

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Шадчина Максима Викторовича

«ГЕОЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ РУД МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АК-СУГ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ТУВА)»

представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Диссертационная работа Шадчина Максима Викторовича посвящена комплексному исследованию геологических и физико-химических условий образования рудных зон крупного по запасам медно-порфирового месторождения Ак-Суг. Отдельное внимание диссертант уделил проблеме выявления минералого-геохимических особенностей руд и зональности месторождения. В основу диссертации положен значительный аналитический комплекс методов и большой объем фактического материала. Комплексный подход к изучению руд и измененных пород позволил соискателю предложить геолого-генетическую модель формирования месторождения Ак-Суг. С привлечением данных по термобарогеохимии и изотопному составу серы, кислорода и углерода обосновываются источники гидротермального флюида и металлов. На основании изменчивости геохимических характеристик руд делается заключение о зональности оруденения и уровнях глубинности рудоотложения. Создание подобных геолого-генетических моделей, базирующихся на комплексных исследованиях, способствует развитию представлений о генезисе рудных месторождений и могут быть использованы в прогнозно-металлогенических исследованиях, что в свою очередь определяет **актуальность и практическую значимость** диссертационной работы.

Научная новизна работы заключается в комплексном изучении геохимических характеристик большого количества проб, сопряженном с исследованием минералого-геохимических, термобарогеохимических и изотопно-геохимических особенностей руд. Такой подход позволил соискателю предложить объемные модели минералогической, метасоматической и геохимической зональностей месторождения Ак-Суг. На основании авторских результатов U-Pb датирования, с привлечением результатов предшественников, дана оценка возрастного диапазона интрузивного магматизма, рудоотложения и метасоматических процессов. Таким образом, полученные в ходе подготовки диссертационной работы данные и результаты их интерпретации, несомненно являются **новыми и оригинальными**, а научная новизна работы очевидна.

Личный вклад автора не вызывает сомнений. Максим Викторович принимал участие во всех этапах работы, включая отбор керновых проб, подбор и анализ опубликованной и фондовой литературы, подготовку навесок и препаратов к анализам и обработку результатов. Результаты работ опубликованы в виде 3 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК и одной коллективной монографии. По теме диссертации соискателем было представлено 9 докладов на научных конференциях и научных школах. Таким образом считаю, что **работа прошла необходимую апробацию**. Текст автореферата отражает содержание диссертации и раскрывает обоснование защищаемых положений.

В основе диссертационного исследования Шадчина М.В. лежит широкий спектр **методов и подходов к изучению** медно-порфировых месторождений. Комплекс камеральных и аналитических методов, положенных в основу работы, включает: (1) оптическую и электронную микроскопию; (2) U-Pb геохронологические исследования цирконов методом LA-ICP-MS; (3) изучение валового геохимического состава руд и пород (силикатный, РФА ICP-AES анализы); (4) изотопные исследования (S, O, C); и (5) определение параметров рудообразования на основе изучения флюидных включений (термометрия, криометрия, КР-спектроскопия, газовая хромато-масс-спектрометрия). Применение современных точных методов анализа позволяет говорить о высокой степени достоверности аналитических данных.

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и четырех табличных приложений, общим объемом 229 стр., включает 92 рисунка, 37 таблиц и список литературы, содержащий 150 наименования. На защиту выносятся три защищаемых положения. Первое положение посвящено геохронологическим аспектам магматических пород аксугского комплекса, вмещающих основную массу Au-Cu-Mo оруденения. Во втором защищаемом положении приводятся данные о геохимической и метасоматической зональности месторождения Ак-Суг. Третье защищаемое положение раскрывает физико-химические условия формирования промышленной рудной минерализации и источники гидротермального флюида и рудного вещества.

Во **введении** диссертант обосновывает актуальность исследований, показывает научную новизну и практическую значимость работы, формулирует цели и задачи исследований, дает характеристику фактическому материалу и методам исследования.

В **первой главе** «История изучения Ак-Сугского месторождения, основные черты геологического строения Ак-Сугского рудного узла» диссертант дает историческую справку по изучению месторождения Ак-Суг, начиная с периода первого обнаружения минерализации в 1952 г., заканчивая последними геолого-разведочными работами 2015-

2019 гг. Второй раздел главы «Положение рудного узла и месторождения в структурах Алтае-Саянской складчатой области» освещает вопросы региональной геологии и тектонического районирования территории. Раздел содержит значительное количество ссылок на основополагающие работы, в полной мере проиллюстрирован необходимым картографическим материалами.

Разделы 1.3 – 1.6, посвященные стратиграфии, магматизму, тектонике и закономерностям размещения рудных объектов на площади рудного узла, к сожалению, больше напоминают выдержки из фондовых материалов, нежели научный труд. В разделах явно не хватает значительной части ссылок на первоисточники, а единственная иллюстрация (Рис. 1.4 на стр. 26) практически не читаема ввиду малого размера.

Вторая глава «Геологическое строение Ак-Сугского месторождения» является наиболее объемной и информативной. В главе освещаются аспекты не только собственно геологического строения месторождения, но и приводятся данные о составе и возрасте магматических пород и минеральном составе рудной минерализации. Материалы, изложенные в первой главе, в полной мере обосновывают первое защищаемое положение.

В разделе 2.1. «Характеристика вмещающих пород и рудных тел» приводится описание геологического строения месторождения, петрографического состава пород и метасоматитов. На основе данных аналитических работ для систематики и характеристики магматических пород аксугского интрузивного комплекса диссертантом были построены различные диаграммы, наглядно демонстрирующие широкий спектр составов. Методом LA-ICP-MS был определен возраст формирования интрузивных пород, относящихся к различным фазам внедрения, что позволило установить возрастной диапазон становления массива в интервале 528-521 млн лет. Детально описана характеристика метасоматически измененных пород, проявленных на месторождении

В качестве *замечаний* к разделу следует указать следующие:

(1) Отсутствие данных о ППП (LOI), как в табличной форме, так и по тексту диссертации, без которых сложно оценить степень вторичных изменений пород, составы которых используются для интерпретации петрогенезиса и геодинамических обстановок.

(2) На картах и разрезах, приведенных в тексте диссертации, отсутствует проекция и контуры промышленных рудных тел.

(3) Странными выглядят диаграммы, приведенные на рисунках 2.16 и 2.17, на которых разделение пород на габбро, диориты, гранодиориты и граниты, по всей видимости, проведено на основании содержания SiO_2 , а не по петрографической характеристике, как это принято для полнокристаллических магматических пород.

(4) К сожалению, в тексте диссертации не обсуждаются причины более молодого, относительно магматизма, возраста молибденита (518-511 млн лет), определенного предшественниками (Pollard et al., 2017; Берзина и др., 2019) Re-Os методом.

Раздел 2.2 полностью посвящен описанию рудной минерализации на месторождении Ак-Суг. В тексте приведена информация о природных типах руд, характеристиках главных, второстепенных и редких рудных минералов, а также о стадийности рудного процесса. Текст раздела написан грамотным профессиональным языком, логичен и последователен. Раздел содержит исчерпывающее количество микрофотографий рудных минералов очень высокого качества, что, несомненно, является сильной стороной работы. Для большинства описанных минералов приведены их составы, позволяющие оценить химизм рудного процесса в целом. К разделу *замечания отсутствуют*.

В **третьей главе** содержится характеристика минералого-геохимической зональности Ак-Сугского месторождения. В главе последовательно излагается три типа зональности – геохимическая, гидротермально-метасоматическая и минералогическая. *Геохимическая* зональность, выраженная в анализе пространственного распределения элементов и их устойчивых ассоциаций, базируется на колоссальном объеме фактических данных – без малого 70000 проб. Интерпретация данных опробования, проведенная с применением методом математической статистики, позволила выявить 8 устойчивых геохимических ассоциаций, для каждой из которых диссертант приводит соответствующий породно-минеральный комплекс. Описанная в работе *гидротермально-метасоматическая* зональность представляет собой типичную зональность порфировых месторождений и не вызывает замечаний. Предложенная автором диссертационной работы *минералогическая* зональность является логическим завершением главы. Сведения, приведенные в заключительном разделе, логично согласуются как с геохимической, так и гидротермально-метасоматической зональностью. В целом глава является хорошим примером исследования различного рода зональности на месторождениях порфирового семейства. Каких-либо серьезных *замечаний к главе нет*. Материалы изложенные в тексте диссертации и автореферате полностью обосновывают второе защищаемое положение.

В **четвертой главе** обсуждается оценка перспектив рудоносности глубоких горизонтов и уровня эрозионного среза месторождения Ак-Суг. На основе анализа объемной модели месторождения, оценки изменения содержания и продуктивности по главным компонентам руд (Cu и Mo), диссертантом делается положительное заключение о перспективности глубоких горизонтов и относительно небольшом уровне эрозионного среза.

Хотя материалы, изложенные в четвертой главе, не выносятся на защиту, к содержанию имеется ряд замечаний:

(1) Стоило показать положение проекции объемной модели (Рис. 4.1 и 4.2) на геологической карте и разрезе месторождения, это позволило бы существенно повысить информативность графического материала.

(2) Не приведена схема с положением разведочных линий, по разрезам которым вынесены содержания меди и молибдена (Рис. 4.3, 4.4). По этой же причине достаточно сложно воспринимаются графики изменений содержания и продуктивности Cu и Mo (Рис. 4.5 – 4.8).

В **пятой главе** приводятся результаты термобарогеохимических исследований и обсуждаются РТ-параметры формирования рудных зон. Оценка условия формирования производится на основании комплексного изучения флюидных включений. Повествование логичное и последовательное, текстовая часть сопровождается необходимыми иллюстрациями и графиками. Полученные результаты позволили автору сделать выводы об условиях формирования кварцевых жил месторождения и сформулировать часть третьего защищаемого положения. Из *замечаний* стоит указать на исключительно широкий диапазон РТ параметров гидротермального флюида, охватывающий практически весь диапазон гидротермального процесса в целом. По мнению рецензента, выносить на защиту следовало бы только параметры, полученные исключительно по рудным жилам. Весомых доказательств связи рудной минерализации и гидротермального флюида, заключенного во вторичных включениях, в тексте диссертации не приводится. Также сомнительным выглядит заключение о эволюции гидротермального флюида от водного к водно-углекислотному; более логично бы выглядела обратная направленность, связанная с дегазацией флюида, которая могла бы существенно повлиять на редокс параметры системы и быть причиной минералообразования.

К сожалению, при проведении термобарогеохимических исследований диссертанту не удалось зафиксировать высококонцентрированные флюиды с содержанием солей до 60 мас.% (NaCl-экв), которые являются «визитной карточкой» порфировой гидротермальной системы и не характерны для минерализации других формационных типов (Bodnar et al., 2014; Mernagh et al., 2020). Возможно, это задача будущих исследований.

Глава шестая «Источники рудоносных флюидов» повествует о характеристиках источников рудного вещества и флюидов, ответственных за формирование месторождения Ак-Суг, на основе изучения изотопного состава S сульфидов и C и O карбонатов.

Результаты, представленные в шестой главе, обосновывают часть третьего защищаемого положения.

Результаты изотопного состава серы сульфидов, полученные соискателем, согласуются с ранее опубликованными данными, значительно расширяя их статистику. В общем для месторождения Ак-Суг установлен «мантийный/магматический» гомогенный источник серы, что в полной мере соответствует модели формирования оруденения. Интересным фактом является статистически подтвержденное утяжеление изотопного состава серы в ряду халькопирит-пирит-молибденит. Автор также показывает тренд увеличения доли легких изотопов серы от ранних генераций минералов к поздним. *Однако рецензент не согласен* с тезисом о незначительном облегчении изотопов серы от глубоких горизонтов месторождения к верхним (Рис. 6.2. текста диссертации). Рисунок, на который ссылается соискатель, демонстрирует, напротив, изменение изотопного состава серы сульфидов ВНЕ зависимости от глубины (причем как для пирита, так и для халькопирита). В такие тренды укладывается большинство значений изотопного состава серы сульфидов из образцов с глубин в диапазоне (грубо) от 0 до 250 метров. Единичные определения из проб с глубин более 400 метров не могут являться основанием для выделения тренда зависимости.

Интерпретация результатов определения изотопного состава кислорода и углерода кальцита из прожилков проводится на хорошем научном уровне и с использованием современных диаграмм. Исходя из закономерности изменения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ соискатель делает заключение о полигенном источнике углекислоты и воды, вовлеченных в рудных процесс. В качестве *замечаний* к разделу можно указать неполноту обоснованности «растворения осадочных карбонатов метаморфогенными водами». Куда же тогда подевался собственно магматогенный флюид? Кроме того, при интерпретации данных изотопии в карбонатах стоит понимать, изотопию чего мы хотим охарактеризовать – воды, CO_2 и/или гидротермального флюида в целом.

Глава седьмая «Образцы и методы исследования» содержит исчерпывающую информацию об использованных аналитических процедурах. *Недостатком* главы является весьма лаконичное описание образцов и отсутствие информации о силикатном и ICP-AES анализе магматических пород.

К диссертационной работе имеется ряд замечаний технического характера:

- на некоторых рисунках подрисовочные подписи перенесены на следующую страницу, что во многом затрудняет восприятие информации. Уместным было бы подрисовочные подписи дать через меньший интервал;

- при подготовке табличных приложений, размещенных более чем на одной странице, название колонок следует приводить на каждой странице, а не только на первой;

- в качестве табличных приложений было бы лучше предоставить петрохимические характеристики магматических пород, а не результаты ГХ-МС анализа летучих компонентов.

Несмотря на перечисленные замечания, работа является оригинальным законченным исследованием, базирующемся на **представительном фактическом материале**, и содержит новые и интересные данные и является важной вехой в понимании природы медно-порфирового оруденения как в пределах Алтае-Саянской складчатой области, так и в целом. Цели и задачи исследования сформулированы четко и, в основном, выполнены. **Автореферат отражает содержание диссертационной работы. Защищаемые положения** являются оригинальными, достаточно убедительно аргументированными и опубликованы в трех статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК, а также доложены на ряде конференций.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация «ГЕОЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ РУД МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АК-СУГ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ТУВА)» **соответствует критериям**, установленным п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842) для **ученой степени кандидата наук**, а её автор, Шадчин Максим Викторович, заслуживает присуждения **ученой степени кандидата геолого-минералогических наук** по специальности 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Официальный оппонент,
Неволько Петр Александрович
кандидат геолого- минералогических наук,
и.о. заведующего лабораторией/старший научный сотрудник
Лаборатория рудообразующих систем
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга д. 3
www.igm.nsc.ru
nevolko@igm.nsc.ru
+7(383) 373-02-26 (доб. 710).

Я, Неволько Петр Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

13 февраля 2025 года

 Неволько П. А.

