

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.050.02 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В.С. СОБОЛЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 декабря 2023 г. № 02/9

О присуждении **Сарыг-оолу Багай-оолу Юрьевичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Концентрирование и формы нахождения золота и сопутствующих элементов при взаимодействии сульфидсодержащих отходов обогащения с природным органическим веществом»** по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых», принята к защите 20 октября 2023 г., протокол № 02/7 диссертационным советом 24.1.050.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3) приказ МИНОБРНАУКИ России № 1113/нк от 23.05.2023 г.

Соискатель **Сарыг-оол Багай-оол Юрьевич**, 1990 года рождения, в 2014 году окончил специалитет факультета естественных наук Новосибирского государственного университета по специальности «химия». В 2017 году окончил очную аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук по специальности 25.00.09 – «Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат геолого-минералогических наук **Лазарева Елена Владимировна**, старший научный сотрудник лаборатории геохимии благородных и редких элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты: **Удачин Валерий Николаевич**, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – «Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых», директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук; **Зверева Валентина Павловна**, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.36 – «Геоэкология», главный научный сотрудник лаборатории геохимии гипергенных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук дали **положительные отзывы на диссертацию**.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, в своем положительном заключении, подписанном **Таусоном Владимиром Львовичем**, доктором химических наук, заведующим лабораторией моделирования геохимических процессов, **Кравцовой Раисой Григорьевной**, доктором геолого-минералогических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории моделирования геохимических процессов, и **Макшаковым Артемом Сергеевичем**, кандидатом геолого-минералогических наук, старшим научным сотрудником лаборатории моделирования геохимических процессов, **указала**, что диссертационная работа Сарыг-оола Б.Ю. является законченным научным исследованием, в котором получены новые геохимические и минералогические данные для материала Урского и Комсомольского хвостохранилищ: впервые для материала обоих объектов исследованы формы нахождения потенциально токсичных элементов (Cu, Zn, As, Se, Pb, Sb) и благородных металлов (Ag, Au); предложена методика ступенчатого выщелачивания, с помощью которой, в том числе, выявлены особенности распределения Au по фракциям ступенчатого выщелачивания из золотосодержащих веществ.

Соискатель имеет 23 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 10 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Сарыг-оол Б.Ю., Мягкая И.Н., Жмодик С.М., Теплякова Т.В., Лазарева Е.В. Экспериментальные данные по ступенчатому выщелачиванию веществ с известными формами нахождения Au //Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 2S. – С. 0619.

2. Saryg-ool B.Yu., Myagkaya I.N., Kirichenko I.S., Gustaytis M.A., Shuvaeva O.V., Zhmodik S.M., Lazareva E.V. Redistribution and speciation of elements in gold-bearing sulfide mine tailings interbedded with natural organic matter: case study of Novo-Ursk deposit, Kemerovo Region, Siberia // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2020. – Т. 20,(3). – С. 323-336.

3. Myagkaya I.N., Saryg-ool B.Yu., Surkov O.N., Zhmodik S.M., Lazareva E.V., Taran O.P. Natural Organic Matter from the Dispersion Train of Gold Sulfide Tailings: Fraction Compositions and Speciation of Elements // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2021. – V. 21, №1, geochem2020-052.

4. Мягкая И.Н., Сарыг-оол Б.Ю., Лазарева Е.В., Жмодик С.М. Моделирование процесса сорбции Au природными сорбентами в условиях потока рассеяния сульфидного хвостохранилища // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. – 2019. - Т. 12. - № 4. - С. 580–589.

5. Мягкая И.Н., Сарыг-оол Б.Ю., Лазарева Е.В., Густайтис М.А., Жмодик С.М. Количественная оценка содержания Au и Ag в различных соединениях Ново-Урского месторождения и хвостохранилища // Вопросы естествознания. – 2018. - №1(15). – С. 121–127.

6. Сарыг-оол Б. Ю., Мягкая И. Н., Лазарева Е. В. Экспериментальное исследование форм нахождения Au после сорбции из раствора на гидроксидах Fe(III) и гуминовых кислотах // Вопросы естествознания. – 2018. - №2(16). – С. 106–111.

7. Saryg-ool B.Yu., Myagkaya I.N., Kirichenko I.S., Gustaytis M.A., Shuvaeva O.V., Zhmodik S.M., Lazareva E.V. Redistribution of elements between wastes and organic-bearing

material in the dispersion train of gold-bearing sulfide tailings: Part I. Geochemistry and mineralogy // Science of the Total Environment. – 2017. – Т. 581-582. – С. 460-471.

8. Мягкая И.Н., Сарыг-оол Б.Ю., Лазарева Е.В. Связь корреляций Cu, Zn, Se, Ba, Hg, Ag, Au в веществе потока рассеяния Урского хвостохранилища с его минеральным составом // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2016. – №2. – С. 122–132.

9. Сарыг-оол Б.Ю., Мягкая И.Н., Лазарева Е.В., Кириченко И.С. Формы нахождения элементов в вертикальном разрезе потока рассеяния сульфидсодержащего хвостохранилища // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3(7). – С. 140–143.

10. Мягкая И.Н., Сарыг-оол Б.Ю., Густайтис М.А., Лазарева Е.В. Новообразованные минералы меди, цинка, селена, ртути, мышьяка, золота и серебра в потоке рассеяния сульфидсодержащего хвостохранилища // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3(7). – С. 118–122.

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов (все положительные, из них один без замечаний) от: 1) Белогуб Елены Витальевны, д.г.-м.н., доцента, главного научного сотрудника, заместителя директора по научной работе Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН; 2) Рождествой Вероники Ивановны, к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Института геологии и природопользования ДВО РАН; 3) Кочевой Людмилы Сергеевны, д.х.н., ведущего научного сотрудника Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; 4) Реутского Вадима Николаевича, д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Института геологии и минералогии СО РАН; 5) Хазова Антона Федоровича, к.г.-м.н., научного сотрудника Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, и Силаева Валерия Ивановича, д.г.-м.н., главного научного сотрудника Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; 6) Радомской Валентины Ивановны, к.х.н., ведущего научного сотрудника Института геологии и природопользования ДВО РАН; 7) Макарова Анатолия Борисовича, д.г.-м.н., доцента, профессора Уральского государственного горного университета; 8) Соктоева Булата Ринчиновича, к.г.-м.н., доцента Национального исследовательского Томского политехнического университета; 9) Шавекиной Альфии Шамилевны, к.г.-м.н., научного сотрудника Института геологии и минералогии СО РАН.

В отзывах отмечается актуальность, теоретическая и практическая значимость и высокий научный уровень исследования, аргументированность защищаемых положений, представительность фактического и экспериментального материала, полученного и проанализированного современными методами исследования. Подчеркивается значимый вклад работы в понимание процессов мобилизации и накопления золота в гипергенных условиях, в том числе трансформации различных форм Au при взаимодействии отходов обогащения и техногенных растворов с природным органическим веществом.

Основные замечания и комментарии по автореферату и диссертации касаются: 1) отсутствия статистического анализа результатов, анализа корреляционных связей между элементами, анализа корреляционных связей между данными исследования модельных и природных объектов (ведущая организация, Рождествова В.И.); 2) условной трактовки соискателем термина «формы нахождения элемента» без конкретной минералогической привязки для ряда изучаемых потенциально токсичных элементов (ведущая организация); 3) обоснованности экспериментальных работ с использованием модельных Au-содержащих веществ (ведущая организация, Шавекина А.Ш.); 4)

несоответствия используемой в работе классификации золота по размерности частиц общепринятой (ведущая организация, Шавекина А.Ш.); 5) возможности применения полученных в работе результатов при реконструкции природных процессов; 6) недостаточного описания изучаемого природного органического вещества (Удачин В.Н., Кочева Л.С.); 7) влияния выбранного способа подготовки проб к анализу на получаемые результаты (Удачин В.Н.); 8) обоснованности выбора условий методики ступенчатого выщелачивания, ее селективности, принципиальной новизны от известных в научной литературе (Удачин В.Н., Зверева В.П., Кочева Л.С.); 9) содержания водорастворимых форм золота и их корректного количественного определения, определению конкретных форм водорастворимого/подвижного золота (Удачин В.Н., Белогуб Е.В., Соктоев Б.Р., Шавекина А.Ш.); 10) подбора списка элементов для исследования (Зверева В.П.); 11) отсутствия в тексте диссертации и автореферата расшифровки сокращения КК (Зверева В.П., Реутский В.Н., Соктоев Б.Р.); 12) неосвещенности техногенеза отходов обогащения Урского и Комсомольского хвостохранилищ, как источника золота, серебра, потенциально токсичных элементов, роли сульфидов во взаимодействии отходов обогащения с органическим веществом (Рождествина В.И.); 13) конкретной роли микроорганизмов в концентрировании элементов (Реутский В.Н.); 14) определения размера наночастиц золота в модельных веществах; 15) отсутствия информации о количестве проведенных экспериментов; 16) влияния пробности золота на его поведение при ступенчатом выщелачивании (Шавекина А.Ш.).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Удачин В.Н. и Зверева В.П. являются признанными экспертами в области геохимии и минералогии гипергенных и техногенных процессов, имеют ряд публикаций в соответствующей данному исследованию сфере и способны объективно оценить работу.

Выбор ведущей организации (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Российской академии наук) обосновывается тем, что направление научно-исследовательской деятельности лаборатории моделирования геохимических процессов данного Института полностью соответствует тематике диссертации, а ее сотрудники имеют колоссальный опыт изучения геохимии микроэлементов и благородных металлов, в том числе и их форм нахождения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: предложена и апробирована методика ступенчатого выщелачивания, позволившая определить формы нахождения золота, серебра и потенциально токсичных элементов в отходах обогащения Урского и Комсомольского хвостохранилищ и в контактирующем природном органическом веществе; на основании этого **показано**, что природное органическое вещество, взаимодействующее с сульфидсодержащими отходами обогащения, аккумулирует Cu, Zn, As, Se, Sb, Pb, Au, Ag вне зависимости от физико-химических условий среды в хвостохранилище; **установлено**, что аккумуляция элементов органическим веществом сопровождается образованием форм нахождения, способных к повторной иммобилизации при смене условий среды, включая водорастворимые/мобильные формы золота.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны следующие 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.

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 %).

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 легкоокисляемую и восстанавливаемую фракции (54.0-86.6 %), аналогично потенциально токсичным элементам.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс минералого-геохимических методов анализа твердого материала, а также экспериментальные работы по изучению форм нахождения элементов с применением методики ступенчатого выщелачивания (7 фракций). В ходе исследования отобраны 3 керновые колонки материалов хвостохранилищ, которые были разделены на 41 пробу. Во всех пробах определены содержания породообразующих (РФА полный силикатный анализ, ААС), потенциально токсичных элементов (ААС, ИНАА, РФА-СИ) и благородных металлов (ААС). Для 9 проб выполнен элементный CHNS-анализ. Из всех проб были получены поровые воды и/или водные вытяжки, в которых определялись pH, Eh, содержания катионов, анионов и микроэлементов, в том числе Au и Ag (ИСП-АЭС, ИСП-МС, ионная хроматография, ААС). Для 41 пробы изучены формы нахождения потенциально токсичных элементов с применением методики ступенчатого выщелачивания (412 фракций выщелачивания анализировались методом ИСП-АЭС), для 33 проб – формы нахождения благородных металлов (300 фракций выщелачивания анализировались методом ААС). 10 насыпных и 5 полированных шашек с материалом, наиболее обогащенном золотом, исследовались методом СЭМ с энергодисперсионным микроанализом. Детальное сканирование материала колонок методом РФА-СИ включало порядка 1400 определений.

В диссертационной работе **обобщены** опубликованные данные по Урскому и Комсомольскому хвостохранилищам; **проведена модификация** методики ступенчатого выщелачивания для определения форм нахождения элементов в отходах обогащения сульфидных руд, обогащенных органическим веществом; **изложены** новые данные по общим содержаниям и формам нахождения потенциально токсичных элементов,

благородных металлов в материалах из Урского и Комсомольского хвостохранилищ; **изучено** поведение золота при ступенчатом выщелачивании Au-содержащих веществ с известными формами нахождения элемента; **проведено** сравнение полученных результатов с мировыми. Соискатель имеет общей сложности 23 публикации по теме диссертации, включая 10 статей в рецензируемых научных журналах. 6 статей по теме диссертации опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, 5 из них – в индексируемых в наукометрических базах Web of Science и Scopus.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные знания о закономерностях концентрирования элементов органическим веществом и трансформация их форм нахождения при взаимодействии с отходами обогащения необходимо учитывать при проектировании систем ремедиации и рекультивации хвостохранилищ с использованием органического вещества. В перспективе результаты исследований могут составить основу для создания технологий доизвлечения ценных компонентов из отходов обогащения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты аналитических работ получены с помощью современного сертифицированного оборудования в ведущих лабораториях России. Твердый материал: ААС – спектрометр Solaar M6 (Thermo Fisher), анализатор ртути Lumex RA-915M с пироприставкой PYRO-915+ (Lumex); РФА полный силикатный анализ – спектрометр ARL-9900-XP (Applied research laboratories); элементный CHNS-анализ – анализатор Euro EA 3000 (Eurovector); РФА-СИ – электрон-позитронный накопитель ВЭПП-3 с детектором PentaFET Si(Li) (Oxford Instruments); ИНАА – исследовательский ядерный реактор Томского политехнического университета; СЭМ – сканирующий электронный микроскоп MIRA 3 LMU (TESCAN Ltd) с системой микроанализа INCA Energy 450+ на базе энергодисперсионного спектрометра X-MAX 80 (Oxford Instruments NanoAnalysis). Водные растворы: ИСП-АЭС – спектрометр iCAP 6000 Series (Thermo Scientific); ИСП-МС – квадрупольный масс-спектрометр Agilent 7500se; ионная хроматография – анализатор 883 Basic IC plus (Metrohm); ААС – спектрометр Solaar M6 (Thermo Fisher); pH, Eh растворов – анализатор Анион 7051 (Инфраспек-Аналит); содержания органического углерода – анализатор Multi N/C 2100S (Analytik Jena AG).

Теоретическая часть работы основана на анализе опубликованных данных по теме диссертации. **Идеи диссертации базируются на** проверке данных об обогащенных золотом почв и торфов с высокими содержаниями/долей водорастворимых/подвижных элемента [Reith et al., 2005; Reith, McPhail, 2007; Myagkaya et al., 2013]. **Использованы** современные методики отбора проб и их инструментального анализа, литературные данные для обоснования условий ступенчатого выщелачивания. **Установлено,** что результаты, полученные соискателем, не противоречат литературным данным и общеизвестным фактам, являются научно-обоснованными и аргументированными.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в экспедиционных работах на территории Урского и Комсомольского хвостохранилищ совместно с коллегами, в отборе проб (горных пород и руд, отходов обогащения, торфов, почв, поверхностных вод) и их первичной обработке. Соискатель самостоятельно провел: пробоподготовку всего фактического материала для лабораторных исследований; минералого-геохимические исследования; обработку аналитических

данных. Совместно с соавторами проведена интерпретация полученных данных, написаны статьи, подготовлены доклады на конференции.

На заседании 21.12.2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Сарыг-оолу Б.Ю. ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 18 докторов наук по специальности 1.6.4 и 1 кандидат наук по специальности 1.6.4, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящего в состав совета, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных - 0.

Председатель
диссертационного совета, академик

Ученый секретарь
диссертационного совета, д.г.-м.н.

22.12.2023 г.



Н.П. Похиленко

О.Л. Гаськова