

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ивана Федоровича Чайки
«ПЕТРОЛОГИЯ МАЛОСУЛЬФИДНОГО ХРОМИТ-ПЛАТИНОНОСНОГО
ГОРИЗОНТА ИНТРУЗИИ НОРИЛЬСК-1», представленную на соискание
ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности
1.6.3 – петрология, вулканология

Норильские месторождения привлекают исследователей на протяжении многих десятилетий своими уникальными запасами и особенностями геологического строения. Среди многочисленных проблем их генезиса одной из наиболее сложных является проблема формирования малосульфидных руд, обнаруженных в 1990-ых годах прошлого столетия в Норильском районе. Наибольшие перспективы при отработке этого типа минерализации связаны с интрузивом Норильск-1, которому посвящена диссертационная работа И.Ф. Чайки. По сравнению с традиционными сульфидными рудами малосульфидный тип, являющийся главным поставщиком платиновых металлов в мире (Бушвельд, Стиллуотер и др.), изучен гораздо слабее в Норильске, что определяет несомненную актуальность выполненной работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка опубликованной литературы (251 наименование) и табличных приложений; она изложена на 237 страницах и включает 78 рисунков. Во Введении И.Ф. Чайкой перечислены главные проблемы образования малосульфидного типа минерализации в Норильском районе, формулируются актуальность, цели и задачи работы, ее научная новизна, защищаемые положения, а также охарактеризованы объекты исследования. В Главе 1 кратко приводится анализ опубликованных работ по малосульфидному типу руд как в мире, так и в Норильском районе. Глава 2 посвящена геологии Норильского района и интрузива Норильск 1. Методы исследования, использованные в работе, описаны в Главе 3. Особое внимание в ней уделено экспериментальным работам, в частности, охарактеризована высокотемпературная установка для изучения расплавных включений, созданная с помощью автора. Главной в

работе является Глава 4, т.к. в ней приводятся все полученные автором результаты исследований, а именно: строение верхнего платиноносного горизонта интрузива Норильск 1, петрография и геохимия пород, состав породообразующих и сульфидных минералов, состав включений в хромшпинелидах. 5-ая глава посвящена обсуждению полученных результатов. Приложения содержат таблицы (4 шт.), включающие реестр изученных образцов, состав хромшпинелидов, состав пород и гомогенизированных расплавных включений.

Несомненным достоинством представленной к защите диссертации является использование автором большого количества методов исследований – геологических, аналитических, экспериментальных и расчетных, что свидетельствует о высокой квалификации И.Ф. Чайки. Благодаря широкому подходу к проблеме, автору удалось получить большой объем новых разнообразных аналитических данных по составу пород, минералов и расплавных включений. С помощью современных методов исследования вещества получены составы породообразующих минералов верхней эндоконтактной зоны интрузива Норильск 1 – оливинов, пироксенов, плагиоклазов, отраженные на рис. 18-20 и в таблицах 5-7. Детально изучены также второстепенные (апатит) и вторичные минералы, которым придается важное значение в образовании малосульфидных руд. Особое внимание было уделено автором хромшпинелидам, которые описаны очень детально и для которых получен огромный объем данных (рис.28), использованный им для интерпретации генезиса руд. Установлено, что платиновые минералы находятся в основном в ассоциации с низкохромовыми разновидностями этого минерала.

На основании проведенных исследований Иваном Федоровичем выделены два типа малосульфидной минерализации в верхней эндоконтактной зоне интрузива Норильск 1 – хромитовый и бесхромитовый. Сульфиды и их ассоциации охарактеризованы детально в диссертации (раздел 4.6), где продемонстрирована разница между ними в зависимости от типа минерализации. Это же касается и собственно платиновых минералов.

Помимо микронзондовых исследований И.Ф. Чайка применил рамановскую спектроскопию, EDS, WDS, SIMS. Хочется особенно отметить работу автора по созданию экспериментальной установки для гомогенизации расплавных включений, выполненную в Институте экспериментальной минералогии. Все это отражает большой личный вклад автора в проведенное исследование.

Особое значение в работе имеет заключительная ее часть, посвященная генезису как платиновой минерализации, так и хромита. В первом случае предполагается двухстадийное образование – в результате магматической дифференциации и флюидного переноса платиноидов из нижнего горизонта вкрапленных сульфидных руд в верхнюю зону. Для хромита предполагается кристаллизация в результате проявленных процессов ассимиляции.

Как любая большая работа, диссертация не лишена некоторых недостатков. Главные из них сводятся к следующему:

1. *Недостаток геологической информации в работе.* Во-первых, не охарактеризован малосульфидный горизонт как геологическое образование: протяженность, мощность, вариабильность. На рис. 3 (и рис.7А) нет масштаба, хотя это и схема, она должна отображать реальные соотношения горизонтов. Согласно рисунку, мощность малосульфидного горизонта близка к мощности вкрапленных руд, хотя это очень далеко от действительности. Например, М.Н. Годлевским (Годлевский, 1959) описан горизонт нижних пикритовых габбро-долеритов в центральной части Норильска 1 мощностью 120 м. Вкрапленные руды также приурочены к такситовым габбро-долеритам, т.е. их мощность может достигать 140 м. А мощность малосульфидного горизонта не превышает 1 м. Эти данные имеют огромное значение и для генетических выводов.

Также ничего не говорится о мощностях пород, разновидности которых описываются в работе. Хотя они приведены на рис.5, но читателю необходимо самому их высчитывать. Например, на какое расстояние прослежено влияние ксенолитов на состав пород – первые сантиметры, метры, десятки метров? Ведь главное не зафиксировать различные процессы, а понять, какие из них играют

решающую роль в образовании руд. На рис. 4 нет горизонтального масштаба. На рис. 9-11 не обозначены конкретные образцы, для которых приведены анализы в Таблице П2. В работе не хватает главной характеристики, которая позволяет отличать горизонты малосульфидных руд от зон просто убогой или бедной сульфидной минерализации, - соотношения PGE/S.

2. *Односторонняя интерпретация данных по расплавленным включениям.* Несомненно, приведенный состав включений в хромитах не соответствует расплавам, сформировавшим интрузив и его верхнюю зону. Это констатирует и сам автор. Однако его интерпретация в результате ассимиляции расплавом вмещающих пород представляется неоднозначной, поскольку напрямую полученные составы стекол использовать нельзя – это артефакты. Подобная картина наблюдалась нами при изучении составов включений в оливинах главного пикритового горизонта, где они представляют типичную картину субсолидусного переуравновешивания расплава и минерала-хозяина. В негретых включениях в оливине, также как и в здесь в хромите (рис.55) происходит кристаллизация ортопироксена за счет того, что кальций уходит в минерал-хозяин, а расплав обогащается SiO_2 (до 72 мас.%) (Криволицкая, 2014). Представленные на стр. 131 диссертации составы стекловатых включений в хромитах аналогичны изученным нами в оливинах: они содержат 65-75 мас.% SiO_2 и мало CaO (< 1 мас.%). При быстром нагревании включений (5 град/сек) из расплава такого кислого состава, взаимодействующего с минералом-хозяином, кристаллизуется оливин (Криволицкая и др., 2001), обычно более магнезиальный, чем оливин-хозяин -Krivolitskaya et al., 2022), что также происходит и в хромитах, как показано автором на рис. 61. Это объясняется несоответствием кинетики процесса природного остывания расплава и его нагреванием в эксперименте, в течение которого не восстанавливается равновесие расплава с минералом-хозяином. Для получения адекватного состава исходного расплава необходимо подходить к температуре гомогенизации очень медленно – 5-6 часов от 1100 до 1250°C градусов (Криволицкая, 2014), иначе получаются обогащенные кремнекислотой составы

(рис. 62А). Редкоэлементный состав включений также вызывает вопросы. На рисунке 63 почти во всех спектрах отмечается высокий Та, особенно в 63в. Скорее всего это ошибка определения. Второй тип расплавных включений в хромитах, несомненно, представляет собой измененное стекло в процессе наложенных гидротермальных процессов.

3. Не рассмотрены альтернативные механизмы образования малосульфидного горизонта, кроме переноса металлов из нижележащих пород в кровлю интрузива флюидами.

Автор придерживается идеи переноса рудных компонентов из пикритовых и такситовых габбро-долеритов в апикальную зону интрузива. При этом возникает проблема низких концентраций серы в верхней части массива. Предполагается, что она растворяется и уходит вниз, или дегазирует вверх и, т.е. превалируют довольно искусственные построения. В качестве альтернативного решения рядом авторов рассматривается внедрение расплава, обогащенного просто платиновыми металлами. Такие платиновые «нагетсы» были обнаружены, например, в силикатах рифа Меренского Ballhaus and Silvester (2000); подобный процесс предполагается Н.Д.Толстых для Норильска 1, о чем упоминается автором в диссертации.

Флюидный перенос платиновых металлов в верхние зоны остается на уровне предположения. В работе постоянно подчеркивается вслед за В.В. Рябовым (2001), что имеет место флюидизация пород, т.е. происходит расслаивание на флюидизированную кислую и сухую мафическую магмы. Однако это не подтверждено петрографическими наблюдениями. Простое обогащение флюидами базитового расплава в процессе его кристаллизации не приводит к ликвации, для этого должны быть особые условия. Если это перенос из нижних частей в верхние, то почему мы видим такое четкое разделение – низ-верх? Мощность интрузива варьирует (50 м и 400 м в ОМ-4), где-то быстрее закристаллизовался, где-то – позже. Вероятно, должны тогда наблюдаться разные стадии переноса и какое-то обогащение платиноидами центральных частей массива.

Мелкие замечания касаются обзора литературы. Так, сказано, что первоначально минерализация в Норильске обнаружена в породах протерозойского возраста. Хотя породы в исходных материалах названы сланцами, в действительности они представляют собой аргиллиты - вмещающие интрузив породы тунгусской серии. При характеристике лейкогаббро даются ссылки на работы Роговера, но в действительности эти породы выделил М.Н. Годлевский, под руководством которого их изучал А.П. Лихачев. Классическая работа последнего «Роль лейкократового габбро в образовании интрузивов» 1965 года цитируется в конце диссертации, но не упоминается как важнейший источник информации в ее начале. Идея ассимиляции серы из эвапоритов принадлежит не С.Ли (2009), а была высказана еще М.Н. Годлевским, который начал изучать изотопный состав сульфидов норильских руд совместно с Л.Н. Гриненко в начале 1960-ых годов. Модель проточной системы В.А. Радько не была поддержана А.П. Лихачевым, который создал свою модель возвратно-поступательного движения магмы в закрытой системе. В модели А. Naldrett (1992, 1995, 2011) нет промежуточной камеры, а сульфиды образуются *in situ*. По поводу того, что в норильских хромитах содержания титана не имеют аналогов в расслоенных интрузивах, не совсем верно: в Чинейском массиве – до 25 мас.% (Табл.7.7 в Gongalsky, Krivolutskaya, 2019).

Работа написана ясным геологическим языком, хорошо структурирована и иллюстрирована. Очень важно, что каждая глава содержит краткие выводы, которые в конце работы используются автором при обсуждении генезиса руд. Высокий научный уровень работы подтверждается публикациями результатов в ведущих мировых журналах, а также их обнародованием на крупнейших конференциях в России и за ее пределами. Все выводы и защищаемые положения обоснованы фактическим материалом. Некоторые отмеченные выше недостатки не меняют общей высокой оценки работы. Диссертация И.Ф. Чайки полностью соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской

Федерации №842 от 24.09.2013г. (с изменениями в редакции постановлений правительства Российской Федерации № 335 от 21.04.2016г., №748 от 02.08.2016г., № 650 от 29.05.2017г., № 1024 от 28.08.2017г., № 1168 от 01.10.2018г.), а ее автор – Иван Федорович Чайка– заслуживает присуждения ему степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология.

Криволицкая Надежда Александровна
доктор-геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии магматических и
метаморфических пород Института геохимии и аналитической химии им. В.И.
Вернадского РАН



119991, Москва, ул. Косыгина, 19, ГЕОХИ РАН, <http://geokhi.ru>

e-mail: nakriv@mail.ru

Тел. +74959397017

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

27.03.2023 г.



Криволицкая Надежда Александровна
Надежда Александровна
ГЕОХИ РАН