскопии

Данный раздел статьи посвящен результатам, полученным на основании исследований прозрачных шлифов методом оптической микроскопии в проходящем свете. Изучены породы, составляющие гранитоидный массив, а также вмещающие его метаморфизованные песчаники, филлиты, кристаллические сланцы по осадочным и вулканогенным породам. Исследованы метасоматические и гидротермальные образования — грейзенизированные породы и мусковит-кварцевые жилы, процесс формирования которых сопровождается развитием рудной минерализации.

По результатам проведенных авторами исследований масштаб грейзенизации в пределах площади рудопроявления Александра незначителен, а интенсивность метасоматической проработки ограничена в основном преобразованием полевых шпатов в мусковит-кварце-

вый агрегат с незначительной примесью апатита, сульфидов и шеелита. Основная доля рудной минерализации связана с кварцевыми жилами, пересекающими как сам интрузив, так и вмещающую его толщу метаморфизованных осадочных и вулканогенных пород.

Интрузивный массив сложен известково-щелочными биотитовыми гранитами—адамелитами, состоящими в основном из полевых шпатов (около 60 %), кварца (20–25 %), биотита (15–20 %). В адамелитах постоянно присутствует определенное количество рудной вкрапленности, в основном сульфидов, выделившихся в процессе вторичных преобразований минералов, составляющих породу. Полевые шпаты в породе представлены андезином (№ 34), альбит-олигоклазом и ортоклазом. Вторичные минералы: хлорит, эпидот, кальцит, сфен, серицит. Хлорит, сфен, эпидот частично замещают биотит с образованием мелких выделений рудных минералов. Карбонат и серицит частично замещают андезин. Акцессорные минералы — апатит, монацит, циркон, ильменит.

Согласно точке зрения А.А. Маракушева [3] некоторые особенности состава и структуры полевых шпатов, описанных гранитов (хорошо выраженная зональность плагиоклазов, отсутствие мирмекитов), свидетельствуют в пользу их образования в условиях больших или средних глубин и высоких температур. Типичная гранитовая структура, незначительные вторичные изменения, обычный для гранитов набор акцессорных минералов и отсутствие примесей не магматического происхождения позволяют говорить об относительно молодом возрасте интрузии.

По результатам РСА содержание вольфрама в породе составляет от 0,0016 до 0,0042 %, что в десятки раз превышает его кларковые содержания в гранитах (0,00022 %) по А.А. Беусу [2]. Этот факт подтверждает вольфрамовую специализацию гранитного интрузива.

На рис. 2а показаны взаимоотношения рудных минералов в жильном кварце. Сульфиды — пирит, халькопирит, пирротин, молибденит образуют ксеноморфные выделения в кварце, мелкие включения которого присутствуют в них в виде реликтов. Очевидно, сульфидные минералы сформировались в жильном субстрате в последнюю очередь: в зернах кварца отмечены признаки деформации (микротрещины и изменение характера угасания зерен) в ходе более поздней кристаллизации рудных минералов. В качестве акцессорных минералов в жильном материале присутствуют флюорит, апатит, ксенотим, касситерит.

Процесс слабо выраженной грейзенизации (замещение полевых шпатов мелкочешуйчатым мусковитом, образование средне-крупночешуйчатого мусковита в зальбандах кварцевых жил) затронул как граниты, так и кислые эффузивные и метаморфогенно-осадочные образования. На рис. 2б представлены выделения рудных минералов в грейзенизированном риолитовом порфире. Порода состоит из кварца, мусковита, небольшого количества апатита и сульфидов, обладает реликтовой порфириковой структурой. Выделения рудных минералов в породе имеют изометричную форму, размеры от 1 до 4 мм и более, сложены главным образом пирротинном. В составе пирротинных обособлений в

незначительном количестве обнаружены субидiomорфные кристаллики ($<0,1$ мм) сфалерита, ксеноморфный халькопирит и единичные идиоморфные зерна шеелита. Сульфиды сформировались путем вытеснения мусковита и кварца, мелкие реликтовые включения которых сохранились в отдельных скоплениях. Шеелит составляет в таких скоплениях незначительную долю.

Ниже приведены наиболее характерные примеры, иллюстрирующие особенности формирования выделений рудных минералов и роль трещинной тектоники в данном процессе.

Результат воздействия тектонических и гидротермальных процессов на породы, слагающие исследуемую площадь вне зоны экзоконтакта с интрузией гранитов, продемонстрирован на рис. 2в, г. В породах от-

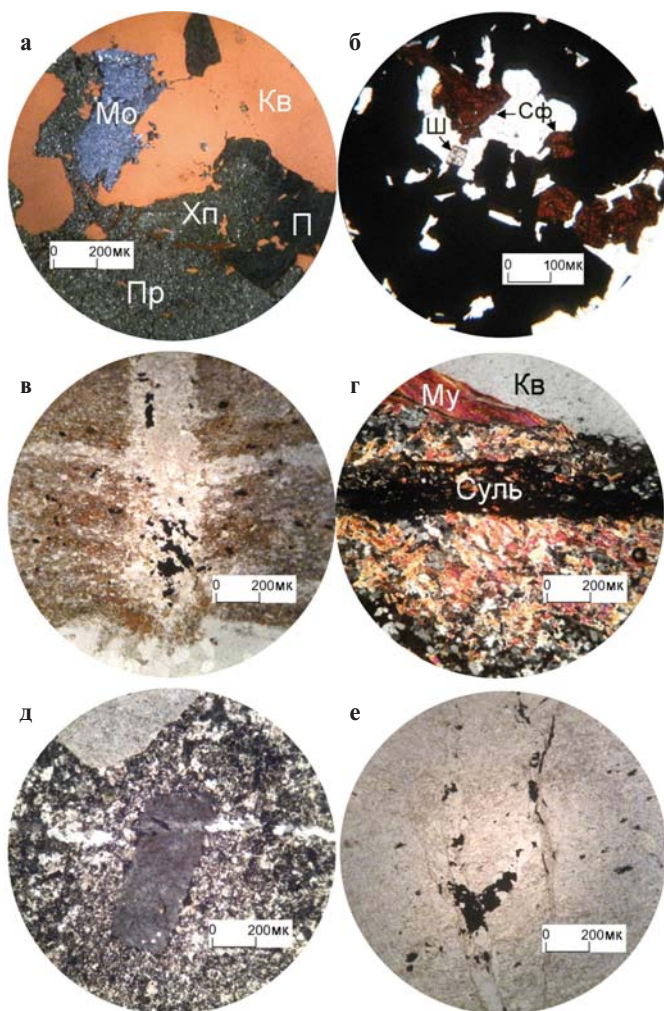


Рис. 2. Взаимоотношения рудных минералов в жильном кварце при одном никеле с дополнительной боковой подсветкой (а); взаимоотношения рудных минералов в грейзенизированном риолитовом порфире при одном никеле (б); прожилки двух типов в биотит-серицитовом филлите при одном никеле (в); жила кварца с пиритом и пирротинном на контакте со слюдястым песчаником в скрещенных николях (г); трахириолит с трещиной, заполненной кварцем в месте пересечения основной массы породы и щелочным полевым шпатом при пересечении фенокристалла ортоклаза в скрещенных николях (д); филлит с трещинками, заполненными кварцем, альбитом, хлоритом, кальцитом и пиритом при одном никеле (е)

мечены трещины с жилами и прожилками двух типов. Первый тип — жилы и прожилки выполнения, где жильный материал сформирован в основном зернами кварца, кристаллизовавшегося из гидротермальных растворов, циркулировавших в свободном пространстве трещин. Второй тип — жилки и прожилки, сформированные в результате залечивания трещин материалом породы, которую они пересекают.

На рис. 2в представлена фотография шлифа, где изображен биотит-серицитовый филлит с прожилками обоих типов. Порода сложена в основном мелкочешуйчатым биотитом и серицитом. В небольших количествах в виде очень мелких (размером тысячные доли миллиметра) частичек присутствует щелочной плагиоклаз и кварц. Повсеместно отмечаются изометричные или слегка вытянутые зерна пирита размером до $0,05$ мм. В нижней части шлифа виден прожилок кварца первого типа, ориентированный вдоль плоскости сланцеватости, сформированный изометричными зернами размером от $0,1$ до 2 мм. Вдоль прожилка фиксируется незначительное по ширине распространения изменение цвета породы за счет осветления чешуек биотита.

Наиболее крупный из прожилков второго типа расположен вдоль вертикальной оси шлифа и ориентирован перпендикулярно сланцеватости. Здесь, наряду с кварц-полевошпатовым материалом, в заполняемой трещине сегрегируются кристаллы пирита, образуя более крупные выделения по сравнению с точечными, равномерно рассеянными в породе. В данном случае скопления пирита вдоль трещины сформированы без привноса вещества извне. Рис. 2г демонстрирует формирование крупночешуйчатого мусковита и скопления сульфидов на контакте жильного кварца с метаморфизованным слюдястым песчаником. Слюдистый песчаник состоит из мелких зерен кварца величиной порядка $0,1$ мм и чешуек мусковита размером $0,5$ – $1,5$ мм. Помимо кварца и мусковита в породе содержится небольшое количество биотита, хлорита, мелкие выделения сфена с лейкоксеном, а также единичные неравномерно распределенные кристаллы пирита, имеющие кубическую форму и размеры $0,1$ — $0,2$ мм. Накопление сульфидов и образование крупночешуйчатого мусковита, так же как и в предыдущих случаях, происходит путем дифференциации и перекристаллизации вещества самой породы.

В дополнение к приведенным выше иллюстрациям стоит продемонстрировать весьма показательный пример формирования кварц-полевошпатовой жилки, заполняющей микротрещину в субщелочном риолитовом порфире.

На рис. 2д изображена порода, состоящая из ортоклаза, кислого плагиоклаза, кварца, небольшого количества биотита. В качестве вторичных минералов присутствуют кальцит, хлорит. Основная масса породы представляет собой девитрифицированное кислое стекло, преобразованное в афанитовый агрегат с преобладанием ортоклаза, небольшим количеством кварца и слюд. На отдельных участках базиса заметна реликтовая сферолитовая структура основной массы. Соотношение вкрапленников и основной массы $2:3$. Порфировые вкрапленники представлены преимущественно

ортотклазом, несколько в меньшем количестве кислым плагиотклазом, кварцем, а также биотитом и полностью замещенным вторичным минералом пироксеном.

В породе отмечены микротрещины с шириной раскрытия до 0,06 мм, залеченные мелкогранулированным кварцем, карбонатом (выделяющимся при деанортитизации полевого шпата) и щелочным полевым шпатом. Материал заполнения трещины зависит от того, какие минералы и составляющие части породы она пересекает: это кварц в месте пересечения основной массы породы, щелочной полевой шпат при пересечении ортоклаза и карбонат при пересечении плагиотклаза.

Другой пример, демонстрирующий зависимость материала заполнения трещины от состава породы, которую она пересекает, приведен на рис. 2е. Порода филлит сложена мелкими зернышками кварца, полевого шпата, чешуйками мусковита, хлоритом. Мусковит и хлорит в основной кварц-полевошпатовой массе распределены неравномерно, их скопления обнаруживают некоторую тенденцию к определенной ориентировке, обуславливая неявную сланцеватость.

Филлит пересекается многочисленными разнонаправленными трещинками с шириной раскрытия не более 0,1 мм, заполненными более крупнозернистым материалом, в основном гранулированным кварцем, альбитом, хлоритом, кальцитом, пиритом. Вдоль трещин отмечено укрупнение чешуек мусковита. В раздутах и местах пересечения трещин образуются скопления пирита более крупные, чем те, что равномерно распределены в породе в виде мелкой вкрапленности. На рисунке изображено одно из таких скоплений. В данном случае скопления пирита образовались путем экстракции рудного вещества из породы и его сегрегации в свободном пространстве трещины, возникшей при деформации. Ранее более подробно механизм образования микропрожилков, аналогичных показанным на рис. 2д, е, описан В.Ф. Барабановым [1].

В соответствии с точкой зрения исследователей, посвятивших свои работы изучению рудных месторождений, в том числе проблемам генезиса и источника рудного вещества [6, 1], рудные элементы (цинк, свинец, молибден, серебро, олово, вольфрам) могут находиться в породах в изоморфной форме, форме молекулярного рассеяния и в виде микровыделений соответствующих минералов. По расчетам Л.В. Таусона неизменные гранитоиды содержат от 0,5 до 1,5 т молибдена [6]. Как пишет В.Ф. Барабанов, «многие рудопоявления в этих породах представляют собой всего лишь реализацию процессов высвобождения атомов рудных, редких и рассеянных элементов из пороодообразующих минералов и перераспределение их по новым минеральным фазам под действием гидротермальных минералообразующих растворов» [1].

Исследования, проведенные в свое время Н.И. Хитаровым, показывают, что при высоком давлении и температуре минералы, слагающие породу, способны отдавать в раствор рудные элементы. Интересно, что проведенный Н.И. Хитаровым опыт воздействия на породу водой при температуре 450° и давлении 500 кгс/см² свидетельствует о переходе в раствор довольно значительного количества ряда компонентов,

при этом под микроскопом изменений в слагающих породу минералах не было обнаружено [7].

На основании проведенных опытов Н.И. Хитаров делает следующее заключение: «каждая трещина протяженностью 100 м и при глубине распространения на те же 100 м, с учетом площади ограничивающих ее плоскостей, или система трещинок, отвечающая этой площади, могут отдать в течение суток в раствор до 45–50 кг минеральных веществ, в том числе 27–30 кг кремнезема».

Присутствие и передвижение растворов в породе обеспечивается наличием пустот и трещин. Обогащение растворов рудными компонентами происходит во время их движения через породы, из которых они могут заимствовать рудные элементы. Механизм перемещения рудных элементов одинаков как для гранитоидов, так и для пород осадочного и метаморфогенного происхождения. Согласно взглядам Д.И. Щербакова, магма, внедряющаяся в толщу осадочно-метаморфогенных пород, играет роль источника тепла, нагревая уже существующие в породах растворы, которые экстрагируют ряд элементов (в частности, такие как молибден и вольфрам) из боковых пород, в том числе из магматических тел [8].

Анализ пород в шлифах позволяет сделать заключение о том, что формирование скоплений рудных минералов в гранитах и вмещающих толщах на рудопоявлении Александра происходило, скорее всего, в процессе перераспределения вещества. Такое перераспределение становится возможным в результате деформации и воздействия на породу высокотемпературных гидротермальных растворов, при этом источником рудного вещества является вмещающая порода.

Исследования кварца методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)

В процессе работ проведен генетический анализ образцов кварца с применением метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Для записи спектров ЭПР использовался спектрометр «ER-420» (фирма «Bruker», Германия). Прецизионность результатов измерения концентраций изоморфных примесей в среднем составляла 10 %. Концентрации изоморфных примесей оценивались в условных единицах. Для примеси Ge она равнялась 10⁻⁵ %, для примеси Ti — 10⁻⁴ %. Изучались образцы кварца, отобранные из жил разного типа, а также из гранитов и грейзенизированных пород. В настоящих исследованиях использовался разработанный в ФГБУ «ВИМС» метод изоген, основанный на изучении поведения графиков зависимостей между концентрациями изоморфных примесей титана (C_{Ti}) и германия (C_{Ge}) в кварце [5]. Графики зависимостей $C_{Ge}(C_{Ti})$ для образцов одной генетической группы имеют вид прямых линий, называемых изогенами. Каждая изогена, как правило, соответствует определенному геологическому процессу. Положение точек на графиках $C_{Ge}(C_{Ti})$ несет информацию о времени протекания этих процессов. К наиболее ранним относятся изогены, проходящие через начало координат. На основании данных, полученных в результате изучения образцов, отобранных на рудопоявлении Александра, выделяются три изогены, каждая из которых отражает опреде-

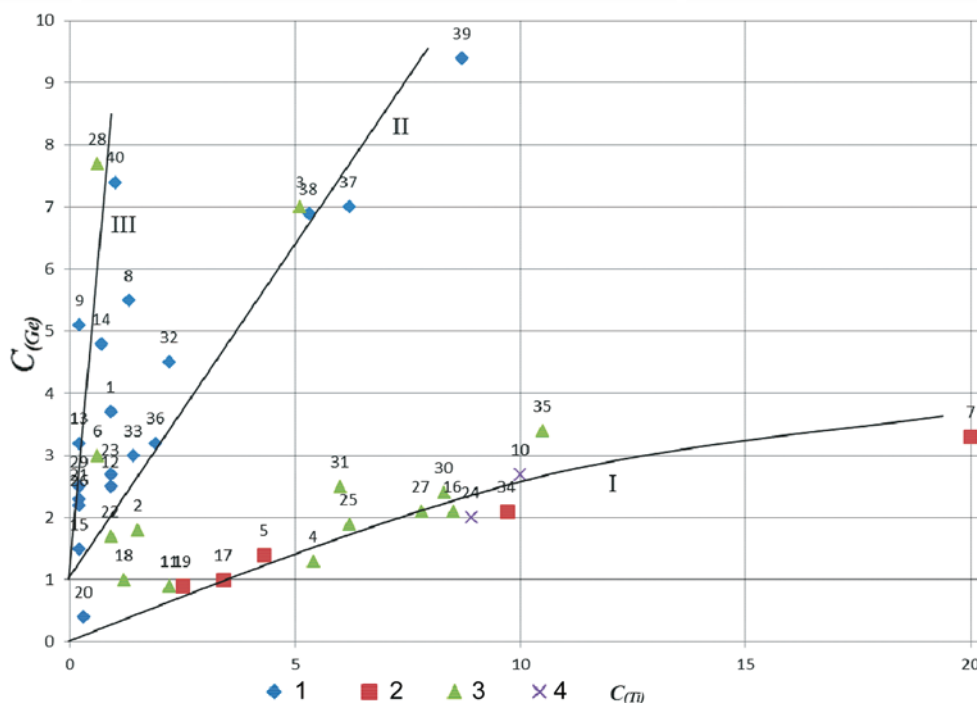


Рис. 3. График зависимости $C_{ге}(C_{т})$ для образцов кварца, отобранных из разных пород. Цифры на графике — номера образцов: 1 — жилы и прожилки; 2 — граниты; 3 — грейзенизированные породы; 4 — дайки

ленный процесс, имеющий свойственные ему параметры (рис. 3).

Изогена I отражает наиболее ранний высокотемпературный процесс, в ходе которого кристаллизовался кварц — образование гранитов. Этой же изогене соответствует ряд образцов метасоматически измененного кварца. Полученные результаты показывают, что метасоматическая проработка оказалась не столь существенной, чтобы изменить магматическую природу минерала. Это вполне согласуется с геологическими данными и результатами исследования прозрачных шлифов, указывающими на незначительную интенсивность метасоматоза гранитов.

Чем больше угол наклона изогены, тем ниже температура соответствующего ей геологического процесса. Изогенам II и III соответствует более позднее образование кварца. Как показывает изогена II, один из типов позднего кварца сформировался при достаточно высокой температуре после завершения магматической деятельности, что предположительно соответствует высокотемпературному гидротермальному процессу. Изогена III указывает на образование третьего, наиболее низкотемпературного кварца. В ходе процесса, соответствующего изогене II, скорее всего, формировались молибденит и шеелит. Изогена III соответствует отложение сульфидов.

Результаты генетического анализа кварца из разных типов геологических образований на рудопроявлении Александра согласуются с выводами о слабой интенсивности процесса грейзенизации и гидротермальной природе оруденения, полученными на основании исследований методом оптической микроскопии.

Результаты исследований гранитов и вмещающих пород методом рентгеноспектрального анализа

В соответствии с вышеизложенным, при определенных условиях потенциально рудоносной может быть любая порода. Для формирования оруденения необходимо наличие в ней рудного элемента, соответствующего давления, температуры, кислотно-щелочного режима. Что касается

воды для образования растворов, переносящих и отлагающих рудное вещество, она в достаточном количестве может присутствовать в любых породах [1]. Повышенное содержание полезного компонента в конкретной породе предопределяет и более высокую вероятность образования рудных скоплений при прочих благоприятных для рудоотложения условиях. В табл. 2 приведены результаты сравнения вариаций содержаний основных рудных элементов в гранитах, вмещающих штокверк преимущественно с шеелит-кварцевым оруденением и в метаморфогенных породах, вмещающих штокверк с преобладанием молибденит-кварцевого оруденения. Рентгеноспектральный панорамный анализ (PCA) выполнен с использованием рентгенофлуоресцентного волнового последовательно-го спектрометра «MagiX» PRO («Panalitica», Голлан-

Таблица 2
Вариации рудных элементов в породах

Значения	S (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Cu (%)	Zn (%)	Mo (%)	Sn (%)	W (%)	Pb (%)
граниты (9 образцов)								
среднее	0,117	3,48	0,0151	0,0032	0,0007	0,0010	0,0041	0,0016
минимум	0,010	2,46	0,0100	0,0210	0,0005	0,0005	0,0005	0,0012
максимум	0,220	4,11	0,0230	0,0510	0,0160	0,0011	0,042	0,0026
S _r	0,49	0,14	0,3	0,25	0,32	0,28	1,19	0,25
песчаники метаморфизованные, филлиты (2 образца)								
среднее	0,37	4,27	0,27	0,012	0,0017	0,0033	0,0021	0,0039
минимум	0,29	2,86	0,2	0,011	0,0015	0,0016	0,0005	0,0009
максимум	0,44	5,68	0,34	0,12	0,0018	0,0049	0,0038	0,0069
S _r	1,7	0,33	0,26	0,04	0,12	0,52	0,57	0,77

Примечание: S_r — относительное стандартное отклонение выборки

дия) (выполнено в Аналитическом центре ФГБУ «ВИМС» Н.С. Вахониным). Как видно из табл. 2, средние значения содержаний молибдена в метаморфизованных песчаниках и филлитах, вмещающих молибденитовый штокверк, в 2,5 раза больше, чем в гранитах. Средние содержания вольфрама в гранитах, вмещающих шеелитовый штокверк, в два раза больше, чем в метаморфогенных породах.

В образовании крупных месторождений помимо вышеописанного участвуют и другие процессы. Но для формирования рудной вкрапленности и небольших количеств руды, соответствующих категории рудопроявления или небольшого месторождения, описанный механизм рудообразования, подразумевающий экстракцию полезного компонента из пород при воздействии растворов, проходящих через поры и трещины, с последующим его переносом и отложением при наступлении благоприятных условий, вполне возможен.

Выводы и обобщения

Результаты проведенных исследований позволили сделать выводы о том, с какими породами связано оруденение, их составе и характере этих связей, а также о некоторых генетических особенностях самого оруденения. Полученные выводы дают возможность взглянуть на генезис рудопроявления с несколько иной точки зрения, чем это делалось до сих пор. Основная доля в рудной составляющей по данным оптических исследований приходится на сульфиды, представленные главным образом пиритом, халькопиритом, пирротинном. В меньшей степени среди рудных минералов присутствуют молибденит, шеелит, касситерит, минералы серебра. Промышленный интерес представляют шеелит и молибденит.

Дифференциация вещества, концентрация и отложение полезных компонентов обусловлено движением гидротерм в системе пор и трещин, распространенных как в гранитах, так и во вмещающей их толще. Однако растворы не привносят, а лишь переносят полезные компоненты, экстрагируя их из пород, через которые циркулируют. При наступлении благоприятных условий происходит отложение рудных минералов.

Состав оруденения и его особенности в значительной степени зависят от вмещающих пород, рудная специфика которых различна. В специализированном на вольфрам гранитном массиве в рудах присутствует достаточно большое количество шеелита, тогда как в метаморфогенных породах к востоку от гранитного массива полезный компонент представлен в большей степени молибденитом. В пластообразных телах скарноидов по эффузивам основного состава, расположенных к западу от интрузии, интерес представляет шеелитовая минерализация.

Главные выводы из всего сказанного выше могут быть отражены в следующих основных положениях.

Гранитный массив, с которым пространственно связано оруденение участка Александра, сформирован относительно молодыми известково-щелочными биотитовыми гранитами—адамелитами.

В пределах площади рудопроявления развиты процессы жильно-прожилкового окварцевания и слабо проявленной грейзенизации, затрагивающие как гра-

нитный массив, так и вмещающие его породы за пределами зоны экзоконтакта.

Формирование оруденения, в составе которого наряду с молибденитом и шеелитом в значительном количестве присутствуют пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, касситерит и минералы серебра, связано в основном с окварцеванием.

Рудные процессы затронули область, существенно превышающую площадь выхода гранитного массива на поверхность. Состав оруденения и его особенности в значительной степени зависят от вмещающих его пород, рудная специфика которых различна.

Формирование рудопроявления Александра обусловлено экстракцией полезных элементов из пород при взаимодействии с растворами, циркулирующими в порах и трещинах. Перенос, а затем отложение полезного компонента в минеральной форме происходит при наступлении благоприятных для этого условий.

Непосредственной связи оруденения со становлением гранитной интрузии не установлено. Источником тепла, определяющим тепловой режим рудоотложения, являлись, вероятно, более глубинные магматические процессы, определяющие как интрузивную, так и рудообразующую гидротермальную деятельность.

Авторы благодарят доктора г.-м.н. И.И. Куприянову за полезные советы и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов В. Ф. Генетическая минералогия. — Л.: Недра, 1977. — 327 с.
2. Беус А. А. Геохимия литосферы. — М.: Недра, 1972. — 296 с.
3. Маракушев А. А. Петрология магматических горных пород. — М.: МГУ, 1973. — 320 с.
4. Покалов В. Т. Рудно-магматические системы гидротермальных месторождений. — М.: Недра, 1992. — 288 с.
5. Раков Л. Т., Шурига Т. Н. Структурно-динамическое состояние как генетический критерий кварца. — Геохимия. — 2009. — № 10. — С. 1086–1102.
6. Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. — М.: АН СССР, 1961. — 231 с.
7. Хитаров Н. И. О некоторых гидротермальных экспериментах / Вопросы петрографии и минералогии. — Т. 2. — М., 1953. — С. 194–198.
8. Щербаков Д. И. Новое о происхождении гидротермальных месторождений / За тесную связь геологической науки с производством. — М., 1966. — С. 11–20.

© Колесникова Н. Б., Борисов В. Н., Раков Л. Т., 2016

Колесникова Наталья Борисовна // korund604@mail.ru
Борисов Владимир Николаевич // "yandex" agurikov@yandex.ru
Раков Леонид Тихонович // rakovlt@mail.ru

УДК 550.84:553.4

Григорьев С. А. (ФГУП «ИМГРЭ»)

ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И РАНЖИРОВАНИЯ ПО ПЕРСПЕКТИВНОСТИ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА СТАДИИ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Эффективность геохимических поисков по потокам рассеяния может быть кардинально увеличена путем интерпретации аналитических данных с позиций структурно-геохимического моделирования ореолообразующей (рудообразующей) системы. В потоках рассеяния отра-