

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Хусаиновой Альфии Шамилевны

на тему: **Поведение золота в техногенно-минеральных образованиях месторождений золото-сульфидного типа**

по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения, на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертационная работа Хусаиновой А.Ш. представлена в виде рукописи на 169 страницах, состоит из 6 глав и содержит 52 иллюстрации, 15 таблиц, 203 литературных источника.

Актуальность темы не вызывает сомнений, поскольку все чаще перед недропользователями встают вопросы о повторной переработке отходов горно-металлургического производства и экологической реабилитации территорий занятых хвостами обогащения и отвалами. Задача изучения распределения и поведение благородных металлов в техногенных минеральных образованиях, как на стадии их формирования, так и последующего преобразования в процессе гипергенеза интересна с научной точки зрения – познание механизмов миграции золота в экзогенных условиях, и с практической – выработка рекомендаций для разработки схем обогащения техногенного сырья при повторной его отработке, исходя из размерности золотин, характера сростаний, наличия пассивирующих пленок на их поверхности и пр.

Достоверность и новизна исследований определяется тем, что работа базируется на обширном фактическом материале. В исследование вовлечены разнообразные техногенные минеральные образования – отходы переработки золотосодержащих руд с различным содержанием сульфидных минералов: высокосульфидные, низкосульфидные, а также отвальный комплекс техногенных россыпей, где сульфидные минералы отсутствуют.

Поставленные в работе задачи решались с привлечением современных методов исследования. Основной объем аналитических работ выполнен в авторитетных исследовательских центрах. Сильной стороной работы (новое в экзогенной геохимии золота) является компьютерное моделирование процессов перераспределения благородных металлов, протекающих в современных условиях в отвальном комплексе месторождений с высоким содержанием сульфидов.

Степень обоснованности защищаемых положений.

Первое защищаемое положение базируется на анализе типоморфных характеристик золота из техногенных минеральных образований (ТМО) колчеданно-полиметаллических месторождений. Для различных объектов проведен сравнительный анализ морфологии частиц золота, микроскульптуры поверхностей золотин, присутствие на поверхности частиц различных гипергенных новообразований, а также пробности, химического состава и внутреннего строения золота.

Анализом показано, что по сравнению с первичными рудами, в окисленных и техногенных отложениях снижается среднее содержание серебра, происходит значительное увеличение количества тонкого и мелкого золота за счет его преимущественного осаждения, постепенного роста и укрупнения.

На основе детального изучения золота, при доказательстве первого научного положения были выделены внешние и внутренние признаки, которые свидетельствуют о том, что в ТМО золото, недоизвлеченное при промышленной добыче, подвергается гипергенным преобразованиям.

Таковыми признаками являются:

- Наличие микро- и наночастиц золота чешуйчатых, таблитчатых и округлых форм, как на поверхности самородных частиц, так и в ассоциации с гипергенными минералами.
- Наличие зерен «агрегатного» и зернистого строения, образование которых происходит как за счет механического слипания Au, так и химического осаждения и нарастания «нового» золота на более «массивные» золотины.
- Слоистость и кристаллический облик частиц.
- Структуры растворения, представленные в виде изъеденной поверхности золотин с мелкоячеистым и натечным рельефом, образующимся при взаимодействии минерализованных (поровых) растворов и поверхностного слоя золота.
- Гипергенные новообразования Au-Ag-S-Se-Hg состава на поверхности золота в виде пленок, налетов, корочек.
- Образование высокопробных кайм и прожилков, а также ажурные края, включения минералов, сростки микрочастиц Au с золотинами и «губчатые» образования.

Проведенный анализ и выделенные признаки служат убедительным доказательством предложенного автором первого защищаемого положения: *В техногенно-минеральных образованиях сульфидного типа золото подвергается процессам растворения, миграции и осаждения. Происходит укрупнение золотин, формирование наростов Au*

разных форм и размеров на поверхности самородных частиц и образование сростков Au с гипергенными минералами.

Обоснованием **второго защищаемого положения** послужила обобщенная физико-химическая модель преобразования золота. Моделирование поведения Au и Ag проведено для типового разреза лежащих хвостов на хранилище переработки руд Ново-Урского месторождения. Компьютерное термодинамическое моделирование выполнено с помощью пакета программ «HCh 6.0», включающего базу термодинамических данных «UNITHERM», для температуры 25°C и общем давлении 1 атм.

Модельные построения показали, что выщелачивание Au из сульфидных минералов действует как непрерывный источник его поступления в систему отложений ТМО, а растворение сульфидов способствуют образованию кислых сульфатных дренажных вод (поровых растворов).

Последние, благодаря перколяции, формируют горизонт выщелачивания золота на верхнем горизонте. Золото здесь высвобождается и переходит в раствор в виде комплексов AuHS^0 , $\text{Au}(\text{HS})^{2-}$, $\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}^{2-}$.

Показано, что водные сульфаты, кристаллогидраты сульфатов и органика скапливаются над плотным бурожелезняковым горизонтом, где отмечается максимальная концентрация частиц золота. Идет осаждение на поверхности сульфидов за счет электрохимического процесса и на поверхности собственно самородного золота.

В средней части разреза образуется плотный железо-кремнистый песчаник), в котором содержание золота уменьшается в разы. Эта зона отмечена ограниченным доступом кислорода, и Au осаждается на своеобразном окислительно-восстановительном барьере. В кислых условиях и Eh близких к нулевым значениям и $\text{pH} < 2.73$, растворы способны переносить золото преимущественно в тиосульфатных комплексах.

Дестабилизация золотосодержащих комплексов происходит посредством тиосульфат-окисляющих бактерий, которые используют тиосульфат в качестве источника энергии и в присутствии таких восстановителей как органическое вещество и ионы Fe^{2+} , а также при повышении pH. Золото восстанавливается с осаждением на уже существующей поверхности самородных частиц.

На основании проведенного моделирования было сформулировано и надежно обосновано защищаемое положение: *Специфика минеральных парагенезисов техногенно-минеральных образований (обилие пирита и выделений самородной серы) определяет условия миграции золота. В области метастабильной устойчивости FeS_2 , Au неизбежно осаждается на его поверхности при достижении пересыщения поровых вод ($\text{pH} 4$, $\text{Au}(\text{HS})_2^- > 10^{-6}$ мг/л). При развитии процесса, в условиях образования $\text{S}(\text{эл})$, происходит*

резкое увеличение миграционной способности золота за счет образования прочных тиосульфатных комплексов $Au(S_2O_3)_2^{3-}$ (до 10-3 мг/л при pH 1.6). Именно их распад приводит в обильному переосаждению Au^0 на окислительно-восстановительных барьерах в теле отвала.

В обоснование **третьего защищаемого положения** положены критерии сходства и различия золота техногенно-минеральных образований и экзогенных месторождений. Изученные ТМО различались по типу складирования вещества (намывные и насыпные), способу извлечения золота и рудно-формационной принадлежности исходной минерализации. При исследовании оценивались такие параметры, как: содержание Au, размер частиц, морфология, химический состав золота и степень его преобразования по сравнению с первичными рудами. Материалы по обоснованию данного положения отражены в разделе 6 диссертационной работы.

Обоснование данного положения у оппонента вызвало много вопросов, как к качеству исходных материалов, так и выводам полученным на их основе.

1. В анализ критериев сходства и различия наряду с хвостами переработки руд вовлечены **россыпи**, которые не совсем вписываются в тему работы – «Поведение золота в техногенно-минеральных образованиях **месторождений золото-сульфидного типа**».
2. Непонятно, почему россыпные объекты – Чернореченская россыпь, россыпи рек Ис и Тура в таблице 10 отнесены к золото-кварцевой формации.
3. В исходных материалах и тексте раздела имеется ряд неточностей и терминов «свободного пользования». Название рисунка 39 - «Намывной отвал гравитационных руд...» не корректно. Описывая отвальный комплекс автор допускает не принятые в горном деле формулировки: «гравитационные потери обогащения», «отработаны с помощью цианидных растворов», «хвосты гравитационного обогащения продуктов дробления рудного золота», «устьевая зона россыпей» и др.
4. Опробование отвального комплекса месторождения Тардан нельзя признать корректным, тем более делать по нему какие-то выводы. Судя по рисунку 39, пробы отобраны с поверхности отвала в зоне действия временного водотока, где проявлен видимый (черный) шлейф рассеяния минералов тяжелой фракции – вероятно магнетита и других темноцветных минералов. Для оценки закономерности распределения металлов в намывном отвале необходим отбор проб по радиальным линиям от места слива пульпы, желательно на всю его мощность. Из изложенных материалов по хвостам месторождения Тардан также остается не ясным, что опробовал автор. Из рисунка следует, что это хвосты гравитационного обогащения, а по тексту автор утверждает, что данные хвосты были переработаны повторно с использованием цианидной схемы обогащения.

5. В названии раздела 6.1. не корректно использовано определение - «хвосты Чернореченской россыпи». В соответствии с геологией техногенных россыпей в ее строении выделяют следующие элементы: галечные и эфельные отвалы, целики и отвалы вскрыши. Хвостохранилищ, как таковых, при отработке россыпных месторождений не формируют.
6. В третьем защищаемом положении, на взгляд оппонента, не совсем удачно проводятся аналогии хвостохранилищ насыпного типа с корами выветривания, а наливного – с россыпными объектами. Во всяком случае этот технологический фактор не является определяющим, в силу того, что контакт порода – вода в потоке пульпы очень кратковременный. К тому же большинство хвостов переработки золотых и золотосодержащих руд складываются в хранилищах намывного типа. Отвалы (хранилища) насыпного типа больше свойственны складам бедных (забалансовых) руд, а также для хранилищам кеков и шлаков.

В целом, несмотря на высказанные замечания по обоснованию третьего защищаемого положения, следует отметить высокий научный уровень работы, **безусловную значимость для науки и практики**. Представленные материалы по преобразованию золота в рудах с высоким содержанием сульфидов в процессе техногенных преобразований проливают свет на процессы, протекающие в зоне окисления коренных месторождений и могут быть использованы в практике поисковых работ на золото.

Особо следует отметить раздел диссертации, посвященный моделированию поведения золота в экзогенных процессах. Помимо значительного научного интереса, данные наработки, при дальнейшем их развитии, могут быть положены в основу разработки технологий внутриотвального обогащения, т.е. направленного формирования высоких концентраций золота в сульфидсодержащих отвалах пород вскрыши и забалансовых руд.

Диссертация представляет собой законченное самостоятельное исследование. Цель работы - определение основных минералого-геохимических характеристик, условий миграции и концентрирования золота в техногенно-минеральных образованиях месторождений золото-сульфидного типа достигнута. Текст диссертация и автореферат хорошо оформлены, насыщены иллюстрациями высокого качества. Основные положения диссертационной работы опубликованы в печати, в том числе в периодических изданиях входящих в перечень ВАК.

Таким образом, диссертация Хусаиновой Альфии Шамилевны является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи оценки поведения золота в техногенно-минеральных образованиях месторождений золото-сульфидного типа, что существенно дополняет наши знания в области экзогенной металлогении золота и имеет практическое значение для совершенствования поисков золотосодержащих место-

ФГАОУ ВО СФУ

Подпись _____ заверяю _____

Начальник общего отдела _____

« 13 » _____ 20 20 г.