

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу ХУСАИНОВОЙ А.Ш.
«ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛОТА В ТЕХНОГЕННО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО ТИПА»,
представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения

Актуальность исследований А.Ш. Хусаиновой определяется слабой изученностью физико-химических условий формирования рудных концентраций золота в зонах вторичного обогащения техногенных объектов. В работе рассматриваются хранилища отходов добычи и переработки золотосодержащих руд, которые автор называет техногенно—минеральными образованиями. Основы минералогии, геохимии и типоморфизма золота из коренных и россыпных месторождений, кор выветривания и зон окисления подробно изучаются с начала XX века. Процессы вторичного обогащения отработанных россыпей и формы переотложенного золота в отвалах древних разработок золоторудных месторождений начали освещаться в работах зарубежных исследователей с 1930-х гг. Однако, детального изучения типоморфных характеристик самородного золота и его поведения в отложениях переработанных руд не проводилось. Закономерности и механизмы преобразования золота в техногенно-минеральных образованиях золото-сульфидного типа изучены слабо. На исследование этих процессов направлена диссертация А.Ш. Хусаиновой. Глава 1 диссертации посвящена обоснованию актуальности проводимых исследований, общим вопросам геохимии золота в гипергенных обстановках и техногенно-минеральных образованиях, разнообразию техногенных образований и специфическим физико-химическим условиям в них. Альфия Шамилевна приводит подробный аналитический обзор изученности проблемы, освещает современные достижения в этой области и те неясные вопросы, которые она решает в своей работе.

Научная новизна работы заключается в установлении типоморфных характеристик золота в продуктах переработки руд Ново-Урского, Белоключевского и Змеиногорского месторождений. На основании проведенной работы Альфия Шамилевна определила внешние и внутренние признаки, доказывающие, что золото, недоизвлеченное при промышленной добыче, подверглось существенным преобразованиям в техногенных отвалах. Диссертантом предложена физико-химическая модель поведения золота в хвостохранилищах продуктов переработки руд золото-сульфидного типа с образованием горизонта вторичного обогащения.

Диссертационная работа имеет важное **практическое значение**: результаты исследований А.Ш. Хусаиновой обосновывают перспективность техногенно-минеральных образований Ново-Урского, Белоключевского и Змеиногорского месторождений.

Немаловажным аспектом исследований является определение типоморфных характеристик золота. Вероятно, в будущем результаты работы Альфии Шамилевны найдут своё применение при разработке схем обогащения и извлечения металлов и управлении процессами формирования зон с локальными (повышенными) концентрациями металла.

Диссертация начинается с обзора изученности проблемы (Глава 1), изложенного достаточно лаконично на 13-ти страницах, но отражающего общую информацию по геохимии золота, его поведению в гипергенных условиях и техногенно-минеральных образованиях, а также основные аспекты золотоносности изучаемых хвостохранилищ. В качестве замечания следует отметить, что не акцентируется внимание слабой изученности поведения золота в техногенно-минеральных образованиях (ТМО) месторождений золото-сульфидного типа. Содержание главы сводится к обзору исследований по поведению золота в ТМО различных типов. Не рассмотрены методики определения основных минералого-геохимических характеристик, условий миграции и концентрирования золота в техногенно-минеральных образованиях (сравнение, преимущества и недостатки), в том числе мало информации о зарубежном опыте. Автор приводит интересную информацию о роли микроорганизмов в образовании твердых фаз золота, в том числе о перекристаллизации золота бактериями и зарождении «нового» золота бактериями и дрожжами (Глава 1, стр. 15), и уточняет, что присутствие четких морфологических форм Au не может быть доказательством биогенной природы, этот вопрос остается дискуссионным, однако, далее в своей работе Альфия Шамилевна не касается вопросов биотического генезиса металла в рассматриваемых ТМО. В разделе 1.3 (Глава 1, стр. 16) диссертант справедливо указывает, что «поведение золота в ТМО зависит от его форм нахождения, способа извлечения и складирования вещества», но далее приводится только перечисление работ, посвященных этим вопросам, без раскрытия их сути, и общая информация об основной отличительной черте ТМО от природных объектов. Приводится ссылка всего на три работы [Наумов, 2010; Осовецкий, 2013; Кузнецова и др., 2019], посвященные конкретным формам нахождения Au в ТМО: самородное состояние, твердые растворы с Ag и амальгамами (Глава 1, стр. 18). При этом не рассматриваются взаимосвязи типоморфных характеристик металла с типом ТМО, основные минералого-геохимические характеристики, условия миграции и концентрирования Au в ТМО месторождений золото-сульфидного типа. Диссертант справедливо отмечает, что

актуальность проводимых ею исследований связана со следующими факторами (Глава 1, стр. 19): «геологическая уникальность месторождений, разнообразие техногенных образований и специфические физико-химические условия в них». Однако, в тексте диссертации не конкретизируется, в чём именно заключается уникальность выбранных объектов исследования, по каким характеристикам были выбраны хвостохранилища именно Ново-Урского, Белоключевского и Змеиногорского месторождений. Не акцентировано внимание на различиях в составах и/или генезисе, способах переработки руд, возрасте выбранных объектов, а ведь именно эта информация помогла бы обосновать актуальность поставленной автором цели.

В главе, посвящённой методике исследования (Глава 2), содержится описание методов опробования и обогащения проб, аналитических методов и физико-химического моделирования. Перечень используемых в работе методов выглядит весьма внушительным, включает все доступные на сегодняшний день современные подходы для решения поставленных задач и получения достоверных результатов. Использована атомно-абсорбционная спектрометрия (содержания Au и Ag исходных проб), рентгено-флуоресцентный метод (элементный состав проб), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (состав поровых растворов), сканирующая электронная микроскопия и электронно-микронзондовый анализ (типоморфные характеристики золота, микроскульптуры поверхностей золота и отдельных её участков, внутреннее строение частиц), локальный микрорентгеноспектральный анализ (химический состав золота). Автор отдельно останавливается на методах исследования типоморфных характеристик золота с указанием ссылок на труды по золотоносным минеральным ассоциациям и приводит методику структурного травления золота. Нет сомнений в том, что автором лично проведена большая и скрупулёзная работа по отбору и обогащению проб, пробоподготовке исходного вещества для аналитических исследований, детальному изучению собственно самородного золота в шлиховых пробах и шашках с помощью бинокулярного микроскопа, сканирующей электронной микроскопии (более 500 частиц) и электронно-микронзондового анализа (более 100 частиц). Однако, по сравнению с подробным описанием объектов исследования (Глава 3), характеристика объектов исследования приводится крайне сжато, всего на 5 страницах. В качестве замечаний можно отметить, что при описании полевого отбора проб не хватает карт-схем с точками опробования, не конкретизируется, какие объекты относятся к насыпному или намывному типу. Более, чем скромно, выглядит описание метода физико-химического моделирования (Глава 2, раздел 2.3, стр. 28), а между тем именно на его результатах базируется второе защищаемое положение. Непонятно, что автор имеет в виду под фразой «окислительно-

восстановительные условия задавались открытием системы по кислороду, кислотность создавалась степенью окисления сульфидов при разных E_h ? В качестве замечания можно также отметить, что завершение Глав 1 и 2 разделом «Выводы» существенно упростит понимание материала.

Глава 3 освещает геологические характеристики районов расположения объектов исследования и историю формирования техногенно-минеральных образований Ново-Урского, Белоключевского и Змеиногорского месторождений. История формирования ТМО Ново-Урского и Белоключевского месторождений, действительно, как и пишет автор, практически не задокументирована, и дифференциация вещества в отвалах связана как с послойной отработкой руд неоднородного состава, так и с процессами гипергенного преобразования ТМО. В качестве замечания отмечу, что в названии диссертации фигурирует формулировка «месторождения золото-сульфидного типа», однако, в главе 3 автор указывает, что «объектами исследования являются ТМО хвостохранилищ переработанных руд колчеданно-полиметаллических месторождений». Остаётся неясным вопрос как о типе месторождений, хвостохранилища которых рассматриваются в работе, так и то, по какому принципу был сделан выбор именно этих трёх ТМО? Структура глава кажется не очень логичной, и вызывает вопросы. Например, схемы опробования хвостохранилищ было бы уместнее привести в Главе 2 (раздел 2.1 «Опробование и обогащение проб»), а данные по распределению золота и серебра в Урских отвалах (рис. 4, текст на стр. 32, 33) и Белоключевском отвале (рис. 6, стр. 36) – в смысловых главах, посвященных результатам исследований (со ссылкой на соавторов рисунков 4 и 6 и на данные других исследований). Есть ряд замечаний технического характера: вместо англоязычной аббревиатуры TDS уместнее указать общую минерализацию дренажного раствора (стр. 32), сульфатный класс и Al-Fe-Ca тип (там же), состав дренажного ручья не соответствует составу поровых вод. Данные других авторов в Главе 3 перемежаются собственными результатами, и на стр. 33 возникает путаница. Автор пишет: «отобраны две пробы: 1 – устье (Au – 0.5 г/т; Ag – 18.0 г/т); 2 – в 10 м (Au – 11.0 г/т; Ag – 2.9 г/т) от отвала кварц-баритового состава», а в следующем же предложении даёт ссылку на работу [Myagkaya et al., 2020] по вещественному составу (не указывается, чего именно). На рисунке 4 есть сокращения, которые следует пояснить в тексте или подрисуночной подписи: «ув. фрагмент», «т.о.», указать расположение севера на рисунках 4, 5, 9. Следует привести ссылки на работы по составу первичных руд Змеиногорского месторождения (рис. 38). Заключение к главе 3 с обоснованием выбора объектов исследования, их основных сходствах и различиях (например, возраст, состав, тип генезиса) существенно упростило бы понимание изложенного материала.

Смысловые главы, содержащие доказательства защищаемых положений, посвящены результатам исследований типоморфных характеристик золота ТМО Ново-Урского, Белоключевского и Змеиногорского месторождений, обобщённой физико-химической модели преобразования золота, сравнению хвостохранилищ насыпного и намывного типов. Сразу же отметим, что проведена большая и тщательная работа, в диссертации содержится богатый фактический материал, а полученная информация подробно обсуждается с учётом ранее полученных достижений в этой области как собственных, так и почерпнутых из литературных источников. Более двух третей от общего объема диссертации отводится автором именно на собственные результаты исследований.

Доказательство **первого защищаемого положения** основано на определении типоморфных характеристик золота ТМО Ново-Урского, Белоключевского и Змеиногорского месторождений по данным СЭМ и МРСА. В разделе 4.1 представлены типоморфные характеристики золотин в кварц-баритовом, кварц-пиритовом отвалах и отложениях намывного типа. Автор делает предварительный вывод о механизме образования новых частиц за счёт механического слипания остаточного золота. Кроме того, автор приводит интересные данные об образовании на поверхности золотин из ТМО Ново-Урского месторождения плёнок Au-Ag-S-Se-Hg состава. Рассматривая типоморфные характеристики золота в ТМО Белоключевского месторождения (раздел 4.2), автор справедливо отмечает: «однозначно утверждать, что обнаруженные скульптуры соответствуют только структурам растворения или только роста весьма затруднительно, поскольку эти процессы взаимосвязаны и цикличны». Есть несколько замечаний к форме представления результатов. Так, в разделе 4.1. автор пишет (стр. 43): «пробность новообразованных фаз может отличаться от первичного золота». Остаётся неясным, каким образом определялось происхождение фазы (новообразованная или первичная)? Золотины в ТМО Белоключевского месторождения существенно крупнее, чем частицы Ново-Урского. Чем это можно объяснить? О чём свидетельствуют ажурные края в золотилах мелких классов (<0.25 мм) с ТМО Белоключевского месторождения? На стр. 56 автор утверждает, что «найденные в ТМО Ново-Урского месторождения, они (обнаруженные гипергенные новообразования) могут образовываться повсеместно в ТМО высокосульфидных месторождений». Однако, остаётся неясным, как автор переходит от частного к общему? На стр. 65 автор рассматривает причины изменения содержания серебра в окисленных и техногенных отложениях по сравнению с первичными рудами и указывает, что «в гипергенных условиях Ag имеет более высокую миграционную способность, чем золото». Какие среды и обстановки автор имеет в виду? И ссылку на

какие работы можно привести для подтверждения этого тезиса? В разделе 4.4. (стр. 70) автор приводит гипотезу, что «в отвалах новообразованное золото может ...осаждаться под действием гравитационных сил и/или в результате смены физико-химических условий на геохимических барьерах». Можно ли привести механизм осаждения золота на физико-химическом барьере в гипергенных окислительных условиях? Рассмотрение в предварительном заключении к разделам 4.1, 4.2, 4.3 связи характеристик золотин с типом месторождения, количеством сульфидной серы, сходств и различий между типоморфными характеристиками золота в изучаемых ТМО (разного возраста, состава, генезиса), позволило бы перейти к процессам растворения, миграции и осаждения, которым подвергается золото, лучше понять механизмы образования нового золота.

В целом, первое защищаемое положение доказано большим количеством фактического материала, а также проведённым тщательным исследованием.

Доказательство второго защищаемого положения базируется на результатах термодинамического моделирования поведения Au в хвостохранилище переработанных руд Ново-Урского месторождения. Производит очень хорошее впечатление раздел 5.1 «Теоретические предпосылки», в котором представлены основные реакции выщелачивания Au из сульфидных минералов в восстановительных, промежуточных и окислительных условиях. Автор приводит механизм преобразования гипергенных новообразований и рост самородного Au. Далее неясна логика представления результатов моделирования растворения пирита (раздел 5.2, стр. 83): какие значения pH и Eh системы приведены в табл. 6? По фактическим данным или заданы вручную? Далее автор рассуждает об области устойчивости пирита и области «наибольшей миграции элементов в гипергенных условиях», не приводя сравнение с многочисленными работами по моделированию окисления пирита. Как при этом меняется миграционная способность золота? Основное замечание в личном вкладе (раздел «Введение») Альфия Шамилевна не указывает постановку численного эксперимента и интерпретацию результатов термодинамического моделирования, а между тем, именно эти данные, изложенные на высоком профессиональном уровне в Главе 5, легли в основу второго защищаемого положения. Вероятно, сравнение результатов моделирования с составами реальных растворов (дренажных или поровых) и найденными в Урских отвалах минеральными структурами, позволило бы лучше отразить личный вклад А.Ш. Хусаиновой в этот раздел работы. Приведу несколько замечаний технического характера. В этой главе, в отличие от всех предыдущих, объект исследования именуется не техногенно-минеральным образованием (ТМО), а более привычным «хвостохранилищем». В чём причина смены формулировки? Текст не выверен до стр. 76, встречаются повторы слов. На рис. 33 по оси

ординат единица измерения окислительно-восстановительного потенциала указана в V, в тексте – в В. Не ясна логика построения рисунка 36 (четырёхкратное повторение на нём комплекса $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$).

Защищаемое положение доказано тщательным анализом результатов термодинамического моделирования и выводами, которые Альфия Шамилевна сделала при обработке результатов экспериментов.

Первое предложение **третьего защищаемого положения** в той формулировке, в которой оно представлено в тексте диссертации, почти повторяет часть первого защищаемого положения и содержит выводы об активных поверхностных процессах преобразования золота благодаря взаимодействию вода-порода. В главе 6 приводятся данные, позволяющие сформулировать вторую часть 3-го защищаемого положения о различиях в механизмах преобразования золота в техногенно-минеральных образованиях намывного и насыпного типов.

Положение полностью доказано большим количеством фактического материала, а также проведённым тщательным исследованием.

Достоверность сделанных в диссертации выводов определяется представительностью фактического материала, высокой квалификацией автора при обработке аналитических данных, тщательностью проводимых исследований, грамотным анализом литературных данных и использованием комплекса современных методов исследования вещества. В целом, диссертация производит хорошее впечатление, выбрана интересная, актуальная и практически значимая тема, подобран адекватный задачам комплекс методов исследования, работа хорошо структурирована и изложена, в целом, грамотно.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Работа апробирована на международных и всероссийских конференциях. Основное содержание и научные положения диссертационной работы опубликованы в 2 статьях (обе под первым авторством) в научных рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК, в 15 материалах и тезисах конференций.

Альфией Шамилевой проведена большая работа по определению основных типоморфных характеристик самородного золота с оценкой степени его преобразования в процессе хранения техногенного вещества. Соискателем сделан весомый вклад в понимание процессов миграции и концентрирования золота в техногенно-минеральных образованиях. Поставленные в работе задачи полностью выполнены и цель достигнута.

Диссертация соответствует паспорту специальности «25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» в пунктах: 1. «Условия

образования месторождений твердых полезных ископаемых»; 2. «Техногенные месторождения, перспективы их промышленного освоения: хвосты обогатительных фабрик, отвалы бедных руд и др».

Диссертационная работа А.Ш. Хусаиновой удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. (№ 842) (ред. от 21.04.2016), и может рассматриваться как завершенная научно-квалификационная работа, в которой содержится решение актуальной научной задачи, имеющей существенное значение для геологии.

Считаю, что диссертация А.Ш. Хусаиновой отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор достойна присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения (геолого-минералогические науки).

Ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук

кандидат геол.-мин. наук
10.11.2020



Юркевич Наталия Викторовна

630090, Новосибирск. Проспект академика Коптюга, 3, ИНГГ СО РАН
e-mail: yurkevichnv@ipgg.sbras.ru
Тел.: 8 923 241 08 23

Я, Юркевич Н.В., даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

