

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Марфина Александра Евгеньевича «Возраст и генезис сульфидной минерализации Октябрьского месторождения, Талнахский рудный узел», представленную на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.04 – петрология, вулканология

Автор видит актуальность проведенного исследования в необходимости получения дополнительной информации для решения проблемы генезиса сульфидных руд Норильского района, с чем оппонент согласен.

Основной целью диссертационной работы Марфина А.Е. является «изучение руд Октябрьского месторождения и вмещающих их пород с минералого-геохимической, петрологической и геохронологической точек зрения». Для решения этой цели автор изучил редкоэлементный состав халькопирита в трех типах руд Хараелахской интрузии, сделал петрографическое описание метасоматизированных пород из эндо- и экзоконтакта интрузии, определил изотопные отношения урана и свинца в титаните, апатите, перовските и гранате из этих пород, а также на основе полученных собственных и литературных данных обсудил проблему генезиса руд Хараелахской интрузии. Работа выполнена с применением современного метода анализа - LA-ICP-MS, изучались образцы, лично отобранные автором. Автором впервые для халькопирита предложена основанная на методах математической статистики схема разделения халькопирита по содержаниям Se, Te, Cd и Pb, позволяющая привязывать этот минерал к конкретному типу руд. Впервые для Хараелахской интрузии методом *in-situ* U-Pb геохронологии определены значения возраста титанита и апатита из габбро-норита интрузии и с помощью геотермометра, основанного на содержании Zr в титаните, оценена температура контактово-метасоматического процесса.

Диссертация Марфина А.Е. состоит из одного тома объемом 122 стр., в том числе 7 приложений в виде таблиц с результатами полученных аналитических данных. Текст состоит из «Введения», 6 глав, «Заключения» и «Списка литературы». Последний состоит из 158 наименований, включая 61 русскоязычный источник.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, новизна, практическая значимость, защищаемые положения, кратко описан фактический материал, методы исследования и личный вклад автора, показано соответствие паспорту специальности.

В первой главе обсуждены имеющиеся в литературе данные о возрасте формирования интрузий, массивных и вкрапленных Pt-Cu-Ni руд Норильского района и перечислены гипотезы образования сульфидной минерализации в трапповых интрузиях Норильского района.

Замечание к главе 1:

Из приведенного списка гипотез нельзя получить представление о состоянии изученности вещественного состава руд и вмещающих их дифференцированных интрузий, хотя только на основании этих данных можно аргументировано обсуждать генезис руд.

Во второй главе на основе литературных данных приводится информация: 1) о геологическом положении Хараелахской интрузии и Октябрьского месторождения; 2) о строении и петрографическом составе расслоенной Хараелахской интрузии; 3) о вмещающих Хараелахскую интрузию осадочных породах и о контактово-метасоматических породах в ореоле Хараелахской интрузии; 4) о местоположении в разрезе месторождения массивных, вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд.

Замечания к главе 2:

1. На приведенном геологическом разрезе двухчленное строение интрузии не согласуется с ее трехчленным строением, используемым при петрографическом описании дифференцированных серий.

2. При описании пород дифференцированной интрузии несколько раз используется термин «пикрит». Видимо речь идет о пикритовых габбро-долеритах. Неужели автор не видит разницы между эффузивной и интрузивной породой?

3. Не показано место отбора изученных автором образцов.

В третьей главе описаны использованные в работе методы исследования: петрографический, сканирующей электронной микроскопии, LA-ICP-MS. Последний использован для анализа редкоэлементного состава халькопирита и определения изотопных отношений U и Pb.

Замечание к главе 3:

Нет информации о примененном геотермометре.

Четвертая глава посвящена нахождению способа разделения халькопирита из различных типов руд Октябрьского месторождения на основе содержаний элементов-примесей в халькопирите. Были получены методом LA-ICP-MS содержания 14 микроэлементов в халькопирите из прожилково-вкрапленных (46 анализов), вкрапленных (25 анализов) и массивных (16 анализов) руд. Обычно используемые вариационные, мультиэлементные и скрипичные диаграммы не позволили разделить халькопирит. Был применен кластерный анализ, а затем статистический метод, основанный на «дереве решений». Полученное классификационное дерево, по мнению автора, «разделяет халькопирит из различных типов руд с достоверностью ~86 %».

Замечания к главе 4:

1. Нет описания петрографических характеристик и минерального состава изученных массивных, вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд.

2. Не написано, как диагностировался халькопирит, что важно, поскольку существуют многочисленные медные минералы группы халькопирита, которые не идентифицируются оптическими методами.

3. Не проведена интерпретация содержаний микроэлементов в халькопиритах разных типов руд на основе геохимических свойств элементов.

4. Утверждение, что «халькопирит прожилково-вкрапленных руд в среднем беднее всеми элементами-примесями по сравнению с двумя другими типами руд» не подтверждается приведенными в работе данными (см. мультиэлементную диаграмму на рис. 4.7). Одно это утверждение не может быть основанием для сделанного в главе вывода «Это может свидетельствовать о том, что прожилково-вкрапленная руда не является продуктом эволюции MSS и связана с другим процессом, например, ремобилизацией рудного вещества вследствие метаморфизма и метасоматоза».

В пятой главе приводится петрографическая характеристика 4 образцов метасоматизированных пород эндо- и экзоконтакта Хараелахской интрузии, результаты U-Pb датирования титанита, апатита, граната и перовскита из этих образцов и определения температуры формирования 2 метасоматических пород по геотермометру, откалиброванному по содержанию Zr в титаните.

Замечания к главе 5:

1. В образце AM43 не описаны текстура и структура породы, не сказано, из экзо- или эндоконтакта эта порода.

2. Структура образца AM40 описана как «пойкилитовая, офитовая», судя по фотографии, порода имеет пойкилоофитовую структуру. Для роговика из этого образца перепутаны названия структуры и текстуры.

3. Автор пишет, что в образце AM19 «Силикатная матрица сильно изменена, вплоть до изотропного состояния, и не может быть диагностирована (наблюдаются лишь редкие реликты плагиоклаза), пропорции первичных минералов не могут быть оценены с помощью поляризационного микроскопа». Тогда на основании каких данных вмещающая сульфидные минералы порода названа «Mg-скарн»? Кроме того, структуру и минеральный состав можно было определить на электронном микроскопе, так как, судя по рис. 5.5, размер зерен составляет десятки микрон.

4. В образце АМ18 не описаны текстура и структура породы.
5. В разделе 5.2 при обсуждении природы граната сказано, что он грессуляр-андрадитового ряда и показано в нем распределение REE, но нет таблицы с макрокомпонентным и редкоэлементным составом этого минерала.
6. В разделе 5.3. обсуждается неоднородность редкоэлементного состава титанита из метасоматизированного роговика. Нет таблицы с составом минерала по главным элементам.
7. В трех образцах (АМ43, АМ19, АМ18) при расчете дискордии используется как первичное изотопное отношение свинца, которое было получено для сульфидов вкрапленных руд из неметасоматизированных габбро-долеритов Хараелахской интрузии [Petrov, 2019]. Для сульфидов и датированных минералов (титанит, апатит, перовскит, гранат) из этих образцов обсуждается их метасоматическая природа. Видимо предполагается, что первичные сульфиды вкрапленной руды габбро-долеритов были растворены в гидротермальных растворах, а затем переотложены в эндо- и экзоконтактных породах в процессе постмагматического метасоматического преобразования этими растворами. Образец АМ43 представляет собой метасоматизированный роговик, по-видимому из экзоконтакта, так как все остальные образцы из эндоконтакта, а автор пишет, что исследованы образцы из эндо- и экзоконтакта. Таким образом, эта порода образовалась по осадкам. В остальных образцах АМ19 (Mg-скарн) и АМ18 (метасоматизированным габбро-долерит) описаны включения минералов осадочных пород. То есть раствор взаимодействовал с осадками, в результате чего он не мог сохранить изотопное отношение свинца как во вкрапленных рудах. Поэтому нельзя использовать изотопное отношение свинца вкрапленных руд как первичное при расчете дискордии в метасоматизированных образцах и, соответственно, полученные возрастные оценки для этих образцов не корректны. Нужно было измерить изотопное отношение свинца в сульфидах изучаемых метасоматизированных образцов.

В шестой главе приводятся представления автора о генезисе массивных, вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд Октябрьского месторождения. Он обсуждает последовательность формирования трех типов руд на основании их возраста, подчеркивает метасоматическую природу прожилково-вкрапленных руд, предлагает модель проточной камеры для объяснения масштабного метасоматического ореола вокруг интрузии, в ней же, по мнению автора, происходит ассимиляция S и кристаллизация сульфидов, которые формируют массивные и вкрапленные руды. В конце главы на основе литературных данных обсуждается вклад мантийной и коровой составляющей в образование PGE-Cu-Ni месторождений региона.

Замечание к главе 6:

Удивительно, что при обсуждении генезиса массивных и вкрапленных руд автор не использует информацию о составе руд и вмещающих их интрузий. Но уже накоплено большое количество данных, которые говорят об отсутствии взаимосвязи геохимических характеристик расплавов, формирующих интрузии, с геохимическими особенностями руд. Например, в процитированной автором работе [Petrov, 2019], на основании изучения изотопных отношений свинца в плагиоклазах пород и сульфидах массивных и вкрапленных руд Хараелахской интрузии, был сделан вывод, что рудное вещество и силикаты не сингенетичны, а парагенетичны, что сульфидные и силикатные расплавы не были изотопно однородны, то есть никогда не представляли собой гомогенную расплавную фазу. Уже существуют модели генезиса, которые объясняют эту неравновесность [Криволицкая, 2014]. Нельзя игнорировать имеющийся фактический материал, противоречащий ассимиляционно-кристаллизационной гипотезе, которой придерживается автор.

Замечаний к «Заключению» нет.

К первому защищаемому положению «Из халькопирита трех главных промышленных типов руд Октябрьского месторождения (вкрапленных, массивных и

прожилково-вкрапленных) наиболее контрастным по составу является халькопирит прожилково-вкрапленных руд. На основании распределения концентраций Se, Te, Pb и Cd можно уверенно отличать халькопирит прожилково-вкрапленных руд от халькопирита массивных и вкрапленных руд» замечаний нет.

Второе защищаемое положение «В верхнем контакте Хараелахской интрузии широко проявлено ороговикование и скарнирование вмещающих пород. Среди высокотемпературных контактовых метаморфических пород наиболее проявлены породы пироксен-роговиковой фации. Температура их образования находится в интервале 720 - 820 °С». То, о чем сказано в первых двух предложениях уже давно известно и не может быть включено в защищаемое положение, тем более что автор не занимался процессами образования этих пород. Можно, по-видимому, говорить только о полученной оценке температуры этих процессов.

Третье защищаемое положение «Рудная минерализация в эндо- и экзоконтактовых породах Октябрьского месторождения генетически ассоциирует с метаморфическими (титанит) и метасоматическими (титанит, апатит, перовскит, гранат) минералами. Их возраст, оцененный U-Pb методом с LA-ICP-MS, в пределах погрешности измерений совпадает с возрастом Хараелахской интрузии ~ 252 млн лет». Оценка возраста в трех метасоматизированных образцах произведена не только с погрешностью измерений, но и с погрешностью вычислений, так как при расчете некорректно используется как первичное отношение свинца из вкрапленных руд неметасоматизированных габбро-долеритов Хараелахской интрузии. Можно говорить только о возрасте, полученном для магматических титанита и апатита из габбро-долерита (обр. АМ40), а он фиксирует магматическое событие.

Диссертационная работа Марфина Александра Евгеньевича «Возраст и генезис сульфидной минерализации Октябрьского месторождения, Талнахский рудный узел» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему, обладает новизной и научной значимостью, так как полученная информация вносит вклад в понимание процессов формирования прожилково-вкрапленных руд метасоматического генезиса. Защищаемые положения обоснованы. Основные положения диссертации опубликованы в виде двух статей в высокорейтинговых журналах (Economic Geology и Minerals). Автореферат отражает содержание диссертации.

На основании изложенного выше, считаю, что, рассматриваемая диссертация удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842 с изменениями), а ее автору, Марфину Александру Евгеньевичу, может быть присуждена ученая степень кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Официальный оппонент

Горнова Марина Аркадьевна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геохимии им. А.П.Виноградова Сибирского отделения Российской Академии Наук. Адрес: 664033, г. Иркутск, Фаворского 1А. Телефон: (3952)42-66-00, факс: (3952)42-65-00, адрес электронной почты: mgorn@igc.irk.ru

Я, Горнова Марина Аркадьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.
11 мая 2021 г.



Подпись *Горновой М.А.*
ЗАВЕРЯЮ *Горнова М.А.*
Зав. канцелярией
ИГХ СО РАН *Горнова*