

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Чайки Ивана Федоровича
«Петрология малосульфидного хромит-платиноносного горизонта интрузии Норильск-1», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3. - Петрология, вулканология

Работа является **актуальным исследованием** происхождения малосульфидного типа минерализации, потенциального экономически значимого типа рудного сырья в интрузивах норильского типа. В работе сочетаются петрологический, экспериментальный и минералого-геохимические подходы, что позволило автору предложить новую комплексную модель образования этих руд. Используя кристаллизационную дифференциацию как основной концепт, автор выделил признаки гибридизации в верхнем эндоконтакте и показал значение флюидной циркуляции для формирования платинометального оруденения малосульфидного типа. Этим работа наследует и развивает одни из самых ранних идей в исследованиях норильских руд, предполагавших, широкое развитие контаминации в краевых зонах интрузивов. Контрастная позиция малосульфидных руд в верхней части разреза в сравнении с приподошвенным залеганием основной массы сульфидов предполагает участие флюидной фазы, и работа автора вносит важный вклад в выяснение места и роли флюида в концентрировании ЭПГ.

Диссертация состоит из Введения, 5 глав и заключения. Достижения работы основаны на огромном фактическом материале, отобранном и лично автором и соавторами в коллективах, что, наряду с использованием современных методов изучения вещества и модельных построений, подтверждает **обоснованность научных выводов. Личный вклад автора** в получении аналитических и экспериментальных данных и их интерпретацию очевиден.

В первой главе дается литературный обзор моделей образования платинометальной минерализации в различных комплексах. В части 1.1 автор сумел выделить главные идеи в необъятном море публикаций посвященных этой тематике. Отдавая должное успешной типизации разнообразных мнений, хотелось бы заметить, что идея о частичном плавлении нижележащих кумулатов с высвобождением хрома, образованием реакционного хромита и апгрейдингом сульфидов (Boudreau, 2016 среди многих) не нашла отражения в этом обзоре, хотя, возможно, подразумевалась при описании позднемагматических /метасоматических моделей. Строго говоря, замещение пироксена оливином и хромитом действительно может относиться и к метасоматическим и субсолидусным реакциям, но частичное плавление его может происходить и при высокотемпературных условиях. В

этой связи, удивляет отсутствие здесь ссылок на классические работы В.В. Золотухина, Ю.Р. Васильева и коллег, который обосновывали флюидно-метасоматическое и анатектическое образование норильских такситовых пород, при ссылках на работы Д.С.Коржинского, не имеющие прямого отношения к платинометальным магматическим месторождениям. Идея вторичного флюид-инициированного плавления рассматривается в следующей части первой главы, посвященной обзору работ по Норильскому району, однако, представляется, что разработки В.В. Золотухина и коллег 70-х годов имеют мировое значение и намного опередили свое время, по сравнению, например, с широко цитируемыми работами A.Boudreau и его единомышленников, появившихся позже в 80-е годы.

Вторая глава посвящена описанию геологического строения Норильского района и изучаемого интрузива Норильск-1. Здесь к тексту имеется ряд технических замечаний:

Недостаточное количество, вплоть до полного отсутствия местами, ссылок на работы по геологическому строению района.

Базальты имеют возраст P_3-T_1 , а не P_2-T_1 как указано на стр. 35, тунгусская серия это C_2-P_3 , а ивакинская свита и ергалахские габбродолериты - P_3 .

Не нижнекарбоновая, а нижнекаменноугольная, не LIP, а КМП.

Пять разделов четвертой главы «Результаты» посвящены описанию строения разреза и петрографии пород с акцентом на распределение и закономерности химических вариаций состава хромита. Детальное текстурное описание и селективный анализ хромита, в зависимости от морфологии зерен, типа породы, вмещающего его минерала и степени изменения, является одним из ярчайших достижений работы и надежным базисом, на котором автор строит свои выводы. Новый тип хромита, ранее не описанный в норильских месторождениях, обнаружен в контактовых брекчиях. На основании своих данных автор выдвинул идею рассматривать понижение Fe^{3+}/Fe^{2+} в хромите как индикатор контаминации, что, может быть использовано для решения проблем типизации интрузивов в районе.

Аналитические данные, положенные в основу работы, все высокого качества и получены с помощью современных, в том числе высокоточных методов. На этом фоне бросается в глаза серия составов оливина в таблице 5 с высокими содержаниями оксида хрома. Эти повышенные концентрации вызваны, скорее всего, контаминацией включениями хромита и такие артефакты не должны включаться в таблицы. Высокохромистые оливины не встречаются в породах Норильского района, судя по многочисленным работам предшественников и нашим данным.

Вызывает вопрос описание пироксенов как азональных индивидов (стр. 73), ведь широко известно, что зональность по хрому и титану является отличительной особенностью пироксена дифференцированных интрузивов Норильского района; более того, клинопироксен малосульфидного горизонта выделяется своей контрастной зональностью, что дает основание полагать, что высокохромистые ядра могли кристаллизоваться в составе ликвидусной ассоциации.

Также неоднозначным представляется использование цифровой раскраски для BSE изображений для выявления вариаций состава хромита. Распространенная зональность в клинопироксене на таких изображениях не выявляется, что странно, так как она очень типична для клинопироксена, тогда как изменения яркости в зернах хромита регулируются пропорциями его компонентов незакономерно - хотя все они меняются комплементарно, но влияние распределения титана непредсказуемо. При этом, в принципе, хромит разного состава может иметь одинаковый средний атомный вес. Было бы более убедительно, если бы на представительном примере было показано, как BSE изображение с цифровой обработкой согласуется с EDS-WDS картами распределения элементов. Возможно, такая методическая работа была кем-то проведена, так как такие цифровые цвета встречаются в публикациях - тогда следовало бы сослаться на публикацию.

Шестой раздел главы 4 посвящен описанию рудной минерализации малосульфидного горизонта, в том числе ее платинометальной составляющей, по которой автором собран представительный материал, позволивший провести количественную оценку пропорций минералов платиновой группы. Замечание по тексту части 4.6 касается описания сульфидов в малосульфидном горизонте как преобладающие шлиры и вкрапленники (часть 4.6.1), тогда как на обсуждаемой иллюстрации рис. 37 показаны типичные интерстициальные выделения. Литературные данные также говорят о том, что интерстициальные сульфиды более распространены в малосульфидном горизонте по сравнению с весьма редкими глобулами, более типичными для пикритовых габбродолеритов. Термин шликр кажется неудачным для описания мелких интерстициальных сульфидных выделений неправильной морфологии. Далее, в обсуждении результатов, на стр. 145 текстуры сульфидов рассматриваются как контролируемые путями миграции флюида, тогда как наиболее общепринятая интерпретация интерстициальных текстур - кристаллизация низкотемпературных расплавов (остаточных и сульфидных) в межзерновом пространстве кумулусных минералов, при этом флюид может использовать это пространство для миграции, но не определяет его.

В следующей части 4.7 дана геохимическая характеристика пород верхнего эндоконтакта. Здесь вызывает сомнение правомерность вычитания компонентов хромита из валового состава пород для сравнения их силикатных составляющих. Непонятно также, какие составы показаны на всех последующих графиках и проводилась ли такая же процедура для других хромит-содержащих пород по литературным данным (например, на рис. 48). Раздел 4.7.2 показывает сдвиг составов хромитовых пород к полям вмещающих осадочных пород и базальтов в координатах отношений несовместимых элементов (рис. 50), что впервые столь очевидно показано для верхнего эндоконтакта и является весомым аргументом в пользу контаминированности некоторых разновидностей хромитовых габбродолеритов, что согласуется и с Sr-Nd изотопными характеристиками (хотя только частично). Эти данные послужили основой первого защищаемого положения о доминирующей роли кристаллизационной дифференциации при образовании малосульфидного горизонта с заметным вкладом ассимиляции для специфических хромитовых разновидностей.

Отдавая должное детальности анализа распределения ЭПГ в разных типах пород, необходимо заметить, что для магматических месторождений принято и рекомендуется нормирование по примитивной мантии как условному источнику расплавов, а не по хондриту как сделано в работе (рис. 52, где, кроме того, не дана ссылка на источник данных нормализации).

Часть 4.8 посвящена описанию включений в хромите. Более чем 500 исследованных включений разделены на два типа – сложенные первичными магматическими минералами в более высокомагнезиальном хромите и сложенные вторичными минералами в низкомагнезиальном хромите. Исследование стекол прогретых включений показало их андезитовый состав и несоответствие составам дифференциатов интрузива и предполагаемым родительским магмам. Однако, основываясь на текстурных свидетельствах, автор интерпретирует их как первичные, что все-таки неоднозначно, судя по предоставленному материалу. Автор основывает свои дальнейшие выводы только на данных по включениям в высокомагнезиальном хромите, без признаков наложенных изменений и принимая незначительную долю захвата твердых фаз, преимущественно оливина. Привлекая литературные данные по условиям ассимиляции аргиллитов магнезиальными расплавами, автор разработал модель гибридизации, где ксенорасплавы сосуществуют с ассоциациями тугоплавкого остатка, работающего как центры кристаллизации. Эта модель является оригинальной во многих аспектах, а детали строения хромита из брекчии заслуживают отдельной публикации. Эта модель легла в основу

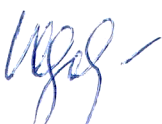
второго защищаемого положения по гибриднему происхождению хромитовых скоплений в верхней зоне, при этом повышенные концентрации хрома связываются с физической флотацией кристаллов хромита в верхние части интрузива. Здесь можно отметить, что собирание хромита из всей мощности магматического потока несколько противоречит механизму кристаллизации хромита *in situ*, в пользу которого в работе приводились аргументы (например, стр. 148, 150).

Третье защищаемое положение по материалу раздела 4.6, обосновывает преимущественную связь ЭПГ с сульфидами, а не с хромитообразованием, но при дополнительном концентрировании за счет флюидного переноса из нижних горизонтов. Надо отметить, что в большинстве экспериментальных работ, на которые ссылается автор (с. 172) высокие коэффициенты фракционирования Pd (и других ЭПГ) во флюид наблюдаются для рассолов и крайне высокоокисленных условий (выше буфера NiNiO). Такие условия и концентрации не согласуются с характером метасоматических изменений, не подтверждаются находками высокосоленых включений в верхнем горизонте и противоречат восстановительным условиям по модели автора.

В Заключение приводятся общие выводы по работе, предлагается общая модель образования всего интрузива Норильск-1 и рассматриваются дальнейшие перспективы исследований феномена норильских руд.

Сделанные замечания носят дискуссионный характер и не умаляют достижений работы, представляющей многоплановое исследование с непредвзятым подходом. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Защищаемые положения полно отражены в 5 опубликованных статьях списка ВАК и 9 тезисах конференций. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, имеет важное теоретическое и практическое значение, отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к таким работам. Автор диссертации, Чайка Иван Федорович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 - Петрология, Вулканология.

ведущий научный сотрудник ИГЕМ РАН
канд. геол.-мин. наук,



Юдовская Марина Александровна

Сведения об официальном оппоненте:

Юдовская Марина Александровна
лаборатория геохимии Института геологии рудных месторождений, минералогии,
петрографии и геохимии Российской академии наук (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.

21 апреля 2023 г.

подпись Юдовской М.А. удостоверяю

Зав. канцелярией ИГЕМ РАН Оболенская М.Н.

