

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертационную работу САРЫГ-ООЛА БАГАЙ-ООЛА
ЮРЬЕВИЧА «Концентрирование и формы нахождения золота и сопутствующих
элементов при взаимодействии сульфидсодержащих отходов обогащения с природным
органическим веществом», представленную на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия,
кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Актуальность темы. Актуальность темы исследования сомнений не вызывает. С углеродсодержащими породами и природными органо-минеральными объектами связано большое количество рудопроявлений и месторождений. Сложные взаимодействия, протекающие в системе минеральный гетерогенный субстрат – органические вещества, являются предметом дискуссий, научных споров. Органическое вещество в природных и природно-техногенных комплексах, не прошедших даже стадию диагенеза, последние два десятилетия привлекают пристальное внимание исследователей.

Еще одним аспектом исследований, заслуживающим внимания, недостаточно изученным, являются процессы взаимодействия вещества техногенных объектов и фрагментов природных систем с преобладанием в составе органических компонентов. Выбор двух техногенных объектов в Кемеровской области, с одной стороны близких по условиям формирования, с другой стороны, отличающихся по минералого-геохимическим параметрам, является обоснованным и заслуживающим внимания в качестве модельных объектов для пристального изучения. Решение вопросов форм миграции, условий концентрирования золота в подобных объектах и попытка на уровне эксперимента приблизиться к решению проблемы заслуживает всяческих похвал.

Цель и задачи работы. Формулировки цели и задач чёткие, в тексте диссертации последовательно рассмотрены. Для решения поставленных задач диссертантом использован комплекс полевых трёхлетних натуральных наблюдений. Аналитические работы выполнены с использованием современной приборной базы не только базового института места работы соискателя ученой степени. На первый взгляд, три отобранных колонки на двух объектах, вызывают вопросы по объему материала для исследований, но дальнейший комплекс аналитических работ и его разноплановость, включая экспериментальные исследования, свидетельствуют о представительности материала для диссертационной работы.

Оформление диссертационной работы. Диссертация изложена на 185 страницах машинописного текста, состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы из 377 источников, содержит 25 рисунков и 18 таблиц, 2 приложения. Работа последовательна по логике изложения. Диссертант владеет и правильно использует основные термины и определения.

Научная новизна. Для Урского хвостохранилища на примере двух колонок из механического ореола рассеяния детально изучен химический и кратко минеральный состав отходов обогащения и подстилающих, перекрывающих и находящихся внутри техногенного материала сложных по морфологии тел органического вещества. Исследованы особенности морфологии, геохимии, кратко минералогии техногенного и органического материала в колонке Комсомольского хвостохранилища. Охарактеризованы формы нахождения потенциально токсичных элементов и благородных металлов в отходах обогащения первичных руд и руд зоны окисления. Диссертантом обосновано использование модифицированной 7-ступенчатой методики выщелачивания для изучения форм нахождения потенциально токсичных элементов и золота. Это позволило установить ряд закономерностей и вероятные причины повышенной мобильности благородных металлов (Au, Ag), изучить химический состав поровых растворов из материала хвостохранилища, состав водных вытяжек и определить потенциальные формы нахождения золота.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость исследований вытекает из результатов изучения закономерностей, установленных как в ходе экспериментальных работ по установлению высокой роли органического вещества в процессах фиксации потенциально токсичных элементов и процессах миграции благородных металлов. Практическая значимость является продолжением полученных теоретических знаний о процессах как миграции, так и, главным образом, о процессах фиксации микроэлементов. Эти данные могут быть использованы в процессах рекультивации и консервации природно-техногенных объектов с кислой реакцией среды.

Глава 1. Содержит литературный обзор по проблематике диссертационной работы. По объему изложения материала и стилю близка к оптимальной. Общая геохимия золота, формы нахождения золота в горных породах с фокусом на поведение элемента в углеродсодержащих матрицах рассмотрены подробно.

Глава 2. Содержит описание объектов исследования. Ново-Урское и Комсомольское месторождения кратко охарактеризованы от истории открытия и эксплуатации до формирования отходов добычи руд и отходов обогащения. По результатам ранее проведенных исследований охарактеризованы геометрические параметры хранилищ отходов обогащения, состав дренажных вод, минеральный состав и общая геохимия объектов.

Глава 3. Изложены методы отбора проб, пробоподготовки, аналитических работ с приведением данных по методикам, методам и параметрам использованных внешних стандартов для контроля точности и воспроизводимости аналитических процедур.

Глава 4. На 25 страницах представлено распределение потенциально токсичных элементов, благородных металлов, потерю при прокаливании и органического углерода в вертикальных профилях трёх колонок по Урскому и Комсомольскому объектам. С использованием сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом установлены основные формы фиксации элементов в виде минеральных фаз.

Глава 5. Посвящена формам нахождения элементов, установленным по данным селективных химических экстракций на основе изучения трёх вертикальных колонок.

Глава 6. Полностью представляет материал модельных экспериментов. Грамотно подобран перечень веществ для использования в процедурах выщелачивания.

Глава 7. Является обобщающей и раскрывает результаты исследований с элементами интерпретации и является более чем полезной для обоснованных научных выводов .

Соискатель выносит на защиту следующие научные положения:

1. Поступающие из сульфидсодержащих отходов обогащения и техногенных растворов Cu, Zn, As, Se, Sb, Pb аккумулируются природным органическим веществом и извлекаются из него при ступенчатом выщелачивании в легкоокисляемую (вторичные сульфиды Zn, Hg, Sb, селениды Hg) и восстанавливаемую (ассоциированные с различными вторичными соединениями Fe(III)) фракции, при этом в кислых средах доля легкоокисляемой фракции выше, а в нейтрально-слабощелочных средах существенна доля кислоторастворимой фракции.

Доказательства первого защищаемого положения проведено в главах 4-5. Основой и собственно доказательной базой являются результаты анализа вещества трёх колонок и результаты постадийных химических экстракций. Принципиальных замечаний к защищаемому положению нет, за исключением оттенка тривиальности в завершающей части длинного предложения:”.....при этом в кислых средах доля легкоокисляемой фракции выше, а в нейтрально-слабощелочных средах существенна доля кислоторастворимой фракции”.

2. При ступенчатом выщелачивании Au-содержащих веществ происходит совместное извлечение нескольких форм Au в легкоокисляемую и трудноокисляемую фракции. В легкоокисляемую фракцию преимущественно извлекается Au, сосажденное с органическим веществом и с соединениями Fe(III). Наноразмерное и связанное в эндогенных сульфидах Au извлекается в трудноокисляемую фракцию (до 71 % и 95 %, соответственно), тогда как крупное Au содержится в остатке (до 88 %).

Второе защищаемое положение базируется на материалах, изложенных в главе 6. Основой являются результаты последовательного выщелачивания с использованием модельных веществ и их смесей. Полученные результаты содержат элементы неоднозначности и соискатель пытается найти приемлемые варианты интерпретации. Оппоненту непонятна окончание третьего предложения:”.....тогда как крупное Au содержится в остатке (до 88 %)”. Соискатель имеет ввиду остаточную фракцию? Или некий остаток другого рода?

3. Сульфидсодержащие отходы, обогащенные органическим веществом, характеризуются высокими концентрациями водорастворимых форм Au (0.035-0.23 г/т) и Ag (0.017-0.24 г/т), вне зависимости от pH среды. Au аккумулируется в

виде форм, извлекаемых в легкоокисляемую (связанное с органическим веществом, до 40.7%), восстанавливаемую (связанное с соединениями Fe(III), до 29.8 %), трудноокисляемую и остаточную фракции (nano- и субмикронные выделения Au⁰, до 96.7 %). Ag аккумулируется в виде форм, извлекаемых в легкоокисляемую и восстанавливаемую фракции (54.0-86.6 %), аналогично потенциально токсичным элементам.

Материалами для обоснования третьего защищаемого положения послужили данные, изложенные в главах 4 и 5. Выводы, облеченные в виде защищаемого положения, сомнений не вызывают, но, присутствующая неоднозначность интерпретации результатов несколько затушевывают аргументированность положения.

Основной объем защищаемых положений, их отдельные фрагменты, содержатся в опубликованных статьях. Они имеют, преимущественно, теоретическую значимость.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По содержанию и основным разделам диссертации имеются разноплановые и разномасштабные замечания и вопросы.

Названия отдельных глав и разделов вызывают вопросы. Раздел 1.2 “Золото в углеродсодержащих горных породах и его взаимодействие с органическим веществом”. Как видится процесс взаимодействия золота с органическим веществом в чёрных сланцах нижнего протерозоя?

Раздел 1.3. “Хвостохранилища”. Неуместный пример гиперлаконичности.

Раздел 1.4 “Проблема изучения форм нахождения Au в природных объектах”. Диссертация посвящена геохимии техногенных объектов.

Разделы 4.1 и 4.2 последовательно рассматривают анализ колонок К 2 и К 1. Единственным обоснованием такой последовательности изложения является тезис о значительно более высоких содержаниях благородных металлов в колонке К 2. На взгляд оппонента выглядит неубедительно.

Раздел 6.2 “Руды Ново-Урского месторождения и отходы их обогащения”. Оппонент нигде по тексту диссертации не нашел данных о том, как и где, каким способом были отобраны пробы руд (первичных и зоны окисления) на отработанном месторождении с возрастом начала отработки 80 лет. По Комсомольскому месторождению приведены данные начала и окончания эксплуатации, глубина и способ отработки. По Ново-Урскому месторождению данных нет.

Переходя к вопросам и замечаниям по тексту диссертации.

1. Актуальность исследования взаимодействия органического вещества с золотом в процессах миграции последнего на примере континентального гипергенеза-техногенеза в исторический отрезок длиною в век не вызывает сомнений. Но транслировать результаты изучения подобного рода процессов миграции, трансформации и фиксации определенных форм золота на природные тела, пережившие диагенез, катагенез и метаморфизм, не стоит.

2. Начиная с главы 2 и далее рассматриваются процессы взаимодействия органического вещества и отходов обогащения. Колонки К 1 и К 2 отобраны в головной (начальной) части механического потока рассеяния при размыве хвостохранилища первичных руд и окисленных руд. Колонки отобраны, судя по фотографиям, среди преобладающих либо оторфованных гидроморфных почв, либо торфяника. Если торфяника, то какого типа? По кочке или межкочечному пространству? Перечисленные микроэлементы рельефа и тип органического субстрата имеет отличные содержания и соотношения гуминовых кислот, фульвокислот, лигнина, что значительно влияет на процессы миграции микроэлементов и благородных металлов. Только в главе 7 на стр. 130 в таблице можно обнаружить, что торф осокового типа, т.е. низинный.

3. В подрисуночной подписи к рис. 2.2 с фотографией Урского хвостохранилища на рисунке b - обозначено "породный отвал"; с – "вид на отвал отходов первичных руд (слева) и отходов руд зоны окисления (справа)". В соответствии с классификацией горнопромышленных отходов выделяются два типа:

- отходы добычи руд (породные отвалы и отвалы некондиционных руд);
- отходы обогащения руд (хвостохранилища).

В соответствии с этим, подрисуночную подпись к рисунку "с" следовало бы оформить как: "вид на хвостохранилище первичных руд (слева) и хвостохранилище руд зоны окисления (справа)". На рисунке 3.1 подрисуночные подписи к колонам К 1 и К 2 приведены с теми же ошибками в классификации горнопромышленных отходов.

4. Значимый и основной методический вопрос по главе 3 на странице 44. Пробы колонок высушивали на воздухе и истирали на вибропистолете. В дальнейшем, часть материала каждой пробы была использована для постадийных экстракций. При такой пробоподготовке нужно учитывать два обстоятельства:

- состав поровых вод в ореоле рассеяния Урского хвостохранилища неизвестен, но судя по концентрациям сульфат-иона поверхностного водотока (3 600 мг/л), дренирующего хвостохранилище, они близки к рассолам с pH 1.9. При сушке на воздухе из поровых вод кристаллизуются многочисленные сульфаты. В нативном состоянии (места отбора колонок в природно-техногенном ландшафте) окристаллизованных сульфатов нет, присутствует сульфатный рассол. Соответственно, нет и водорастворимых форм микроэлементов и золота;
- высушенные пробы истирались. Тем самым многократно увеличивалась величина удельной площади поверхности первичного материала, который затем использовался для постадийных экстракций по 7-ступенчатой схеме, что, в свою очередь, явно влияло на результаты эксперимента. На взгляд оппонента, если по первому пункту сделать методически было что-то сложно, то по второму пункту нужно было использовать высушенный материал с первичным гранулометрическим составом без измельчения.

5. На стр. 48 главы 3 приведены данные по методическим приемам аналитических работ и средствам выполнения измерений. Отмечено, что атомно-абсорбционный метод (AAC) был реализован в двух вариантах – пламенном и электротермическом. Но Ti и Sr можно

проанализировать только AAC в пламенном режиме со смесью закись азота-ацетилен. Se – в режиме генерации гидридов (с приставкой). Или не все режимы и условия выполнения измерений были указаны в соответствующем разделе главы 3? Отдельный вопрос по анализу Au и Ag в аликвотах вытяжек при экспериментальных работах. Все вытяжки объемом 20 мл, а фракция 6 объемом 10 мл. При определении валовых содержаний Au с жидкостной экстракцией диоктилсульфидами нефти объем аликвоты составляет обычно 100 мл, минимум 50 мл для получения в “шее” мерной колбы столбика органики, достаточного для последующего анализа Au. Каким образом удалось анализировать аликвоты в 20 и 10 мл в постадийных экстракциях?

6. Основные вопросы по таблице 3.1:

- органическое вещество выщелачивается вытяжкой 1 и вытяжкой 4. Чем отличаются эти органические соединения? В разделе 3.3 ответа на этот вопрос нет. В одной из последующих глав имеется только слабое упоминание о вероятной разнице в составе органического вещества;
- не так однозначна интерпретация карбонатных форм элементов в вытяжке 3 ацетатом аммония при pH 5.5 для материала Комсомольского хвостохранилища. Если бы вытяжка была реализована для материала Урского хвостохранилища, где карбонаты отсутствуют, то результат оказался бы на уровне 5-12% от валовых содержаний, в зависимости от элемента. С использованием метода Мёссбауэрской спектроскопии доказано, что эта вытяжка извлекает формы элементов, связанных с пленочными рентгеноаморфными гидроксидами железа;
- в разделе 3.3 нет данных о сходимости валовых содержаний элементов с их суммарным содержанием по вытяжкам. Лишь в первом предложении раздела 5.1(?) обозначено, что эти данные хорошо согласуются. Без минимальных цифровых данных в форме краткой таблицы это положение выглядит декларативным.

7. Реестр веществ, использовавшихся в модельных экспериментах, приведен в виде двух таблиц в конце главы 3. А обсуждение результатов экспериментов начинается в главе 6. Крайне неудобно.

8. В разделе 6.1 в первом абзаце может таиться серьезный методический просчет в постановке экспериментов по модельным смесям. Рассуждая о вероятных причинах наличия водорастворимой, в том числе, фракции Au при выщелачивании крупного самородного золота, докторант отмечает: “.....связаны с переносом взвеси при декантации.” Отсутствие фильтрации более понятно изложено во втором абзаце на стр. 128. Очевидно, что полный отказ от фильтрации экспериментальных растворов, может приводить к искаженным результатам в интерпретации фракционирования. Но, на взгляд оппонента, даже фильтрация через мембранные с размером пор 450 нм не позволила бы, в полной мере, решить эту проблему, т.к. золото в экспериментальных растворах может присутствовать в виде соединений размером и 100 и 20 нм и менее. Одним из вариантов является каскадная ультрафильтрация через полисульфоновые мембранны 100, 10 и 1 kDa.

Соответствие работы научной специальности. Диссертация Сарыг-оола Багай-оола Юрьевича соответствует п. 13 и п.14 паспорта специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Общее заключение по работе. Представленная к защите диссертационная работа Сарыг-оола Багай-оола Юрьевича на тему «Концентрирование и формы нахождения золота и сопутствующих элементов при взаимодействии сульфидсодержащих отходов обогащения с природным органическим веществом» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно. Сильными сторонами выполненной работы являются: исследование распределения концентраций валовых форм элементов в вертикальных колонках с использованием современных аналитических методов; реализация одной из трудных задач в экологической геохимии – определение потенциальных форм нахождения элементов в материале природно-техногенного происхождения на основе постадийных экстракций; грамотно построенные и реализованные экспериментальные работы по изучению поведения золота в растворах из модельных материалов. Работа выполнена по актуальной тематике, содержит решение научных задач, имеющих значение для развития соответствующей отрасли знания. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 раздела II Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (в редакции от 26.01.2023 г.), а ее автор, Сарыг-оол Багай-оол Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Автор отзыва

Удачин Валерий Николаевич, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», директор Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук

Адрес организации: 456317 Челябинская область, г. Миасс, тер. Ильменский заповедник

Интернет-сайт организации: <http://www.chelscience.ru/>

E-mail автора отзыва: udachin@mineralogy.ru

Телефон автора отзыва: 8-3513-298098

Я, Удачин Валерий Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



В.Н. Удачин

04.12.2023

Подпись Удачина В.Н. заверяю

Верно
Начальник отдела кадров
ЮУ ФНЦ Миг УФНЦ РАН