

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию **Гусева Виктора Александровича** на тему: «Процессы кристаллизационной дифференциации богатых медью сплошных сульфидных руд Талнахского и Октябрьского месторождений (на основе изучения разрезов рудных тел)» представленную на соискание

ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям:

1.6.10. – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения;

1.6.4. – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Повышенный интерес геологов к сплошным медно-никелевым магматическим глубинным рудам Норильско-Талнахского месторождения обусловлен промышленно значимыми содержаниями в них как рудных Cu, Ni, Fe, так и примесных благородных элементов. Эти руды удивляют своеобразием минеральных образований и различных для каждого месторождения. С этих позиций, перед вовлечением руд в химические технологии и металлургию требуются детальные и достоверные данные о минерало-химическом составе руд для этих отработанных геологами месторождений, и решение такой задачи всегда востребовано и актуально. Представленная диссертация вписывается в эту проблему и направлена на количественное изучение фазовых соотношений Cu-Ni-Fe сульфидных минеральных руд Талнахского и Октябрьского месторождений, а для обеспечения на выходе детальными и достоверными результатами, автор использовал новые подходы как к решению задачи, так и к обработке экспериментальных результатов, представляя ее в наглядной форме для геологов и производственных пользователей. Новый подход включает три этапа: 1) изучение термической истории формирования рудообразующих природных сульфидов, опираясь на совокупность данных о минерало-геохимических свойствах фаз и минеральных ассоциаций, 2) реализация для синтетических сульфидов, аналогов рудообразующих минералов, консервативного процесса направленной кристаллизации с непрерывным медленным охлаждением, с целью получения термодинамических и кинетических данных процессов кристаллизации и субсолидных превращений, 3) совместное рассмотрение данных обоих этапов с извлечением дополнительных знаний относительно природных процессов рудообразования изучаемых объектов.

Диссертация объемом 173 страниц, шести глав, заключения, списка литературы (185 источников) и табличных приложений построена по классической схеме, и в каждом разделе вопросу получения корректных и правильных результатов уделяется особое внимание. Эксперимент отлично иллюстрирован 67 рисунками, содержит 19 таблиц и 3 приложения. По теме работы опубликованы две статьи и двое тезисов устных докладов.

Во введении показан, как повышенный интерес к сплошным Cu, Ni, Fe сульфидным рудам Норильско-Талнахского месторождения, так и сложность их исследований, влияющая

на качество выдаваемой информации. Сформулирована цель, характер исследований, и защищаемые положения. Здесь дано обоснование выбранному подходу, обеспечивающему получение достоверных данных о рудах обоих месторождений.

В первой главе обращено внимание на то, что интерпретация фазовых превращений природных минералов должна базироваться не только на равновесные фазовые диаграммы Cu-Fe-Ni-S системы, но и на неравновесные диаграммы типа температура-время-превращение. Такие диаграммы наиболее интересны для геологов, но, к сожалению, практически отсутствуют. Новизна авторской идеи - получить данные равновесной и неравновесной диаграмм в одном эксперименте, как альтернатива трудоемкому время-затратному эксперименту изотермических отжигов при разных температурах. В такого типа эксперименте отличия идеального поведения системы от реального становятся очевидными и надежно-интерпретированными.

Во второй главе представлена информация о формах и протяженности рудных тел, о преобладающих типах минералов в породах Талнахского и Октябрьского рудных узлов и морфоструктурных особенностях рудного строения. Располагая этой информацией, автор обосновано подходит к процессу отбора проб из рудного тела и их общего количества, необходимых для адекватного описания особенностей минерального и геохимического состава системы. Отметим, что это первая, но очень важная стадия исследования для решения основной задачи.

В третьей главе представлены средства классической рудной диагностики минералов и сплавов синтетических образцов. Автор, используя оптический и электронный микроскопы, нацелен на определение геохимических свойств (форма, спайность, цвет, блеск), а также термических свойств, и химического состава единичных кристаллов и протяженных локальных областей сложных образований, используя микрозондовый анализ. Правильность химических результатов обеспечивала методика, учитывающая матричные эффекты и работающая с образцами сравнения в виде многокомпонентных природных минералов и сплавов. Достоверность фазовой идентификации гарантировала близость суммы определенных концентраций рудных элементов к 100% и ее соответствие составу минерала, идентифицированного по геохимическим свойствам. Использование пробирного анализа усиливало данные о содержании и распределении благородных металлов среди основных минералов.

В четвертой главе представлен грамотно спланированный эксперимент изучения природных минералов, отобранных из рудных тел обоих месторождений. Ясная качественная картина о структурно-вещественных особенностях изучаемой системы наглядно демонстрируют фотографии аншлифов, которые проявляются разными формами/размерами единичных гомогенных и зональных кристаллов, сложными сростками, реакционными огранками, ассоциациями, мелкими включениями и ладелями. Эрудиция автора была достаточна, чтоб надежно идентифицировать фазовую принадлежность кристаллов основных и примесных минералов, рассматривать нестехиометрию как твердые растворы замещения и внедрения, фиксировать неравновесное состояние зональных кристаллов, и признать существование процессов распада в существующих ладелях.

Другим ценными для генетической минералогии является раздел с важнейшими для формирования минералов понятиями термодинамики и фугитивности серы, представленными в виде петрогенетических сеток с линиями реакций, очерчивающих область p и T значений, ответственных за образование найденных минеральных образований. Совокупность фактических результатов обосновала заключение, что процесс фракционной кристаллизации является ведущим, что существует устойчивая последовательность отложения рудных минералов, и что рудные тела обоих месторождений различаются по строению и механизму формирования. Минералого-геохимическая зональность халькопиритовых руд Талнахского месторождения сменяется отсутствием таковой в рудах Октябрьского месторождения, и химизм окружающей среды и неизохимические реакции названы принципиальными факторами этого отличия.

Есть одно замечание по этой главе: не вполне ясна ситуация с определением интервала температур отложения рудообразующих материалов. Какие морфологические особенности природных образцов были использованы (и какие могут быть рекомендованы) в качестве индикаторов количественной геотермометрии?

В пятой главе показано, что изучение эволюции синтетических сульфидов, аналогов минералов, в условиях, приближающихся к природным, принесло бесспорную пользу. Представление о процессе расширилось, благодаря соотнесению установленного экспериментально фазового состояния объектов системы Cu-Fe-Ni-S с температурами и временами процессов кристаллизации и охлаждения вплоть до комнатной температуры. Содержание рисунков и таблиц наглядно демонстрирует результаты этого гигантского труда с определением усредненного элементного состава методами EDS/SEM и последующим расчетом коэффициентов распределения элементов по длине слитка. Установленный характер коэффициентов распределения рудообразующих элементов хорошо отражает генетические сульфидные связи и содержат полезную информацию для разработки процессов обогащения. Автор значительно расширил представления и о фазовых соотношениях в области низких температур, показал пути развития низкотемпературных ассоциаций и реакции их образования, и это наглядно демонстрирует очень впечатляющий Рис. 5.14. Значимым является установление факта расслаивания основного сульфидного расплава, тем более что он, похоже, является концентратом примесных благородных и халькофильных элементов. Хорошо представлен сравнительный анализ результатов процесса формирования минералов в природе и в лабораторных условиях, приведшей к убедительному доказательству, что химизм среды и флюидные компоненты в виде серы, кислорода и сторонних элементов матричных пород – есть те самые факторы, диктующие условия рудообразования.

Есть два замечания по этой главе. Первое касается оформительской части – у вас есть все данные, чтоб отцифровать по времени и температуре рис. 5.1.1 (или 3.1), и наглядно продемонстрировать взаимосвязь состава с этими параметрами. Второе касается полного отсутствия структурных данных о сульфидных минералах, чье поведение, как известно,

связано и с полиморфными структурными превращениями, и с изменениями типа разупорядочение-упорядочение катионной подрешетки. Только химическая идентификация первичных и вторичных фаз как твердых растворов, без учета структурного фактора, дает далеко не полную информацию о сложном поведении этих сульфидов в области субсолидусных температур.

Шестая глава, после определения в предыдущей главе специфики выделения и природы примесных фаз благородных металлов, концентрирует внимание на исследование химических фаз палладия, который обнаружен в высоких концентрациях в этих рудах. Осознавая меру ответственности за эту информацию, автор после критического рассмотрения существующих работ, усиливает свой эксперимент, и, вводя новые приемы обработки большого массива химических данных, предлагает свою модель формирования фазы в виде твердого раствора замещения Ni на Pd в пентлантите, опираясь на морфологические, оптические данные вкупе с данными о составе. Предложенная модель разумная и приемлемая, но не отражает всей сложности изоморфизма, который, как известно, зависит от типа распределения ионов Ni^{2+} , Fe^{2+} и Pd^{2+} между октаэдрическими и тетраэдрическими позициями структуры пентлантита и никогда не бывает идеальным. Я думаю, что привлечение известных структурных исследований относительно уникальной структуры пентлантита, как электронного соединения, сильно бы поддержало бы достоверность предложенной автором модели. Это скорее пожелание на будущее, чем замечание.

В итоге следует отметить, что работа, ориентированная с самого начала на выдачу достоверных данных, состоялась, и доказательством тому - объемный фактический материал, и надежность интерпретации принципиальных выдаваемых данных, лежащих в основе защищаемых положений. Следует отметить большой авторский вклад в успешную реализацию поставленной задачи. Этот успех был достигнут благодаря правильному использованию всего предшествующего физико-химического и минералогического знания, умелому выбору методов исследования, правильной организации эксперимента и эффективной обработке результатов. Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку представленной работы. Поэтому, завершая отзыв, следует акцентировать внимание на то, что эти экспериментальные исследования минеральных превращений и равновесий в условиях, моделирующих глубинные участки земли, являются неотъемлемой частью и фундаментом геологических знаний. А накапливаемый в ходе таких экспериментов фактический материал по состоянию Cu-Ni-Fe-сульфидов и их физико-химическим свойствам в широком температурном поле дает возможности по-новому взглянуть на геологические процессы, понять их движущие силы и фундаментальную природу. Думается, что к этим объектам, с повышенным содержанием МГП, будет проявлен и промышленный интерес.

Все указанное выше в полной мере оправдывает представление работы 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. Содержание диссертации полностью отвечает критериям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24.09.2013 года № 842, а ее автор Виктор Александрович Гусев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 1.6.10. и 1.6.4. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Васильева Инга Григорьевна



Ведущий научный сотрудник лаборатории синтеза и роста монокристаллов соединений РЗЭ, д.х.н., тел.(8-383-330-84-65) E-mail: kamarz@niic.nsc.ru
630090 Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева, 3 Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

Я, Васильева Инга Григорьевна, даю согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.
27.02.2024

Подпись ЗАВЕРЯЮ
Уч. секретарь ИИХ СО РАН
О.А. ГЕРАСЬКО
«27» 02 2024

