

## ОТЗЫВ

официального оппонента Курбонова Амиршо Сохибназаровича на диссертационную работу Солеховой Гулру Нуралиевны на тему: «Технология переработки медьсодержащих руд месторождения Тарор и комплексообразования меди (II) с 3-метил-1,2,4-триазолтиолом», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 05.17.01 - Технология неорганических веществ и 02.00.01 - Неорганическая химия

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности:**

Диссертация соответствует нескольким пунктам паспорта специальности 05.17.01-Технология неорганических веществ (отрасль науки техническая) по следующим параметрам:

По первому пункту химические и физико-химические основы технологических процессов: химический состав и свойства вещества, термодинамика и кинетика химических и межфазных превращений соответствует.

Пункт 3. Механические процессы изменения состояния, свойств и формы сырья, материалов и компонентов в неорганических технологических процессах. По подглавах данной диссертационной работы представлено детальное описание методов, а также последовательное выполнение технологических операций и процессов, связанных с переработкой исходного сырья. Эти процессы направлены на производство меди.

По пункту четыре способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов (отходов производства и потребления) в неорганических продуктах частично в данной работе приведено.

Пункт 6. Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами. Описанных в подглавах изложены принципиальные технологические схемы и оценка разработанной технологии переработки медьсодержащих руд с азотной кислотой приведено.

Данная диссертация соответствует нескольким пунктам паспорта специальности 02.00.01-Неорганическая химия (отрасль науки техническая) по пунктам 6, 7 и 8 описанных соискателям полностью соответствует данная диссертационная работа.

**Актуальность исследования.** Гидрометаллургические методы извлечения медных компонентов из рудного сырья и промышленных концентратов сопряжены со значительными технологическими сложностями. В этой связи особую важность приобретает задача комплексного освоения, эффективной переработки и рационального применения регионального сырья, содержащего медь, с привлечением современных методических подходов. К числу последних относится углублённое изучение механизмов образования координационных соединений металлов с органическими лигандами в специфических условиях Республики Таджикистан. Анализ существующих научных публикаций свидетельствует о том, что реакции комплексообразования ионов меди (II) с лигандом 3-метил-1,2,4-триазолтиолом (ЗМТрТ) в условиях кислых сред до сих пор не были предметом системного и детального научного анализа. В частности, в литературе полностью отсутствуют сведения о закономерностях изменения устойчивости формирующихся комплексов, а также о численных значениях их ключевых термодинамических характеристик в зависимости от параметров растворителя и уровня кислотности среды.

**Научная новизна работы.** В рамках проведённого исследования и последующего анализа кинетических зависимостей были впервые установлены правдоподобные механизмы, описывающие течение процесса азотнокислотного разложения сульфидного флотационного концентрата. Параллельно была разработана принципиальная технологическая схема переработки указанных материалов с целью последующего получения товарной меди, а также определены физико-химические основы процесса окислительного растворения сульфидного концентрата в азотной кислоте. Создана и верифицирована математическая модель процесса кислотного выщелачивания, предоставляющая возможность оперативного контроля и достоверного прогнозирования ключевых технологических параметров на любых произвольно заданных временных интервалах.

Впервые всесторонне исследованы механизмы образования координационных соединений меди (II) с лигандом ЗМТрТ в среде хлороводородной кислоты (4.0-6.0 моль/л). Для детального изучения равновесий использовались методы потенциометрического титрования и специально разработанный окислительно-восстановительный электрод-датчик, селективный к окисленной форме лиганда ЗМТрТ, в температурном диапазоне 273-338 К. Установлено, что в растворах HCl (4.0-6.0 моль/л) константы устойчивости комплексов Cu(II) с 3-метил-1,2,4-триазолтиолом подчиняются определённым тенденциям: с ростом температуры наблюдается



снижение устойчивости комплексов, в то время как концентрация кислоты оказывает статистически незначимое влияние на данный процесс.

**Положения, выносимые на защиту:**

- полученные экспериментальные данные о детальном минералогическом составе руды Тарорского месторождения, её физических и химических свойствах, а также о продуктах, образующихся на различных стадиях её разложения концентрированной азотной кислотой;

- обоснование и разработка комбинированной ресурсосберегающей технологии переработки медьсодержащих руд и последующего выщелачивания их концентратов, интегрирующей преимущества флотационного обогащения и последующих гидрометаллургических процессов для максимального извлечения ценных компонентов;

- создание и параметризация адекватной математической модели, с высокой точностью описывающей кинетику и механизм процесса азотнокислотного выщелачивания концентратов Тарорского месторождения. Модель является эффективным инструментом для контроля и прогнозирования ключевых технологических параметров (скорость растворения, выход продукта) на любой произвольно выбранной стадии процесса;

- разработка усовершенствованной и энергоэффективной технологической схемы, обеспечивающей интенсивное и полное вскрытие труднорастворимых медь-золотосодержащих руд Тарорского месторождения в процессе их переработки методом азотнокислотного выщелачивания;

- результаты фундаментального исследования механизмов образования координационных соединений  $\text{Cu(II)}$  с лигандом 3МТгТ в растворах соляной кислоты (4.0 – 6.0 моль/л) в интервале температур 298-338 К, подкреплённые анализом их структурных и спектральных характеристик современными физико-химическими методами;

- установленные количественные закономерности влияния комплекса факторов (температура, концентрация  $\text{HCl}$ , природа и строение органических лигандов, специфика центрального иона-комплексобразователя) на состав, строение и константы устойчивости образующихся комплексов  $\text{Cu(II)}$  в различных ацидолигандных системах;

- рассчитанные надёжным методом температурных коэффициентов термодинамические параметры ( $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ) процессов комплексообразования  $\text{Cu(II)}$  с 3МТгТ, определены основные тенденции их изменения и установлен характер влияния внешних условий на термодинамическую стабильность синтезированных координационных соединений.

### **Степень изученности научной проблемы.**

К моменту начала работы над диссертацией в отечественных и зарубежных периодических изданиях и монографиях отсутствовали сведения о переработке медьсодержащих руд месторождения Тарор с получением металлической меди с последующим изучением процессов её комплексообразования с 3-метил-1,2,4- триазолтиолом.

Таким образом, в данной диссертации исследуется переработка медь- золотосодержащего концентрата месторождения Тарор и потенциометрическим методом исследуется процесс комплексообразования меди (II) с 3-метил-1,2,4- триазолтиолом в среде 4,0-6,0 моль/л HCl, а также разработаны методики синтеза 12 новых координационных соединений меди (II) с 3-метил-1,2,4-триазолтиолом, также определены их состав, строение и свойства современными физико- химическими методами исследования.

### **Структура, содержания и объём диссертационного исследования.**

Диссертационная работа, выполненная Солеховой Гулру Нуралиевной на тему: «Технология переработки медьсодержащих руд месторождения Тарор и комплексообразования меди (II) с 3-метил-1,2,4-триазолтиолом», обладает чёткой логической структурой и включает следующие фундаментальные разделы: вступительную часть, три основных исследовательских главы, раздел, посвящённый всестороннему обсуждению полученных результатов, заключительные выводы, а также обширный библиографический перечень, содержащий 125 наименований научных литературных источников. Общий объем исследования составляет 148 страниц машинописного текста, дополненных 23 таблицами и 35 рисунками, которые наглядно иллюстрируют ключевые аспекты работы.

Вводная часть исследования (введение) содержит подробное обоснование высокой актуальности выбранной темы, формулировку центральной цели и конкретного перечня задач, необходимых для её достижения. Кроме того, в данном разделе систематизированы положения о научной новизне проведённых изысканий, а также раскрыта их теоретическая и прикладная значимость для развития данной отрасли знания.

Первая глава диссертации представляет собой комплексный аналитический обзор современных литературных данных по рассматриваемой проблематике. В ней приводится детальная общая характеристика объекта изучения, анализируются различные методы флотации, подробно рассматриваются гидрометаллургический и азотнокислотный подходы к переработке меднозолотых руд указанного



месторождения и получаемых из них концентратов для их последующего практического применения. Параллельно в данной главе приводится исчерпывающее и достоверное описание процессов комплексообразования и методик синтеза ряда координационных соединений переходных металлов с использованием гетероциклических органических лигандов.

Вторая глава посвящена подробному изложению методик эксперимента и полученных эмпирических результатов. В ней тщательно описан химический и минералогический состав исследуемой руды, приведены данные ее рентгеноструктурного анализа, изложены принципы математического моделирования технологических процессов и предложена подробная технологическая схема, разработанная для эффективной переработки медно-золотосодержащих концентратов, добываемых на Тарорском месторождении.

Содержание третьей главы сфокусировано на результатах изучения процессов образования комплексных соединений меди (II) с применением метода потенциометрического титрования, в котором использовался окислительно-восстановительный электрод на основе 3-метил-1,2,4-триазолтиола. Эксперименты проводились в растворах хлористоводородной кислоты с концентрацией от 4,0 до 6,0 моль/л в широком температурном диапазоне от 273 до 338 К. Также в этом разделе представлены результаты синтеза и характеристики новых координационных соединений меди (II) на основе 3-метил-1,2,4-триазолтиола.

Четвертая, заключительная глава, отведена под применение современных физико-химических методов анализа для точного определения состава и установления пространственного строения синтезированных комплексных соединений. В частности, для выяснения конкретного способа координации молекулы лиганда (3-метил-1,2,4-триазолтиола) с катионом меди (II) были проведены специализированные исследования, включающие рентгенофазовый анализ и изучение ИК-спектров полученных комплексов.

Выводы и положения диссертации, выполненные на высоком научно-практическом уровне, вносят существенный и многогранный вклад в развитие таких областей знания, как технология неорганических веществ и химия координационных соединений. Результаты работы открывают перспективы для дальнейших исследований в области гидрометаллургической переработки сложного минерального сырья и синтеза новых функциональных материалов на основе координационных соединений металлов.

**Практическая ценность исследования.** Разработана и научно обоснована эффективная технология переработки упорных золото-медных

концентратов. Методом экспериментального планирования найдены и оптимизированы режимы вскрытия медьсодержащих концентратов азотной кислотой: оптимальная концентрация  $\text{HNO}_3$  составляет 400 г/дм<sup>3</sup>; длительность процесса – 120 минут; критическое соотношение Т:Ж = 1:5. Кроме того, рассчитаны и параметризованы математические модели процессов азотнокислотного выщелачивания, что позволяет дать конкретные рекомендации для их внедрения на стадии проектных изысканий месторождения Тарор. В ходе работы получены точные и воспроизводимые экспериментальные данные. Сравнительный анализ этих результатов с известными литературными данными демонстрирует их полную сопоставимость, а также подтверждает точность установленных практических закономерностей и обоснованность основных выводов диссертации с позиций фундаментальной неорганической химии. Состав и структура синтезированных координационных соединений, стехиометрические соотношения реагентов и оптимальные условия протекания реакций в зависимости от физико-химических факторов были верифицированы современными физико-химическими методами анализа.

**Цель исследования.** Ключевой целью данной научной работы является создание и теоретическое обоснование высокоэффективной технологии переработки медьсодержащих руд и промышленных концентратов, базирующейся на инновационном процессе азотнокислотного выщелачивания флотоконцентрата, полученного из руд Тарорского месторождения. Параллельно в задачи исследования входит проведение всестороннего анализа механизмов и кинетики реакций образования координационных соединений меди (II) с лигандом 3-метил-1,2,4-триазолтиолом (ЗМТрТ) в среде соляной кислоты переменной концентрации в широком температурном интервале от 273 до 338 К. В рамках изучения планируется определить ключевые физико-химические характеристики данных процессов, выявить общие и частные закономерности их протекания с учётом комплексного воздействия факторов внешней среды, температурного режима и ионного состава растворов. Дополнительным аспектом цели является совершенствование существующей методологии синтеза новых металлокомплексных соединений  $\text{Cu(II)}$  с ЗМТрТ, что в перспективе позволит оптимизировать условия их получения и существенно повысить стабильность их структурной организации.

**Публикации по теме диссертации.** Основные научные положения и выводы диссертационного исследования нашли своё отражение в 22 публикациях автора. Из них 6 статей размещены в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ведущих изданий, рекомендованных Высшей



аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан и Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации (ВАК РФ). Пятнадцать тезисов докладов опубликованы в сборниках материалов республиканских и международных научных конференций. Практическая значимость и новизна разработок подтверждена получением 1 Малого патента Республики Таджикистан.

Проведённая диссертационная работа и автореферат в полной мере соответствует всем критериям и требованиям, изложенным в «Положении о порядке присуждения учёных степеней», утверждённом Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года № 267, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Научная работа выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне и представляет собой завершённое комплексное исследование, в рамках которого были получены существенные научно-практические результаты, вносящие вклад в развитие гидрометаллургии и химии координационных соединений. Вместе с тем, проведённая экспертиза выявила наличие некоторых частных замечаний, не умаляющих общей ценности и новизны представленного труда:

1. В диссертации предложен нетрадиционный подход к выбору собирателя, основанный на выявлении связи между поверхностными свойствами растворов производных форм собирателя и их флотационной активностью. Однако отсутствует обзор современных методов рационального подбора реагентов-собирателей.
2. Описание модели и используемых уравнений очень полезно, но возможно, стоит добавить пояснения о том, как эти уравнения были получены.
3. В работе не сказано, можно ли использовать образовавшие хвосты в других целях. Поскольку в исходной руде встречаются другие металлы.
4. Синтезированные органические лиганды -3-метил-1,2,4-триазолтиол растворяются в воде, этаноле, ацетоне, диметилформамиде и разбавленных минеральных кислотах. Как влияло «вымывание» лиганда с поверхности электрода на ход эксперимента?
5. Какова методика приготовления «лигандных электродов на основе «3-метил-1,2,4-триазолтиола»?
6. Большинство синтезированных комплексов меди (II) трудно растворимы в воде. Не наблюдалось ли образование осадка при потенциометрическом исследовании реакции комплексообразования?

Указанные замечания и недостатки в целом не снижают качества и положительную научную оценку данной диссертации и не оказывают отрицательного влияния на ее научный уровень.

Отдельные замечания, отмеченные в процессе предварительного рассмотрения работы, носят исключительно частный и рекомендательный характер. Они касаются в основном технических аспектов оформления и не затрагивают основу исследования. Данные замечания никоим образом не снижают значимости и весомости ключевых научных результатов, которые были получены на стыке нескольких дисциплин с применением современных физико-химических методов анализа и математического моделирования.

### **Заключение**

Объём и глубина представленного экспериментального материала, комплексность проведённых анализов и фундаментальность теоретических обобщений убедительно свидетельствуют о высоком научном уровне работы, выполненной на тему: «Технология переработки медьсодержащих руд месторождения Тарор и комплексообразования меди (II) с 3-метил-1,2,4-триазолтиолом». Все полученные результаты являются научно достоверными и объективными, а сформулированные на их основе выводы и рекомендации - полноценно обоснованными и логически выверенными.

Содержание диссертации находит своё полное отражение в цикле опубликованных автором работ, размещённых в ведущих рецензируемых научных журналах Республики Таджикистан, что подтверждает широкую апробацию и признание основных положений исследования научным сообществом.

Научные положения и прикладные разработки, представленные в диссертации, обладают выраженной междисциплинарной направленностью и в равной степени соответствуют паспортам двух научных специальностей:

- **05.17.01**-Технология неорганических веществ;
- **02.00.01**-Неорганическая химия.

Таким образом, диссертационное исследование, выполненное Солеховой Гулру Нуралиевной, представляет собой законченную и целостную квалификационную работу, которая характеризуется фундаментальной теоретической проработкой и комплексным экспериментальным подтверждением. Проведённая работа обладает выраженной научной новизной, заключающейся в разработке принципиально новых подходов к переработке медьсодержащего сырья, и несомненной практической ценностью, подтверждённой внедрением разработанных технологических решений и получением патента на изобретение.



В целом, диссертация Солеховой Гулру Нуралиевны на тему: «Технология переработки медьсодержащих руд месторождения Тарор и комплексообразования меди (II) с 3-метил-1,2,4-триазолтиолом», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 05.17.01-Технология неорганических веществ и 02.00.01-Неорганическая химия выполнена на высоком научно-методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения учёных степеней, утверждённом Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года № 267, а его автор заслуживает присуждение учёной степени кандидата технических наук по указанным специальностям.

**Официальный оппонент:**

доктор химических наук,  
Директор Филиала агентства по  
химической, биологической, радиационной  
и ядерной безопасности Национальной  
академии наук Таджикистана в  
Хатлонской области

*24*

Курбонов А.С.

**Адрес:** 734003, г. Душанбе,  
ул. Ю. Вафо д. 63/1, кв 27.

Тел: +992877070745

E-mail: amirsho\_77@mail.ru

*Подпись Курбонова Амиршо Сохибназаровича заверяю:*

*Начальник отдела кадров и специальных работ*

*Агентства по химической, биологической,  
радиационной и ядерной безопасности*

*Национальной академии наук Таджикистана,*

*(печать организации)*

*Шосафарова Ш.Г.*

**Адрес:** 734018, г. Душанбе,  
ул. Х. Шерози 16/1

Тел: +992 (77) 888-50-00

E-mail: info@swcustoms/tj

Дата: «05» 09 2025 г.