

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКАХ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА НА ПРИМЕРЕ ВОЛЬФРАМОВОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ МАРИНИНСКОЕ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Рассматривается вопрос о возможных источниках вольфрама на основе анализа новых геологических данных, полученных для конкретного рудопроявления в ходе проведения поисковых работ в 2012–2014 гг. Приводится схематическая генетическая модель вольфрамового оруденения, отличная от традиционно общепринятой. Предлагаются основные направления к пересмотру методики поисков вольфрамовых месторождений. **Ключевые слова:** вольфрам, вольфрамовая минерализация, вулканиты, метаморфизм, метасоматоз, оруденение, рентгеноспектральный анализ, рудная зона, флюидные включения.

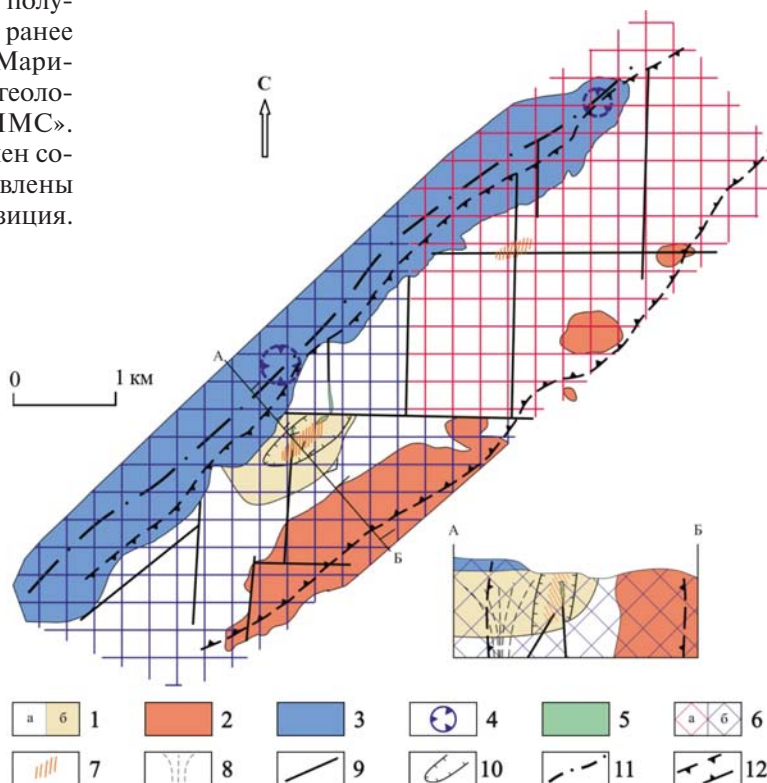
Kolesnikova N.B. (VIMS)

ABOUT POSSIBLE SOURCES OF ORE SUBSTANCE ON THE EXAMPLE OF THE MARININSKOYE TUNGSTEN ORE OCCURRENCE (IRKUTSK REGION)

The possible sources of tungsten are discussed in this work. The proposed material is based by the analysis of new geological data obtained for the specific ore occurrence by search works during the 2012–2014 years. Schematic genetic model of tungsten mineralization not traditionally accepted is offered. The main directions by revising of search tungsten deposits methodology are proposed. **Key words:** tungsten, tungsten mineralization, volcanics, metamorphism, metasomatism, mineralization, X-ray spectral analysis, ore zone, fluid inclusions.

В ходе проведения в 2012–2014 гг. поисковых работ на вольфрам (Правосехтинская площадь Лужбинско-Сехтинского рудного района Иркутской области) получены новые данные о геологическом строении ранее выявленного вольфрамового рудопроявления Марининское. Работы проводились ЗАО «Сибирская геологическая компания» совместно с ФГУП «ВИМС». В результате проведенных исследований определен состав руд и пород, вмещающих оруденение, выявлены особенности локализации и его структурная позиция.

Рис. 1. Структурно-тектоническая схема и разрез Марининского рудного поля: 1 — нижнепротерозойская метаморфогенная толща: а — нерасчлененная пачка переслаивающихся сланцев и метавулканитов разного состава, б — сланцы биотитовые и актинолитовые; 2 — верхнепротерозойские-палеозойские (?) граниты и гранитоиды; 3 — палеозойские (?) вулканиты; 4 — жерловые фации вулканитов (проекции предполагаемых магматических очагов); 5 — дайки пород основного состава; 6 — блоки пород характеризующиеся: а — спокойным слабо отрицательным магнитным полем, б — резко дифференцированным положительным магнитным полем; 7 — участки метасоматической проработки пород; 8 — магмоподводящий канал; 9 — разрывные нарушения; 10 — границы минерализованной зоны; 11 — ось предполагаемой глубинной региональной вулканотектонической структуры; 12 — региональная зона интенсивных пликативных и дизъюнктивных дислокаций



Анализ полученных результатов позволил составить некоторое представление о возможном источнике вольфрама и особенностях генезиса оруденения, несколько отличающееся от общепринятой парадигмы. Новая точка зрения позволяет сформулировать и новый подход к критериям поисков месторождений данного типа.

Марининское рудное поле расположено на западной окраине Патомского нагорья в среднем течении р. Правая Сехта. На рассматриваемой площади распространены метаморфические, магматические интрузивные и вулканические породы, а также четвертичные аллювиально-делювиальные отложения. В структурном отношении площадь рудного поля приурочена к зоне крупного регионального разлома северо-восточного простирания, в области влияния которого проявлена интенсивная тектоно-магматическая деятельность с образованием разнообразных по составу и морфологии магматогенных комплексов. Метаморфогенная толща характеризуется интенсивной складчатостью и многочисленными разрывными нарушениями. Метаморфические породы, занимающие большую часть площади рудного поля, — это сланцы, амфиболиты и метаморфизованные вулканиты кислого, среднего и основного состава. Сланцы представлены двумя основными типами. Первый тип — тонколистоватые темно-серые кварц-плагиоклаз-биотитовые породы со сланцеватой и плейчатой текстурой. Второй тип — кварц-плагиоклаз-серицитовые породы с ярко выраженной очковой текстурой, обусловленной ориентированными в направлении сланцеватости обособлениями кварца и плагиоклаза. Амфиболиты также представлены двумя разновидностями. Первая — актинолитовые изумрудно-зеленого цвета породы с линейно-параллельной текстурой — распространены незначительно. Вторая

разновидность сложена обыкновенной роговой обманкой и плагиоклазом; характеризуется линзовидно-полосчатой текстурой, обуславливающей пестроту окраски породы, в целом обладающей серо-зеленым цветом. Породы интрузивного комплекса по составу довольно разнообразны. Вдоль юго-восточной границы площади на поверхность выходят массивы гранитов и гранитоидов, в рельефе выделяющиеся рядом возвышенностей с максимальными абсолютными отметками 900 м и протягивающиеся в северо-восточном направлении. Граниты лейкократовые, мелко-среднезернистые, по содержанию SiO_2 относятся к ультракислым. Гранитоиды в основном представлены биотит-роговообманковыми гранитогнейсами. Жильной составляющей комплекса кислых интрузивных пород являются гранит-аплиты и сиенит-аплиты, частично выходящие на поверхность в виде небольших тел, видимая мощность которых не превышает 1 м. Распространение их очень незначительно: в пределах рудного поля выявлено всего два таких тела.

Довольно широко распространены небольшие субвулканические формы — дайки и пластообразные тела пород основного состава: долериты, долерито-базальты, диабазы и долеритовые порфириды. Все они, за редким исключением, имеют субмеридиональное простирание.

Вдоль северо-западной границы рудного поля на поверхность выходят вулканические породы кислого состава: туфы и, в меньшей степени лавы, по составу соответствующие трахидацидам. Вулканиды образуют в рельефе возвышенность в виде широкой гряды с максимальными абсолютными отметками, превышающими 1000 м. Подножие этой гряды образовано излившейся лавой, основание и вершина — вулканокластическими породами — туфами.

Минерализованная зона рудопроявления Марининское включает несколько разветвленных рудных зон, которые, в свою очередь, представляют собой серию вольфрамит-кварцевых жил, кулисообразно расположенных в смятой в складки сланцевой толще. Основное направление падения жил, за исключением седловид-

ных, согласно залегающих в шарнирах складок, северо-западное с углами от 45° до 80° , простирание — северо-восточное, соответствует основной рудоконтролирующей структуре. В целом рудные зоны падают в направлении вулканического комплекса пород и протягиваются вдоль его границ в северо-западной части площади. Схематично строение рудной зоны и ее взаимоотношение с вмещающими и рудогенерирующими комплексами пород представлены на рис. 1 и 2.

Традиционно [8, 9] большую часть вольфрамовых месторождений и рудопроявлений связывают с гранитоидами. Исключение составляют отдельные низкотемпературные гидротермальные рудопроявления, где эта связь напрямую не установлена, а также месторождения стратиформного типа, где рудоотложение обусловлено литолого-стратиграфическими особенностями рудовмещающей толщи и прямая связь с магматизмом не прослеживается.

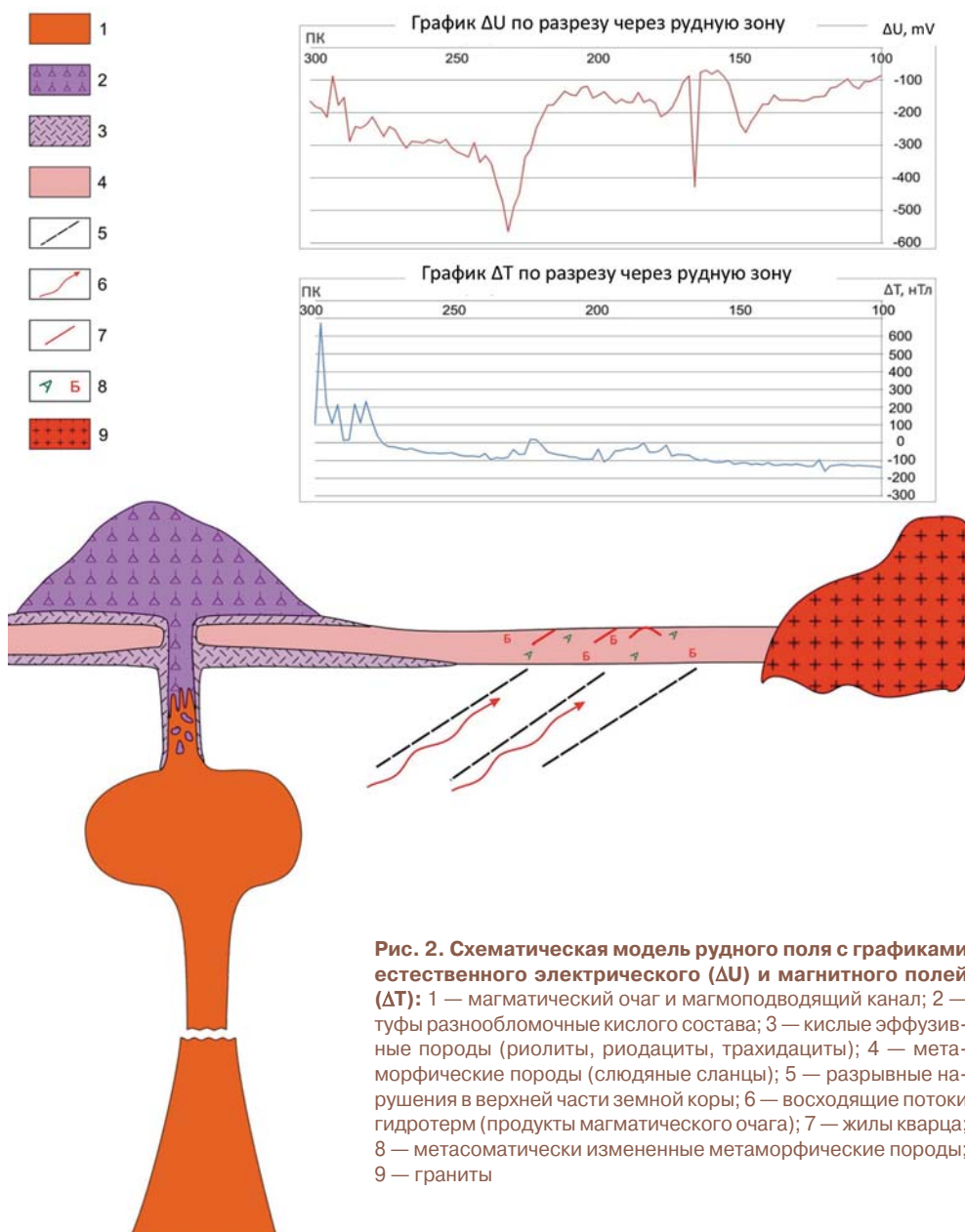


Рис. 2. Схематическая модель рудного поля с графиками естественного электрического (ΔU) и магнитного полей (ΔT): 1 — магматический очаг и магмоподводящий канал; 2 — туфы разнообломочные кислого состава; 3 — кислые эффузивные породы (риолиты, риодациты, трахидациты); 4 — метаморфические породы (сланцы); 5 — разрывные нарушения в верхней части земной коры; 6 — восходящие потоки гидротерм (продукты магматического очага); 7 — жилы кварца; 8 — метасоматически измененные метаморфические породы; 9 — граниты

В нашем случае в пределах исследуемой площади гранитный массив расположен на расстоянии около 1 км от рудной зоны. Массив сложен ультракислыми лейкократовыми породами, содержащими минимальное количество темноцветных минералов, в основном это биотит с вторичным мусковитом и хлоритом. Исследования гранитов в прозрачных шлифах показали очень незначительное содержание аксессуаров, что в целом говорит не в пользу их перспективности в отношении рудоносности. По данным рентгеноспектрального анализа отмечены незначительные всплески содержания вольфрама и олова в отдельных пробах таких гранитов, но они свидетельствуют скорее о наложенном процессе, сопровождающемся милонитизацией и бластезом отдельных локальных участков интрузии, а не о рудной ее специализации. Пробуренные через рудную зону скважины глубиной до 200 м и более не вскрыли предполагаемых на глубине гранитов, с которыми могло бы быть связано оруденение. Таким образом, генетической связи между гранитами и вольфрамовым рудопроявлением Марининское не установлено.

В данном случае мы имеем пространственную связь оруденения с эффузивными породами и структурную связь с магматическим очагом, продуктами которого являются вулканические образования. Как показали результаты рентгеноспектрального анализа (выполнено в аналитической лаборатории ФГУП «ВИМС», исполнители О.П. Шевченко и Н.С. Вахонин), эффузивы носят субщелочной характер, отличаясь повышенным содержанием калия и натрия, а сланцы в пределах рудной зоны претерпели калиевый метасоматоз, выраженный серицитизацией и биотитизацией пород. Это указывает на схожесть химических особенностей метасоматизирующего раствора с магматическим расплавом, из которого образовались кислые эффузивные породы. По данным многих исследователей, занимавшихся вопросами переноса вольфрама в растворах [1, 6, 7], наиболее вероятными, участвующими в его переносе компонентами являются щелочи, кремний, фтор и вода. В нашем случае щелочи, кремний и фтор в избытке присутствуют в породах, слагающих как рудную зону, так и вулканический комплекс. Основные формы переноса вольфрама — оксифторвольфраматы, либо вольфраматы щелочных элементов. По мнению отдельных исследователей [3], из всех известных комплексных соединений, в форме которых теоретически возможен перенос вольфрама, в реальных условиях к таким относятся только оксифторвольфраматы калия $K_2[WO_2 \cdot F_4]$; $K_2[WO_3 \cdot F_2]$; $K_2[WO_2 \cdot F_3]$.

Связь образования месторождений вольфрама с калиевым метасоматозом отмечена многими авторами на примере исследований месторождений не только Забайкалья, но и района Приморья [2]. При этом авторы высказывают предположение о связи накопления вольфрама с отдельными комплексами щелочных эффузивных пород среднего состава и некоторыми базальтоидами, подтверждая это предположение данными о повышенных содержаниях вольфрама в таких породах. В ходе дифференциации мантийного расплава авторами отмечена отчетливая тенденция снижения содержа-

ний вольфрама в направлении от габбро к гранитам. Вывод авторов предполагает участие в формировании промышленных скоплений вольфрама в верхних частях земной коры нескольких его источников:

- 1) глубинных источников вольфрама — родоначальных магм;
- 2) промежуточных концентраторов — метаморфогенных пород, предварительное накопление вольфрама в которых обусловлено циркуляцией интрателлуриче-

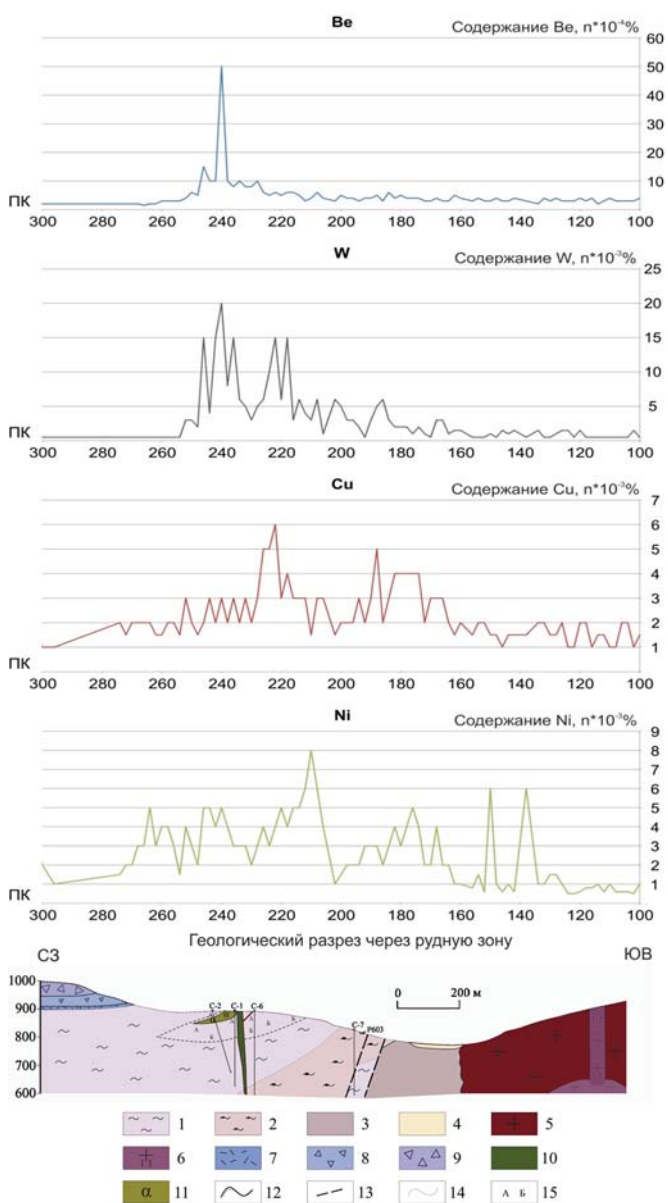


Рис. 3. Разрез через рудную зону с графиками содержаний Ni, Cu, W, Be: 1 — сланцы кварц-плагиоклаз-биотитовые, кварц-плагиоклаз-серицит-биотитовые тонколистчатые; 2 — сланцы кварц-плагиоклаз-серицитовые очковые; 3 — сланцы актинолитовые; 4 — четвертичные отложения: аллювиально-делювиальные валунно-галечные, озерно-болотные торфяники; 5 — граниты биотитовые средне-крупнозернистые; 6 — граниты милонитизированные; 7 — палеолавы кислого состава (трахидациты); 8 — среднеобломочные вулканогенные породы кислого состава; 9 — крупнообломочные вулканогенные породы кислого состава; 10 — долериты, долерито-базальты, диабазы, долеритовые порфириды; 11 — амфибол-полевошпатовые породы; 12 — геологические границы; 13 — разломы; 14 — литологические границы; 15 — амфиболизация, биотитизация

ских растворов, предшествующих образованию интрузивного комплекса;

3) высокотемпературных рудообразующих флюидных растворов, обогащаемых полезным компонентом по мере прохождения сквозь вышележащие метаморфические породы.

В нашем случае на связь пород рудной зоны с подкоровыми источниками указывают отчетливые положительные геохимические аномалии элементов, повышенные содержания которых связаны с продуктами недифференцированных магматических расплавов. Это никель, кобальт и хром. Помимо кобальта, никеля и хрома положительные геохимические аномалии над рудной зоной образуют цинк, медь, бериллий, миграция которых связана с коровыми процессами. На рис. 3 и 4 представлены построенные вдоль геологического разреза через рудную зону графики содержаний элементов, повышенные значения которых пространственно совпадают и, вероятно, парагенетически обусловлены совокупностью процессов, участвующих в рудообразовании. Помимо вышеуказанных, такие элементы как фтор, бор и калий также содержатся в повышенных количествах в породах, формирующих рудную зону, в составе флюорита, турмалина и слюд соответственно.

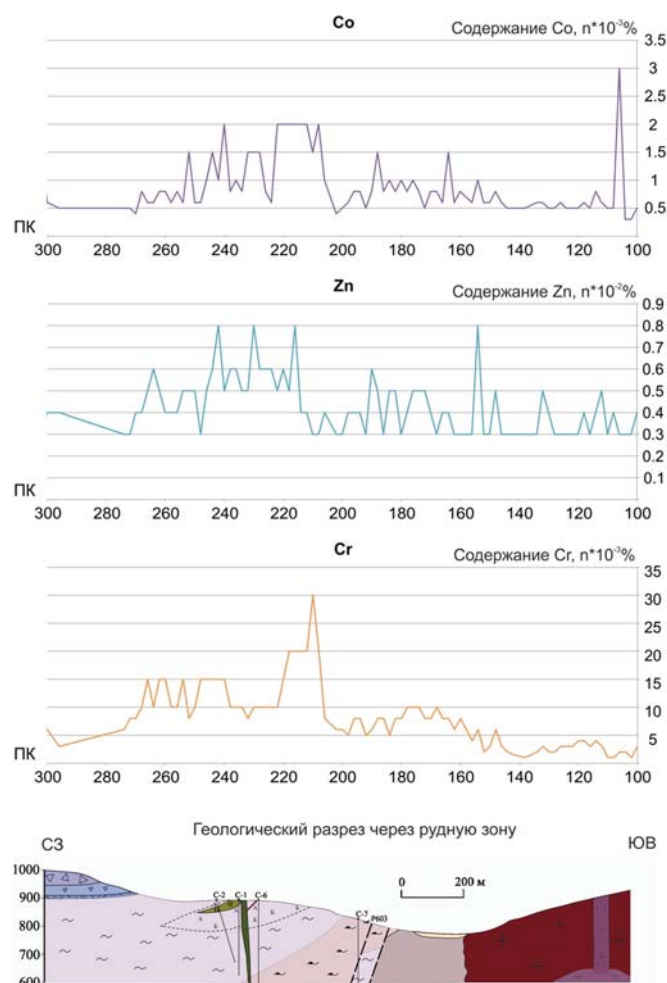


Рис. 4. Разрез через рудную зону с графиками содержаний Cr, Zn, Co: усл. обозначения см. на рис. 3

На парагенетическую связь оруденения с вулканитами кроме структурных признаков указывает также схожий набор акцессорных минералов и некоторых элементов-примесей. Все это дает возможность предполагать, что наше рудопроявление связано с вулканической деятельностью. Источником растворов, обусловивших миграцию вольфрама, является неоднократно активизировавшийся магматический очаг, продуктами которого явились как вулканиты, так и растворы. Проявления вулканизма и тектонические подвижки в верхних слоях земной коры обусловлены надочаговыми движениями, локализованными вдоль магмоконтролирующего регионального разлома северо-восточного простирания.

Однако непосредственными источниками вольфрама являются не столько растворы, сколько метаморфогенные породы, циркуляция растворов сквозь которые обуславливала обогащение последних полезным компонентом, его перенос и отложение в виде вольфрамита при возникновении благоприятных условий. Накопление вольфрама в метаморфических породах происходило в ходе процесса регионального метаморфизма при воздействии интрателлурических растворов, как продуктов вулканической деятельности на более ранних этапах тектоно-магматического процесса. По результатам рентгеноспектрального анализа (РСА) пород метаморфогенной толщи было выявлено повышенное содержание вольфрама в отдельных ее разновидностях, характеризующихся определенным составом. Это биотитовые, биотит-актинолитовые метасоматиты и актинолитовые сланцы. Количество плагиоклаза в таких породах очень невелико, кварц практически отсутствует, характерно довольно значительное содержание сфена. Содержание вольфрама здесь достигает высоких значений: от 0,12 до 0,96 %, что соответствует промышленно значимым величинам. При условии технологической возможности извлечения полезного компонента такие породы сами по себе могли бы представлять промышленный интерес.

Среди прочих комплексов пород, распространенных в пределах рудного поля, метаморфиты являются наиболее древними, их возраст относят к нижнему протерозою [4]. Исходной для их образования послужила вулканогенно-осадочная толща, преобразование которой происходило в условиях полиметаморфизма при воздействии сложных тектонических процессов, в том числе динамометаморфизма, сопровождавшегося циркуляцией растворов с образованием метасоматически переработанных пород разного состава. Все эти процессы способствовали перераспределению вольфрама и предварительному его накоплению в определенных слоях метаморфогенной толщи, имеющей указанный выше состав.

О возможности накопления вольфрама при процессах регионального метаморфизма было известно и ранее [5]. Согласно исследованиям Ю.Г. Иванова содержание вольфрама возрастает с увеличением возраста и степени метаморфизма пород, причем наиболее высокие содержания вольфрама отмечены в регионально-метаморфических комплексах, образованных по первично специализированному на калий осадочному субстрату. В дальнейшем циркуляция щелочных растворов в регионально метаморфизованной толще приводит к существенному перераспределению вольфрама или так называемой

метаморфической миграции. Стоит отметить указанную Ю.Г. Ивановым роль вулканического субстрата в комплексе метаморфической толщи: вулканогенная составляющая обеспечивает наибольшую концентрацию вольфрама в исходной метаморфизирующейся толще за счет несколько более высокого содержания этого элемента в самих вулканитах.

Правосехтинская площадь в районе проведенных нами исследований, в том числе рудное поле Марининское, в целом характеризуются разнообразным составом метаморфогенных пород и различием их исходного субстрата. Однако оруденение непосредственно локализовано в толще метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород, характеризующихся вполне определенным вещественным составом и генезисом. В составе исходных пород существенную роль играли серицит и биотит, определяющие наиболее продуктивную для накопления вольфрама калиевую специализацию данного комплекса, впоследствии регионально метаморфизованного. В дальнейшем с развитием тектономагматической деятельности в пределах активной области разломов циркуляция интрателлурических растворов в регионально метаморфизованной толще привела к формированию локальных зон метасоматически измененных пород. Это зоны биотитизированных и актинолитизированных сланцев, в которых под воздействием метасоматизирующих растворов произошло перераспределение вольфрама и его концентрация в отдельных прослоях толщи еще более увеличилась, достигая промышленных или близких к ним значений. Последующие наиболее поздние процессы, связанные с активацией вулканогенно-тектонической деятельности, породили новую порцию растворов, которые, в свою очередь, мобилизовали уже накопленный вольфрам в образовавшихся вольфрамит-кварцевых жилах.

Кристаллы вольфрамита в жилах имеют довольно крупные размеры (от 0,2 до 2,5 см), обладают идиоморфной формой и образуют скопления размером до 8 см и более в зальбандах рудных жил. Практически все кристаллы вольфрамита резорбированы и частично замещены шеелитом. Многочисленные трещины вдоль плоскостей спайности и иных направлений часто заполнены вторичным шеелитом или жильным кварцем, иногда содержащим включения единичных мельчайших кристаллов пирита. Облик вольфрамита в кварцевых жилах указывает на их более раннюю по отношению к жильному кварцу кристаллизацию. Наиболее крупные кристаллы и их скопления найдены в зальбандах седловидных жил, сформировавшихся в межслоевом пространстве в шарнирах складок метаморфических пород. Такие особенности оруденения вероятнее всего свидетельствуют о мобилизации вольфрама из вмещающих пород и отложении его в форме вольфрамита в создавшихся благоприятных условиях.

С целью определения условий образования рудных жил были изучены газово-жидкие включения в кварце. Здесь следует отметить, что нахождение подходящих для исследования включений было затруднено из-за очень незначительного их количества и относительно малых размеров. Это связано с характеристикой самого жильного кварца, оптические особенности которого

свидетельствуют о деформации кристаллической решетки, рост кристаллов которого происходил в условиях нестабильной тектонической обстановки. Исследование включений выполнялось в лаборатории геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН В.Ю. Прокофьевым. Применение оптического микроскопа «Olympus BX51» позволило обнаружить и исследовать в кварце флюидные включения размером 8–15 мкм двух типов:

1) включения хлоридных рассолов, содержащие газовый пузырек, водный раствор, один или несколько изотропных кубических кристаллов;

2) двухфазовые газово-жидкие включения разбавленных растворов.

Результаты термо- и криометрических исследований флюидных включений показали, что в гидротермальном растворе преобладали хлориды Ca, Na и K. Полная гомогенизация включений рассолов первого типа (при растворении всех дочерних фаз) достигается при температурах 404–431 °С, а концентрация солей составляет 33,2–34,6 мас. %-экв. NaCl. Плотность флюида 0,92–0,93 г/см³.

Первично-вторичные газово-жидкие флюидные включения второго типа гомогенизируются в жидкость при температурах 313–319 °С, концентрация солей составляет 7,7–8,0 мас. %-экв. NaCl. Плотность флюида 0,77–0,78 г/см³.

Газово-жидкие флюидные включения в кварце гомогенизируются в жидкость при температурах 139–189 °С, концентрация солей составляет 8,4–14,7 мас. %-экв. NaCl. Плотность флюида 0,94–1,03 г/см³.

Данные исследования флюидных включений свидетельствуют о том, что вольфрамовая минерализация формировалась при непосредственном участии высокотемпературных хлоридных рассолов, скорее всего поступавших из магматического источника, которым в нашем случае является глубинный вулканический очаг.

Обобщая все вышесказанное, в заключение можно сказать, что процесс формирования данного вольфрамового рудопроявления прошел в несколько этапов. На начальном этапе формирования вулканогенно-осадочная толща, имеющая калиевую специализацию, уже обладала несколько более высокими содержаниями вольфрама по сравнению с другими породами. В процессе регионального метаморфизма концентрация вольфрама постепенно повышалась, а в ходе процесса динамометаморфизма происходило его перераспределение в породах соответствующего состава и генезиса. Уже на этом этапе могли образовываться довольно значительные по объемам и площадям комплексы с промышленными содержаниями вольфрама. На заключительном этапе при воздействии высокотемпературных гидротермальных растворов происходит очередная более локальная мобилизация вольфрама с образованием вольфрамит-кварцевых жил. Следует отметить, что поэтапная миграция вольфрама может происходить при непосредственном участии растворов независимо от генерирующего их источника — будь то очаг формирования интрузивных пород, вулканистов или растворов, выделяющихся в процессе метаморфизма. При формировании оруденения наиболее важными факторами являются состав вмещающего субстрата, Р-Т условия и щелочность среды, в которой происходит рудоотложение.

Полученные выводы имеют практическое значение. В свете новых данных о возможных источниках, условиях формирования и генетической модели рудопроявления Марининское целесообразно посмотреть на методику поисков вольфрамитовых месторождений под несколько иным углом зрения, учитывающим основные изложенные здесь положения.

Одно из направлений поисков должно быть сосредоточено на выделении продуктивных на вольфрам толщ метаморфических пород и определение их промышленной перспективности с учетом возраста, состава, степени и характера метаморфизма. Другое направление — выявление зон относительно молодой тектонической активности, обуславливающей мобилизацию вольфрама из более древних метаморфических толщ. При этом ориентироваться на условие близости к массивам гранитоидов, как на один из главных общепринятых критериев, не имеет смысла.

Одним из районов для постановки поисковых работ, удовлетворяющих вышеозначенным условиям, является Чуйско-Нечерский район, в том числе относительно слабо изученная Чуйская редкоземельно-редкометаллическая зона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брызгалов О.В. О некоторых возможных формах нахождения вольфрама в гидротермальных растворах / Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. — Л.: ЛГУ, 1975. — С. 404–407.
2. Говоров И.Н., Левашов Г.Б., Радкевич Е.И. и др. Геохимические аспекты металлогении вольфрама Приморья / Сб. Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. — Л.: ЛГУ, 1975. — С. 66–83.
3. Гуляев А.П., Мирошниченко Л.А., Чумаченко П.М. О возможной форме переноса вольфрама и основных этапах формирования редкометаллического месторождения в Казахстане / Сб. Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. — Л.: ЛГУ, 1971. — С. 109–115.
4. Иванов А.И., Лившиц В.И., Перевалов О.В. и др. Докембрий Патомского нагорья. — М.: Недра, 1995.
5. Иванов Ю.Г. Геохимические и минералогические критерии поисков вольфрамового оруденения. — М.: Недра, 1974.
6. Иванова Г.Ф. О поведении вольфрама в процессе грейзенизации / Сб. Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. — Л.: ЛГУ, 1967. — С. 86–91.
7. Иванова Г.Ф., Ходаковский И.Ф. Форма миграции вольфрама в гидротермальных растворах // Геохимия. — 1968. — № 8. — С. 930–939.
8. Поиски, разведка и геолого-экономическая оценка месторождений вольфрама / Под ред. Ф.Р.Апельцина, Е.С.Павлова. — М.: Недра, 1983.
9. Покалов В.Т. Рудно-магматические системы гидротермальных месторождений. — М.: Недра, 1992.

© Колесникова Н.Б., 2015

Колесникова Наталья Борисовна // korund604@mail.ru

УДК 553.283

Воробьев А.Е. (РУДН), Верчеба А.А. (МГРИ-РГГРУ), Салим Требесси (Алжирский национальный университет)

ОСНОВНЫЕ НАНОФОРМЫ ЗОЛОТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Рассмотрены основные формы наночастиц золота, дана детализация главных его видов (коллоидное, кластерное и т.д.), описаны факторы потерь золота при обогащении. **Ключевые слова:** золото, наночастицы, фуллерены, трубки, конусы, агрегаты, пленки, обогатимость, потери.*

Vorobyov A.E. (RUDN), Vercheba A.A. (MGRI-RGGRU), Salim Trebessi (Algerian national university)

THE MAIN NANOFORMS OF GOLD IN GEOGENE AND TECHNOGENIC MINERAL RAW MATERIALS

*The main forms of nanoparticles of gold are considered, specification of its main types is given (colloidal, cluster, etc.), factors of its losses at enrichment are described. **Key words:** gold, nanoparticles, fullerene, tubes, cones, units, films, losses.*

В рудах разведанных к настоящему времени золото-содержащих месторождений золото может находиться в нескольких видах [1]: самородном, минеральном и рассеянном состоянии. Последнее представлено, как правило, субмикроскопическими (коллоидными) частицами (наночастицами) или входит в кристаллическую матрицу различных сульфидов и дано в специальной литературе через термин «невидимое» золото.

С помощью специально разработанных инструментальных методов неразрушающего анализа руд и минералов было установлено, что в золотосульфидных рудах преобладают коллоидная, ионная и гидроксидная формы золота, а самородная — в подавляющем большинстве представлена тонкодисперсной разновидностью.

Понятие «невидимое» золото относится к тонкодисперсному золоту, не выявляемому оптическими методами: коллоидальному, кластерному или химически связанному в сульфидах. «Невидимое» золото (нанозолото) оказалось широко распространено в сульфидах как собственно золоторудных, так и колчеданных, медно-порфировых и медно-никелевых месторождений [2]. Инструментальными методами анализа установлено, что с уменьшением содержания серы в пирите концентрация золота существенно возрастает.

Значительное количество наноразмерного золота оказалось сконцентрировано в железо- и свинец-содержащих минералах аллювиальных и техногенных россыпей [3]. Здесь, наряду с традиционными минералами-концентраторами золота, были выявлены довольно необычные минералы, содержащие золото наноразмерного уровня: рутил, монацит и галенит.

К настоящему времени экспериментально установлено, что доля самородного (крупного, видимого) золота в рудах различных золоторудных месторождений редко превышает 30 %, а его основную часть (рис. 1) представляет так называемое «невидимое» (ионное и кластерное) золото [9].

Новообразованное золото приурочено преимущественно к различным углублениям, имеющимся на поверхности частиц первичного золота. Наиболее распространенным типом таких выделений являются округлые наноразмерные (50–100 нм) агрегаты золота, состоящие, в свою очередь, из еще более мелких, размером 10–20 нм, довольно прочно сцементированных между собой наночастиц (рис. 2а). С течением времени близко расположенные агрегаты вторичного золота (рис. 2б) объединяются (под действием цементации и подобных процессов) друг с другом в довольно сложные по форме агломераты, размеры которых нередко превышают 100 нм [9].

Анализ электронных фотографий показывает, что подобные агрегаты наночастиц золота могут образовыв-