

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.050.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В.С. СОБОЛЕВА СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 19 мая 2023 г. № 03/10

О присуждении **Чайке Ивану Федоровичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Петрология малосульфидного хромит-платитиносного горизонта интрузии Норильск-1»** по специальности 1.6.3. – «Петрология, вулканология) принята к защите 14 марта 2023 г., протокол № 03/6, диссертационным советом 24.1.050.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), (630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3), приказ МИНОБРНАУКИ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель **Чайка Иван Федорович** 1994 года рождения, в 2019 году окончил магистратуру Новосибирского государственного университета по специальности 05.04.01 Геология, в 2022 г. окончил очную аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН) по специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология», работает в должности научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте экспериментальной минералогии им Д. С. Коржинского РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН) и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте экспериментальной минералогии им Д. С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН).

Научный руководитель - доктор геолого-минералогических наук **Изох Андрей Эмильевич**, профессор, главный научный сотрудник лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Официальные оппоненты: **Криволуцкая Надежда Александровна**, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, металлогения, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии магматических и метаморфических пород Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН); **Юдовская Марина Александровна**, кандидат геолого-минералогических наук по специальности 04.00.11 – геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений, металлогения, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии Института геологии рудных

месторождений, минералогии, петрографии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН) дали **положительные отзывы на диссертацию**.

Ведущая организация Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН) в своем положительном заключении, подписанном **Колотилиной Татьяной Борисовной** кандидатом геолого-минералогических наук, заведующим лабораторией геохимии основного и ультраосновного магматизма ИГХ СО РАН, **Мехоношиным Алексеем Сергеевичем**, кандидатом геолого-минералогических наук, старшим научным сотрудником лаборатории геохимии основного и ультраосновного магматизма ИГХ СО РАН и **Медведевым Александром Яковлевичем**, доктором геолого-минералогических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории геохимии основного и ультраосновного магматизма ИГХ СО РАН, указала, что: диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне, актуальность проведенных исследований, научная новизна, достоверность и объем фактического материала, личный вклад автора позволяют рассматривать работу как законченное научное исследование, результаты которого могут быть рекомендованы для практического использования при поисках малосульфидных рудных зон в других трапповых интрузиях с сульфидной и ЭПГ минерализацией.

Соискатель имеет 4 работы по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых изданиях, в том числе 4 статьи из списка, рекомендованного ВАК:

- 1) **Чайка И. Ф.**, Изох, А. Э., Калугин, В. М., Житова, Л. М., Шведов, Г. И., Гора, М. П., Шевко, А. Я. Оливин и хромшпинелиды месторождения Норильск-1: особенности состава и петрологические следствия // Геосферные исследования. – 2022. – №2. – С. 78–100.
- 2) **Chayka I. F.**, Kamenetsky V. S., Zhitova L. M., Izokh A. E., Tolstykh N. D., Abersteiner A., Lobastov B. M., Yakich T. Y., Hybrid nature of the PGE-chromite-rich rocks of the Norilsk-1 intrusion: genetic constraints from Cr-spinel and spinel-hosted multiphase inclusions // Economic Geology. – 2020 – V. 115. – Is. 6. – P. 1321–1342.
- 3) **Chayka I. F.**, Zhitova L. M., Antsiferova T. N., Abersteiner A., Shevko A. Y. Izokh A. E., Tolstykh N. D., Gora M. P., Chubarov V. M., Kamenetsky V. S. In-situ crystallization and continuous modification of chromian spinel in the “sulfide-poor platinum-group metal ores ” of the Norilsk-1 intrusion (Northern Siberia) // Minerals. – 2020. – V. 10. – Is. 6. -- P. 498.
- 4) Tolstykh N. D., Zhitova L. M., Shapovalova M. O., **Chayka, I. F.** The evolution of the ore-forming system in the low sulfide horizon of the Noril'sk 1 intrusion, Russia // Mineralogical Magazine. – 2019. – V. 83. – Is. 5. – P. 673-694.

На автореферат поступило 10 отзывов (все положительные, три из них без замечаний) от: 1). Горячева Н.А., доктора геолого-минералогических наук, академика РАН, главного научного сотрудника ФГБУН Северо-восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской Академии наук; 2) Грошева Н.Ю., кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника лаборатории минерогенеза Арктики ГИ ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»; 3) Кислова Е.В., кандидата геолого-минералогических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории металлогении и рудообразования ГИН СО РАН; 4) Коптева-Дворника Е.В., к.г.-м.н., старшего научного сотрудника кафедры геохимии геологического факультета МГУ и Бычкова Д.А., н.с. кафедры геохимии геологического факультета МГУ; 5) Козлова А.В., д.г.-м.н.,

заведующего кафедрой геологии и разведки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»; 6) Малича К.Н., д.г.-м.н., главного научного сотрудника ИГиГ УрО РАН; 7) Мочалова А.Г. д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории металлогении и рудогенеза ФГБУН ИГГД РАН; 8) Сазонова А.М., д.г.-м.н., профессора кафедры геологии, минералогии и петрографии института цветных металлов ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет и Сильянова С.А., к.г.-м.н., доцента кафедры геологии, минералогии и петрографии института цветных металлов ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет; 9) Калугина В.М., к.г.-м.н., заведующего лабораторией минералогии и геохимии никеля, кобальта и металлов платиновой группы ФГБУ «ЦНИГРИ»; 10) Арискина А.А., д.г.-м.н., профессора кафедры петрологии и вулканологии МГУ им. М.В. Ломоносова.

Во всех отзывах отмечен высокий научный и методический уровень диссертационного исследования, актуальность работы, соответствие выводов оригинальным фактическим данным. Подчеркивается, что сделанные выводы позволили предложить новую генетическую концепцию происхождения малосульфидных руд интрузии Норильск-1, что существенно дополнило существующие гипотезы об их образовании и определило высокую научную и практическую ценность диссертационного исследования.

Основные замечания и вопросы к автореферату и диссертации касаются: 1. недостаточной геологической и геолого-структурной информации об объекте исследования (официальный оппонент Криволицкая Н.А., ведущая организация, Грошев Н.Ю.); 2. происхождения включений в хромшпинелидах, возможной связи аномальных составов включений с их переуравновешением с минералом-хозяином (официальный оппонент Криволицкая Н.А.); 3. происхождения хромитовой минерализации в пикритовых габбродолеритах главной дифференцированной зоны в рамках «ассимиляционной» гипотезы, а также формирования хромита в породах со структурами, свидетельствующими в пользу его кристаллизации *in situ* (официальный оппонент Юдовская М.А., Грошев Н.Ю.); 4. противоречия гипотезы Т. Ирвайна о массовой кристаллизации хромита при резком росте SiO_2 новым экспериментальным данным по влиянию SiO_2 на растворимость хромита в базальтовом расплаве (Арискин А.А.); 5. использованных параметров моделирования в программе КОМАГМАТ (Арискин А.А.); 6. детального анализа влияния ассимиляции и дегазации вмещающих пород на фазовый и химический состав образующейся гибридной среды, а также процессов контактового преобразования вмещающих пород (официальный оппонент Криволицкая Н.А., ведущая организация, Сазонов А. М. и Сильянов С. А, Грошев Н.Ю.); 7. дискуссионности механизма флюидной концентрации МПГ: состава флюида, растворимости в нем ЭПГ, роли нижних горизонтов интрузии как источника ЭПГ, а также причин отсутствия в разрезе пород с сульфидной минерализацией ниже малосульфидного горизонта (официальные оппоненты Криволицкая Н.А. и Юдовская М.А.); 8. объяснения генетической связи сульфидной, платинометалльной и хромитовой минерализации (ведущая организация, Сазонов А.М. и Сильянов С.А.).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Криволицкая Надежда Александровна и Юдовская Марина Александровна являются признанными экспертами в области исследования ультрамафит-мафитовых интрузивов, их петрологии и рудоносности, в том числе Норильского района, имеют многочисленные публикации в

соответствующей диссертационной работе сфере исследования и способны объективно оценить работу.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что в Федеральном государственном бюджетном учреждении Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН) проводятся фундаментальные научные исследования по петрологии и рудонгосности ультрамафит-мафитовых комплексов Сибирского кратона, включая Норильский район, и его складчатого обрамления. Сотрудники ИГХ СО РАН, известные и признанные в нашей стране и за рубежом эксперты в области магматической геологии, петрологии и геохимии могут аргументированно оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработана качественная модель образования малосульфидного платино-палладиевого оруденения верхней эндоконтактовой зоны интрузии Норильск-1 (малосульфидного горизонта), **доказано** образование сопутствующей оруденению хромитовой минерализации в результате сдвига фазовых равновесий при ассимиляции флюидонасыщенных пелитовых вмещающих пород базитовой, богатой Cr_2O_3 магмой, **предложена** двухстадийная схема формирования МС-горизонта за счет (1) внедрения магмы с уже существующей сульфидной фракцией, насыщенной платиноидами и (2) вторичного обогащения этой фракции платиноидами в результате их флюидного переноса. **Усовершенствована экспериментальная методика** прогрева и быстрой закалки включений в хромшпинелидах, собрана соответствующая экспериментальная установка; в ходе исследования **получен обширный фактический материал** по вещественному составу изучаемого объекта и интрузии Норильск-1 в целом; в исследованном объекте **установлены** уникально широкие вариации составов хромшпинелидов по Fe^{2+} - Fe^{3+} и Ti, потенциально применимые в качестве калибровочных для рентгеноспектрального определения в них Fe^{2+} и Fe^{3+} .

Теоретическая значимость исследования определяется тем, что обоснованы следующие положения:

1. Ведущим процессом в образовании пород МС-горизонта интрузии Норильск-1 была кристаллизационная дифференциация базитовой магмы (с MgO 8-9 мас. % и SiO_2 48-49 мас. %) при ограниченном вкладе ассимиляции вмещающих пород, характерной для богатых хромитом ассоциаций МС-горизонта. На поздне- и постмагматическом этапе породы подвергались интенсивной флюидной проработке, существенно повлиявшей на окончательный состав и облик пород.

2. Хромитовая минерализация верхнего эндоконтакта сформировалась в результате ассимиляции богатой хромом базитовой магмой аргиллитов и углистых пород вмещающей осадочной толщи. Ключевыми факторами массовой кристаллизации хромита являлись: сдвиг фазовых равновесий в область насыщенности расплава хромитом и интенсивное выделение пузырьков флюида, обеспечившее адгезию хромита и его флотацию в верхние части интрузии.

3. Образование малосульфидной ЭПГ-минерализации в верхней эндоконтактовой зоне интрузии Норильск-1 связано с концентрацией ЭПГ в сульфидной фазе, а не с массовой кристаллизацией хромита. Резко повышенные соотношения ЭПГ/сульфид в МС-горизонте, по сравнению с другими Cu-Ni-ЭПГ сульфидными рудами

интрузий норильского типа, обусловлены дополнительным концентрированием ЭПГ за счет их флюидного переноса на поздне- и постмагматическом этапе.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов: геологических, петрографических, минералогических, геохимических и изотопных. **Использована экспериментальная методика работы с** расплавленными включениями и численные методы моделирования дифференциации магмы и плавления пород. Изучено более 100 шлифов, выполнено около 2500 микрозондовых анализов, 92 определения основных и примесных компонентов в породах (методами РФА и ИСП-МС), 42 определения концентраций элементов платиновой группы в породах, 4 определения изотопного состава Rb, Sr, Sm, Nd в породах. Получено более 400 экспериментально-прогретых и закаленных включений в хромшпинелидах, из них методом электроннозондового микроанализа изучено 236 гомогенизированных включений, методом вторично-ионной масс-спектрометрии (SIMS) – 51 включение.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенная схема образования малосульфидного горизонта в интрузии Норильск-1 объясняет локализацию оруденения такого типа, может быть применима также к другим интрузиям норильского типа и другим рудоносным интрузиям Норильского района и, следовательно, имеет потенциал для определения прогнозно-поисковых критериев на малосульфидное оруденение в интрузиях с подобным строением.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что все аналитические работы по теме диссертации были проведены на аттестованном современном оборудовании. В частности, изотопный состав Rb и Sr определялся на термоионизационном масс-спектрометре TRITON Plus в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН с предварительным кислотным разложением и хроматографическим разделением. Изотопный состав Sm и Nd определялся на ICP-MS спектрометре Neptune Plus MC (Thermo Finnigan) в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН с предварительным кислотным разложением и хроматографическим разделением. Валовые содержания ЭПГ (Ir, Ru, Rh, Pt, Pd) определялись методом ICP-MS на квадрупольном спектрометре Element2 (ГИН РАН). Химическая подготовка включала кислотное разложение проб с дальнейшим осаждением с помощью Te^{4+} и SnCl_2 , повторным растворением в царской водке и разбавлением до концентрации металлов $<10^{-6}$ г/л. Калибровка спектрометра производилась с использованием стандартных растворов Perkin Elmer ICP-MS4 9300234. Для внутреннего контроля анализа использовались стандарты AMIS 0107 и AMIS 0099. Пределы обнаружения анализа составляли 0.001 ppm для всех ЭПГ. SIMS-анализ проводился в Институте Микроэлектроники (Ярославль) на спектрометре CAMECA IMS4-F по методике, разработанной более 20 лет назад, и использованной в большом количестве опубликованных в высокорейтинговых журналах работ.

Экспериментальные исследования были выполнены на установке, собранной специалистами Института экспериментальной минералогии (г. Черноголовка) и соискателем. Детальное описание устройства установки, протокола эксперимента, пре- и пост-экспериментальных работ не оставляют сомнений в адекватности использованной методики для получения приведенных в работе результатов.

Теория построена на результатах исследования геологического строения, геохимических, минералогических характеристиках малосульфидного горизонта интрузии Норильск-1 а также на результатах изучения многофазных и расплавленных

включений в хромитах изученных пород. **Идеи диссертации базируются** как на полученных соискателем данных, так и на данных и выводах, сформулированных в более ранних главных фундаментальных исследованиях магматизма и рудообразования Норильского района (Котульский, 1946; Годлевский, 1959; Тарасов, 1976; Золотухин и др., 1975; Рябов, 1971; Служеникин, 2000; Урванцев, 1972; Радько, 1991; Naldrett et al., 1992; Дистлер, 1994; Дистлер и др., 1994 Czamanske et al., 1995; Рябов и др., 2004; Криволуцкая, 2011; Krivolutsкая, 2016 и другие). Кроме этого, **при обсуждении гипотез и защищаемых положений автор опирается на** фундаментальные работы по платинометалльным магматическим месторождениям в целом (Налдретт, 2003; Barnes et al., 2017; Boudreau, 2019 и другие), **апеллирует к** многочисленным работам по образованию хромититов и исследованиям фазовых равновесий (Irvine, 1975; Scharier, 1957; Irvine and Sharpe, 1986; Presnall et al., 1978 и другие) и **проводит расчеты согласно** разработанным ранее и хорошо зарекомендовавшим себя алгоритмам и уравнениям (Арискин и Бармина, 2000; Ariskin et al., 2018; Boudreau and McCallum, 1982). **Положения, сформулированные соискателем,** не противоречат общепризнанным закономерностям формирования рудоносных норильских интрузий и главным петрологическим и физико-химическим принципам. **Гипотезы и выводы, предложенные соискателем впервые,** сформулированы опираясь на статистически-достаточный массив данных, согласуются с ранее выявленными природными и теоретическими закономерностями и, согласно современному уровню изученности геологии месторождений платиновых металлов, содержат минимум противоречий.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении пробоотбора и пробоподготовки, проведении петрографических и минералогических исследований, в том числе с использованием рентгеноспектральных методов микроанализов, создании экспериментальной установки и проведении экспериментов. Систематизация, обработка, интерпретация данных, подготовка основных публикаций по теме работы, а также текста диссертации и автореферата производилась лично автором при консультативном участии руководителя и коллег. Также автор лично провел апробацию полученных результатов и выводов на ряде конференций и совещания всероссийского и международного уровня. Результаты исследований опубликованы в 12 печатных работах, в том числе – 4 в журналах из списков ВАК и Web of Science.

На заседании 19.05.2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Чайке И.Ф. ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.6.3 и 8 докторов наук по специальности 1.6.10, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных - 0.

Заместитель председателя диссертационного
совета, д.г.-м.н.

Ученый секретарь
диссертационного совета, д.г.-м.н.

22.05.2023 г.



В.Н. Шарапов

О.М. Туркина