



Утверждаю:

Директор ЮУ ФНЦ МиГ УРО РАН

д.г.-м.н.,

В.Н.Удачин

10 февраля 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию **Дмитрия Евгеньевича Тонкачеева**
«Геохимические аспекты вхождения Hg и Au в сфалерит»
представленную на соискание ученой степени
кандидата химических наук
по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых

Диссертация Д.Е. Тонкачеева посвящена важной теме – выявлению форм и причин концентрации в сфалерите ряда элементов, среди которых основное внимание уделено Hg и Au. Некоторые из этих элементов входят в структуру сфалерита и используются для восстановления условий его формирования, другие же накапливаются в виде микро- и наночастиц, но также отражают особенности среды минералообразования. До последнего времени четкого понимания причин накопления и форм существования примесных элементов в сфалерите не было, что и **определяет научную актуальность** проведенных исследований. Также немаловажным аспектом работ явилась серия экспериментов по внедрению различных допирующих добавок в структуру сфалерита с дальнейшим изучением их влияния на физические и химические свойства сфалерита и его способность концентрировать золото.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Объем работы составляет 140 стр., включая 39 рисунков, 14 таблиц и список литературы из 398 наименований.

В ходе выполнения работы диссертантом поставлена серия экспериментов, целью которых было определение максимально возможных концентраций золота в сфалерите и влияние на эту величину дополнительных примесей. Также была решена задача по определению изоморфной емкости сфалерита и метациннабарита по отношению к Hg, получены прямые доказательства ее структурного положения и кристаллохимические параметры первых трех координационных сфер Hg. Выявлены пределы емкости сфалерита по отношению к золоту в отсутствие других примесей. Перечисленное определяет **научную новизну** работы.

Известно, что на ряде геологических объектов, особенно – колчеданного семейства и месторождений типа SEDEX, со сфалеритом может быть связано превышение допустимых кондиций по содержанию ртути в промышленных концентратах, а с другой стороны – именно со сфалеритом теряется часть золота в виде нановключений теллуридов

золота и электрума (Масленников и др., 2020 и мн. другие публикации). Таким образом, выяснение форм нахождения этих элементов и условий, способствующих их концентрации в сфалерите, является важнейшей практической задачей. Диссертантом было доказано, что золото в сфалерите может находиться в виде изоморфной примеси Au^{+1} , замещая атомы Zn, но при этом нуждается в компенсации заряда путем вхождения In^{+3} . Показано, что увеличение фугитивности серы и количества примесных элементов в растворе может способствовать «загрязнению» сфалерита. Несмотря на то, что данный вывод достаточно тривиален, в количественном плане задача решена до настоящей работы не была. Важным выводом также является установление способности сфалерита сохранять накопленное золото при охлаждении, а не выделять его в виде собственных минералов, как это свойственно минералам системы Cu-Fe-S. Еще одним, несомненно, важным **практическим результатом диссертации** стала разработка технологии получения гомогенного сфалерита с равномерно распределенным золотом, которая может быть использована для изготовления стандартных образцов для ЛА-ИСП-МС.

Автор принимал участие во всех этапах работы, в ходе выполнения которой освоил целый ряд лабораторных методик (ЛА-ИСП-МС, обработка его результатов, порошковая рентгенография и пр.).

Представительность работы определяется проведением достаточного количества экспериментов, в ходе которых изучено не менее 100 образцов.

Результаты работы опубликованы в 4 статьях и многочисленных тезисах, что вполне отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

К работе имеется ряд замечаний.

Автор глубоко проработал литературные источники, содержащие данные о составе и свойстве сфалерита. Однако, некоторая часть этой компилятивной работы кажется избыточной, т.к. в дальнейшем практически не используется, например – данные о люминесценции и магнитных свойствах сфалерита.

Употребление термина политипия к описанию сфалерита неприемлемо. Это у вюртцита могут быть политипы, а кубическая структура сфалерита политипных модификаций не образует.

Большое внимание уделено обзору элементов-примесей в сфалерите. Этот раздел ценен сам по себе, однако, практически не содержит обширных данных о составе сфалерита из колчеданных месторождений, полученных методом ЛА-ИСП-МС (работы В.В.Масленникова). Кроме того, было бы весьма полезно каким-то образом визуализировать текстовую информацию, приведенную в **главе 1**, занявшую почти 40 страниц текста.

Диссертант также внимательно проработал специальную литературу, посвященную фазовым соотношениям в системах, имеющих отношение к проведенным им опытам, с тщательным разбором кристаллохимических параметров различных соединений. Эта работа позволила правильно спланировать эксперимент для исключения или минимизации синтеза некубических фаз. Однако, при описании методов синтеза в **главе 2**

следовало бы более подробно осветить состав шихты с указанием мольных долей примесных элементов. Это удобно сделать в виде таблицы, которую можно было бы вынести в приложения. Помимо всего прочего, это позволило бы последующим исследователям использовать опыт диссертанта для постановки сходных экспериментов.

Обработка данных порошковой рентгенографии кажется недостаточной – помимо увеличения параметра элементарной ячейки, из этих данных можно было бы извлечь информацию о совершенстве структуры, для чего сопоставить полуширины аналитических линий для разных образцов и сравнить их с неким эталонным чистым сфалеритом.

В тексте встречаются не вполне уместные фразы. Например – выражение «сфалерит без примесей содержит не более 10-15 г/т Au» не совсем корректно – золото тоже является примесью, и лучше было бы уточнить, о каких конкретно элементах идёт речь.

Глава 3 диссертации, посвященная синтезу и изучению системы Zn-Hg-S весьма важна в практическом смысле, т.к. содержание Hg в цинковых концентратах строго лимитируется и знания о том, в какой форме Hg в них находится, способствуют решению этого вопроса. Однако, эксперименты автора были проведены при весьма высоких температурах (605-650°C), которые редко реализуются в типичных месторождениях Zn колчеданного или SEDEX семейства. Хотелось бы продолжить исследование данной системы при более низких температурах, соответствующих природному рудообразованию.

Глава 4 посвящена структурному положению атомов Hg и Au, установленному при помощи локальных рентгеноспектральных методов и ЛА-ИСП-МС. **В главе 5** обсуждается структурное положение ртути в сфалерите на базе данных спектроскопических исследований. К этой части диссертации замечаний нет.

Глава 6 посвящена обобщению полученных данных и их возможному применению. Вывод о том, что лишь появление в сфалерите вюртцитовых доменов объясняет низкие содержания в нем золота, вряд ли правомерен. Это только один из возможных факторов, влияющий на концентрацию золота в сфалерите. Также весьма осторожно следует относиться к преобладанию структурной формы золота в сфалерите и его способности сохранять гомогенное распределение при наложенных геологических процессах. По-видимому, различия в геологических условиях формирования сфалерита и его дальнейших преобразований могут в данном случае играть решающую роль. Наши данные ЛА-ИСП-МС о содержаниях золота в сфалерите в золото-полиметаллическом месторождении Муртыкты (Башкирия) указывают на наличие нановключений золота и золото-теллуридных соединений в сфалерите, при этом распределение золота в сосуществующем пирите было более однородным.

Однако, несмотря на высказанные замечания, работа выполнена на высоком профессиональном уровне, использует современные взгляды на кристаллическое вещество и адекватные подходы для получения цифровой информации.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, часть ее выводов может быть применена при проектировании схем обогащения рудного сырья в целях максимального извлечения всех полезных компонентов. Расширение знаний о формах и концентрациях примесных элементов в сфалерите позволяет расширить имеющиеся данные о термодинамике сфалерита.

Научная и практическая значимость выполненных автором исследований подтверждается их поддержкой проектами РФФИ (№16-05-00938, 20-05-00849) и РНФ (№14-07-00693, 14-07-00693-П и 17-17-01220).

Выводы, полученные в ходе исследования, соответствуют областям исследований (подпунктам 4 и 6) паспорта специальности 25.00.09 кандидатов, претендующих на степень в области химических наук. Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 и 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор диссертации, Тонкачев Дмитрий Евгеньевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата химических наук по специальности 25.00.09 геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на Объединенном ученом совете ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, протокол № 1 от 10 февраля 2022 г.

Главный научный сотрудник
лаборатории минералогии рудогенеза ЮУ ФНЦ МиГ
УрО РАН, д.г.-м.н.

*Елена Витальевна
Белогуб*

Ведущий научный сотрудник лаборатории
экспериментальной минералогии, ЮУ ФНЦ МиГ УрО
РАН, к.ф.-м.н.

*Арменак Аркадьевич
Осипов*

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук
Тер. Ильменский заповедник, г. Миасс, Челябинская область, Россия, 456317
телефон: (3513)298098
E-mail: info@mineralogy.ru

Евгений Белогуб
Верно
Начальник отдела кадров
ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН



А. А. Осипов