

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института
геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии РАН
член-корреспондент РАН,
доктор геол.-мин. наук
В.А.Петров



23 апреля 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию МАРФИНА АЛЕКСАНДРА ЕВГЕНЬЕВИЧА «**Возраст и генезис сульфидной минерализации Октябрьского месторождения, Талнахский рудный узел**», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – Петрология, вулканология

Представленная работа исследует происхождение и возрастные соотношения трех основных типов руд уникального Октябрьского месторождения в Норильском рудном районе на севере Сибирской платформы. Несмотря на многолетнюю историю изучения норильских месторождений, важные проблемы их генезиса остаются не до конца выясненными и остро дискуссионными.

Актуальность работы обусловлена важностью определения способа образования прожилково-вкрапленной минерализации во вмещающих породах и ее соотношений с богатыми и вкрапленными рудами в теле интрузива. Так называемые медистые руды во вмещающих породах представляют собой ценный тип промышленного оруденения, экономическое значение которого возрастает по мере отработки массивных руд основной залежи Хараелахского интрузива.

Цель и задачи исследования направлены на минералого-геохимическое, петрологическое и геохронологическое изучение минералов, руд и вмещающих их пород Октябрьского месторождения для выяснения их генезиса. При этом основные задачи также формулируют подходы к их решению: 1) изучение типохимизма халькопирита как индикаторного минерала всех трех типов руд Октябрьского месторождения; 2) выяснение характера метасоматических и метаморфических изменений в верхнем контакте Хараелахской интрузии и вмещающих пород с оценкой температур контактового метаморфизма; 3) определение возраста минералов, находящихся в парагенетической

ассоциации с сульфидами прожилково-вкрапленных руд методами in-situ U-Pb геохронологии; 4) вывод о генезисе сульфидного оруденения

Фактический материал. Работа основана на изучении коллекции каменного материала, собранного автором из керна скважин эксплуатационной разведки различных участков во время работы геологом на Октябрьском месторождении в 2018-2019 гг и в ходе полевого сезона 2020 г. В ходе исследования выполнено свыше 500 локальных определений методом SEM EDS (Томский политехнический университет и Университет Тасмании, Австралия). Проведено около 90 локальных измерений халькопирита методом LA-ICPMS (ИГЕМ, Россия). Выполнено 183 определения содержаний микроэлементов и изотопных отношений U и Pb в апатите, титаните, гранате и перовските методом LA-ICPMS, по которым рассчитано 7 значений возраста (Университет Тасмании, Австралия).

Личный вклад автора заключается в подземном картировании, документации и отборе коллекции каменного материала, пробоподготовке, выполнении анализов, статистической обработке полученных результатов, интерпретации новых и литературных данных, и написании статей, где он является первым автором. Значимость личного вклада очевидна.

Научная новизна. Впервые типизирован халькопирит из трех типов руд по содержанию в нем элементов примесей. Предложена основанная на методах математической статистики схема разделения халькопирита по содержаниям Se, Te, Cd и Pb. Впервые для изучаемого объекта методами in-situ U-Pb геохронологии определены значения возраста титанита, апатита, граната и перовскита из пород верхней эндо- и экзоконтактовой зоны. Впервые дана численная оценка температуры контактового метаморфизма в кровле Хараелахского интрузива с использованием мономинерального термометра, основанного на содержании Zr в титаните.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в возможности использования выведенных закономерностей при поисках и разведке месторождений в Норильском регионе. В частности, данные о типохимизме халькопирита могут быть использованы при поиске сульфидных руд в Норильском и, возможно, других регионах мира.

Публикации и апробация работы. Результаты исследований представлены в 13 печатных изданиях, среди них в 2 рецензируемых журналах (Minerals, Economic Geology), входящих в Web of Science Core Collection. Основные результаты были апробированы на нескольких конференциях. Положения диссертации в достаточной мере отражены в публикациях.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 122 страницы, включая рисунки, таблицы и приложения, Список литературы включает 158 работ.

В главе 1 дается литературный обзор и рассматривается постановка проблемы. В литературном обзоре описываются с достаточной детальностью имеющиеся возрастные датировки, полученные различными методами в разное время, при этом приводятся аргументы в пользу короткого интервала проявления интрузивного магматизма в районе. Надо отметить, что результаты и преимущества датирования методом SCHRIMP, в частности данные ВСЕГЕИ, недостаточно отражены в обзоре, а ведь этот метод позволяет датировать сложные процессы унаследованности и прерывистого роста циркона. В целом, обзор показывает, что если в решении проблем возраста интрузивного магматизма и его временных взаимоотношений с вулканизмом достигнуты определенные успехи, точность определения возраста образования сульфидных руд в настоящее время не достаточна для постулирования их синхронности с магматизмом.

Также в главе рассматриваются модели формирования сульфид-насыщенных магм и история их внедрения и кристаллизации. Учитывая большое количество разнообразных, но во многом пересекающихся моделей, автор предпринял попытку выделить только основной тезис каждой гипотезы, что привело к чрезмерному упрощению их описания и упущению вклада ряда исследователей. Из западных исследователей рассмотрены только идеи А. Налдретта, тогда как следовало бы расширить главу с тем, чтобы более полно осветить модификации ортомагматической гипотезы и перечислить имеющиеся публикации.

Глава 2 описывает геологическое строение, магматические, метасоматические и метаморфические породы, а также сульфидные ассоциации Октябрьского месторождения. Использование здесь термина пикрит (стр. 27-28) для интрузивной породы неправомерно, более приемлемым является местный термин пикритовый габбродолерит.

Глава 3 описывает фактический материал исследования, который был собран в течение двух лет работы автора по проекту эксплуатационного бурения на рудниках Октябрьского месторождения, а также в ходе последующих полевых работ. Места отбора образцов, однако, не показаны в диссертации даже схематично, поэтому геологическая ситуация их локализации неясна. В будущем следует приводить фотографии штуфов и схемы их отбора.

Были использованы как рутинные методы оптической микроскопии, электронной микроскопии, так и ранее не применявшиеся и редко применявшиеся для исследования

норильских руд. Состав сульфидов с акцентом на состав халькопирита был изучен методом ЛА-ИСП-МС. Статистическая обработка результатов проводилась в среде RStudio с использованием соответствующих библиотек. Приводится подробное описание подхода к анализу, коррекции и интерпретации U-Th-Pb изотопных данных по апатиту, титаниту, перовскиту и гранату, а также анализу содержаний микроэлементов (для титанита и граната), которые были получены при измерении методом ЛА-ИСП-МС в университете Тасмании (Хобарт, Австралия).

Глава 4 посвящена результатам исследования микроэлементного состава халькопирита различных типов руд Октябрьского месторождения. Показано, что концентрации микроэлементов в халькопирите трех главных типов руд (массивные, вкрапленные и прожилково-вкрапленные) перекрываются между собой. Предложен алгоритм определения принадлежности халькопирита к различным типам руд рассмотрены закономерности накопления микроэлементов в халькопирите. Здесь можно отметить, что сульфидные расплавы, дающие три типа руд, рассматриваются как изолированные системы, тогда как очевидна различная пропорция силикатного расплава, участвующего в обмене с сульфидным расплавом в каждом случае. Обмен с силикатным матриком на стадии несмесимых расплавов (R-фактор) не учитывается при интерпретации, а он влияет на концентрации микроэлементов еще до процесса фракционирования между *mss* и *iss*.

Глава 5 посвящена результатам исследования микроэлементного состава и датирования минералов верхнего эндо- и экзоконтакта Хараелахского интрузива. В главе обсуждаются микроэлементные спектры граната и титанита из контактового ореола интрузива, по последнему оценена температура кристаллизации до 820 °C. Здесь же приводятся данные *in-situ* U-Pb изотопного датирования титанита, апатита, граната и перовскита. Сделанный вывод о том, что апатит, титанит, гранат и перовскит могут быть достаточно надежно датированы при помощи U-Pb метода с LA-ICP-MS как отражение возраста сульфидной минерализации согласуется с приведенными в диссертации данными нестрого. Разброс значений слишком широк, особенно для перовскита, поэтому следовало бы сказать, что они могут быть использованы с различной степенью надежности и отметить те из минералов, которые более надежны.

На рис. 5.5Г перепутан масштаб, так как включение в перовските превосходит по размерам само зерно перовскита, показанное на рис. 5.5 В.

Глава 6 приводит критический разбор полученных и литературных данных и следствия для интерпретации генезиса руд Октябрьского месторождения. Приводятся

доводы в пользу одновременности формирования интрузивов и руд, а также генетической связи вкрапленных и массивных руд. Кратко и схематично, на двух страницах оценивается вклад мантийной и коровой составляющих в образование месторождений рудного района и отмечается необходимость вовлечения как мантийного, так и коровых компонентов.

Замечание вызывает вывод о сопряженном образовании вкрапленных и массивных руд, который основывается только на распределении примесных элементов в халькопирите, но не учитывает секущую геологическую позицию массивных руд, которая показывает более позднее их образование по отношению к уже закристаллизованным интрузивным минерализованным породам. На разную природу массивных и вкрапленных руд указывают также разная насыщенность ЭПГ в пересчете на сульфидную массу, а также контрастные изотопные характеристики Pb.

Заключение приводит основные выводы работы на одной странице.

В работе предложены **3 защищаемые положения:**

1. 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.
2. 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.
3. 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.

Первое защищаемое положение обосновано данными локального LA-ICP-MS анализа состава рассеянных элементов в халькопирите и подкреплено результатами статистического анализа их распределения. Здесь, на основе собственных и литературных данных автор делает мудрый вывод, что общие классификации, разработанные для специфического типа месторождений хорошо работают и могут рассматриваться как поисковые признаки именно для этого типа, но могут быть неприменимы для других типов минерализации.

Второе защищаемое положение основывается на данных по Zr-в-титаните термометрии. Титанит из контакта габбродолерита и роговика показывает узкий диапазон температур кристаллизации от 720 ° С до 820 ° С, а титанит из метасоматически измененных роговиков –от 650 ° С до 820 ° С. Здесь надо отметить, что из описания «титанита из контакта габбродолерита» неясно, в какой же все-таки породе он локализован – в собственно габбродолерите или в роговике. Схема отбора образцов здесь является необходимой иллюстрацией.

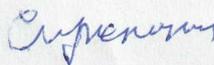
Третье защищаемое положение основывается на данных U-Pb изотопного датирования титанита, граната, перовскита и апатита, проведенного по этим минералам впервые для норильских месторождений. Этот раздел (подглава 5.4) несомненно является крупным достижением автора. Изотопные U-Pb возрасты титанита из двух разных образцов составляют 248.6 ± 6.8 и 249.1 ± 2.9 млн лет, идентичные в пределах погрешности. Возраст граната из сростаний с халькопиритом определен по пересечению с конкордией как 260 ± 11 млн лет. Полученный возраст для перовскита составляет 247.3 ± 8.2 млн лет, однако характеризуется высоким значением среднего квадрата взвешенных отношений $СКВО=20$. Изотопный возраст для апатита из двух образцов также определен по пересечению конкордии с дискордией и составляет 258.2 ± 4.5 и 247.9 ± 5.1 млн лет. Как видно, все возраста совпадают с изотопным возрастом Хараелахского интрузива в пределах погрешности измерений. Изотопные данные получены в одной из ведущих лабораторий мира и опубликованы в журнале Q1, что также подтверждает их высокое качество. Их интерпретация и допускаемые первичные отношения $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ выглядят убедительными и логичными. Вызывает замечания интерпретация взаимоотношений между датировемыми силикатными минералами и сульфидной минерализацией. Включения граната в халькопирите и одновременное включение халькопирита в гранате никак не доказывают их парагенность или близодновременное образование. Гранат может образовывать метакристаллы и захватывать ранний халькопирит, в то время как халькопирит легко ремобилизуется и переотлагается неоднократно и может замещать более ранний гранат. Работы Д.М.Туровцева, С.Ф. Служеникина, И.А. Зотова, В.В. Юдиной, В.В. Рябова показывают, что сульфиды прожилково-вкрапленных руд накладываются на уже сформированные роговики, скарны и магматические инъекции. Известковые скарны, в том числе с гранатом, являются наиболее поздними породами, а в последующую стадию сульфиды замещаются валлериитом, магнетитом, диаспором и некоторыми другими вторичными минералами.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Основные данные и идеи диссертации достаточно полно отражены в автореферате.

Приведенные замечания носят дискуссионный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации. По мнению рецензентов ведущей организации, диссертация является законченным научным исследованием и соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Марфин Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – Петрология, вулканология.

Служеникин Сергей Федорович
канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник ИГЕМ РАН
лаборатория геологии рудных месторождений Института геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии (ИГЕМ РАН)
119017 Москва Старомонетный пер., 35 www.igem.ru
емэйл: sluzh@igem.ru тел. +7 985 1365494

Я. Служеникин Сергей Федорович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Юдовская Марина Александровна
канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник ИГЕМ РАН
лаборатория геохимии Института геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии (ИГЕМ РАН)
119017 Москва Старомонетный пер., 35 www.igem.ru
емэйл: maiya@igem.ru тел. +7 985 1365494

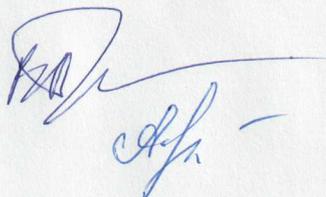
Я. Юдовская Марина Александровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

23 апреля 2021 г.



Отзыв заслушан и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации на расширенном заседании лаборатории геохимии ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии РАН. Протокол №1 от 23 апреля 2021 г.

Заведующий лабораторией
доктор геол.-мин. наук
Ученый секретарь ИГЕМ РАН
канд. геол.-мин. наук



В.Ю.Прокофьев

Е. Ю.Аникина

подписи Служеникина Сергея Федоровича и
Юдовской Марины Александровны заверяю

Зав. канцелярией ИГЕМ РАН Оболенская М.Н.

