



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет»

 М.В. Корняков

« 28 » сентября 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Диссертация Шипнигова А.А. «Кучное сернокислотно-тиоцианатное выщелачивание окисленных золотоурановых руд с одновременным извлечением золота и урана» выполнена на кафедре металлургии цветных металлов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

В 2019 году Шипнигов Антон Андреевич окончил ФГБОУ ВО «ИРНТУ» по направлению подготовки 22.03.02 Металлургия, профиль «Металлургия цветных, редких и благородных металлов» с присуждением квалификации «бакалавр» и продолжил обучение в магистратуре. В 2021 году Шипнигов Антон Андреевич с отличием окончил ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по направлению подготовки 22.04.02 «Металлургия», программе магистратуры «Совершенствование и оптимизация технологических процессов производства цветных металлов» с присуждением квалификации «магистр».

В этом же 2021 году Шипнигов А.А. поступил на обучение в очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на кафедру металлургии цветных металлов. Успешно ее окончил в 2026 году и получил диплом с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Научный руководитель – Елифоров Александр Владимирович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ООО «Иннотех Инжиниринг» (ранее работал в должности ведущего научного сотрудника лаборатории металлургии АО «Иргиредмет»).

На расширенном заседании кафедры металлургии цветных металлов присутствовали:

Кафедра металлургии цветных металлов:

1. Аксенов Александр Владимирович – доцент каф., к.т.н., доцент;
2. Баранов Анатолий Никитич – профессор каф., д.т.н., профессор;
3. Бельский Сергей Сергеевич – доцент каф., к.т.н., доцент;
4. Васильев Андрей Анатольевич – доцент каф., к.т.н., доцент;
5. Зайцева Анна Александровна – ст. преподаватель каф.;
6. Кузьмина Марина Юрьевна – доцент каф., к.х.н., доцент;

7. Минеева Татьяна Султановна – доцент каф., к.т.н., доцент;
8. Немчинова Нина Владимировна – заведующая кафедрой, д.т.н., профессор;
9. Петровский Алексей Анатольевич – доцент каф., к.т.н.;
10. Сысоев Иван Алексеевич – доцент каф., к.т.н., доцент;
11. Тютрин Андрей Александрович – доцент каф., к.т.н., доцент
Кафедра Х и БТ им. профессора В.В. Тутуриной;
12. Яковлева Ариадна Алексеевна – профессор каф., д.т.н., профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Представленная Шипниговым Антоном Андреевичем диссертация обобщает самостоятельные исследования автора и является завершенным научным трудом, выполненным по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Актуальность темы диссертации

В современных условиях истощения запасов богатых и легкообогатимых руд благородных и редких металлов, вовлечение в отработку забалансовых, техногенных и комплексных месторождений становится стратегической задачей горнодобывающей отрасли. Особое место среди такого сырья занимают смешанные золотоурановые руды. Традиционные технологии переработки таких руд зачастую направлены на извлечение лишь одного компонента, что приводит к безвозвратным потерям второго и снижению общей рентабельности производства.

Стандартные схемы, основанные на цианировании золота и серноокислотном выщелачивании урана, не всегда применимы к комплексному сырью из-за их высокой стоимости, технологической несовместимости (разные pH среды) и значительной экологической нагрузки. Применение цианидов требует создания сложных систем обезвреживания и исключает возможность одновременного извлечения урана в одной технологической стадии из-за необходимости поддержания высоких значений pH.

Использование кислых тиоцианатных растворов открывает новые перспективы для создания единой технологии совместного извлечения золота и урана, и способствует преодолению недостатков традиционной схемы переработки золотоурановых руд. Тиоцианат-ион является эффективным альтернативным реагентом, способным в кислой среде ($\text{pH} < 3$) образовывать прочные комплексы с золотом. В качестве окислителя в данном случае могут служить ионы железа (III), присутствующие в растворе при серноокислотном выщелачивании. Это создает условия для термодинамической совместимости процессов выщелачивания золота и урана в рамках одного цикла.

Метод кучного выщелачивания является наиболее экономически оправданным для переработки бедных и окисленных руд благодаря низким капитальным и эксплуатационным затратам. Однако его применение для золотоуранового сырья сдерживается явлениями пассивации поверхности металлов и недостаточно изученным механизмом взаимодействия реагентов в условиях длительного орошения штабеля.

Актуальность работы подтверждается также ее соответствием приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники РФ и соответствует Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (Распоряжение Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р) в части повышения эффективности освоения известных месторождений путем внедрения современных технологий переработки, обогащения и комплексного извлечения полезных ископаемых.

Целью работы соискателя является физико-химическое обоснование и разработка принципиальной технологической схемы переработки окисленной золотоурановой руды методом кучного выщелачивания с использованием серноокислых тиоцианат-

ных растворов, обеспечивающей одновременный перевод золота и урана в единый продуктивный раствор для их последующего отдельного извлечения.

Основные научные результаты и их новизна

Доказана возможность совместного одностадийного серноокислотно-тиоцианатного выщелачивания золота и урана из окисленных золотоурановых руд с переводом их в единый продуктивный раствор с возможной последующей отдельной сорбцией.

Доказана возможность растворения простого тиоцианата золота (I) AuSCN в присутствии свободного тиоцианат-иона (SCN^-), ионов Fe(III) и тиоцианатных комплексов железа ($[\text{FeSCN}]^{2+}$, $[\text{Fe(SCN)}_2]^+$, Fe(SCN)_3 , $[\text{Fe(SCN)}_4]^-$) в температурном диапазоне 298–358 К для минимизации потерь золота.

Теоретически доказано преимущественное образование в многокомпонентной системе «уран – сульфат – тиоцианат» уранил-сульфатов над образованием сульфатов и тиоцианатов урана.

Конкретное личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации, заключается в постановке цели и задач исследования, выполнении экспериментов по кучному выщелачиванию золота и урана с одновременным переводом их в раствор, проведении теоретических расчетов физико-химических закономерностей совместного выщелачивания металлов из окисленной золотоурановой руды, а также в анализе и обобщении полученных результатов.

Степень достоверности исследований полученных результатов исследований подтверждается использованием аттестованных физических (инструментальных) и физико-химических методов анализа, применением современных средств измерений, статистической обработки результатов исследований, сходимостью результатов лабораторных и укрупнено-лабораторных исследований.

Практическая значимость

Разработан одностадийный способ совместного серноокислотно-тиоцианатного выщелачивания золота и урана из комплексного сырья, позволяющий упростить технологическую схему и снизить эксплуатационные затраты (патент РФ на изобретение № 2791169). При оптимальных параметрах $\text{pH} < 3$, концентрация серной кислоты 5–50 г/дм³, концентрация SCN^- – 0,1–0,3 г/дм³, концентрация ионов Fe(III) – 1–5 г/дм³, температура процесса 40–95 °С. При данных условиях извлечение золота составляет 86–90 %, а попутное извлечение урана – 68–70 %.

Оптимизированы расходы реагентов за счет строгого контроля мольных и массовых соотношений компонентов $\text{Fe}^{3+}/\text{SCN}^-$ и $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{SCN}^-$, что позволяет оптимизировать переработку золотоурановых руд (патент РФ на изобретение № 2811640).

Рекомендована принципиальная технологическая схема и оборудование для совместного одностадийного выщелачивания золота и урана из окисленной золотоурановой руды с последующей отдельной сорбцией ценных компонентов: золота – на активированный уголь, урана – на ионообменную смолу. При оптимальных параметрах $\text{pH} < 3$, концентрация серной кислоты 5–10 г/дм³, концентрация SCN^- – 0,5 г/дм³, концентрация ионов Fe(III) – 1–3 г/дм³, температура процесса 25 °С. При данных условиях извлечение золота составляет 86–90 %, а попутное извлечение урана – 54,8 %.

Оценена эффективность предложенных технологических решений по совместному выщелачиванию золота и урана: себестоимость переработки 1 т руды составляет 741 р (без учета затрат на стадии рудоподготовки, отсыпки рудного штабеля и переработки насыщенных сорбентов).

Полученные в ходе выполнения диссертационного исследования теоретические и практические результаты представляют научно-практический интерес для предприятий,

специализирующихся на переработке комплексного золотоуранового сырья (имеется акт укрупненно-лабораторных испытаний в научно-исследовательском и проектном институте АО «Иргиредмет», г. Иркутск) и используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Металлургия» (имеется акт внедрения в учебный процесс в Иркутском национальном исследовательском техническом университете).

Соответствие диссертации паспорту специальности 2.6.2. Metallurgy черных, цветных и редких металлов: № 1 (Рудное, нерудное, техногенное и энергетическое сырье); № 4 (Термодинамика и кинетика металлургических процессов); № 19 (Гидрометаллургические процессы и агрегаты).

Апробация работы Основные результаты диссертационной работы обсуждались на XI Междунар. научн.-практич. конф. ЦНИГРИ «Новые методы оценки и прогноза месторождений стратегических видов минерального сырья» (г. Москва, 12–15 апреля 2022 г.); Междунар. совещании «Плаксинские чтения – 2022» (г. Владивосток, 4–7 октября 2022 г.); Междунар. совещании «Плаксинские чтения – 2023» (г. Москва, 3–6 октября 2023 г.); Междунар. конф. «World Gold Conference – 2023» (г. Шэньян, Китай, 4–7 сентября 2023 г.); Всерос. науч.-практ. конф. «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие» (г. Челябинск, 02–03 марта 2022 г.); XXVII Междунар. науч.-техн. конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» (г. Екатеринбург, 07–08 апреля 2022 г.).

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Основные результаты диссертационной работы полностью отражены в следующих научных работах автора.

Статьи из Перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. Епифоров, А.В. Нецианидные реагенты для извлечения золота из продуктов автоклавного окисления сульфидных концентратов / А.В. Епифоров, С.В. Баликов, А.А. Шипнигов, А.А. Лукьянов // Цветные металлы. – 2021. – № 7 (943). – С. 37–44. (журнал индексируется международной наукометрической базой данных Scopus).

2. Шипнигов, А.А. Кучное сернокислотно-тиоцианатное выщелачивание золота и урана / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров, Е.Д. Мусин // iPolytech Journal. – 2023. – Т. 27, № 4. – С. 821–828.

3. Шипнигов, А.А. Термодинамическая оценка процесса одновременного выщелачивания золота и урана сернокислыми тиоцианатными растворами / А.А. Шипнигов, А.В. Епифоров, Т.С. Минеева // iPolytech Journal. – 2026. – Т. 30, № 3. – С. 559–572.

Патенты

4. Пат. 2791169 Российская Федерация, МПК С22В 60/02. Способ извлечения золота и урана из золотоурановых руд / А.А. Шипнигов, Е.Д. Мусин, А.В. Епифоров; заявитель и патентообладатель АО «Иргиредмет». № заявки 2021118671, заявл. 28.06.2021; опубл. 03.03.2023. Бюл. № 7.

5. Пат. 2811640 Российская Федерация, МПК С22В 11/00. Способ извлечения золота из руд и продуктов тиоцианатным выщелачиванием / А.А. Шипнигов, А.В. Епифоров, Е.Д. Мусин; заявитель и патентообладатель АО «Иргиредмет». № заявки 2022133649; заявл. 20.12.2022; опубл. 15.01.2024, Бюл. № 2.

Другие публикации

6. Епифоров, А.В. Пути решения проблемы совместного извлечения золота и урана из бедных комплексных руд / А.В. Епифоров, Р.М. Собенников, Т.С. Минеева, А.А. Шипнигов // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 29–33.

7. Шипнигов, А.А. Пилотные испытания технологии кучного выщелачивания золота и урана из бедной окисленной золотоурановой руды / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников // Наука и инновации – современные концепции: сб. науч. ст. по итогам Междунар. науч. форума (08 окт. 2021 г.). – Москва: Изд-во Инфинити, 2021. – С. 97–103.
8. Шипнигов, А.А. Технологическое картирование месторождений полезных ископаемых как залог устойчивого развития горнодобывающих предприятий / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров, Е.Д. Мусин, С.Г. Григорьев // Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (02–03 марта 2022 г.). – М.: Изд-во ИПКОН РАН, 2022. – С. 61–62.
9. Шипнигов, А.А. Кучное выщелачивание окисленных золотоурановых руд / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров, Е.Д. Мусин // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XXVII Междунар. науч.-техн. конф. (07–08 апр. 2022 г.). – Екатеринбург: Изд-во ИП Русских А.В., 2022. – С. 190–194.
10. Шипнигов, А.А. Лабораторные исследования технологии кучного выщелачивания золотоурановых руд / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров, Е.Д. Мусин // Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче: сб. тезисов докладов (10–12 апр. 2022 г.). – М.: Изд-во ЦНИГРИ, 2022. – С. 229–233.
11. Шипнигов, А.А. Кучное выщелачивание золота и урана из окисленной золотоурановой руды / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров, Е.Д. Мусин, С.Г. Григорьев // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 2. – С. 66–71.
12. Шипнигов, А.А. Исследование динамики выщелачивания золота и урана сернокислыми тиоцианатными растворами / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров // Плаксинские чтения 2022: материалы Междунар. конф. (04–07 окт. 2022 г.). – Владивосток, 2022. – С. 329–332.
13. Шипнигов, А.А. Определение оптимальных параметров извлечения золота из золотоурановой руды сернокислыми тиоцианатными растворами / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров // Металлургия цветных, редких и благородных металлов: материалы XV Междунар. конф. (06–08 сент. 2022 г.). – Красноярск, 2022. – С. 223–230.
14. Шипнигов, А.А. Технологическое картирование месторождений полезных ископаемых как залог устойчивого развития горно-перерабатывающих предприятий / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров, Е.Д. Мусин, С.Г. Григорьев // Золотодобыча. – 2022. – № 8 (285). – С. 19–23.
15. Shipnigov, A.A. Combined recovery of gold and uranium from gold-uranium ores / A.A. Shipnigov, R.M. Sobennikov, A.V. Epiforov // Proceedings of 10th World Gold Conference (Shenyang, 2023). – Shenyang, 2023. – P. 783–791.
16. Собенников, Р.М. Особенности разработки технологии кучного выщелачивания руд / Р.М. Собенников, А.А. Шипнигов, А.В. Епифоров, Е.Д. Мусин // Золотодобыча. – 2023. – № 10(299). – С. 16–19.
17. Шипнигов, А.А. Тиоцианат как перспективный заменитель цианида в металлургии золота / А.А. Шипнигов, Р.М. Собенников, А.В. Епифоров // Плаксинские чтения – 2023: материалы Междунар. конф. (02–05 окт. 2023 г.). – Москва, 2023. – С. 386–389.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 г., № 842.

Диссертация Шипнигова Антона Андреевича на тему «Кучное сернокислотно-тиоцианатное выщелачивание окисленных золотоурановых руд с одновременным извлечением золота и урана» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», протокол № 3 от 25 сентября 2026 г.

Результаты голосования: «за» – 12 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

Председатель расширенного заседания
кафедры металлургии цветных металлов,
заведующий кафедрой металлургии
цветных металлов, д.т.н., профессор

Н.В. Немчинова

Секретарь заседания,
доцент кафедры металлургии цветных
металлов, к.т.н., доцент

Т.С. Минеева

