

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Федосеева Дмитрия Геннадьевича, выполненную на тему: «*Особенности вещественного состава руд и генезиса шеелит-сульфидного месторождения Кордонное (Приморский край, Россия)*», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

Работа посвящена определению особенностей вещественного состава и решению проблемы генезиса шеелит-сульфидного месторождения Кордонное (Приморье). Предполагается, что эти данные позволят усовершенствовать общие представления о металлогении вольфрама, уточнить геологические и минералогические критерии прогнозирования коренной вольфрамоносности в геологических структурах региона.

Выбор объекта исследований обоснован тем, что среднее по запасам окиси вольфрама месторождение Кордонное является типичным для Самаркинской металлогенической зоны Сихотэ-Алиня.

### **Актуальность темы**

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью освоения отдаленных регионов Российской Федерации и, в частности, необходимостью восполнения и расширения минерально-сырьевой базы горно-обогатительных комбинатов Приморья. Выяснение роли гранитоидов в формировании эндогенных рудных месторождений и в изучении эволюции рудных систем имеет фундаментальное научное значение.

### **Новизна, научная значимость и практическая ценность диссертации.**

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, касающиеся типизации гранитоидных интрузивов и связанных с ним скарновых месторождений вольфрама в Приморье, а также типоморфизма минералов этих месторождений. Систематические специализированные минералого-геохимические исследования до автора на месторождении не проводились. В широкий научный обиход вовлечены образцы нового каменного материала, полученного с относительно глубоких горизонтов месторождения, вскрытых при поисковом бурении. С помощью современных прецизионных методов впервые для месторождения получены данные по составу гранитоидов, типоморфизму цветных и аксессуарных минералов гранитоидов, минералов скарнов и шеелитовых руд. Установлены ранее неизвестные на месторождении рудные минералы. Безусловной заслугой автора является уточнение как нижней, так и верхней возрастных границ вольфрамового оруденения, а также

выполненные термобарогеохимические исследования расплавных и флюидных включений.

Установление связи между раннемеловыми гранитоидами и вольфрамовым оруденением позволяет повысить эффективность прогнозирования и выделения перспективных участков на территории Приморья. Выводы, сделанные на основе изучения месторождения могут быть распространены на другие вольфрамовые (шеелитовые) скарны Сихотэ-Алиня и использованы при поисковых работах. Проведение сравнения малоизученного месторождения с крупными вольфрамовыми объектами, такими как Восток-2 и Лермонтовское, позволяет более достоверно оценить его перспективы и необходимость проведения дальнейших геологоразведочных работ.

### **Степень обоснованности и достоверности**

В основу работы положены собственные материалы автора, собранные им за четыре года работы на месторождении Кордонное. Аналитические работы выполнены автором как самостоятельно, так и с привлечением узких специалистов на современном оборудовании и соответствуют общемировому уровню таких исследований. Интерпретация и обобщение результатов проведены автором самостоятельно и выполнены на хорошем профессиональном уровне, соответствующем мировым стандартам. Основные материалы исследований по теме диссертации опубликованы в 13 печатных работах, в том числе в 5 статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования. Основные положения диссертационной работы докладывались на Региональных и Всероссийских конференциях.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, общим объемом 170 страниц. В ней содержится 61 рисунок и 31 таблица. Список литературы включает 132 наименования.

Введение и 1-я глава содержат литературный обзор истории изучения и сведения о геологическом строении района и рудного поля. Главы диссертации 2-4 полностью освещают основные защищаемые положения. В Заключении предложена геолого-генетическая модель скарнового месторождения и в сжатой форме повторены основные выводы.

*Для доказательства первого тезиса* приведены результаты определения K-Ag и U-Pb методами абсолютных возрастов гранитоидов в пределах рудного поля. Установлено что они могут быть разделены на две группы: ранне- и позднемеловую. Выделение двух групп подтверждено микроскопическими исследованиями и результатами интерпретации химических анализов состава гранитоидов и отдельных минералов. Выявлены отличия в

минеральном составе, в типоморфных особенностях биотита, в содержании кремнезема, относительном количестве железа и магния, в некоторых особенностях распределения РЗЭ. Гранитоиды относятся к шошонитовой и высококалиевой известково-щелочной серии, высокоглиноземистые. Ранние гранодиориты и граниты отнесены к S-типу, поздние лейкограниты - к I-S-типу. Предположение о связи вольфрамовой минерализации с гранитоидами первой группы обосновывается ссылкой на предшественников и сходством их особенностей с гранитоидами эталонных объектов. Предположение о связи оловянной минерализации с гранитоидами второй группы сделано на основании находки в лейкогранитах кварцевых прожилков с повышенными содержаниями серебра, свинца и олова. Физико-химические условия при внедрении гранитоидов и условия отделения рудообразующего флюида установлены по включениям минералообразующей среды в вольфрамоносных гранитах. Автором выявлены расплавные включения с силикатными стеклами и метаном, установлена водонасыщенность вольфрамоносных гранитоидов, сделан вывод о повышении флюидного давления в конце процесса кристаллизации. Проведенные исследования позволили сделать вывод об отличии условий образования выделенных разновозрастных групп гранитоидов. Первый тезис убедительно доказан.

*Для обоснования второго тезиса* кратко охарактеризованы особенности вмещающих толщ и подробно рассмотрены текстурно-структурные особенности и минеральный состав скарнов. Выделены вольфрамоносные скарны с геденбергитом или салитом-ферросалитом и гроссуляром и полиметаллические - с геденбергитом и андрадитом. Последовательность образования скарнов обосновываются преимущественно косвенно. Непосредственные взаимоотношения между выделенными группами скарнов не установлены. Ранние вольфрамоносные скарны, в отличие от поздних, окварцованы и пересечены прожилками кварца с ранним шеелитом; с грейзеновой минеральной ассоциацией и шеелитом. Отдельно рассмотрены минеральные ассоциации вольфрамовых руд, к которым автор относит полевошпатовые, грейзеновые и сульфидные. Приведены убедительные доказательства того, что сульфидные руды образуются после шеелита, а образование шеелита сопряжено с образованием апатита и, соответственно, перенос вольфрама мог осуществляться в фосфатных комплексах. Физико-химические параметры условий образования метасоматитов и руд, определенные по флюидным включениям в кварце гранитов, в шеелитах и гранатах из скарновых зон, а также в кварце грейзенов и рудных жил, подтверждены результатами детального изучения состава гранатов и пироксенов. Автор отмечает, что последовательное образование минеральных ассоциаций на месторождении обеспечивается последовательным снижением температуры, изменением окислительно-восстановительных обстановок, вариациями рН, увеличением роли

углекислоты и уменьшением роли метана в газовой фазе флюида. Значительное содержание метана в поздних сульфидно-кварцевых прожилков и инверсия температуры при образовании поздних скарнов приводит автора к выводу об изменении источника флюидов при формировании поздних минеральных ассоциаций. Приведенные данные подтверждают второе защищаемое положение.

*Для доказательства третьего тезиса* детально изучена минералогия месторождения. Оптическое определение минералов подтверждено данными микронзондовых исследований. Показано четкое различие между жильными минералами разновозрастных скарнов, а также между рудными минералами продуктивных минеральных ассоциаций. Проведено сравнение типоморфных геохимических особенностей пироксенов, гранатов и шеелита с особенностями этих минералов на эталонных месторождениях: Восток-2 и Лермонтовское. На примере пирротина показано, что сульфидная минерализация проявлялась на месторождении неоднократно. Установлено, что этот минерал образуется и почти одновременно с пироксеном ранних скарнов, и при перекристаллизации ранних минеральных ассоциаций, и в ходе образования самой поздней полиметаллической ассоциации. Отдельную группу образуют минералы висмута, которым автор уделяет особое внимание. Выделены сульфосольно-сульфидная, сульфотеллуридно-висмутовая и сульфидно-висмутовая ассоциации. В целом, наблюдения автора подтверждают третье защищаемое положение.

**В заключении** автор обобщает проведенные исследования в виде геолого-генетической модели. Одним из главных элементов модели являются геодинамические условия в которых последовательно находятся рудовмещающие террейны. Кроме того, модель включает разломы ограничения террейнов, гранитоиды в различных глубинных зонах (зона фракционирования - зона рудоотложения) и время их образования, а также гидротермально-метасоматические образования, которые автор генетически связывает с определенными гранитоидными комплексами.

На основании геодинамической классификации гранитоидов сделан вывод об эволюции рудно-магматической системы в условиях коллизионного режима скольжения плит (татибинский комплекс гранитоидов) и субдукционной обстановки (приморский комплекс гранитоидов). Для шеелит-сульфидного типа минерализации характерны полевые шпаты, слюды и апатит, высокотемпературные свинцово-висмутовые сульфосоли, свинец-содержащие сульфотеллуриды. Вместе с шеелитом развиты турмалин и хлорит. В составе рудообразующих флюидов преобладают натрий-калиевые хлоридные метановые - углекислотно-метановые, Для олово-полиметаллического типа, кроме сульфидов полиметаллов, характерны низкотемпературные сульфосоли серебра и

висмута. Флюиды марганецсодержащие, гидросульфидные, метановые. В поздних гранитоидах отсутствуют расплавные включения. Эти особенности гранитоидов и руд могут рассматриваться в качестве критериев перспективности на вольфрамовое оруденение.

#### **Замечания.**

Общим недостатком работы является отсутствие сводных таблиц и выводной части, в которой были бы сопоставлены результаты, полученные по различным типам гранитоидов, скарнов и продуктивных минеральных ассоциаций. Отсутствие схем, на которых показаны точки отбора образцов для проведения аналитических исследований затрудняет проверку достоверности выводов.

*В качестве замечаний к первому тезису*, отметим, что отличия гранитоидов в распределении РЗЭ невыразительны и могут быть связаны с вариациями кремнекислотности и/или степени дифференциации. Предлагаемый автором диапазон интерпретаций геодинамической обстановки образования гранитоидов варьирует от обстановок островных дуг и континентальной коллизии до посторогенных обстановок. Для уточнения обстановок можно было бы использовать данные по микроэлементному составу гранитоидов (например, общепринятые диаграммы Pearce et al. 1984 или Brown et al., 1984).

*При доказательстве второго тезиса* следовало дополнительно обсудить причины, по которым, несмотря на высокую соленость и метановый состав газовых фаз во включениях и вольфрамоносных скарнах и в полиметаллических прожилках, автор считает что глубинность источников флюида различается. К техническим замечаниям отнесем несовпадение названия раздела "Гидротермально-метасоматические образования скарнов и околоскарновых пород" с его содержанием. В разделе описаны как доскарновые, так и собственно скарновые, а также постскарновые минеральные ассоциации. Приведены частные зональные колонки инфильтрационных скарнов, которые практически не обсуждаются в тексте. Отсутствуют первичные и сводные данные по замерам параметров флюидных включений, что затрудняет проверку сделанных выводов.

*Замечания по доказательству третьего тезиса:* Из описаний минералов не всегда понятно к какой минеральной ассоциации они относятся. Определения условий образования минералов разбросаны по тексту и их приходится специально отыскивать, чтобы составить общую картину особенностей рудного процесса.

#### **Прочие замечания, не относящиеся к защищаемым положениям.**

Геологическая, структурная, геофизическая, и собственно минералогическая информация в предложенной автором геолого-генетической модели учитывается

формально и в недостаточном объеме. Следовало включить в эту модель определенные автором термодинамические условия формирования гранитоидов и руд, а также данные по возрасту метасоматитов, особенностям состава стабильных изотопов в рудных и жильных минералах. Такие данные позволяют не только оценить источники анионной части рудных и жильных минералов, но и сделать выводы об эволюции рудообразующих флюидов. Остается непонятным на каком уровне и за счет каких процессов происходит дифференциация гранитоидов и активизация магматического очага, чем объясняется транспортировка расплава из зоны анатексиса в зону кристаллизации, каким образом происходила эволюция расплава, отделение магматических дистиллятов и проч.. Необходимо сопоставить разработанную модель с существующими моделями развития скарновых месторождений, например (Meinert, Hedenquist, 2003).

Недостаточное внимание уделено возможности применения выделенных типов гранитоидов, метасоматитов и руд при поисках и оценке месторождений. Не получило развития обсуждение различий выделенных автором в первой главе двух морфологических типов рудных тел: относительно богатых с рудными столбами пластовых и убогих штокверковых.

#### **Заключение.**

Работа, в целом, производит положительное впечатление, что обусловлено высоким уровнем выполнения графических приложений и достаточно грамотным геологическим подходом к решению поставленных задач. Замечания, высказанные выше, относятся к тексту диссертации или к некоторым выводам и не затрагивают защищаемых положений и аргументации, приведенной для их доказательства, что позволяет считать диссертацию Федосеева Дмитрия Геннадьевича научно-квалификационной работой. Диссертация и автореферат соответствуют требованиям, предъявляемым к таким работам (требования п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842. Текст автореферата отражает основное содержание диссертации.

По мнению оппонента, Федосеев Дмитрий Геннадьевич заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

Официальный оппонент

В.н.с. лаборатории геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН

кандидат геолого-минералогических наук

07.10.2019

Начальник общего отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук МИНЕРНАУКИ России



Аристов В.В.

Аристов Василий Васильевич, ведущий научный сотрудник лаборатории геологии рудных месторождений Федерального государственного бюджетного Учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, к.г.-м.н.

119017 Москва, Старомонетный пер., 35, ИГЕМ РАН

Телефон: 89037800330; E-mail: [rstvzv@yandex.ru](mailto:rstvzv@yandex.ru)