

ЗАКЛЮЧЕНИЯ 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 ГУСЕВА
ВИКТОРА АЛЕКСАНДРОВИЧА НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 14 марта 2024 г. № 03/6

О присуждении Гусеву Виктору Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Процессы кристаллизационной дифференциации богатых медью сплошных сульфидных руд Талнахского и Октябрьского месторождений (на основе изучения разрезов рудных тел и экспериментального моделирования)»** по специальностям 1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» и 1.6.4. – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» принята к защите 26 декабря 2023 г., протоколом № 03/19, 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 (630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3), приказ МИНОБРНАУКИ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель **Гусев Виктор Александрович**, 1993 года рождения, в 2019 году окончил магистратуру Новосибирского государственного университета (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский национально-исследовательский государственный университет») по направлению подготовки «05.04.01 – геология». В 2022 г. окончил аспирантуру Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск по специальности 25.00.04 – «петрология, вулканология». Соискатель работает младшим научным сотрудником в ИГМ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций (№ 211) Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Научные руководители: Толстых Надежда Дмитриевна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций (№211) ИГМ СО РАН; Синякова Елена Фёдоровна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прогнозно-металлогенических исследований (№217) ИГМ СО РАН.

Официальные оппоненты: Служеникин Сергей Фёдорович, кандидат геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения», старший научный сотрудник лаборатории геологии рудных месторождений Института геологии рудных месторождений,

петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН); **Васильева Инга Григорьевна**, доктор химических наук по специальностям 1.4.4. – «Физическая химия» и 02.00.01 – «Неорганическая химия», профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории синтеза и роста монокристаллов соединений РЗЭ Института неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук (ИНХ СО РАН) **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН), г. Иркутск, в своем положительном заключении, подписанном **Воронцовым Александром Александровичем**, доктором геолого-минералогических наук, заведующим лабораторией геохимии основного и ультраосновного магматизма, **Мехоношиным Алексеем Сергеевичем**, кандидатом геолого-минералогических наук, старшим научным сотрудником, **указала**, что представленная диссертационная работа Гусева В.А. посвященная выявлению типов зональности сплошных рудных тел норильских месторождений и установлению закономерности концентрирования благородных металлов в массивных сульфидных рудах Талнахского и Октябрьского месторождений, является законченным трудом, результаты которого могут быть рекомендованы для практического использования при изучении рудных зон с массивными медно-никелевыми сульфидными рудами в трапповых интрузиях. В целом отмечается, что диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне, содержит необходимые графические и расчетные материалы.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 2 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях из списка, рекомендованного ВАК:

1. Kalugin, V.; **Gusev, V.**; Tolstykh, N.; Lavrenchuk, A.; Nigmatulina, E. Origin of the Pd-Rich Pentlandite in the Massive Sulfide Ores of the Talnakh Deposit, Norilsk Region, Russia. Minerals. 2021. 11. 1258.
2. Sinyakova, E.; Goryachev, N.; Kokh, K.; Karmanov, N.; **Gusev, V.** The Role of Te, As, Bi, and Sb in the Noble Metals (Pt, Pd, Au, Ag) and Microphases during Crystallization of a Cu-Fe-S Melt. Minerals. 2023. 13. 1150.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов (все положительные) от: 1) к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории геохимии благородных и редких элементов ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН Киселёвой Ольги Николаевны (г. Новосибирск); 2) д.г.-м.н., доцента, главного научного сотрудника ФГБУН Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения РАН Белогуб Елены Витальевны (г. Миасс); 3) к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории геодинамики ФГБУ Геологического института им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения РАН Орсоева Дмитрия Анатольевича (г. Улан-Удэ); 4) к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории рудообразующих систем ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН Федосеева Гелия Сергеевича (г. Новосибирск); 5) к.г.-м.н., заведующей лабораторией геологии месторождений благородных

металлов, никеля, кобальта ФГБУ Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов Конкиной Ольги Михайловны и старшего научного сотрудника лаборатории геологии месторождений благородных металлов, никеля, кобальта ФГБУ Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов Заскинда Евсея Сохоровича (г. Москва); 6) д.г.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории геохимии и рудообразующих процессов ФГБУН Институт геологии и геохимии им. Академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН Малича Крешимира Ненадовича и к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории геохимии и рудообразующих процессов ФГБУН Институт геологии и геохимии им. Академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН Баданиной Инны Юрьевны (г. Екатеринбург); 7) д.г.-м.н., профессора кафедры петрологии и вулканологии Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова Арискина Алексея Алексеевича (г. Москва).

В отзывах отмечено, что диссертационная работа является актуальным научным исследованием, вносящим существенный вклад в понимание процессов фракционной кристаллизации, которые приводят к формированию тел сплошных PGE-Cu-Ni сульфидных руд. Представленные соискателем выводы обоснованы значительным объемом оригинального фактического материала. Отмечается личный вклад автора и высокий методический уровень проделанной работы с применением широкого круга современных аналитических методов исследования. Полученные соискателем результаты признаны научным сообществом, что подтверждается их опубликованием в журналах из списка ВАК и Web of Science. В целом дается высокая оценка результатам работы.

Основные замечания, вопросы и комментарии по автореферату и диссертации касаются:

1) терминологической неточности использования определений «высокосернистые» и «низкосернистые» в отношении содержания серы в руде, а также корректности применения названия «моихукитовые» руды к рудному телу, сложенному преимущественно пугоранитом, и не содержащему моихукит (ведущая организация, официальный оппонент Служеникин С.Ф., Кисилева О.Н., Орсов Д.А.); 2) отсутствия детального описания структурного положения пугоранитовых руд в разрезе линзы (ведущая организация); 3) дополнительного привлечения структурных исследований минералов с использованием методов изучения локальной структуры твердых тел таких как XANES-спектроскопия или масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой в сочетании с лазерной абляцией, которыми можно было бы подкрепить результаты третьего защищаемого положения (официальный оппонент Васильева И.Г., официальный оппонент Служеникин С.Ф., Белогуб Е.В., Орсов Д.А., Конкина О.М. и Заскинд Е.С., Малич К.Н. и Баданина И.Ю.); 4) полноте методических указаний к выбору исходного компонентного состава шихты для экспериментальных исследований (ведущая организация, Киселёва О.Н.); 5) уточнения в автореферате степени личного участия соискателя в ходе экспериментальных работ (Арискин А.А.); 6) проблемы обсуждения в тексте структурной модели геологического строения Тунгусской синеклизы с целью поиска новых месторождений, аналогичных изученным в работе (Федосеев Г.С.); 7) морфоло-

гических особенностей природных образцов, которые использовались в качестве индикаторов количественной геотермометрии (официальный оппонент Васильева И.Г.); 8) поведения Pt при образовании Pd-содержащего пентландита, в связи с возможностью её переноса флюидом, наряду с палладием (официальный оппонент Служеникин С.Ф.); 9) дополнительного обсуждения процессов контролирующей изменчивость состава пентландита в эксперименте и возможности использования его состава для оценок фугитивности серы в сульфидном расплаве при магматических условиях (официальный оппонент Служеникин С.Ф.); 10) причинам низкого валового Pt/Pd отношения и отрицательной корреляции Pd с S (официальный оппонент Служеникин С.Ф.); 11) обсуждению в автореферате роли магнетита в интерпретации физико-химических условий формирования зональности руд, а также причин его отсутствия в наборе исходных материалов при проведении экспериментальных работ (Конкина О.М. и Заскинд Е.С.); 12) оценки фугитивности серы с учетом полученных генетических выводов (Арискин А.А.) 13) отсутствия детального определения состава минерала платиновой группы, расположенного вблизи пентландита с максимальными концентрациями палладия (ведущая организация); 14) обсуждения роли количественного содержания аксессуарных минералов платиновой группы в линзе халькопиритовых руд Талнахского месторождения (ведущая организация); 15) использования терминологической лексики и оформления некоторых рисунков, подрисуночных подписей и таблиц в тексте диссертации и автореферате (ведущая организация, официальный оппонент Служеникин С.Ф., официальный оппонент Васильева И.Г., Киселёва О.Н., Орсов Д.А., Конкина О.М.-Заскинд Е.С., Малич К.Н.-Баданина И.Ю).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Служеникин С.Ф. является высококвалифицированным специалистом в области изучения норильских месторождений в том числе сульфидных руд, а Васильева Инга Григорьевна является специалистом по экспериментальным работам, связанным с кристаллизацией сульфидных руд. Оппоненты имеют многочисленные публикации в высокорейтинговых изданиях в области исследования, соответствующей тематике диссертации, и способны объективно оценить данную диссертационную работу.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что направление исследовательской деятельности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения науки «Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения РАН» полностью соответствует тематике диссертации, а специалисты могут объективно и аргументированно оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненным соискателем исследований:

Выполнено сравнение двух типов руд Талнахского и Октябрьского месторождений, кристаллизовавшихся в обстановках, характеризующихся различной фугитивностью серы; **установлено**, что линза моихукитовых руд Октябрьского месторождения сложена низкосернистыми поторанитовыми рудами, тогда как линза Южно-Талнахских руд представлена высокосернистыми халькопиритовыми рудами; **предло-**

жен механизм ликвации стannидной и плюмбидной жидкостей в сульфидных расплавах сходный с известным механизмом ликвации арсенидных и теллуридных жидкостей в обоих типах руд; **обнаружен** пентландит с содержанием Pd до 11,26 мас. %, что в несколько раз превышает установленные на сегодня значения концентраций этой примеси в пентландите; статистическими методами **обоснована** схема замещения катионов никеля палладием и железом, проведён количественный расчёт этого замещения и предложен механизм этого процесса; **проведен эксперимент** по квазиравновесной направленной кристаллизации 13-ти компонентного образца исходного состава системы Cu-Fe-Ni-S-(Pt, Pd, Rh, Au, Ag, Co, Pb, Bi, Sb), отвечающего среднему составу изученных массивных зональных халькопиритовых руд; в результате **определены** физико-химические параметры процесса кристаллизации слитка, последовательность минералообразования, температур фазовых реакций, коэффициенты распределения главных и второстепенных элементов, а также механизмы распределения и образования акцессорных минералов благородных металлов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны следующие положения:

1. Халькопиритовые руды Талнахского месторождения имеют ярко выраженную минералого-геохимическую зональность, обусловленную фракционированием обогащенного медью сульфидного расплава с образованием высокосернистой минеральной ассоциации (фугитивность серы fS_2 увеличивается снизу-вверх от -9,7 до -7,7), тогда как в разрезе моихукитовых руд Октябрьского месторождения, сложенных низкосернистой ассоциацией (-12 fS_2), фракционная зональность отсутствует. Различия минеральных ассоциаций обусловлены разными исходными составами сульфидных расплавов и физико-химическими условиями их кристаллизации.

2. Процесс фракционной кристаллизации модельного расплава приводит к образованию сложной зональности (пирротин $\rightarrow$ кубанит $\rightarrow$ пунторанит), которая имитирует зональность богатых медью руд. Примеси благородных металлов присутствуют в виде твердых растворов в сульфидах и образуют собственные фазы по разным механизмам: а) кристаллизация из сульфидного расплава, б) распад твёрдых растворов, в) отделение расплава подсистемы Cu(Fe, Ni) – S(Pb, Bi, Sb) – ЭПГ(Ag, Au) от материнского сульфидного с последующей его кристаллизацией при $T < 560^\circ\text{C}$.

3. Палладий, помимо образования собственных фаз минералов, в значительном количестве (до 11,26 мас. %) входит в структуру пентландита, замещая никель: один атом никеля замещается 0,71 атомами палладия и 0,30 атомами железа. Обогащенный палладием пентландит образовался в результате воздействия пострудных гидротермальных растворов (флюидов), содержащих Pd и Fe, в локальных участках руд.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов: геологических, петрологических, геохимических и минералогических. Соискателем изучена богатая коллекция образцов руд Талнахского и Октябрьского месторождений (86 аншлифов моихукитовых руд, 41 аншлиф халькопиритовых руд), для характеристики сульфидных и благороднометалльных фаз в природных рудах суммарно выполнено около 7000 анализов методом сканирующей элек-

тронной микроскопии (ЭДС), около 2000 микрозондовых анализов. Подготовлено и проанализировано методом ICP-MS 15 и 19 валовых проб для характеристики разрезов халькопиритовых и моихукитовых руд, соответственно. Проведено изучение 20 аншлифов экспериментально полученного направленно закристаллизованного образца, имитирующего природные руды и сделано сопоставление с данными для природных руд. Для экспериментального образца выполнено около 1500 анализов методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ/ЭДС).

В диссертационной работе подробно **изложены** результаты экспериментального моделирования процесса фракционирования. Впервые **проведено** сопоставление минералогического состава изученных руд Талнахского и Октябрьского месторождений с результатами эксперимента по кристаллизации имитационного сульфидного расплава и на этой основе выполнена физико-химическая интерпретация процесса рудообразования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что они могут быть использованы для детализации геологических моделей, прогнозирования структуры рудных тел и выявления в них областей с повышенными концентрациями МПГ, а также при оценке промышленной значимости новых месторождений и рудопроявлений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в основу исследований легли аналитические данные, полученные при помощи современного высокоточного оборудования. Оптические исследования проводились на микроскопах Zeiss Axio Scope A1 и Olympus BX51. Минеральный состав руд определен на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMU (TESCAN ORSAY Holding) с системами микроанализа INCA Energy 450+/Aztec Energy XMax 50+ и INCA Wave 500 (Oxford Instruments Nanoanalysis), волнодисперсионном рентгеновском спектрометре JEOL JXA-8230M (Jeol Ltd., Токио, Япония). Химический анализ валовых проб руд на рудные элементы и благородные металлы проводился в лаборатории Genalysis (Intertec Inc, Перт, Австралия), путём пробирного анализа с концентрированием благородных металлов на корольке сульфида никеля, последующим растворением королька и определением концентраций благородных металлов методом ICP-MS.

Теоретическая часть работы основана на детальном исследовании двух разрезов массивных сульфидных руд (моихукитовых и халькопиритовых) Хараелахской и Талнахской интрузий, соответственно, и зональности минеральных парагенезисов экспериментального образца, полученного модифицированным методом Бриджмена-Стокбаргера в установках лабораторного производства. Это исследование дополняет существующие представления о минералогической и геохимической зональностях двух генетически различных рудных залежей. **Идеи диссертации базируются** на классических работах по теории рудообразования и исследования медно-никелевых месторождений М.Н. Годлевского, В.В. Дистлера, А. Налдретта, а также на экспериментах В.И. Косякова по направленной кристаллизации многокомпонентных сульфидных расплавов.

Личный вклад соискателя состоит в обобщении результатов собственных многолетних исследований, проведенных в лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций ИГМ СО РАН. Автор непосредственно занимался изготовлением препаратов, проводил аналитические исследования методами микрозондового анализа, оптической и сканирующей электронной микроскопии, а также участвовал в интерпретации полученных данных. Результаты исследований доложены и апробированы на российских конференциях и опубликованы в журналах, индексируемых в системах WoS и Scopus.

На заседании 14.03.2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Гусеву В.А. ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 10 докторов наук по специальности 1.6.10, 9 докторов наук и 1 кандидат наук по специальности 1.6.3 и 3 доктора наук по специальности 1.6.4, дополнительно введенных протоколом заседания диссертационного совета 24.1.050.01 №03/21 от 28.12.2023 г., участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 23, «против» - 0, «недействительных бюллетеней» - 0.

Председатель
диссертационного совета, д.г.-м.н.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.-м.н.

15.03.2024 г.



А.Э. Изох

А.В. Котляров