

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 диссертации Сарыг-оола Б.Ю. определяется тем, что углеродсодержащие породы (черные сланцы, угли, торф) часто характеризуются высокими содержаниями U, Au, Ge, Ga, Sc, PЗЭ и других ценных элементов, достигающих в некоторых отложениях промышленных концентраций. Исследование взаимодействия в системе «минеральное и органическое вещество» в гипергенных условиях и выявление закономерностей накопления в последнем благородных металлов, редких и рассеянных элементов является обширной и актуальной областью исследований. Известно, что природное органическое вещество (ОВ) эффективно концентрирует микроэлементы (в том числе благородные металлы) и обладает способностью удерживать их в растворе, препятствуя сорбции элементов на минеральной составляющей отложений, что заметно увеличивает их мобильность.

В основу работы положен материал, собранный автором и его коллегами в полевые сезоны 2014 и 2016 гг., а также экспериментальные и аналитические работы, проведенные в лаборатории геохимии благородных и редких элементов (№2 18) ИГМ СО РАН и в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. В основе разработанной методологии работы лежит комплексное минералого-геохимическое исследование фактического материала, отобранного в ходе экспедиционных работ. Диссертантом проведены экспериментальные работы (с применением модельных веществ и смесей), призванные помочь в интерпретации полученных данных. Достоверность результатов обеспечена: представительностью отобранных проб, методикой их отбора и подготовки, использованием современных инструментальных методов анализа, проведением комплексного минералого-геохимического исследования, точность которых обеспечивалась внутренним и внешним контролем анализов.

Цель и задачи работы сформулированы четко и последовательно раскрыты в тексте диссертации. Для решения поставленных задач диссертантом использован комплекс полевых, лабораторных, камеральных и широкий спектр различных методов исследований, а также современная приборная база, имеющая высокий уровень достоверности полученных результатов.

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. Работа обладает внутренним единством.

Стиль изложения ясный, научный. Автор грамотно использует общепринятые в естественнонаучной литературе термины и определения.

Научная новизна. Впервые для Ново-Урского месторождения и Урского хвостохранилища детально изучен состав и охарактеризованы формы нахождения потенциально токсичных элементов (Cu, Zn, As, Se, Pb) и благородных металлов (Au и Ag) в рудах первичных и зоны окисления, в отходах их обогащения, в обогащенном органическим веществом материале (торф, детрит) из потока рассеяния хвостохранилища. Автором предложена модифицированная 7-ступенчатая методика выщелачивания для изучения форм нахождения Au и сопутствующих элементов в образцах природного и техногенного происхождения, которая позволила: установить причины повышенной мобильности благородных металлов, изучить химический состав поровых растворов из материала хвостохранилища и выявить особенности распределения Au по фракциям.

Теоретическая и практическая значимость. Установлены закономерности концентрирования золота и сопутствующих элементов органическим веществом из раствора, которые объяснили процессы, приводящие к металлоносности углеродсодержащих горных пород: черные сланцы, угли и др. Природно-техногенная система, сформированная на хвостохранилище, может рассматриваться как модель раннего накопления различных элементов в процессе складирования отходов обогащения. С прикладной точки зрения закономерности концентрирования элементов органическим веществом и трансформация их форм нахождения при взаимодействии с отходами обогащения может стать отправной точкой для создания систем ремедиации и рекультивации хвостохранилищ, в которых органическое вещество предлагают использовать в качестве рекультивационного субстрата. В перспективе результаты исследований могут составить основу для создания технологий доизвлечения ценных компонентов из отходов обогащения.

Глава 1 диссертационной работы включает 17 стр. Она посвящена литературному обзору по тематике исследования – общей геохимии Au, его формам нахождения в различных горных породах. Рассмотрено поведение элемента в углеродсодержащих горных породах (черные сланцы, угли, торф) и его взаимодействие с ОВ. Приведен обзор химических методов исследования форм нахождения Au в природных объектах. Дано краткое описание хвостохранилищ и сульфидсодержащих отходов обогащения, внимание акцентировано на процессах гипергенного изменения вещества

В главе 2 на 14 стр. приведено детальное описание объектов исследования: Ново-Урского и Комсомольского месторождений, одноименных хвостохранилищ, их дренажных вод и штейна осадительной плавки сурьмяного концентрата Кадамжайского комбината. Показан минеральный состав руд и отходов обогащения, а также минерализация дренажных вод.

В главе 3 на 12 стр. показаны методы исследования, включая экспериментальные.

В главах 4-6 на 70 стр. представлены: геохимические и минералогические результаты исследования, установленные формы нахождения макро- и потенциально

токсичных элементов, а также благородных металлов (Au и Ag), и результаты модельных экспериментов.

Глава 7 на 15 стр. приводится обсуждение полученных результатов.

В работе имеются выводы и приложения, список принятых сокращений.

Соискатель выносит на защиту и обосновывает 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.

Доказательство первого защищаемого положения проведено в главах 4-5. на основании изучения и анализа строения и состава двух вертикальных колонок 37, 43 см и разреза 130 см, отобранных на изучаемых хвостохранилищах.

2. При ступенчатом выщелачивании Au-содержащих веществ происходит совместное извлечение нескольких форм Au в легкоокисляемую и трудноокисляемую фракции. В легкоокисляемую фракцию преимущественно извлекается Au, соосажденное 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 %).

Данное защищаемое положение рассмотрено в главе 6. Его доказательство проведено с помощью ступенчатого выщелачивания с использованием модельных веществ и их смесей. Автор отмечает, что при ступенчатом выщелачивании Au наблюдается совместное извлечение нескольких его форм в одной фракции. Таким образом, интерпретация результатов выщелачивания требует большего внимания и дополнительных исследований.

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 (нано- и субмикронные выделения Au⁰, до 96.7 %). Ag аккумулируется в виде форм, извлекаемых в 12 легкоокисляемую и восстанавливаемую фракции (54.0-86.6 %), аналогично потенциально токсичным элементам.

Суть, аргументированность и детализация третьего защищаемого положения показаны в 4-5 главах.

Все защищаемые положения обоснованы в статьях, опубликованных в научной литературе. Они имеют теоретическую и практическую значимость. Последовательность научных положений выражает ход решаемых задач.

Выводы сделаны на основании наиболее значимых результатов, с учетом поставленных задач.

Аннотация полностью отражает содержание диссертации.

Публикации и апробация результатов. Все результаты, выносимые на защиту и основное содержание диссертации, изложены: в одной монографии в соавторстве, в 11 публикациях статей, из которых одна напечатана в рецензируемых периодических журналах перечня ВАК, а 5 в индексируемых в международных наукометрических базах Web of Science и/или Scopus. Работа прошла широкую апробацию в среде научно-производственной общественности. Результаты исследований по теме диссертации были доложены на 11 международных, всероссийских, региональных конференциях и научных совещаниях.

К диссертанту и тексту диссертации имеется ряд вопросов и замечаний:

Вопросы:

1. По какому принципу, кроме Au и Ag, проводился подбор элементов для качественного и количественного определения, изучения и распределения их в разрезах?

2. На стр. 51 в предложении «Методика ступенчатого выщелачивания. В настоящем исследовании схема методики ступенчатого выщелачивания была основана на тех, что применяются для выщелачивания сульфидсодержащих отходов обогащения [Fanfani et al., 1997; Dold and Fontbote, 2002; Dold, 2003; Sidenko et al., 2005], » сказано, что методика взята из ссылок. Почему методика приводится в разделе: «Научная новизна»? В чем конкретно заключается новизна?

3. Стр. 60. речь идет о водной вытяжке. Как вы ее готовили?

4. Стр. 124. Описание Ново-Урского месторождения и хвостохранилища приведены в 2 главе. Почему состав руд первичных и зоны окисления приведены в разделе: **6.2 Руды Ново-Урского месторождения и отходы их обогащения?**

5. Стр. 132. В предложении «Ближе всего к контакту с отходами располагаются пики Se и Au (КК = 3.5 и 64), затем – Pb (КК=0.5), ниже – Zn (0.7), далее – Cu (КК=4.8) и последний – Cd (КК=0.9).» приведено сокращение КК. Как его расшифровать и в каких единицах измерения приводятся содержания элементов? Оно отсутствует в списке сокращений.

6. Почему в «Главе 7. Обсуждение результатов» дается фактически литературный обзор по исследуемой проблеме? Следовало вставить эти данные в соответствующую главу диссертации, тогда бы более четко проявились результаты исследования и их соответствие с названием главы.

Мелкие замечания, которые портят впечатление от оформления диссертации, мешают ее читать и вникать в смысл предложений:

1. Очень много повторов одного слова как в предложении, так и по тексту в соседних фразах. Следует использовать слова синонимы и местоимения.
2. Рисунки ставятся после ссылки в тексте (рис. 2.1 находится на стр. 30, а ссылка на стр. 31).
3. Ссылка на источник литературы 2-х авторов делается через запятую (Гринвуд, Эрншо, 2008), а не через союз (Гринвуд и Эрншо, 2008).
4. Если единицы измерения часто повторяются в предложении, то следует их выносить в скобках в начало перечисления. Это относится и к таблицам. Их надо формировать, чтобы единицы измерения были в шапке или в дополнительной строке. Следовательно, табл. 2.1, 2.3 и др. можно было упростить.
5. На стр. 45 в предложении «Поскольку материал.....оно было аккуратно разделено на две пробы К2С1 и К2С2». Следовало написать «Поскольку материал.....она было аккуратно разделено на две пробы С 1 и С 2».
6. Стр. 82 « илистый материал ОРЗО (С-3,4,5 и С9,10,11,12,13); ...» перечисление без пробелов и правильное написать: С – 3-5 и С – 9-13.
7. Есть мелкие замечания: инициалы и фамилии авторов по тексту и в списке литературы, а также величина содержания и единицы измерения должны быть на одной строке. Не везде по тексту отмечается единообразие использования тире и штрих, а также отсутствуют пробелы. Слово «соответственно» в конце предложения выделяется запятой.
8. Стр. 135. «Аккумулирующие свойства новообразованного почвы слабо выражены,....», надо «Аккумулирующие свойства новообразованного слоя почвы слабо выражены,....», Пропущено слово.
9. Стр. 137. «Минералогические исследования выявили серусодержащие соединения Sb с...» правильно – серосодержащие.
10. Нет четких выводов в конце глав, где приведены результаты исследования в ней.
11. Выводы растянуты, а 4 и 5 следовало объединить с последующей краткой конкретизацией по формам золота.
12. Рисунки в автореферате приводятся диссертантом в конце, а не по тексту, что вызывает неудобство при его чтении. С большим трудом удастся найти доказательство защищаемых положений в тексте диссертации, так как они там не выделены.

Соответствие работы научной специальности. Диссертация Сарыг-оола Б.Ю. соответствует п. 13 (Изучение химического состава природного вещества в геологических и связанных с ними системах (земной коре, глубинных геосферах Земли, гидросфере, атмосфере, техносфере, внеземных объектах, живом веществе) и процессах, исследование состояния, форм нахождения, закономерностей распространенности и поведения

(распределения, концентрирования, фракционирования) химических элементов и их изотопов) и п.14 (Теория и методы оценки количеств, состояния и форм нахождения химических элементов и их изотопов в природе; разработка принципов и методов физико-химического моделирования геохимических систем и процессов, методов математической обработки геохимических данных и математического моделирования геохимических процессов) паспорта специальности 1.6.4.

Общее заключение по работе. Представленная к защите диссертационная работа Сарыг-оола Б.Ю. на тему «Концентрирование и формы нахождения золота и сопутствующих элементов при взаимодействии сульфидсодержащих отходов обогащения с природным органическим веществом» является завершенной научно-квалификационной работой. Она выполнена по актуальной тематике, содержит решение научных задач, имеющих значение для развития соответствующей отрасли знания. Полученные результаты дополняют теоретические представления о влиянии на окружающую среду и возможных путях снижения экологической безопасности. Автореферат повторяет содержание 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 Б.Ю., заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Автор отзыва

Зверева Валентина Павловна, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.36 «Геоэкология», главный научный сотрудник лаборатории Геохимии гипергенных процессов Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

Адрес организации: 690022 г. Владивосток, пр-т 100 летия Владивостока, 159

Интернет-сайт организации: <http://www.fegi.ru/> E-mail автора отзыва: zvereva@fegi.ru

Телефон автора отзыва: 8-951-004-68-24 (мобильный)

Я, Зверева Валентина Павловна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Зверева В.П.



10. 11. 2023 г.

Подпись Зверевой В.П. заверяю

