

На правах рукописи



САМИХОВ Шонавруз Рахимович

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ
ПЕРЕРАБОТКИ УПОРНЫХ И БЕДНЫХ
ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД ТАДЖИКИСТАНА**

05.17.01 – технология неорганических веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Душанбе – 2018

Работа выполнена в лаборатории «Обогащение руд» Института химии им. В.И. Никитина Академии наук Республики Таджикистан

Научный консультант: **Зинченко Зинаида Алексеевна** - доктор технических наук, заслуженный работник Республики Таджикистан

**Официальные
оппоненты:**

1. Соложенкин Петр Михайлович - доктор технических наук, профессор, академик академии наук РТ, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН);

2. Шарифов Абдумунин - доктор технических наук, профессор кафедры «Технология химических производств» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими;

3. Мирсаидов Илхом Мирсаидович - доктор технических наук, директор Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан.

Ведущая организация: Государственное научное учреждение «НИИ промышленности» министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан

Защита состоится 4 апреля 2018 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-007 при Институте химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, Республика Таджикистан г. Душанбе, ул. Айни 299/2, E-mail: gulchera@list.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан www.chemistry.tj

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент**



Обидов З.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из основных факторов успешного развития любой отрасли является наличие сырьевой базы. Горнодобывающая промышленность Таджикистана имеет хорошую минерально-сырьевую базу, размеры которой достаточны, чтобы обеспечить развитие отрасли на длительную перспективу.

На территории Центрального Таджикистана, охватывающей бассейн р. Заравшан, сосредоточены значительные запасы золота, представленного рудными и россыпными месторождениями. Промышленную ценность представляют только рудные месторождения – Джилау, Тарор, Мосариф, Северное Джилау, Хирсхона, Олимпийское, Дуоба, Чоре, Канчоч, Верхний-Кумарг и др. Значительная часть руд этих месторождений относится к мышьяксодержащим, переработка которых связана с определенными трудностями.

Из научно-технических проблем, стоящих перед современной золотодобывающей промышленностью, проблема извлечения золота из технологически упорного сырья, без преувеличения, может быть отнесена к числу наиболее важных. По оценке экспертов, именно за счет более широкого вовлечения в эксплуатацию упорных золотых и комплексных золотосодержащих руд в текущем столетии планируется обеспечить основной прирост добычи золота в мире. Большинство научных разработок и публикаций последних лет в области обогащения и металлургической переработки руд благородных металлов, так или иначе, связаны с проблемами извлечения упорного золота. В их решении принимают участие научно-исследовательские организации, предприятия и фирмы всех стран, являющихся основными (или просто крупными) производителями этого металла из рудного сырья.

В связи свыше изложенным разработка эффективной гидрометаллургической технологии переработки указанных руд является актуальной проблемой.

В последние годы в области золотодобычи ведутся работы по вовлечению в переработку руд с низким содержанием полезных компонентов. Разработка и внедрение в золотодобывающую промышленность эффективных и малозатратных технологий, к одной из которых относится технология кучного выщелачивания, позволяет расширить минерально-сырьевую базу золота за счет переработки бедных, забалансовых руд и отвалов золотоизвлекающих фабрик, осуществить их рентабельную переработку.

Существует практика применения упрощенного метода кучного выщелачивания для переработки бедных руд, так называемого «отвального выщелачивания», которая широко распространена на многих горнодобывающих предприятиях. В этом случае такие дорогостоящие операции, как дробление, агломерация и другие подготовительные работы, исключаются, и руда идет на штабелирование прямо с карьера без предварительной подготовки руды. Извлечение золота здесь ниже, но экономия по капитальным и производственным затратам компенсирует этот недостаток, что позволя-

ет вести рентабельную переработку руды, которую невыгодно перерабатывать на фабрике методом чанового выщелачивания.

Работа проводилась в соответствии с планами НИР Института химии им. В.И. Никитина Академии наук Республики Таджикистан «Научные основы безотходной технологии переработки минерального сырья и промышленных отходов» (ГР №0106ТД415) 2006-2010гг.; «Физико-химические и технологические основы переработки минерального сырья и промышленных отходов» (ГР №0102ТД927) 2011-2015гг. и «Программой внедрения научно-технических достижений в промышленное производство Республики Таджикистан на период 2010-2015гг.».

Цель и задачи работы. Изучение научных основ химико-технологические переработки упорных и бедных золотосодержащих руд Таджикистана, способствующих охране окружающей среды, повышению полноты и комплексности использования минерального сырья.

В связи с поставленной целью основными задачами исследования являются:

- изучение кинетики растворения золота, серебра и меди в цианистой и аммиачно-цианистой системе и разработка технологической схемы с оценкой ее использования в золотодобывающей промышленности;
- установление химико-технологических основ технологии хлоридовозгонки золотых мышьяксодержащих концентратов для выбора оптимальных режимов процесса с последующим цианированием огарков;
- исследование химико-технологических закономерностей азотнокислотного выщелачивания концентратов с утилизацией мышьяка с последующим цианированием кеков выщелачивания;
- выявление кинетических закономерностей исследуемых процессов и влияния температурных режимов на кинетику выщелачивания и хлоридовозгонки основных компонентов золотосодержащих руд;
- определение физико-химических состав исходных и конечных продуктов переработки золотого мышьяксодержащего сырья;
- разработка технологий тиомочевинного и тиосульфатного выщелачивания золота из упорных золотосульфидных руд и концентратов Чоринского и Тарорского месторождений;
- разработка технологии переработки бедных и забалансовых золотосодержащих руд, а также исследование возможности применения математических моделей для определения оптимальных параметров режима кучного (отвального) выщелачивания;
- проведение опытно-промышленных испытаний разрабатываемого процесса кучного (отвального) выщелачивания золота из различных бедных и забалансовых руд.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- установлены основные химико-технологические параметры процессов извлечения золота, серебра и меди при хлоридовозгонке упорных концентратов с использованием в качестве хлоринаторов NaCl , CaCl_2 и их смесей и предложена принципиальная схема их переработки;
- изучены научные основы технологического процесса разложения зо-

лото-, медно-, мышьяковых концентратов азотной кислотой. На основе изучения кинетических данных установлен возможный механизм протекания процесса азотнокислотного вскрытия концентратов, и разработана принципиальная технологическая схема переработки исследуемых объектов с получением золота и меди;

- впервые показана возможность применения тиокарбамидного и тиосульфатного выщелачивания для извлечения золота и серебра из упорных руд и концентратов Таджикистана. Изучена возможность утилизации мышьяка из растворов;

- впервые исследованы условия отвального выщелачивания бедных руд месторождений Джилау, Олимпийское, Северное Джилау и Хирсхона;

- разработана математическая модель процесса кучного (отвального) выщелачивания, позволяющая прогнозировать и контролировать технологические параметры процесса в любой заданный момент времени;

- по результатам исследований получено 5 малых патентов Республики Таджикистан на изобретение.

Практическая значимость результатов работы:

1. Разработана технология хлоридовозгонки золота и серебра из упорных концентратов и определены оптимальные параметры процесса. Показано, что извлечение золота и серебра при хлоридовозгонке в течение 1-2 часов, составило 95-99 %;

2. Установлены химико-технологические основы переработки золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов азотной кислотой с последующим извлечением из кеков выщелачивания золота методом цианирования. Разработанный способ вскрытия концентратов отличается высокими технологическими показателями, меньшей токсичностью, чем окислительный обжиг концентрата, так как исключается вероятность выброса мышьяковистых газов в окружающую атмосферу;

3. Проведены исследования процесса извлечения золота и серебра из упорных мышьяксодержащих руд и концентратов методом тиокарбамидного и тиосульфатного выщелачивания. На основании проведенных исследований найдены оптимальные условия тиокарбамидного и тиосульфатного выщелачивания золота из руд и обожженных флотационных концентратов;

4. На ООО СП «Зеравшан» проведена полупромышленная и опытно-промышленная проверка технологии кучного (отвального) выщелачивания на рудах различных месторождений, в результате которых достигнута степень извлечения золота - 69 %, себестоимость получения 1 грамма золота составила 10,4 доллара США и прибыль за один цикл опытных испытаний составляло 45298 дол. США;

5. Рассчитаны математические модели процессов кучного (отвального) выщелачивания и даны рекомендации по их использованию на стадии проектных работ месторождения Джилау, Северное Джилау и Олимпийское.

Результаты работы отражены в актах полупромышленных и опытно-промышленных испытаний и использованы в учебном процессе:

- акты внедрения ООО СП «Зеравшан», полупромышленных и опытно-

промышленных испытаний кучного (отвального) выщелачивания из различных руд Таджикистана за период 2003-2005 гг.;

- акт об использовании результатов исследовательской работы в ООО СП «Зеравшан» от 02.05.2013 г.;

- акт об использовании результатов диссертационной работы в учебном процессе Таджикского национального университета от 02.03.2015 г.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований по выявлению основных кинетических закономерностей растворения золота, серебра и меди в цианистых и аммиачно-цианистых растворах;

- результаты химико-технологических исследований процессов взаимодействия золотосодержащих концентратов с различными хлоридами при хлоридовозгонке;

- результаты исследований химико-технологических основ азотнокислотного способа вскрытия золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов;

- результаты химико-технологического изучения объектов исследований;

- результаты исследования эффективности использования нецианидных растворителей для извлечения золота и серебра из упорных золотосодержащих руд и концентратов;

- исследование вопросов интенсификации процесса колонного и кучного (отвального) выщелачивания бедных и забалансовых руд различных месторождений;

- моделирование процессов кучного (отвального) выщелачивания различных руд.

Степень достоверности и апробация работы. Степень достоверности результатов работы, выводы и рекомендации подтверждаются использованием современных химико-технологических методов исследований, основываются на применении большого объема экспериментальных и промышленных данных, их статической обработке и математическом моделировании.

Результаты, основные положения и выводы диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференции молодых ученых «Химия в начале XXI века», (г. Душанбе, 2000г.); Республиканской конференции «Молодые ученые и современная наука», (г. Душанбе, 2003г.); Республиканской конференции «Прогрессивные технологии разработки месторождений и переработки полезных ископаемых, экологические аспекты развития горнорудной промышленности» (г. Душанбе, 2005г.); Международной конференции «Современная химическая наука и ее прикладные аспекты», (г. Душанбе, 2006г.); Международной конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке», (г. Душанбе 2008г.); Республиканской конференции «Горные, геологические, экологические аспекты и развитие горнорудной промышленности в XXI веке», (г. Душанбе, 2010г.); Международной конференции «XII^{ая} Национальная конференция с международным участием по открытой и подводной добыче полезных ископаемых», (Варна, Болгария 2011г.); Республиканской конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», (г. Душанбе, 2011г.);

Международной конференции «Applied and Fundamental Studies. 1st international Academic conference. St. Louis, Missouri», (USA, October, 2012г.); Международной конференции «Передовые технологии на карьерах», (г. Бишкек, 2012г.); XV, XVI Балканских конгрессах по обогащению полезных ископаемых (Болгария, 2013г.; Белград, Сербия, 2015г.); Международной конференции «По открытой и подводной добыче полезных ископаемых. Варна», (Болгария, 2013г.); Республиканской конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана», (г. Душанбе, 2013г.); Республиканской конференции «Комплексная переработка местного сырья и промышленных отходов», (г. Душанбе, 2013г.); Международной научно-практической конференции «Комплексный подход к использованию и переработке угля», (г. Душанбе, 2013г.); Республиканской научно-практической конференции «Внедрение наукоемкой техники и технологий в производство», (г. Душанбе, 2013г.); Республиканской конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана», (г. Душанбе, 2013г.); 5-й Международной научно-практической конференции «Всемирная торговая организация: Развитие науки, техники и образования», (г. Душанбе, 2014г.). Республиканской конференции «Актуальные проблемы современной науки», посв. 70-летию Победы в Великой Отечественной Войне, филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в городе Душанбе (г. Душанбе, 2015г.); Международной научно-практической конференции, посв. 1150-летию Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази, (г. Душанбе, 2015г.); Республиканской научно-практической конференции «Технология комплексной переработки полезных ископаемых Таджикистана», посв. 25-ти летию Государственной независимости Республики Таджикистан, (г. Чкаловск, 2016г.); Республиканской научно-практической конференции «Проблемы материаловедения в машиностроении Республики Таджикистан», (г. Душанбе, 2016г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых», (г. Чкаловск, 2016г.); Международной научной конференции «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий», посв. 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан», (г. Душанбе, 2016г.); VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов», (г. Иркутск, 2017г.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследований, планировании и проведении лабораторных, полупромышленных и промышленных испытаний, анализе и обобщении результатов эксперимента, математической обработке полученных результатов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано более 90 научных работ, в том числе в рекомендованных ВАК РФ изданиях 27, получено 5 малых патентов РФ на изобретение, а также монография и учебные пособия.

Структура и объём диссертации. Материалы диссертации изложены на 315 страницах машинописного текста, включают 109 таблиц и 72 рисунка. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 240 наименований, заключения и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы исследований, определены цель и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные защищаемые положения.

В первой главе диссертации приведен литературный и патентный обзор по классификации золотосодержащих руд и известных способах их переработки.

На основании критической оценки имеющихся опубликованных данных сформулированы задачи для решения важных технических проблем разработки интенсификационных технологий для вовлечения в производство упорных руд месторождений Тарор и Чоре, а также бедных и забалансовых руд месторождений Джилау, Северное Джилау, Олимпийское и Хирсхона.

Во второй главе приведены результаты исследований по выявлению основных кинетических закономерностей растворения золота, серебра и меди в цианистых и аммиачно-цианистых растворах, результаты исследования эффективности использования нецианидных растворителей для извлечения золота и серебра из упорных золотосодержащих руд и концентратов.

Третья глава посвящена исследованию процессов взаимодействия золотосодержащих концентратов с различными хлоридами при хлоридовозгонке. Разработана технология хлоридовозгонки золота и серебра из упорных концентратов и определены оптимальные параметры процесса и результаты исследований химико-технологических основ азотнокислотного способа вскрытия золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов.

Во четвертой главе приведены результаты исследования интенсификации процесса колонного и кучного (отвального) выщелачивания бедных и забалансовых руд различных месторождений, результаты полупромышленных и опытно-промышленных испытаний разрабатываемого процесса и моделирование процессов кучного выщелачивания различных руд.

Диссертационная работа завершается общими выводами, списком цитированной литературы и приложением.

ЦИАНИДНОЕ И АММИАЧНО-ЦИАНИСТОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ИЗ РАЗЛИЧНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАДЖИКИСТАНА

Основным методом переработки золотосодержащих руд в мировой практике является цианистое выщелачивание. Селективность цианида по отношению к золоту и серебру, а также сочетание процессов растворения и осаждения благородных металлов делает технологию цианирования золотосодержащих руд весьма эффективной.

Переработка золото-, медно-, мышьяксодержащих руд представляет собой сложную технологическую задачу. Переработка таких руд в принципе может быть эффективно осуществлена на основе метода цианирования после предварительного механического (измельчение), химического (выщелачивание) или термохимического (обжиг) вскрытия золота и серебра, ассоциированных с соответствующими минеральными компонентами.

В лабораторных условиях проведены исследования по выщелачиванию золота и серебра из руд различных месторождений Таджикистана методом цианирования и определены основные химико-технологические закономерности растворения золота, серебра и меди в цианистых растворах. Исследовались руды месторождений Тарор, Чоре, Джилау, Хирсхона, Олимпийское, Северное Джилау и Мосариф.

Кинетические кривые выщелачивания золота и серебра из руд различных месторождений представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка, из руд месторождений Джилау, Северное Джилау, Хирсхона, Олимпийское и Мосариф цианированием за 8 ч выщелачивается от 64 до 80 % золота. В последующий период времени золото продолжает переходить в раствор и за 30 ч степень извлечения золота достигает 75 – 93 %. Следовательно, методом цианирования можно эффективно извлечь золото из руд этих месторождений.

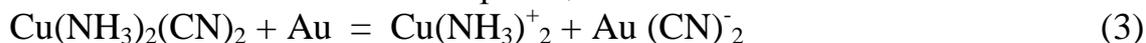
При переработке руды месторождения Тарор после 30 часов цианирования извлекается в раствор 51 % золота. При цианировании руды месторождения Чоре за 24 часа в раствор извлекается всего 31 % золота. Увеличение продолжительности выщелачивания до 30 часов не улучшает показатели процесса.

Причина неудовлетворительного извлечения золота состоит в том, что золото – тонкодисперсное и тесно связано с сульфидными минералами. Такая вкрапленность золота – наиболее распространенная причина упорности этих руд. Эффективная переработка таких руд требует значительно более сложные и развитые комбинированные технологии.

Одним из способов переработки медьсодержащих руд является аммиачное выщелачивание меди. Оно основано на протекании следующих основных реакций:



Одной из возможных причин селективности выщелачивания золота и меди в аммиачно-цианистых растворах является то, что образующийся в этих условиях растворимый комплекс меди $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2(\text{CN})_2$ вступает во взаимодействие с металлическим золотом по реакции:



Проведены сравнительные исследования по выщелачиванию золота, серебра и меди из окисленных руд верхнего горизонта Тарорского месторождения методом цианирования в присутствии сульфата аммония. Цианирование в присутствии сульфата аммония проводили при соблюдении следующих (оптимальных) параметров обработки: продолжительность – 24 ч; концентрация NaCN – 0,014 моль/л, концентрация $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,076 - 0,174 моль/л, Ж:Т = 1,5:1.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности использования аммиачно-цианистых растворов, обеспечивая при этом извлечение золота до 74-82 % при различных концентрациях цианида по сравнению с растворением в цианистых растворах, при котором извлечение составляет 55 %. Рекомендуемая технологическая схема выщелачивания окисленных золото-,

медно-, мышьяксодержащих руд месторождения Тарор представлена на рисунке 2.

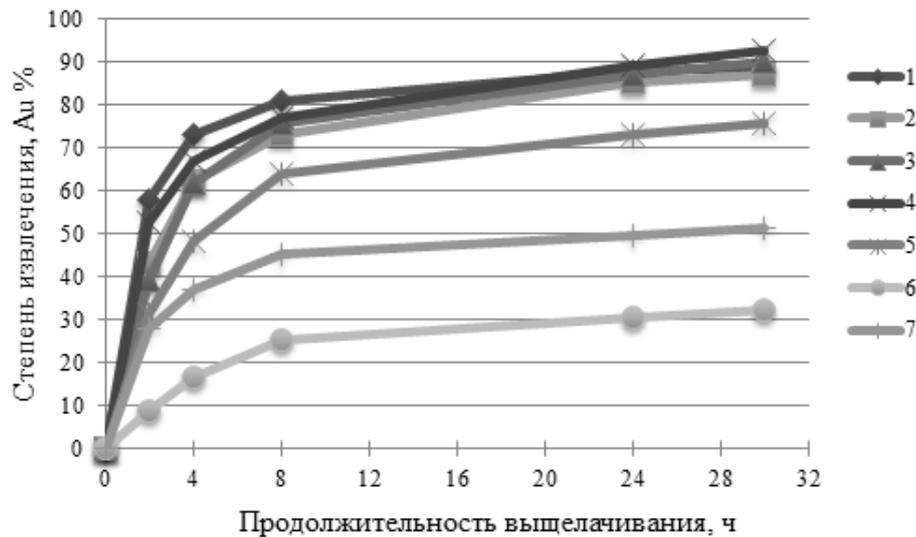


Рисунок 1 – Кинетические кривые цианидного выщелачивания золота из руд месторождений: Джилау - 1, Хирсхона - 2, Олимпийское - 3, Северное Джилау - 4, Мосариф - 5, Чоре - 6, Тарор - 7.

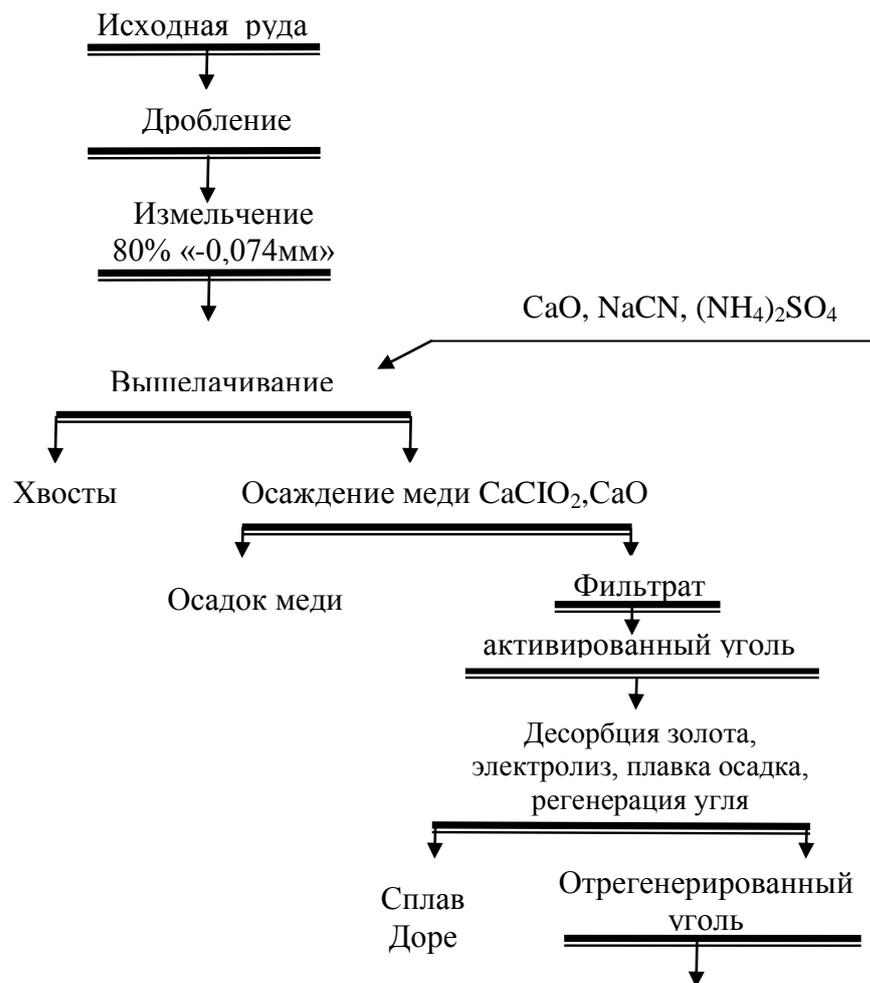


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема выщелачивания окисленных золото-, медно-, мышьяксодержащих руд месторождения Тарор.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЦИАНИДНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Изучение условий и разработка технологии тиомочевинного выщелачивания золота и серебра из руды концентратов месторождений Чоре и Тарор

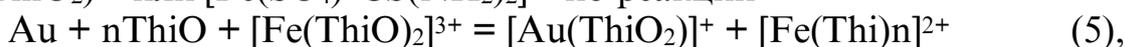
Важной проблемой золотодобывающих предприятий является экология производства. С этой целью проведены исследования по возможности использования нецианидных растворителей золота при переработке руд месторождений Чоре и Тарор.

Тиокарбамидное выщелачивание рассматривается как перспективный гидрометаллургический процесс извлечения золота. Для ведения процесса необходимо применять эффективный окислитель, способный переводить металлическое золото в ионное состояние и поддерживать низкие значения pH с целью предохранения от разложения золотосодержащего комплекса. Это достигается введением в процесс серной кислоты и окислителя.

Растворение золота в тиомочевине идет по реакции:



Процесс проходит в растворе кислоты, что вызвано необходимостью сохранения тиокарбамидного комплекса золота, который устойчив при $\text{pH} < 4$. Окисляющая роль Fe^{3+} связана с образованием комплекса $\text{Fe}(\text{ThiO}_2)^{3+}$ или $[\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot \text{CS}(\text{NH}_2)_2]^{2+}$ по реакции



Где ThiO – тиокарбамид $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$.

Проведены исследования по тиомочевинному выщелачиванию золота и серебра из руды месторождения Чоре. В кислой среде в присутствии окислителя не удалось получить положительные результаты (таблица 1).

С целью улучшения процесса тиомочевинного выщелачивания пробы руды подвергались обжигу при температуре 200 – 600 °С в течение 2 ч.

Таблица 1 – Извлечение металлов при тиомочевинном выщелачивании
руды месторождения Чоре

№ опыта	Концентрация $\text{H}_2\text{O}_2(30\%)$, %	pH	Предварительная обработка	Степень извлечения, %		
				Au	Ag	As
1	0,7	4,3	без обработки	30,60	41,17	4,76
2	0,7	3,2	H_2SO_4 1,2 %	42,27	51,41	4,85
3	0,7	4,2	обжиг 200 °С	31,52	42,08	4,79
4	0,7	2,9	обжиг 400 °С	35,93	45,50	3,5
5	0,7	2,5	обжиг 600 °С	89,0	98,09	80,18
6	0,7	1,5	обжиг 600 °С + кис.обработка	91,21	96,94	81,09

Как видно из таблицы, при температуре обжига 600 °С с последующим выщелачиванием тиомочевинной в раствор переходит Au – 89 %; Ag – 98,09 % и As – 80,18 %, что объясняется окислением сульфидов и вскрытием находящегося в них золота. Последующая после обжига кислотная обработка в течение 2 ч дает возможность повысить извлечение золота. При этом извлечение металлов составляет: Au – 91,21 %; Ag – 96,94 % и As – 81,09 %.

Также были проведены лабораторные исследования процесса тиомочевинного выщелачивания золота из руды месторождения Тарор.

Результаты опытов тиомочевинного выщелачивания металлов представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы, необходимая продолжительность процесса растворения благородных металлов составляет 24 ч, причём проведение процесса после обжига при 600 °С обеспечивает большую степень извлечения основных компонентов, как это нашло место и при выщелачивании руды месторождения Чоре.

Таблица 2 – Извлечение металлов при тиомочевинном выщелачивании руды месторождения Тарор

№ п/п	τ, ч	рН кон.	Загрузка реагентов г/дм ³			Концентрация в растворе, мг/дм ³			Степень извлечения, %			
			CS(NH ₂) ₂	Fe ₂ (SO ₄) ₃	H ₂ SO ₄	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	
Сульфидные руды												
1	8	5,0	7,5	10	92	0,780	1,832	342,5	21,5	17,2	5,4	
2	8	1,2	7,5	10	184	1,547	3,840	480,1	42,7	36,1	7,7	
3	24	1,2	7,5	10	184	1,608	3,734	530,0	44,4	35,1	8,5	
Окисленные руды												
1	8	4,7	7,5	10	91	0,624	3,475	242,2	19,6	15,4	5,2	
2	8	1,2	7,5	10	184	1,285	6,433	292,0	40,3	28,5	6,3	
3	24	1,2	7,5	10	184	1,401	6,855	347,8	44,0	30,3	7,5	
Сульфидные руды после обжига при 600 °С												
1	8	4,7	7,5	10	184	3,718	11,52	1032,8	80,3	70,4	12,0	
2	24	1,1	7,5	10	184	3,770	12,10	1269,4	81,4	73,9	14,8	
Окисленные руды после обжига при 600 °С												
1	8	1,0	7,5	10	136,5	3,522	18,26	848,6	82,3	68,3	12,5	
2	24	1,0	7,5	10	136,5	3,584	18,90	976,5	83,7	70,7	14,4	

Примечание: Общие условия: - навеска руды 100 г, соотношение Ж:Т = 2:1, температура проведения процесса 20 °С.

Результаты анализа исходной руды: (сульфидные) -Au = 7,25 г/т, Ag = 17,96 г/т, Cu = 1,17 %, (после обжига 600 °С), - Au = 9,26 г/т, Ag = 32,73 г/т, Cu = 1,72 %, (окисленные) - Au = 6,37 г/т, Ag = 45,19 г/т, Cu = 0,93 %, (после обжига 600 °С), -Au = 8,56 г/т, Ag = 53,49 г/т, Cu = 1,36 %.

Увеличение продолжительности процесса выщелачивания с 8 до 24 часов дает незначительный положительный эффект, повышая извлечение золота всего на 1,1 -

1,4 %. Максимальная степень извлечения достигается при начальном значении рН раствора, равном 1, при этом за 24 ч. извлечение золота составило 83,7 %.

В таблице 3 приведены результаты исследований выщелачивания концентрата месторождения Тарор в зависимости от времени.

Как видно из результатов опытов, после вскрытия сульфидов в процессе обжига при температуре 600 °С и высвобождения благородных металлов извлечение их значительно повышается и составляет 86,2 % золота и 70,8 % серебра.

Следует заметить, что при тиомочевинном выщелачивании исследуемых необоженных концентратов извлечение золота довольно высокое, что, вероятно, объясняется растворением сульфидов в серной кислоте и высвобождением золота.

Таблица 3 – Изменение извлечения металлов из концентрата в зависимости от продолжительности выщелачивания

№ п/п	τ, ч	рН	Загрузка реагентов, г/дм ³			Концентрация в растворе, мг/дм ³			Степень извлечения, %		
			CS (NH ₂) ₂	Fe ₂ (SO ₄) ₃	H ₂ SO ₄	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu
1	8	1,3	20	13	30	8,093	51,68	29286,7	73,7	62,1	39,5
2	24	0,9	20	13	30	8,129	51,59	30622,3	74,6	62,0	41,3
3	24	1,1	20	6,5	36	8,079	50,48	38369,5	74,1	60,7	43,5
Концентрат после обжига при 600 °С											
1	24	1,1	20	13	24	16,926	71,096	42977,0	85,6	71,1	48,7
2	16	1,0	20	13	24	17,046	70,846	39896,5	86,2	70,8	45,2
3	24	1,0	20	6,5	24	14,925	62,324	28360,0	75,5	62,3	32,1

Как видно из результатов опытов, после обжига благородные металлы извлекаются в раствор более чем на 60 % выше, чем из исходного концентрата.

Проведены исследования по тиомочевинному выщелачиванию золота и серебра также из концентратов месторождения Чоре при условии: навеска концентрата 50 г, соотношение Ж:Т = 3:1, температура проведения процесса 20 °С.

В таблице 4 представлены результаты тиокарбамидного выщелачивания металлов как из обожжённого, так и из исходного флотоконцентратов.

Нейтрализацию растворов после выщелачивания проводили при механическом перемешивании и медленной подаче нейтрализатора (растворов извести и сернистого натрия). Как видно из таблицы 5., при рН = 2,8 – 3,2 из фильтрата можно почти полностью осадить железо и мышьяк.

Таким образом, на основании проведенных исследований определены следующие оптимальные условия тиокарбамидного выщелачивания фло-

тационных концентратов, полученных из руды месторождения Чоре: расход тиомочевины – 22 кг/т, серной кислоты – 30 кг/т, соотношение Т:Ж – 1:3, расход трёхвалентного сульфата железа – 9 кг/т, и извести – 48 кг/т (на очистку фильтрата от мышьяка и железа), продолжительность выщелачивания – 10 ч.

Таблица 4 – Извлечение металлов при тиомочевинном выщелачивании концентрата месторождения Чоре

№ п/п	τ, ч	рН кон.	Загрузка реагентов г/дм ³			Концентрация в растворе, мг/дм ³			Степень извлечения, %		
			CS(NH ₂) ₂	Fe ₂ (SO ₄) ₃	H ₂ SO ₄	Au	Ag	As	Au	Ag	As
1	4	2,5	7,3	3	18,4	4,588	8,288	19968,8	24,96	35,42	6,54
2	6	2,0				5,188	8,953	22014,5	28,22	38,26	7,21
3	8	1,9				5,099	5,099	9,007	27,74	38,49	7,27
Концентрат после обжига при 600 °С											
1	6	2,0	7,3	3	18,4	15,514	18,770	20372,9	89,78	89,24	75,83
2	8	2,7				15,597	18,697	20372,9	90,26	88,47	75,83
3	10	1,9				15,661	18,906	20641,7	90,63	89,46	76,83

Таблица 5 – Результаты опытов по очистке раствора от железа и мышьяка

Объём фильтрата, мл	Расход раствора, мл		рН	Содержание, мг/дм ³				Степень очистки, %	
				До очистки		После очистки			
	Ca(OH) ₂	Na ₂ S		Fe	As	Fe	As	Fe	As
50	4	1	2,9	50260	20140	14827	5196	70,5	74,2
50	6	1,5	3,2			9398	3484	81,3	82,7
50	8	2	3,0			5026	1108	90,0	94,5
50	10	2,5	2,8			3870	1007	92,3	95,0

Анализируя результаты теоретических и практических исследований выщелачивания, можно сделать вывод о возможности эффективного использования тиокарбамидного выщелачивания благородных металлов из концентратов месторождений Чоре и Тарор.

На рисунке 3 представлена принципиальная технологическая схема переработки золото-, мышьяксодержащих концентратов месторождения Чоре.

Разработанная схема включает дробление, измельчение руды до 90 % содержания класса «–0,074 мм», флотацию с получением концентрата. Концентрат подвергается обжигу при t – 600 °С с последующим выщелачиванием тиомочевинной и получением из золотосодержащих растворов сплава Доре. Обеззолоченные растворы направляются на утилизацию мышьяка

и железа с добавлением $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и Na_2S . Образующийся осадок отправляют в спецотвал.

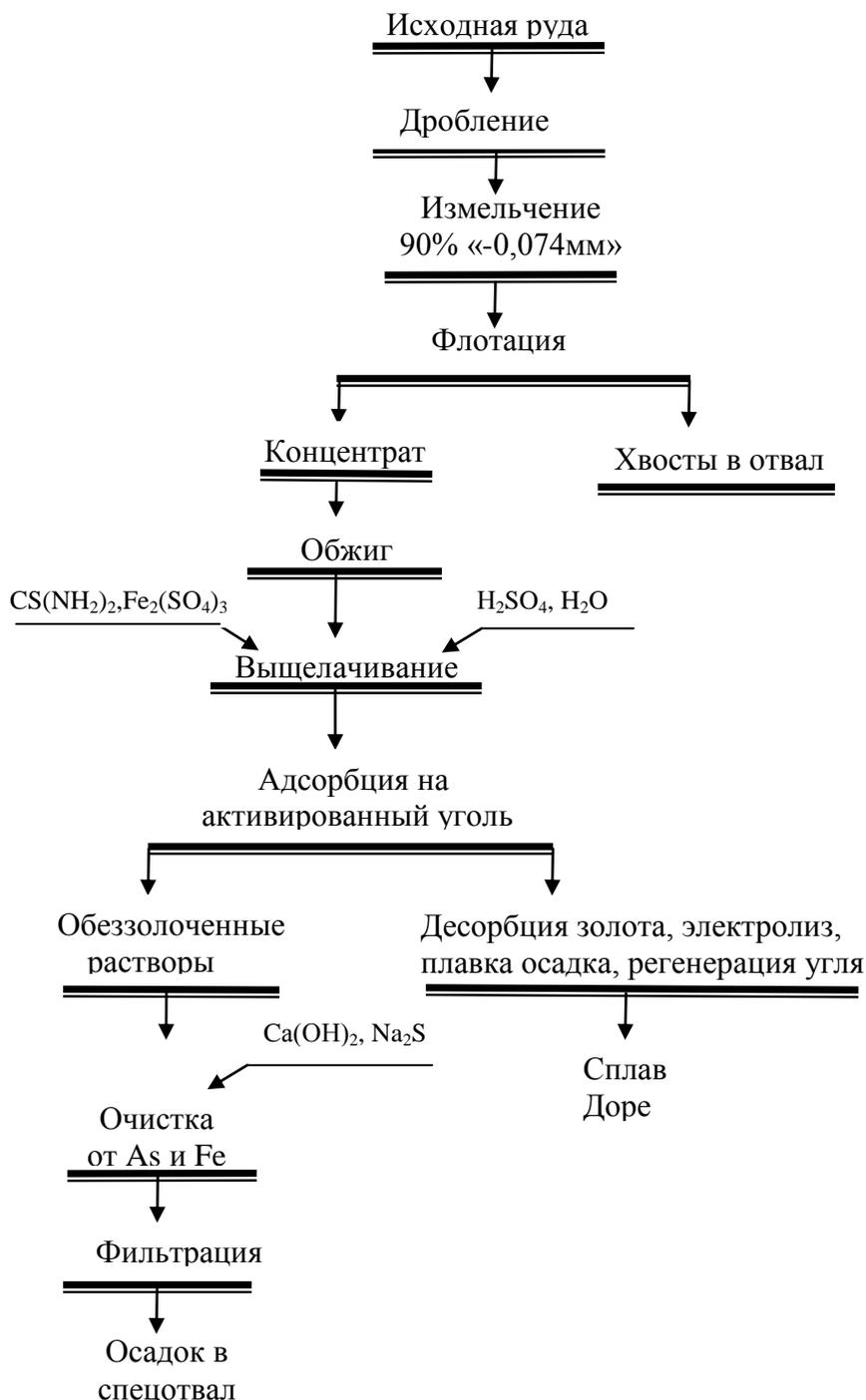


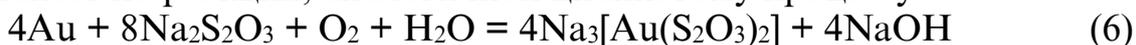
Рисунок 3 – Принципиальная схема переработки золото-, мышьяковых руд и концентратов с применением тиокарбамида.

Исследование процесса тиосульфатного выщелачивания золото-,медно-, мышьяксодержащих концентратов месторождения Тарор

Одним из перспективных растворителей благородных металлов является малотоксичный раствор тиосульфата натрия.

Золото с тиосульфат-ионом образует достаточно прочный комплекс состава $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$, энергия Гиббса образования которого составляет – 1024,9 кДж/моль, не разлагающийся с выделением серы даже при подкислении. Константа нестойкости этого комплекса составляет $4 \cdot 10^{-30}$, поэтому стандартный потенциал окисления золота в присутствии ионов SO_3S^{2-} снижается до +0,15 В, и окисление золота кислородом с переходом в раствор становится термодинамически возможным.

Процесс растворения золота в тиосульфате, в присутствии кислорода протекает по реакции, аналогичной цианистому процессу:



Термодинамическая вероятность приведенной реакции достаточно велика ($\Delta G^0 = -96,5$ кДж/моль) и возрастает с повышением температуры. Ион тиосульфата связан с золотом очень прочно.

Ниже приводятся результаты тиосульфатного выщелачивания концентрата с содержанием золота 32,7 г/т, Ag – 249,5 г/т и Cu – 26,4 %, который был подвергнут обжигу при температуре 600 °С в течение двух часов.

Известно, что многие комплексные соединения переходных металлов в высших степенях окисления могут участвовать в различных химических процессах. Эффективными окислителями могут быть аммиачные и тиосульфатные комплексы меди и кобальта. Следует также отметить, что добавление сульфата меди имеет стимулирующее действие на растворение благородных металлов в растворе тиосульфата из-за способности иона меди принимать электроны с поверхности металла и передавать его кислороду.

Ниже приведены результаты серии опытов по тиосульфатному выщелачиванию концентрата. С целью оптимизации в процесс выщелачивания подавали сульфит натрия, а также сульфат меди. Расходы $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 20 - 100$ г/дм³, $\text{Na}_2\text{SO}_3 - 30 - 80$ г/дм³, продолжительность процесса 24 - 48 ч, соотношение Т:Ж – 1:5, температура проведения процесса 20 – 60 °С. Результаты экспериментов представлены в таблице 6.

При использовании в качестве растворителя одного тиосульфата натрия или его смеси с сульфатом натрия наблюдается низкая эффективность выщелачивания - извлечение золота за 16 - 24 часов составляет всего лишь 52 - 68 %.

Положительное влияние на процесс тиосульфатного выщелачивания оказали добавки аммиака. Но из обожженного концентрата удается извлечь только 70,8 % золота. Резкое повышение скорости растворения золота наблюдается при выщелачивании концентрата после обжига при концентрации аммиака 3 г/дм³ – степень извлечения золота составляет 90,4 %, серебра 68,4 % и меди 38,7 %.

Присутствие аммиака в медно-тиосульфатной композиции защищает растворы от разложения и облегчает растворение деполяризатор-окислителя. Растворение золота при его взаимодействии с тиосульфатными растворами, содержащими аммиачный комплекс меди (II), можно представить следующей реакцией:



Таблица 6 – Извлечение металлов при тиосульфатном выщелачивании концентрата месторождения Тарор

№ п/п	τ, ч	pH	Загрузка реагентов, г/дм ³				Концентрация в растворе, мг/дм ³			Степень извлечение, %		
			Na ₂ S ₂ O ₃	Na ₂ SO ₃	CuS O ₄	NH ₃	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu
1	24	7,5	20				2,766	20,9	7808,4	42,3	41,9	16,2
2	16	7,6	50				3,427	19,0	10459,4	52,4	38,1	21,7
3	24	7,2	50				3,571	20,1	11086	54,6	40,3	23,0
4	24	9,5	100				4,179	25,0	10314,8	63,9	50,2	21,7
5	24	8,0	30	30			4,218	26,3	12628,4	64,5	52,7	26,2
6	18	10,3	30	40			4,499	25,1	13688,8	68,8	50,3	28,4
7	48	9,5	60	80			4,454	25,7	13688,8	68,1	51,5	28,4
8	24	8,2	20	30	1		4,114	24,7	10025,6	62,9	49,5	20,8
9	24	8,4	20	40	1		3,930	25,0	14026,2	60,1	50,2	29,1
10	24	9,3	30	40	1		4,271	27,1	12869,4	65,3	52,4	26,7
11	24	9,0	30	40		4	4,401	25,8	13881,6	67,3	51,7	28,8
12	24	9,6	60	80		4	4,630	26,2	14701	70,8	52,5	30,5
Концентрат после обжига. Температура 60 °С												
1	24	8,7	30				6,025	18,7	6547,2	50,8	31,2	12,4
2	24	8,4	50				8,088	25,0	15787,2	68,2	41,7	29,9
3	48	8,2	100				8,515	25,4	16473,6	71,8	42,3	31,2
4	24	8,8	30	30			8,610	25,8	15628,8	72,6	43,0	29,6
5	24	9,3	30	40			9,630	27,4	15998,4	81,2	45,7	30,3
6	24	8,8	20	30	1		8,361	24,4	14731,2	70,5	40,6	27,9
7	24	9,3	20	40	1		8,942	23,9	13833,6	75,4	39,8	26,2
8	24	8,8	30	40	1		9,761	25,9	15681,6	82,3	43,2	29,7
9	24	9,3	30	40		1	9,690	37,3	18268,8	81,7	62,2	34,6
10	24	8,8	30	40		2	9,986	38,9	19060,8	84,2	64,8	36,1
11	24	9,0	30	40		3	10,721	41,0	20433,6	90,4	68,4	38,7
12	24	8,6	30	40		4	10,745	40,9	19113,6	90,6	68,2	36,2
13	24	8,7	30	40		5	10,543	40,0	16896	88,9	66,8	32,0

Присутствие в данной системе аммиака препятствует растворению оксидов железа, кремнезёма, силикатов и карбонатов типичных компонентов золотосодержащих руд. Как видно из уравнения (7), аммиачный комплекс меди (II) играет роль окислителя металлического золота.

Таким образом, тиосульфатное выщелачивание золота из флотационных концентратов месторождения Тарор может быть рекомендовано как альтернативное цианистому процессу.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ХЛОРИДОВОЗГОНКИ МЕТАЛЛОВ ИЗ КОНЦЕНТРАТОВ

Исследования по хлоридовозгонке золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов руд Таджикистана

Одним из методов переработки упорных золотосодержащих концентратов является метод возгонки золота в виде его хлоридов, получивший название метода хлоридовозгонки. В качестве хлорирующих агентов при хлоридовозгонке могут применяться либо твердые хлориды натрия и кальция, либо газообразный хлор.

Сущность солевого процесса хлоридовозгонки золота состоит в нагреве смеси концентрата и хлористой соли (хлористого натрия) до 800 – 900 и 1000 °С. При 800 – 900 °С хлорное золото имеет значительную упругость паров (свыше 1 атм).

При хлоридовозгонке золота протекает ряд реакций:

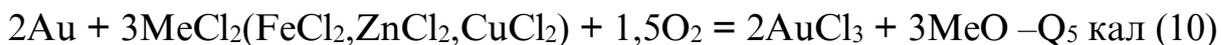
Реакция термического разложения хлористого кальция



Реакция гидролиза хлористого кальция в присутствии кремнезема



В частности, образовавшиеся хлориды железа, цинка и меди, в свою очередь, являются передатчиками хлора в процессе и могут хлорировать золото:



Как показали исследования, в присутствии породообразующих минералов (SiO_2) образование AuCl протекает по реакции:



Одновременно с золотом хлорируются и переходят в газовую фазу серебро и другие металлы.

Проведенный литературный обзор дал возможность выбрать этот метод для исследования его на золотосодержащих рудах Таджикистана.

Объектами исследования были золото-, медно-, мышьяксодержащие и концентраты месторождений Тарор и Чоре, в качестве хлорирующих агентов использовались хлориды натрия и кальция.

Исследованию подвергались медный концентрат, полученный на обогатительной фабрике СП «Зеравшан» при переработке маломышьяковистой руды Тарорского месторождения текущей добычи, а также флотационный концентрат, полученный в лабораторных условиях из руды месторождения Чоре. Хлоридовозгонка концентратов проводилась в интервалах температур от 600 до 1000 °С при продолжительности процесса от 1 до 3 часов.

Опыты по хлоридовозгонке Тарорского концентрата проведены с шихтой, содержащей: золота 43,8 г/т, серебра 107,9 г/т, меди 13,4 % и мышьяка 0,22 %, с навесками материала 56 - 60 г (концентрат 50 г, хлористый натрий 6 - 10 г) при температурах 600, 700, 800, 900, 1000 °С в течение 0,5, 1, 2 и 3 часов. Исследовалось влияние различных хлоринаторов – NaCl , CaCl_2 и их смесей на извлечение золота, серебра и меди из концентрата в процессе хлоридовозгонки. В таблице 7 представлены результаты опытов, получен-

ных при оптимальных технологических параметрах. Как видно из таблицы, извлечение золота, серебра и меди зависит от типа применяемого хлорирующего агента. Наибольшее извлечение металлов достигается при использовании в качестве хлоринатора CaCl_2 – 96,8 %, в аналогичных условиях при применении NaCl извлечение золота достигает 94,9 %. Также эффективно извлекается в возгоны серебро и медь.

Таблица 7 – Хлоридовозгонка золотосодержащих концентратов месторождения Тарор

Хлорирующий агент	Основные технологические параметры				Результаты хлоридовозгонки							
	расход хлор агента, %	t, °C	τ, ч	расход-воздуха, м³/ч	содержание в огарке, г/г				степень извлечения, %			
					Au	Ag	Cu, %	As, %	Au	Ag	Cu	As
CaCl_2	16	1000	1	6	1,87	6,55	1,56	0,13	96,8	95,5	91,3	53,5
CaCl_2 + NaCl	16	1000	1	6	2,52	7,56	1,64	0,14	95,6	94,7	80,7	52,7
NaCl	16	1000	1	6	2,61	8,97	1,65	0,13	94,9	93,0	89,6	50,4

Опыты по хлоридовозгонке концентрата, полученного из руды месторождения Чоре, проводились с шихтой, содержащей: золота 60,30 – 57,40 г/т, серебра 73,25 – 69,76 г/т, и мышьяка 14,71 – 14,01 % с навесками материала 29 - 27 г (концентрат 25 г, хлористый натрий 2 - 5 г) при температурах 600, 700, 800, 900, 1000 °C в течение 0,5, 1, 2 и 3 часов. Влияние различных хлоринаторов – NaCl , CaCl_2 и их смесей на степень извлечения золота, серебра и мышьяка из концентрата в процессе хлоридовозгонки в опытах, проведенных в оптимальных условиях, показано в таблице 8. Как видно из таблицы, извлечение золота, серебра и мышьяка зависит от типа применяемого хлорирующего агента. Наибольшее извлечение металлов достигается, как и в случае Тарорского концентрата, при использовании в качестве хлоринатора CaCl_2 (96,5 %). В аналогичных условиях при использовании NaCl извлечение золота в возгоны на 3,6, серебра на 1,9 % ниже, чем с хлоридом кальция.

Анализ проведенных исследований показал, что скорость протекания, степень, а также селективность хлоридовозгоночного процесса определяются, в основном, температурой, продолжительностью процесса, типом хлоринатора, составом газовой фазы, формой нахождения извлекаемых металлов в сырье и рядом других параметров.

Таблица 8 – Хлоридовозгонка золотосодержащих концентратов месторождения Чоре

Хлорирующий агент	Основные технологические параметры				Результаты хлоридовозгонки					
	расход хлор агента, %	t, °C	τ, ч	расход воздуха, м ³ /ч	содержание в огарке, г/т			степень извлечения, %		
					Au	Ag	As, %	Au	Ag	As
CaCl ₂	16	1000	1	6	5,74	5,20	0,0011	96,5	95,1	99,1
CaCl ₂ + NaCl	16	1000	1	6	4,31	6,29	0,0011	95,0	94,2	99,2
NaCl	16	1000	1	6	6,25	7,50	0,0045	92,9	93,2	96,6

Поскольку в огарках хлоридовозгонки содержание золота значительное, были проведены исследования по цианидному выщелачиванию из них золота. Время выщелачивания составляло 30 часов. Результаты цианирования представлены в таблице 9. Как видно из представленных данных, из огарков хлоридовозгонки золото удовлетворительно выщелачивается. Особенно это относится к огаркам месторождения Чоре. Здесь достигнутое извлечение золота составляет 86,05 - 90,52 %.

Таблица 9 – Результаты опытов по цианированию огарков хлоридовозгонки Тарорского и Чоринского концентрата

Наименование месторождения	Содер. Au в огарках хлоридовозгонка, г/т	Подано NaCN, г	pH	Содер. Au в хвостах цианирования, г/т	Степень извлечения Au, %
Тарор	1,90	0,050	10,70	0,60	68,42
	1,75	0,050	10,31	0,48	72,57
	2,64	0,060	9,58	0,92	65,15
	2,19	0,060	11,10	0,54	75,34
	3,48	0,060	10,40	1,43	58,90
Чоре	2,51	0,045	10,19	0,35	86,05
	3,16	0,055	9,47	0,37	88,29
	3,31	0,065	10,95	0,41	87,61
	3,48	0,065	10,50	0,33	90,52
	4,17	0,065	10,76	0,43	89,69

Кинетика процесса хлоридовозгонки концентрата месторождения Тарор

Взаимодействие золота и хлорида натрия начинается по достижении точки плавления последнего и усиливается при температурах, обеспечивающих значительную упругость паров NaCl. Поэтому первоначальной стадией реакции хлорирования золота хлоридом натрия является переход кристаллической соли в жидкое и газообразное состояние. Скорость этой стадии зависит от скорости подъема температуры. За стадией фазового перехода хлорида натрия следует его разложение с образованием элементарного хлора.

Адсорбция хлора на золоте при повышенных температурах происходит за счет активизации поверхности металла, обусловленной изменением поверхностной структуры при его нагревании. Нагрев золота до температуры (973 – 1173 К) не приводит к значительному изменению поверхности металла. При более высокой температуре (1173 – 1373 К) поверхность золота приобретает сильно развитую зернистую и почковатую структуру. Такая поверхностная модификация структуры золота значительно повышает его каталитическую активность. Напротив, катализирующее действие золота проявляется в меньшей степени при температурах 973 – 1173 К. Таким образом, область температур хлорирования золота (973 – 1173 К) относится к менее катализируемой, а область более высоких температур (1173 – 1373 К) – к сильно катализируемой.

Для исследования кинетики процесса хлоридовозгонки золото-,медно-,мышьяксодержащих концентратов месторождения Тарор с применением хлоридов натрия и кальция обжиг концентрата проводился в интервалах температур от 700 до 1000 °С при продолжительности процесса от 1, 2 и до 3 часов. Количество воздуха замеряли реометром и поддерживали на одном уровне – 6 м³/ч. Принятая скорость подачи воздуха, оптимальная для разложения хлоридов, была установлена специальными предварительными опытами.

Результаты проведенных опытов показывают, что при температуре 600 °С степень извлечения золота составляет 58,7 %. С повышением температуры процесса до 700 – 1000 °С извлечение золота резко увеличивается и достигает 89,2 – 95 %. При температуре 1000 °С увеличение продолжительности процесса до 2 и более часов не влияет на извлечение золота и составляет 94,2 %, в огарках остается золота 3,1 г/т.

На рисунке 4 представлены экспериментальные данные зависимости степени извлечения золота от времени при различных температурах хлоридовозгонки. Как видно из рисунка, кинетические кривые до 700 °С имеют практически прямолинейный характер, а при 700 – 1000 °С вначале прямолинейный, затем – параболический характер.

Эти кинетические кривые хорошо описываются уравнением первого порядка Ерофеева- Колмогорова:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = k(1 - \alpha), \quad (12)$$

где: α – степень извлечения золота;

τ – продолжительность, мин;

k – константа скорости реакции, мин⁻¹.

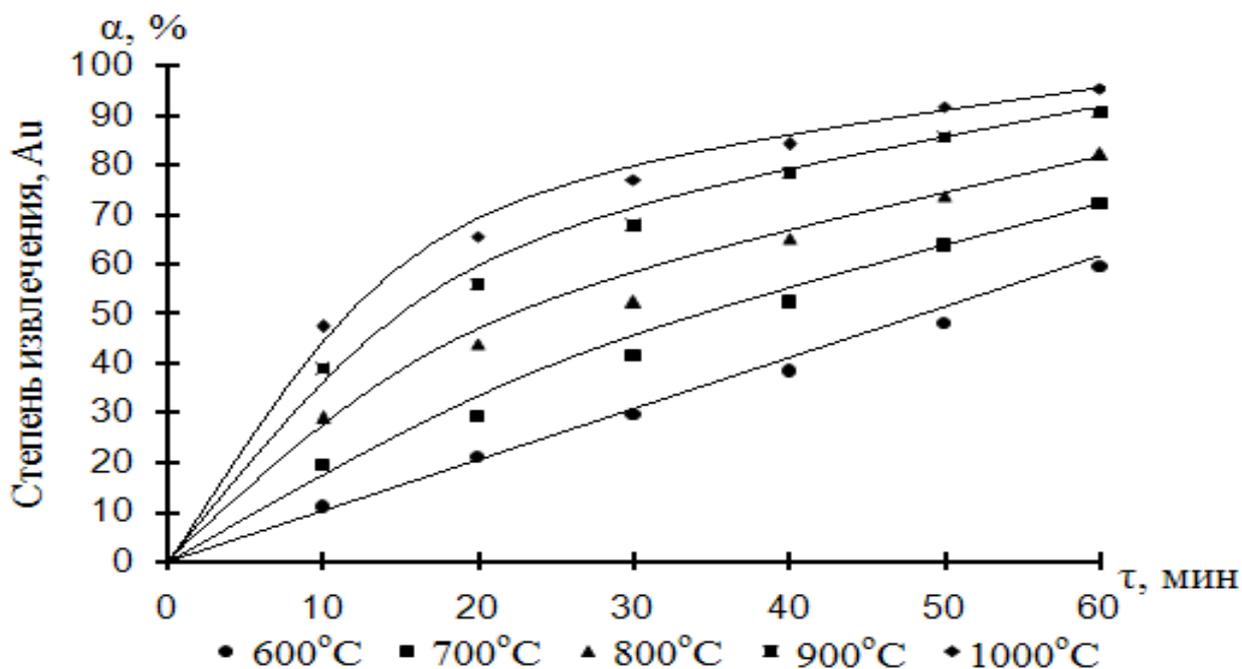


Рисунок 4 – Зависимость степени извлечения золота от времени при различных температурах хлоридовозгонки.

После математических преобразований уравнение (12) может быть представлено в виде:

$$\lg \frac{1}{(1-\alpha)} = \frac{k\tau}{2,303} \quad (13)$$

На графике зависимости $\lg \frac{1}{(1-\alpha)}$ от времени (рисунок 5а) полученные прямые имеют отрицательный наклон, равный $k/2,303$. Исходя из этого, обработкой этих кривых были рассчитаны значения констант скоростей в исследуемом интервале температур.

Зависимость константы скорости реакции от температуры описывается уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

или:

$$\lg k = \lg k_0 - \frac{E}{2,303RT}, \quad (14)$$

где: k – константа скорости реакции;

k_0 – предэкспоненциальный множитель;

E – кажущаяся энергия активации, кДж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·град;

T – абсолютная температура, К.

На графике зависимости $\lg k$ от $1/T$ (рисунок 5б) почти все экспериментальные точки хорошо укладываются на прямую линию, по тангенсу угла наклона которой была определена эмпирическая энергия активации. Определены значения констант скорости реакции и энергии активации, которая

равна 73,56 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в кинетической области. Установлено, что константа скорости процесса растет с увеличением температуры.

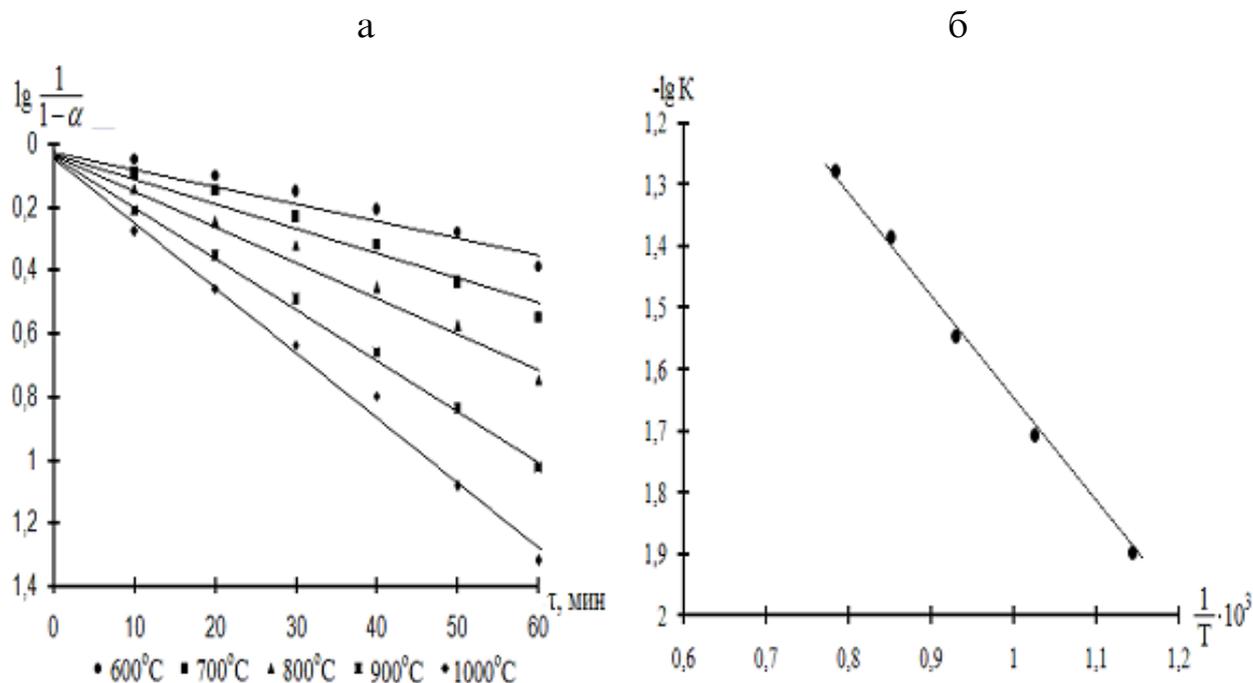


Рисунок 5 – Зависимости: а) $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ от времени, б) $\lg k$ от обратной абсолютной температуры.

Физико-химическое исследования фазового состава продуктов хлоридовозгонного обжига Тарорского концентрата

С целью изучения изменения состава исходного концентрата в процессе хлоридовозгонки был проведён рентгенофазовый анализ продуктов.

На рисунке 6 представлены рентгенограммы исходной пробы (6а) и огарков, полученных при оптимальных условиях хлоридовозгонки (6б).

Как видно из штрихрентгенограммы исходного концентрата (рисунок 5а), основными минералами его являются: пирит, сфалерит, арсенопирит, халькозин, халькопирит, пирротин и кварц.

В процессе обжига пирит претерпевает сложные химические превращения, характер которых зависит от температуры и среды, в которой производится обжиг. Процесс диссоциации пирита начинается при температуре, близкой к 500 °С. В интервале температур 500–600 °С (переходная зона) продукт обработки представляет собой отчетливо выраженную двухфазную систему, состоящую из плотных кристаллов исходного пирита и вновь образованных зерен пирротина с петельчатой пористой структурой. При температуре 700 °С остатки пирита в обожженном продукте исчезают. Начиная с 1000 °С, процесс сопровождается образованием расплавов, характеризующихся довольно сложным фазовым составом. Наиболее вероятной причиной расплавления огарков в этих условиях является возникновение эвтектических смесей, состоящих из пирротина и оксидов железа.

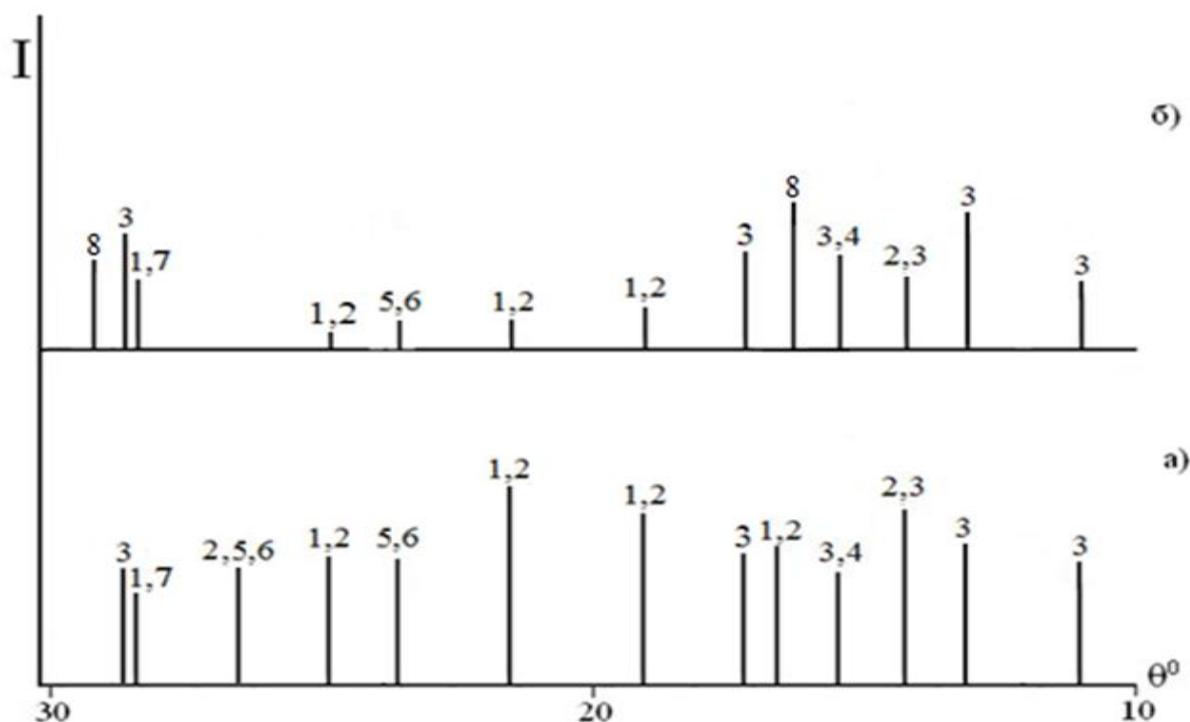


Рисунок 6 – Штрихрентгенограммы: а) исходный концентрат, б) продукт после хлоридовозгонки при 1000 °С; 1 – Арсенопирит; 2 – Пирит; 3 – Кварц; 4 – Сфалерит; 5 – Халькопирит; 6 – Халькозин; 7 – Пирротин; 8 – Магнетит.

Процесс разложения арсенопирита начинается при температуре 600 °С. При диссоциации пирита образуются пирротины с переменным атомным отношением серы к железу, а при диссоциации арсенопирита образуется моносulfид железа практически одинакового состава, отличающийся от пирротинов также и отсутствием ферромагнитных свойств. Конечным продуктом окисления арсенопирита является гематит.

На штрихрентгенограмме огарка, полученного после хлоридовозгонки при 1000 °С (рисунок 6б.), присутствуют линии кварца и магнетита, который появляется в результате окисления пирротина и пирита. Эти результаты доказывают, что при хлоридовозгонке флотоконцентратов основные железосодержащие минералы окисляются и высвобождают находящееся в них золото.

Рекомендуемая технологическая схема переработки руды Тарорского месторождения

На основании результатов исследований рекомендуется принципиальная технологическая схема процесса переработки флотационных золотосодержащих концентратов Тарорского и Чоринского месторождений методом хлоридовозгонки с последующим цианированием огарков (рисунок 7).

Для улавливания хлоридов благородных и цветных металлов могут быть рекомендованы электрические или мокрые фильтры, а для последующего извлечения металлов из растворов – цементация, дробная кристаллизация или ионный обмен.

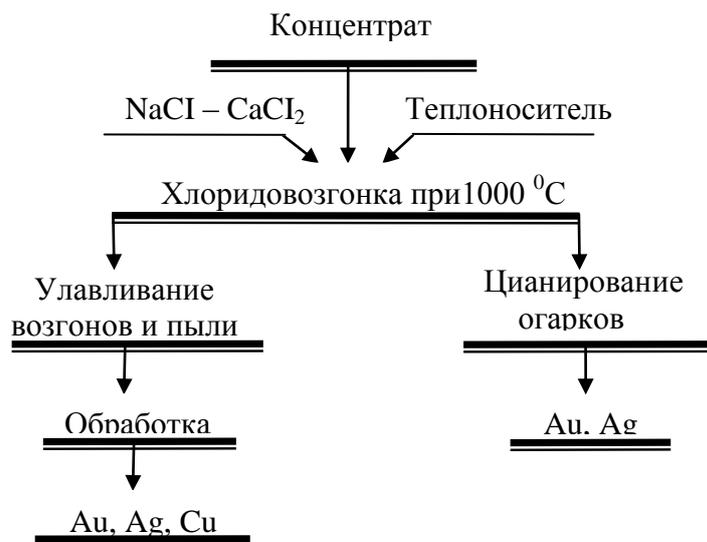


Рисунок 7 – Принципиальная технологическая схема процесса переработки флотационных золотосодержащих концентратов месторождений Тарор и Чоре.

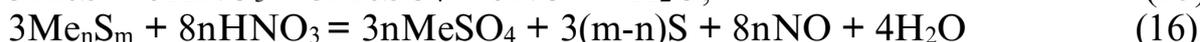
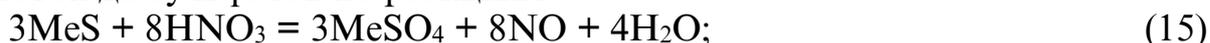
Предлагаемая технологическая схема позволит экономически выгодно осуществить переработку руд с организацией производственных цехов по хлоридовозгонке концентратов, работающих непосредственно на обогатительной фабрике. Положительной особенностью предлагаемого процесса является то, что Таджикистан имеет огромные запасы поваренной соли.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЗОТНОКИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТО-, МЕДНО-, МЫШЬЯК-СОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ

Одним из перспективных методов вскрытия упорных золото - сульфидных концентратов является гидросульфатизация в растворе азотной кислоты.

Азотнокислотный способ позволяет переводить мышьяк, серу и железо в раствор в виде мышьяковистой и серной кислот, а железо в виде нитрата и сульфата железа.

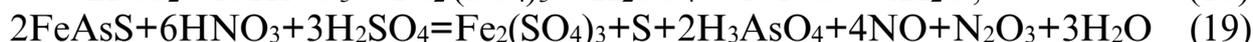
Согласно современным представлениям сульфиды окисляются азотной кислотой до сульфатов по реакциям:



При избытке азотной кислоты, образующейся по реакции (15), сера окисляется до серной кислоты по реакции:



Окисление пирита и арсенопирита азотной кислотой можно представить уравнениями:



Термодинамическими расчетами показана возможность протекания реакций между этими минералами и азотной кислотой при атмосферном давлении в интервале температур 333-368 К. Установлено, что повышение температуры способствует протеканию реакции.

В настоящей работе изучено влияние различных факторов в широких интервалах изменения параметров на вскрываемость концентрата. Химический состав исследуемого флотационного золото-, медно-, мышьякового концентрата месторождения Тарор следующий % (мас.): 40,2 г/т Au; 86,7 г/т Ag; 12,4 Cu; 1,2 As.

В таблице 10 представлены результаты опытов при различных расходах азотной кислоты, из которой видно, что при концентрации азотной кислоты 400 г/дм³ 99,2 % золота остается в кеке. Медь практически вся переходит в раствор выщелачивания. Полученный после выщелачивания кек подвергнулся цианированию. Степень извлечения золота после цианирования составила 90,2-97,5 %.

На основании проведенных исследований найдены следующие оптимальные условия азотнокислотного вскрытия концентрата: температура 80°С, продолжительность процесса 120 мин, соотношение Т:Ж = 1:5 и концентрация азотной кислоты 350-400 г/дм³.

Таблица 10 – Результаты азотнокислотного выщелачивания концентратов месторождения Тарор

№ опыта	Загрузка HNO ₃ г/м ³	Выход кека, %	Содержание в кеке			Степень извлечение в кеке, %			Цианируемое золото, %	
			Au, г/т	Cu, %	As, %	Au, %	Cu, %	As, %	До вскрытия	После вскрытия
1	500	45	91	0,26	0,20	99,6	2,1	2,4	42	97,5
2	450	47	82	0,29	0,22	99,2	2,4	2,8	48	97,0
3	400	50	79	0,31	0,27	99,3	2,6	2,9	51	97,2
4	350	55	73	0,32	0,29	98,6	2,9	3,3		95,7
5	300	59	68	0,37	0,32	98,9	3,0	3,8		90,2
6	200	62	64	0,40	0,36	98,8	3,2	3,9		80,5

Насыщенный раствор азотнокислотного выщелачивания, содержащий медь, был направлен на электролиз. Электролиз проводился в специально изготовленной ванне при pH - 2 и температуре 25 °С. С помощью трансформатора марки KDF 300A/12 V был подан ток 0,5 А. В качестве катода использовали нержавеющую сталь. За 8 ч более 80 % меди восстановилось на катоде. После завершения электролиза получено 7,5 г шлама в котором содержалось 95,6 % меди.

Для очистки технологического раствора использован метод осаждения мышьяка и железа раствором извести и сернистого натрия. При этом мышьяк переходит в осадок в виде труднорастворимых сульфата и арсената кальция. Осадок представляет собой сложную смесь, состоящую из сульфата кальция, сульфата железа, арсената кальция, арсената железа, сульфид-

да мышьяка, сульфида железа, гидрата окиси железа и других соединений. При этом расход сернистого натрия (в пересчете на 30 -процентный технический) составляет 80 кг/т, а извести 85 кг/т исходного концентрата.

Кинетика разложения золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов месторождения Тарор

Изучена кинетика разложения золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов в растворе азотной кислоты.

Экспериментальные данные зависимости разложения концентрата от температуры, продолжительности процесса представлены на рисунке 8.

Как видно из рисунка, с увеличением температуры значительно ускоряется процесс разложения. В изученном интервале температур степень извлечения меди увеличивается от 41,8 до 97,5. Кинетические кривые процесса разложения при температурах 25, 40 °С имеют прямолинейный характер, а при температуре 60 °С и выше вначале имеют аналогичный характер, а затем параболический. Эти кинетические кривые удовлетворительно описываются уравнением первого порядка Ерофеева - Колмогорова:

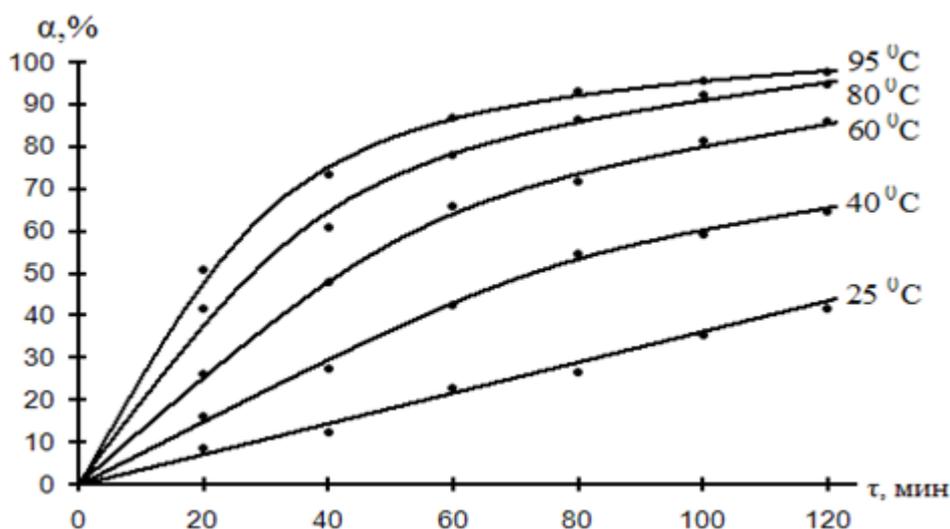


Рисунок 8 – Кинетические кривые разложения концентрата при различных температурах.

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = K(1 - \alpha) \quad (20)$$

где: α - степень извлечения меди; τ - время, мин; k - константа скорости реакции, мин⁻¹.

После несложных математических преобразований можно представить это уравнение в виде:

$$\lg \frac{1}{1 - \alpha} = \frac{k\tau}{2,303} \quad (21)$$

На графике зависимости $\lg\left(\frac{1}{1 - \alpha}\right)$ от времени (τ) (рисунок 9) получен-

ные прямые имеют отрицательный наклон, равный $k/2,303$. На основе обработки этих кривых были рассчитаны значения констант скоростей в исследуемом интервале температур.

Зависимость константы скорости реакции от температуры может быть описана уравнением Аррениуса, в виде:

$$K = K_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \text{ или: } \lg k = \lg k_0 - \frac{E}{2,303RT}, \quad (22)$$

где: R – универсальная газовая постоянная, кДж/моль;

T – абсолютная температура, К.

На графике зависимости $\lg k$ от $1/T$ (рисунок 9) почти все экспериментальные точки хорошо укладываются на прямую линию.

Величины энергии активации определены по тангенсу угла наклона прямой и по формуле:

$$E = \frac{2,3RT_2T_1}{T_2 - T_1} \lg \frac{K_2}{K_1} \quad (23),$$

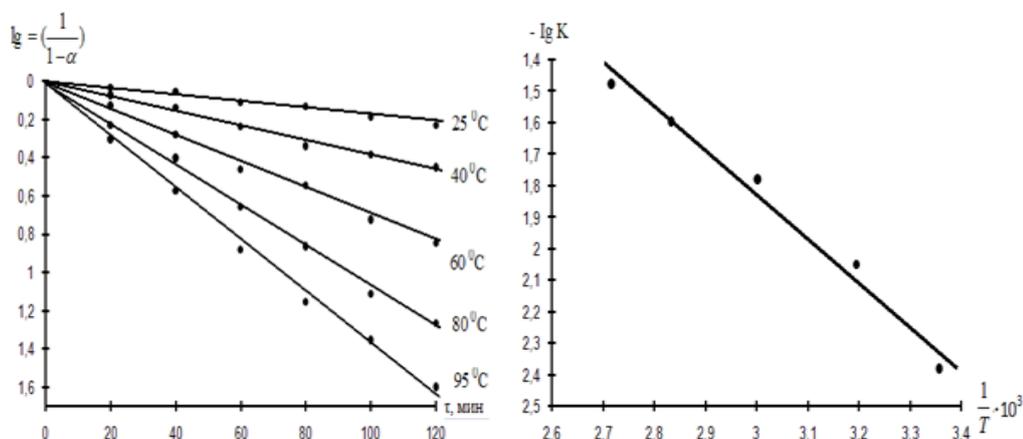


Рисунок 9 – Зависимость а) $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ от времени ; б) $\lg K$ от обратной абсолютной температуры.

По наклону прямой была вычислена кажущаяся энергия активации (E), которая составила 37,21 кДж/моль. Численное значение энергии активации и зависимость скорости разложения от температуры свидетельствуют о ее протекании в смешанной диффузионно-кинетической области.

Проведенные исследования раскрывают механизм процесса разложения минералов и являются основой для разработки технологии получения золота, серебра и меди из упорного концентрата руды месторождения Тарор.

Физико-химическое исследование фазового состава продуктов азотнокислотного выщелачивания флотоконцентратов Тарорского месторождения

Для получения информации о составе фаз в полученных флотоконцентратах использовали рентгенофазовый анализ (РФА).

По характерным рефлексам дифрактограммах определялся фазовый состав образцов флотоконцентратов.

Проведение рентгенофазовые исследования концентратов месторождения Тарор до и после выщелачивания азотной кислотой при 90 °С показывает, что в пробе наблюдается аморфизация структуры пирита, арсенопирита и сфалерита, входящих в состав концентратов, с сохранением характерных рефлексов кварца (рисунок 10).

Данные результатов химического и минералогического анализов подтверждаются рентгенографическим исследованием исходного флотоконцентрата и концентрата после выщелачивания. На рентгенограмме концентрата после выщелачивания интенсивность линии арсенопирита, пирита, халькозина резко снижается, что свидетельствует об их растворимости.

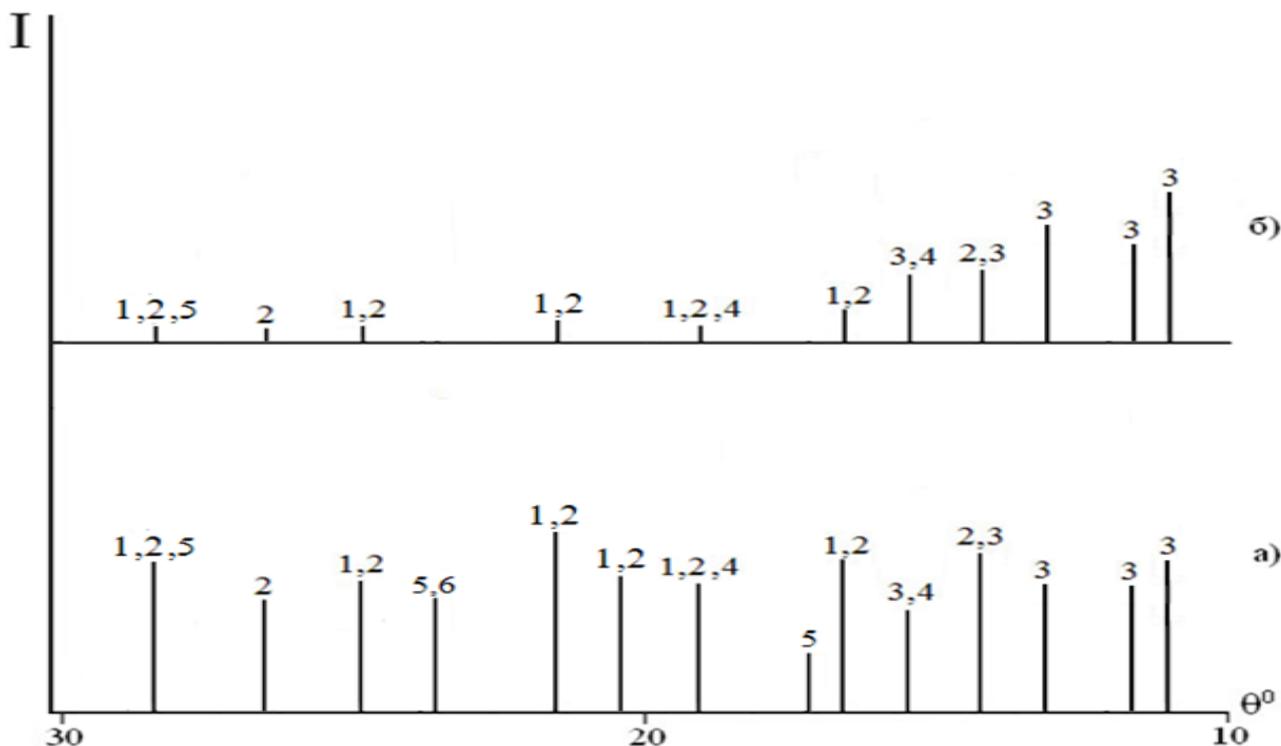


Рисунок 10 – Рентгенограмма концентрата: а) исходного; б) после его выщелачивания при оптимальном режиме; 1 – Арсенопирит, 2 – Пирит, 3 – Кварц, 4 – Сфалерит, 5 – Халькозин.

Технологическая схема переработки сульфидно-мышьяковой золотосодержащей руды месторождения Тарор

В условиях нашей республики применение азотнокислотной технологии переработки золотомышьяковых концентратов может дать значительный экономический эффект и быть полезной для разработки других мышьяксодержащих руд страны.

На основании проведенных исследований предлагается технологическая схема переработки мышьяксодержащей руды месторождения Тарор (рисунок 11). Разработанная схема включает в себя дробление, измельчение руды до 90 % класса «-0,074 мм», флотацию с получением коллективного концентрата. Концентрат направляется на безавтоклавное азотнокислотное выщелачивание. После выщелачивания концентрат фильтруется и

промывается.

Кек выщелачивания, обогащенный благородными металлами, направляется на цианирование, а фильтрат на электролиз для получения меди. Раствор после электролиза направляется на утилизацию с добавлением $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и Na_2S . Образующийся осадок отправляется в спецотвал, а раствор может служить объектом для получения известкового молока.



Рисунок 11 – Принципиальная технологическая схема переработки золото-, медно-, мышьяксодержащей руды месторождения Тарпор.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА КУЧНОГО (ОТВАЛЬНОГО) ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЕДНЫХ ЗОЛОТО-СОДЕРЖАЩИХ РУД

Исследования по колонному выщелачиванию золотосодержащих руд различных месторождений

В лабораторных условиях ООО СП «Зеравшан» был произведен цикл испытаний по колонному выщелачиванию на различных типах руд Таджикистана. Исследования проводились на рудах крупностью - 200 и 50 мм (таблица 11).

Таблица 11 – Результаты лабораторных исследований по колонному выщелачиванию руд различных месторождений

Наименование месторождения	Класс крупность, мм(-)	Содер. Au в исходной руде, г/т	Содер. Ag в исходной руде, г/т	Концентрация NaCN, мг/дм ³	Степень извлечения Au, %	Степень извлечения Ag, %	Расход NaCN, кг/т	Расход CaO, кг/т
Хирсхона	200	0,60	0,84	300	49,2	30,3	0,342	0,210
Хирсхона	200	0,66	0,71	700	58,3	37,2	0,338	0,240
Сев. Джилау	200	0,80	0,84	300	52,6	12,3	0,280	0,225
Сев. Джилау	200	1,05	0,71	700	61,8	20,6	0,320	0,320
Олимпское	200	0,63	0,75	300	59,9	28,9	0,298	0,200
Олимпское	200	0,72	0,71	700	73,2	32,1	0,395	0,234
Сев.Джилау	50	0,82	0,88	300	70,5	17,9	0,343	0,280
Сев.Джилау	50	1,03	0,86	700	81,3	25,6	0,530	0,380
Олимпское	50	0,68	0,93	300	58,6	21,2	0,568	0,285
Олимпское	50	0,88	1,10	700	64,2	28,3	0,583	0,331
Хирсхона	50	0,72	0,88	300	60,9	17,0	0,575	0,340
Хирсхона	50	0,96	0,86	700	71,4	25,2	0,610	0,420

При этом с целью повышения извлечения благородных металлов при отвальном выщелачивании были проведены исследования с применением более концентрированных цианистых растворов (700 мг/л), чем тех, которые применяются в промышленных условиях на фабрике. Как видно из представленных данных, более предпочтительной является повышенная концентрация цианида, а также меньшая крупность руды.

Для дальнейшего изучения данного вопроса и проверки результатов лабораторных работ выполнен проект, построен и введен в эксплуатацию объект полупромышленного отвального выщелачивания. Испытательная

куча выщелачивания была расположена внутри одного из недостроенных сгустителей. Основание сгустителя было модифицировано и закупорено цементированием. Были исследованы три типа руд: месторождений Джилау, Северное Джилау и Олимпийского. Опытная куча эксплуатировалась с использованием стандартного насосного и распылительного оборудования, труб и приборов. Было переработано 39812 тонн руды. Расход цианида составил 0,18 – 2,0 кг/т, извести 1,9 – 2,2 кг/т. За время испытаний получено от 4577 до 7249 г золота. Итоговые и экономические результаты отвального выщелачивания бедных руд различных месторождений приведены в таблице 12. Как видно из экономических расчетов, при полупромышленных испытаниях при переработке руд различных месторождений суммарная прибыль составила 55958 долл.США.

На основании полупромышленных испытаний проведена вторая стадия промышленных испытаний кучного (отвального) выщелачивания на рудной куче объемом 710000 тонн руды на двух ярусах.

Процесс выщелачивания продолжался в течение 85 суток до полного прекращения прироста извлечения золота. После завершения выщелачивания и окончательной перекачки насыщенного раствора с кучи, а также очистки всех зумпфов от раствора процесс переводили в режим промывания (обеззараживания от цианида натрия).

На рисунке 12 представлены кинетические кривые выщелачивания золота из руды в процессе промышленных испытаний. В течение 67 суток скорость выщелачивания золота примерно одинаковая, в последующие сутки переход золота замедляется, и кривая выщелачивания выполаживается.

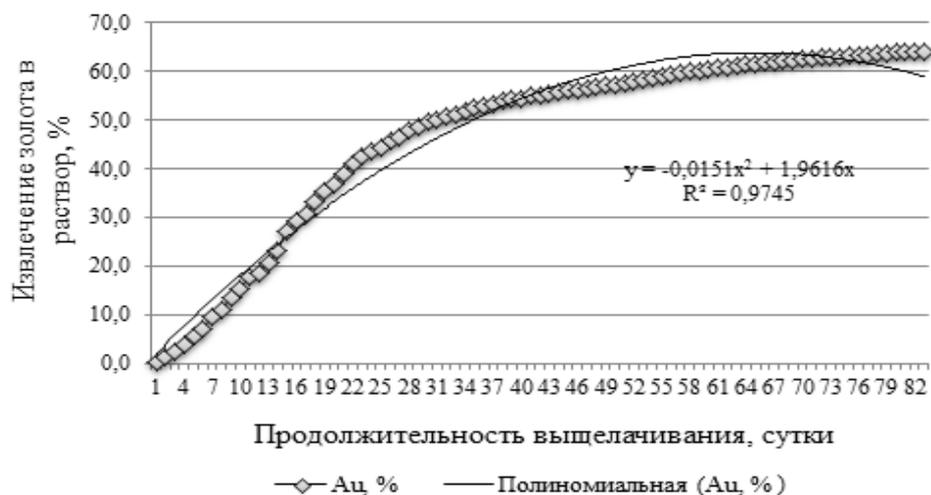


Рисунок 12 – Динамика отвального выщелачивания золота руды месторождения Джилау в процессе промышленных испытаний

При переработке 42540 тыс. тонн руды с содержанием 0,59 г/т за 89 суток получено 16063 г золота при извлечении последнего 64 %. При этом расход цианида составил 0,2 кг/т, извести – 1,3 кг/т. Прибыль за один цикл испытаний составила 45298 дол. США.

Полученные результаты показали перспективность использования отвального выщелачивания для бедных и забалансовых золотых руд в ООО СП «Зеравшан».

Таблица 12 – Итоговые результаты полупромышленных испытаний отвального выщелачивания бедных золотосодержащих руд

№ п/п	Параметры	Наименование месторождений		
		Джилау	Сев.Джилау	Олимпийский
1	Количество руды, тн.	14847	13515	11450
2	Исходное содержание, г/т	0,75	0,78	0,67
3	Количество полученного золота, гр.	6035	7246	4577
4	Степень извлечения, %	54,2	68,7	59,7
5	Продолжительность выщелачивания, дни	66	71	64
6	Поток раствора выщелачивания, м ³ /ч	23	23	23
7	Расход раствора на отвал, м ³ /т	3,11	3,34	2,37
8	Расход извести, кг/т	2,2	1,9	2,0
9	Расход цианида, кг/т	0,18	0,22	0,20
Расход на производство продукции (в долларах США)				
10	Добыча руды	18684	18540	14387
11	Перевозка руды	23041	20847	17861
12	Цианид натрия	4950	4980	3836
13	Известь	1180	1226	910
14	Электроэнергия	546	510	423
15	Прочие расходы	950	10620	828
16	Управленческие расходы	9510	9820	7852
17	Всего расходы	58861	66443	46097
18	Себестоимость 1 г Золота	9,75	9,17	10,07
19	Реализационная цена	12,42	12,42	12,98
20	Прибыль	16094	23552	13312

Математический анализ процесса отвального выщелачивания руд месторождения Джилау

На основании опытных данных, полученных при полупромышленных испытаниях кучного выщелачивания бедных руд месторождения Джилау, приведённых в таблице 13, построена эмпирическая формула типа параболы вида

$$Y = ax^2 + bx + c \quad (24),$$

где Y – извлечение золота в раствор, %,
 x – продолжительность выщелачивания, сутки,
 a, b, c – коэффициенты регрессии.

Для отыскания параметров a , b и c воспользовались методом наименьших квадратов. При решении системы уравнений методом Гаусса, найдено:

$$a = -0,0184646; b = 2,10171; c = -4,07123.$$

Итак, эмпирическая формула, выведенная нами, имеет вид

$$y = -0,0184646x^2 + 2,10171x - 4,07123.$$

По процентам отклонения эмпирических и опытных данных по точкам найдено среднее процентное отклонение, равное 9,3.

На рисунке 13 представлена кинетическая кривая выщелачивания золота из руды в процессе промышленных испытаний, а также для сравнения кривая, полученная на основании эмпирических данных.

Как видно из рисунка, они удовлетворительно накладываются друг на друга.

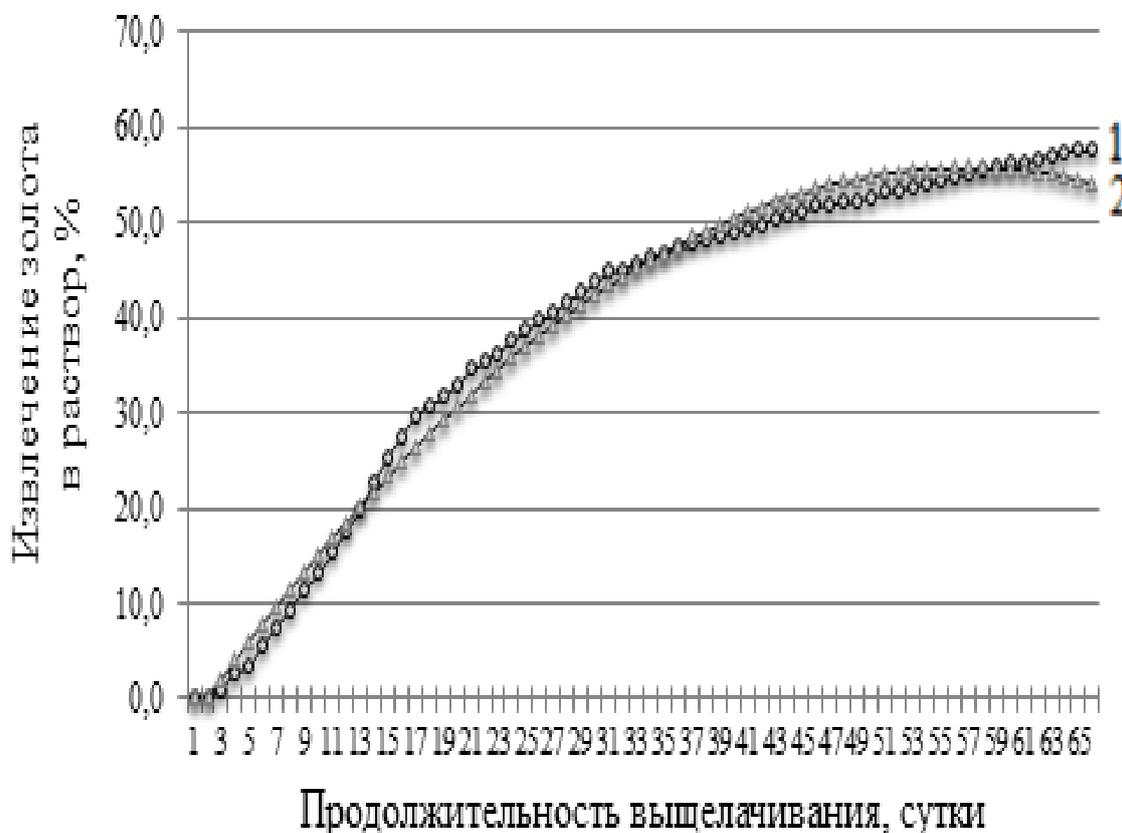


Рисунок 13 – Кинетические кривые цианидного выщелачивания золота.

1 – экспериментальная;

2 – расчетная.

На основании проведенных математических расчетов предложены модели кучного выщелачивания руд месторождений Джилау, Северное Джилау и Олимпийское, которые можно рекомендовать в производство.

Таблица 13 – Опытные и вычисленные данные извлечения золота из руды месторождения Джилау в зависимости от продолжительности цианирования

х (дни)	у (Au), %	у, выч.	Процентное отклонение	х (дни)	у (Au), %	у, выч.	Процентное отклонение
1	0,00	0,00		34	46,29	46,04	-0,54
2	0,49	0,96	-88,09	35	46,82	46,87	+0,1
3	0,88	2,07	+134,97	36	47,34	47,66	+0,68
4	2,74	4,04	+47,45	37	47,8	48,41	+1,28
5	3,38	5,98	+76,8	38	48,216	49,13	+1,9
6	5,68	7,87	+38,63	39	48,65	49,81	+2,39
7	7,43	9,74	+31,04	40	48,97	50,45	+3,03
8	9,35	11,56	+23,64	41	49,29	51,06	+3,6
9	11,46	13,35	+16,48	42	49,68	51,62	+3,92
10	13,19	15,10	+14,47	43	50,37	52,16	+3,56
11	15,37	16,81	+9,39	44	50,77	52,66	+3,71
12	17,68	18,49	+4,58	45	51,18	53,12	+3,78
13	19,67	20,13	+2,34	46	51,68	53,54	+3,59
14	22,89	21,73	-3,05	47	51,92	53,92	+3,85
15	25,42	23,30	-8,34	48	52,13	54,27	+4,1
16	27,65	24,83	-10,2	49	52,39	54,58	+4,18
17	29,67	26,32	-11,28	50	52,67	54,85	+4,14
18	30,79	27,78	-9,78	51	53,27	55,09	+3,42
19	31,68	29,20	-7,84	52	53,48	55,29	+3,38
20	33,08	30,58	-7,56	53	53,69	55,45	+3,28
21	34,68	31,92	-7,95	54	54,11	55,58	+2,71
22	35,34	33,23	-5,97	55	54,37	55,67	+2,39
23	36,2	34,50	-4,7	56	54,78	55,72	+1,72
24	37,57	35,73	-4,89	57	55,22	55,73	+0,93
25	38,64	36,93	-4,42	58	55,49	55,71	+0,4
26	39,78	38,09	-4,24	59	55,72	55,65	-0,12
27	40,44	39,21	-3,03	60	56,08	55,56	-0,93
28	41,73	40,30	-3,42	61	56,34	55,43	-1,62
29	42,68	41,35	-3,12	62	56,75	55,26	-2,63
30	43,68	42,36	-3,02	63	57,08	55,05	-3,56
31	44,87	43,34	-3,42	64	57,42	54,81	-4,55
32	45,11	44,28	-1,85	65	57,64	54,53	-5,4
33	45,79	45,14	-1,34	66	57,64	54,21	-5,95

ВЫВОДЫ

1. Разработаны технологические режимы цианидного выщелачивания золотосодержащих руд месторождений Таджикистана. Установлено, что сульфидные руды месторождений Тарор и Чоре удовлетворительно не цианируются вследствие их упорности. Показано, что для окисленных руд месторождения Тарор более эффективным является процесс аммиачно-цианистого выщелачивания. Найденные следующие оптимальные параметры аммиачного цианирования: концентрация реагентов NaCN – 1 г/л; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 10 г/л; CaO – 5 г/л; Ж:Т – 1,5:1; продолжительность выщелачивания – 24 ч.

2. Изучены химико-технологические основы процесса хлоридовозгонного обжига флотационных концентратов упорных руд в присутствии NaCl , CaCl_2 и их смесей. Определены кажущиеся энергии активации процесса протекания реакций, свидетельствующие о прохождении их в кинетической области, что свидетельствует о протекании реакции на разделе двух фаз. Изучено влияние температуры и продолжительности процесса на степень извлечения благородных металлов из флотоконцентратов, на основании которых определены оптимальные условия процесса. Показано, что извлечение золота и серебра при хлоридовозгонке в течение 1 – 2 часов составляет 92,9 – 96,8 %. Дополнительно выщелочено золото из огарков с извлечением – 58,9 – 75,3 % (Тарор) и 86,05 – 90,5 % (Чоре).

3. Разработана и предложена принципиальная технологическая схема переработки золотых и золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов методом хлоридовозгонки. Разработанный процесс позволяет достигнуть извлечение ценных компонентов до 96 – 98 %.

4. Изучены основные кинетические закономерности азотнокислотного разложения флотационного концентрата месторождения Тарор. Найденные оптимальные условия вскрытия золотосодержащих медно-, мышьяксодержащих концентратов азотной кислотой: концентрация азотной кислоты – 400 г/дм³; продолжительность процесса – 120 мин; соотношение Т:Ж = 1:5; температура процесса – 80 °С. Определена энергия активации процесса (Е – 38,37 кДж/моль), свидетельствующая о протекании процесса в диффузионно-кинетической области. Методами рентгенофазового анализа изучены состав исходных флотоконцентратов и продуктов их разложения азотной кислотой. Установлено, что из состава флотоконцентрата селективно выщелачиваются сульфиды.

5. Изучены химико-технологические закономерности процесса тиокарбамидного и тиосульфатного выщелачивания и разработана технология гидрометаллургического извлечения металлов из золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов. Найденные оптимальные условия тиокарбамидного выщелачивания флотационных концентратов, полученных из руды месторождения Чоре: расход тиомочевины – 22 кг/т, серной кислоты – 30 кг/т, соотношение Т:Ж – 1:3, расход трёхвалентного сульфата железа – 9 кг/т, и извести – 48 кг/т (на очистку фильтрата от мышьяка и железа), продолжительность выщелачивания – 10 ч. При этом степень извлечения золота составляет 90,6 %.

6. На основе проведенных исследований найдены оптимальные параметры колонного выщелачивания бедных золотосодержащих руд: продолжительность процесса от 30 до 60 суток, крупность размера кусков -200 мм, расход цианида натрия для руд месторождений Джилау, Хирхона, Олимпийское и Северное Джилау от 0,2 до 0,5 кг/т; расход извести 0,2-0,4 кг/т. Выданы рекомендации по процессу отвального выщелачивания для руд месторождений Джилау, Олимпийское, Хирхона и Северное Джилау.

7. Проведены полупромышленные и опытно-промышленные испытания технологии кучного (отвального) выщелачивания на рудах различных месторождений, в результате которых достигнута степень извлечения золота 69 %. Себестоимость получения 1 грамма золота составила 10,4 доллара США. Прибыль за один цикл опытно-промышленных испытаний составила 45298 долларов США.

8. Разработана математическая модель процесса кучного (отвального) выщелачивания для руд различных месторождений, описывающая закономерности кинетики процесса, которая позволит прогнозировать и контролировать технологические параметры процесса в любой заданный момент времени.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монография

1. Самихов, Ш.Р., Зинченко З.А. Технология переработки золотосодержащих руд / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко. Издательский дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 108 с.

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и включенных в системы цитирования РИНЦ.

2. Азим, Иброхим. Исследования по отвальному выщелачиванию бедных золотосодержащих руд / Азим Иброхим, Б.А. Бобохонов, Зинченко З.А., **Ш.Р. Самихов** // Горный журнал. – 2005. – № 1. – С. 56 – 58.

3. Зинченко, З.А. Комбинированная технология переработки золотосодержащей руды месторождения Чоре / З.А. Зинченко, **Ш.Р. Самихов** // Горный журнал. – 2006. – № 6. – С. 99 – 100.

4. Зинченко, З.А. Переработка упорных золотосодержащих руд Таджикистана / З.А. Зинченко, **Ш.Р. Самихов** // Горный журнал. – 2011. – № 4. – С. 97 – 98.

5. **Самихов, Ш.Р.** Изучение процесса хлоридовозгонки золото-, медь- и мышьяксодержащих флотационных концентратов / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Б.А. Бобохонов // Горный журнал. – 2011. – № 11. – С. 59 – 61.

6. **Самихов, Ш.Р.** Разработка технологии тиомочевинного выщелачивания золота и серебра из концентратов месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, О.М. Бобомуродов // Цветные металлы. – 2014. – № 2. – С. 62 – 66.

7. **Самихов, Ш.Р.** О кинетике азотнокислотного выщелачивания концентрата месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Восточно – Европейский Научный Журнал (Warszawa, Polska). – 2016. 7/4 (8). С. 41 – 45.

8. Бобохонов, Б.А. Разработка условий выщелачивания золота из бедных руд / Б.А. Бобохонов, **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Вестник Таджикского национального университета. – 2004. – № 4. – С. 144 – 145.

9. **Самихов, Ш.Р.** Кинетика разложения сульфидно – мышьяковых концентратов месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Вестник Таджикского технического университета. – 2009. – № 8. – С. 21 – 24.

10. Зинченко, З.А. Ионнообменная технология (RIP/RIL/RIS¹) в гидрометаллургии золота / З.А. Зинченко, **Ш.Р. Самихов**, И.Р. Бобоев // Вестник Таджикского технического университета. – 2010. – № 3. – С. 60 – 62.

11. Зинченко, З.А. Исследования по колонному выщелачиванию золотосодержащих руд различных месторождений Таджикистана / З.А. Зинченко, **Ш.Р. Самихов**, Б.А. Бобохонов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2010. – Т. 53, №7. – С. 553 – 556.

12. **Самихов, Ш.Р.** Применение хлоридовозгонки для золотомышьяк-содержащих концентратов месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Ю.Б. Азизкулов // Известия АН Республики Таджикистан: Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2010. – Т. 141, № 4. – С. 72 – 77.

13. **Самихов, Ш.Р.** Исследование влияния хлоринаторов на процесс хлоридовозгонки золото-, медно-, мышьяк-содержащих концентратов месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Ю.Б. Азизкулов // Вестник Таджикского национального университета. – 2012. – № 1/1 (77). – С. 152 – 156.

14. **Самихов, Ш.Р.** Опыт отвального выщелачивания золота из забалансовых руд месторождения Северное Джилау в ООО СП «Зеравшан» / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Б.А. Бобохонов // Вестник Таджикского национального университета. – 2012. – № 1/2 (81). – С. 111 – 114.

15. **Самихов, Ш.Р.** Изучение кинетики процесса цианирования золотосодержащих руд Таджикистана / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Б.А. Бобохонов // Известия АН Республики Таджикистан: Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2012. – Т. 146, № 1. – С. 85 – 91.

16. **Самихов, Ш.Р.** Кинетика разложения и физико-химическое изучение сульфидно-мышьяковых концентратов месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Вестник Таджикского национального университета. – 2012. – № 1/3 (85). – С. 224 – 227.

17. **Самихов, Ш.Р.** Влияние температуры процесса цианирования на извлечение золота из руды месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Вестник Таджикского национального университета. – 2013. – № 1/1 (102). – С. 132 – 134.

18. **Самихов, Ш.Р.** Кинетика процесса хлоридовозгонки концентрата месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Вестник Таджикского национального университета. – 2013. – № 1/2 (106). – С. 181 – 184.

19. **Самихов, Ш.Р.** Изучение условий и разработка технологии тиомочевинного выщелачивания золота и серебра из руды месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, О.М. Бобомуродов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2013. – Т. 56, № 4. – С. 318 – 323.

20. **Самихов, Ш.Р.** Математическое моделирование хлоридовозгоночного обжига концентрата месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Н. Шерматов // Известия АН Республики Таджикистан: Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2013. – Т. 152, № 3. – С. 78 – 85.

21. **Самихов, Ш.Р.** Исследования процесса тиосульфатного выщелачивания золотых мышьяк-содержащих руд месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2014. – Т. 57, № 2. – С. 145 – 150.

22. **Самихов, Ш.Р.** Технология разработки окисленной золото-, медно-, мышьяк-содержащей руды месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, А.Б. Бобохо-

нов, З.А. Зинченко // Вестник Таджикского национального университета. – 2014. – № 1/1 (126). – С. 114 – 119.

23. **Самихов, Ш.Р.** Моделирование процесса кучного (отвального) выщелачивания бедных руд месторождения Джилау / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Н. Шерматов // Вестник Таджикского национального университета. – 2014. – № 1/3 (134). – С. 106 – 109.

24. **Самихов, Ш.Р.** Кинетика процесса хлоридовозгонки золото-содержащего концентрата месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2014. – Т. 57, № 5. – С. 395 – 400.

25. **Самихов, Ш.Р.** Разработка технологии тиокарбамидного выщелачивания золота и серебра из руды месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, О.М. Бобомуродов // Вестник Таджикского национального университета. – 2015. – № 1/1 (156). – С. 128 – 132.

26. **Самихов, Ш.Р.** Изучение кинетики процесса цианирования золота из руды месторождения Иккижелон / **Ш.Р. Самихов**, Х.А. Махмудов // Вестник Таджикского национального университета. – 2015. – № 1/6 (191). – С. 102 – 105.

27. **Самихов, Ш.Р.** Изучение разработки технологии тиосульфатного выщелачивания золота, серебра и меди из руды и концентратов месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Вестник Таджикского национального университета. – 2016. – № 1/2 (196). – С. 160 – 165.

28. **Самихов, Ш.Р.** Исследование и разработка математических моделей процесса кучного (отвального) выщелачивания бедных руд / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Н. Шерматов // Вестник Таджикского национального университета. – 2016. – № 1/3 (200). – С. 172 – 180.

Статьи в других научных журналах и сборниках научных трудов

29. Бобохонов, Б.А. Опыт отвального выщелачивания золота из руд месторождения «Хирсхона» в ООО СП «Зеравшан» / Б.А. Бобохонов, **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Золотодобыча. – Иргиредмет. – № 117. – 2008. – С. 11 – 16.

30. Зинченко, З.А. Кислотное выщелачивание золотомышьяковых концентратов месторождения Чоре / З.А. Зинченко, **Ш.Р. Самихов** // Золотодобыча. – Иргиредмет. – № 130. – 2009. – С. 36 – 39.

31. **Самихов, Ш.Р.** Применение хлоридовозгонки для золотых мышьяксодержащих концентратов месторождений «Тарор» и «Чоре» / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Ю.Б. Азизкулов // Золотодобыча. – Иргиредмет. – № 149. – 2011. – С. 10 – 14.

32. **Самихов, Ш.Р.** Влияние температуры на процесс колонного выщелачивания золотосодержащей руды месторождения Северного Джилау / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Золотодобыча. – Иргиредмет. – № 149. – 2013. – С. 18 – 20.

33. **Самихов, Ш.Р.** Полупромышленные испытания отвального выщелачивания забалансовой руды месторождения Джилау / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Б.А. Бобохонов // Золото и технологии.: Москва. – 2013. – № 3 (21). – С. 54 – 58.

34. Zinchenko, Z.A. Researches of processing technology of flotation tailing of Sb-Hg goldcontaining ore of Jijicrut deposit. / Z.A. Zinchenko, I.A. Tuymin, M.S. Ismailova, **Sh.R. Samikhov** // Proceedings of the XI National conference. – Bulgaria. – Varna, June 19-23. 2011. – P.72-79.

35. **Samikhov, Sh.R.** Methods of persistent gold containing ore processing of Chore deposit / **Sh.R. Samikhov**, Z.A. Zinchenko // Proceedings of the 1st interna-

tional Academic conference. st. Louis, Missouri, USA. – October 27–28. 2012. – P. 284 – 289.

36. **Samikhov, Sh.R.** The researches of chloride sublimation process of Tajikistan different deposits gold arsenic containing concentrates / **Sh.R. Samikhov, Z.A. Zinchenko** // XV Балканский Конгресс по обогащению полезных ископаемых Созополь, Болгария. – 2013. – С. 840 - 842.

37. **Samikhov, Sh.R.** The Study and Development of the Mathematical Models of Poor Gold-containing Ores the Process Heap (the dump) Leaching / **Sh.R. Samikhov, Z.A. Zinchenko, N. Shermatov** // XVI Балканский Конгресс по обогащению полезных ископаемых Белград, Сербия. – 2015. – С. 709 – 712.

38. **Самихов, Ш.Р.** Исследование и разработка технологии тиомочевинного выщелачивания благородных металлов из рудного сырья / **Ш.Р. Самихов** // Материалы Международной научно-практической конференции «Передовые технологии на карьерах». – Бишкек, 2012. – С. 92 – 95.

39. **Самихов, Ш.Р.** Применение хлоридовозгонки для золотых мышьяксо-держащих концентратов различных месторождения Таджикистана / **Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко**, // XII Национальная конференция с международным участием по открытой и подводной добыче полезных ископаемых – Варна, Болгария. – 2013. – С. 370 – 375.

40. **Самихов, Ш.Р.** Изучение и разработка технологии окислительного обжига флотационного концентрата месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко** // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2013. – №1/1 (19). – С. 34 – 37.

41. **Самихов, Ш.Р.** Исследования по выщелачиванию сульфидов из флотационного концентрата растворами азотной кислоты / **Ш.Р. Самихов, Х.А. Махмудов, О.М. Бобомуродов, М.М. Солихов** // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов». – Иркутск, ИНИТУ, 2017. – С. 83 – 86.

42. **Самихов, Ш.Р.** Исследования по выщелачиванию золотомышьяковых руд / **Ш.Р. Самихов** // Материалы Республиканской конференции «Химия в начале XXI века», посвященной 80-летию академика АН РТ М.С. Осими. – Душанбе, Институт химии АН РТ, 2000. – С.14.

43. **Самихов, Ш.Р.** Исследования по колонному выщелачиванию бедных золотых руд / **Ш.Р. Самихов, Н. Додоев, З.А. Зинченко** // Материалы научной конференции «Молодые ученые и современная наука». – Душанбе, 2003. – С. 63 – 64.

44. **Самихов, Ш.Р.** Исследования по азотнокислотному выщелачиванию мышьякосодержащего концентрата / **Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко** // Материалы научной конференции «Молодые ученые и современная наука». – Душанбе, 2003. – С. 52 – 53.

45. **Самихов, Ш.Р.** Результаты исследования по переработке золотосодержащих мышьяковых концентратов / **Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко** // Материалы Республиканской конференции «Молодежь и мир науки». – Душанбе, 2004. – С. 170 – 172.

46. **Бобохонов, Б.А.** Полупромышленное отвальное выщелачивание бедных руд месторождения Хирсхона / **Б.А. Бобохонов, Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко** // Материалы Республиканской конференции «Молодежь и мир науки». – Душанбе, 2004. – С. 144 – 145.

47. **Самихов, Ш.Р.** Кинетика процесса выщелачивания сульфидно-мышьяковых концентратов в растворе азотной кислоты / **Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко** // Душанбе, 2004. 210 с. – Деп. В НПИЦентре Республики Таджикистан 16.12.2004, № 59 (1680).

48. **Самихов, Ш.Р.** Вскрытие золотосодержащих сульфидно-мышьяковых концентратов азотной кислотой / **Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко** // Душанбе, 2004. 210 с. – Деп. В НПИЦентре Республики Таджикистан 16.12.2004, № 60 (1681).

49. **Самихов, Ш.Р.** Разработка гидрометаллургической технологии переработки сульфидно-мышьякового золотосодержащего флотоконцентрата / **Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко** // Материалы Республиканской конференции «Прогрессивные технологии разработки месторождений и переработки полезных ископаемых, экологические аспекты развития горнорудной промышленности». – Душанбе, Мин.пром. 2005. – С. 10 – 13.

50. Бобохонов, Б.А. Освоение технологии кучного выщелачивания в ООО СП «Зеравшан» в промышленном масштабе / Б.А. Бобохонов, **Ш.Р. Самихов** // Материалы Республиканской конференции «Прогрессивные технологии разработки месторождений и переработки полезных ископаемых, экологические аспекты развития горнорудной промышленности». – Душанбе, Мин.пром. 2005. – С. 56 – 58.

51. Бобохонов, Б.А. Кучное (отвальное) выщелачивание золота из забалансовой руды на ООО СП «Зеравшан» / Б.А. Бобохонов, **Ш.Р. Самихов** // Материалы молодежной научной конференции, посв. 2700-летию города Куляба и 15-летию независимости Республики Таджикистан. – Худжанд, Молод.орган. 2006. – С. 79 – 82.

52. Зинченко, З.А. Переработка мышьяксодержащих руд Таджикистана / З.А. Зинченко, **Ш.Р. Самихов** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и ее прикладные аспекты». – Душанбе, Мин.пром. 2006. – С. 182 – 183.

53. Бобохонов, Б.А. Бактериальное окисление золото-медного концентрата, полученного из руд месторождения Тарор, с помощью экстремальных термофилов / Б.А. Бобохонов, **Ш.Р. Самихов** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и ее прикладные аспекты». – Душанбе, Мин.пром. 2006. – С. 208 – 210.

54. Зинченко, З.А. Разработка комбинированной технологии обогащения руд нижних горизонтов Джижикрутского месторождения / З.А. Зинченко, Сатторова М.А., Исмоилова М.С., Тюмин И.А., **Ш.Р. Самихов** // Материалы III Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке». – Душанбе, ТТУ, 2008. – С. 159 – 162.

55. **Самихов, Ш.Р.** Кучное (отвальное) выщелачивание золота из забалансовой руды Джилауского месторождения / **Ш.Р. Самихов, Б.А. Бобохонов, З.А. Зинченко** // Материалы III Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке». – Душанбе, ТТУ, 2008. – С. 178 – 179.

56. Зинченко, З.А. Разработка комбинированных технологий обогащения золотосодержащих руд Таджикистана / З.А. Зинченко, М.А., Сатторова, **Ш.Р. Самихов, М.С. Исмоилова, И.А. Тюмин** // Материалы II-ой Республиканской научно-практической конференции «Использование современных технологий переработки горных минералов и металлургии». – Чкаловск, ГМИТ, 2008. – С. 41 – 51.

57. **Самихов, Ш.Р.** Исследования по обогащению золото-, медно-, мышьяковой руды месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции «VI Нумановских чтений». – Душанбе, Институт химии АН РТ, 2009. – С. 217 – 218.

58. **Самихов, Ш.Р.** Технология переработки золото-, медно-, мышьяксо-держащих руд Таджикистана / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции посвященной 35-летию кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Душанбе, ТТУ, 2009. – С. 118 – 120.

59. Бобохонов, Б.А. Перспективы усовершенствования технологии обогащения руд на СП «Зеравшан» / Б.А. Бобохонов, **Ш.Р. Самихов** // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Горные, геологические, экологические аспекты и развитие горнорудной промышленности в XXI веке». – Душанбе, Горный колл. 2010. – С. 107 – 110.

60. **Самихов, Ш.Р.** Кинетика разложения золото-, медно-, мышьяковых концентратов месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Горные, геологические, экологические аспекты и развитие горнорудной промышленности в XXI веке». – Душанбе, Горный Колл. 2010. – С. 111 – 116.

61. **Самихов, Ш.Р.** Кислотное выщелачивание золото-, мышьяковых концентратов месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов** // Материалы Международной научно-практической конференции «Пути внедрения современных технологий в начальных, средних и высших профессиональных учебных заведениях». – Душанбе, Тех.Колл. 2010. – С. 76 – 82.

62. **Самихов, Ш.Р.** Разработка оптимальных условий цианирования золото-содержащих руд / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Б.А. Бобохонов // Материалы Республиканской научной конференции «Химия: исследования, преподавание, технология», посв. «Году образования и технических знаний». – Душанбе, 2010. – С. 186 – 189.

63. **Самихов, Ш.Р.** Извлечение золота и серебра из руд различных месторождений методом цианирования / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской конференции: «Новые теоретические и прикладные исследования химии в высших учебных заведениях Республики Таджикистан». – Душанбе, Тех.Колл. 2010. – С. 122 – 125.

64. **Самихов, Ш.Р.** Исследование флотационной схемы обогащения руды месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской конференции: «Новые теоретические и прикладные исследования химии в высших учебных заведениях Республики Таджикистан». – Душанбе, Тех.Колл. 2010. – С. 126 – 129.

65. **Самихов, Ш.Р.** Хлоридовозгонка при переработке медных-золотосодержащих концентратов месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Б.А. Бобохонов // Материалы Республиканской научной конференции: «Проблемы современной координационной химии». – Душанбе, ТНУ, 2011. – С. 29 – 32.

66. Зинченко, З.А. Особенности хлоридовозгонки упорных золото-, медно-, мышьяксо-держащих концентратов месторождения Тарор / З.А. Зинченко, И.А. Тюмин, **Ш.Р. Самихов** // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». – Душанбе, ТТУ, 2011. – С. 183 – 185.

67. Зинченко, З.А. Влияние предварительной температурной обработки на извлечение золота цианированием из хвостов флотации Sb-Нг золотосодержа-

щей руды / З.А. Зинченко, И.А.Тюмин, М.С. Исмоилова, **Ш.Р. Самихов** // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». – Душанбе, ТТУ, 2011. – С. 187 – 189.

68. **Самихов, Ш.Р.** Исследование влияния хлоринаторов на процесс хлоридовозгонки золото-мышьяксодержащих концентратов месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Химия производных глицерина: синтез, свойства и аспекты их применения». – Душанбе, ТНУ, 2011. – С. 138 – 142.

69. **Самихов, Ш.Р.** Исследования по колонному выщелачиванию бедных золотосодержащих руд месторождения Северное Джилау / **Ш.Р.Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Химия производных глицерина: синтез, свойства и аспекты их применения». – Душанбе, ТНУ, 2011. – С. 143 – 149.

70. **Самихов, Ш.Р.** Изучение кинетики процесса цианирования золота из руды месторождения Олимпийское / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений». – Душанбе, ТНУ, 2011. – С. 196 – 201.

71. **Самихов, Ш.Р.** Исследования по колонному выщелачиванию бедных золотосодержащих руд месторождения Олимпийское / **Ш.Р.Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Координационная химия и ее значение в развитии народного хозяйства». – Душанбе, ТНУ, 2011. – С. 189 – 192.

72. **Самихов, Ш.Р.** Исследования по колонному выщелачиванию бедных золотосодержащих руд месторождения Хирсхона / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений». Душанбе, 2011г. С. 202-207». – Душанбе, ТНУ, 2011. – С. 202 – 207.

73. **Самихов, Ш.Р.** Применение хлоридовозгонки для золотых мышьяксодержащих концентратов различных месторождений Таджикистана / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Ю.Б. Азизкулов // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Перспективы синтеза в области химии и технологии гетеросоединений». – Душанбе, ТНУ, 2012. – С. 64 – 69.

74. **Самихов, Ш.Р.** Особенности кучного выщелачивания золота при переработке различных типов руд / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции: «Перспективы синтеза в области химии и технологии гетеросоединений». – Душанбе, ТНУ, 2012. – С. 54 – 57.

75. **Самихов, Ш.Р.** Способы переработки упорных золотосодержащих руд Таджикистана / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Международной научно-практической конференции «Комплексный подход к использованию и переработке угля». Душанбе, Институт химии АН РТ, 2013. С. 133-137». – Душанбе, 2012. – С. 92 – 95.

76. **Самихов, Ш.Р.** Термодинамический анализ хлоридовозгоночного обжига концентратов месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Внедрение наукоёмкой техники и технологий в производство». – Душанбе, ТНУ, 2013. – С. 22 – 24.

77. **Самихов, Ш.Р.** Перспективы внедрения кучного (отвального) выщелачивания золота из бедных руд месторождения Олимпийское в ООО СП «Зе-

равшан» / **Ш.Р. Самихов**, Б.А. Бобохонов // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Обеспечение продовольственной, экономико-социальной безопасности в процессе глобализации и конкурентоспособности государств». – Душанбе, ТТУ, 2013. – С. 35 – 41.

78. **Самихов, Ш.Р.** Исследование кинетики растворения золота и серебра в водных растворах тиомочевины / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, О.М. Бобомуродов // Материалы Республиканской конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». – Душанбе, ТНУ, 2013. – С. 29 – 33.

79. **Самихов, Ш.Р.** Аммиачно-цианидное выщелачивание окисленной золото-, медно-, мышьяксодержащей руды / **Ш.Р. Самихов**, Б.А. Бобохонов // Материалы Республиканской конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». – Душанбе, ТНУ, 2013. – С. 34 – 37.

80. **Самихов, Ш.Р.** Влияние температуры процесса цианирования на извлечение золота из руд месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Комплексная переработка местного сырья и промышленных отходов». – Душанбе, ТНУ, 2013. – С. 64 – 67.

81. **Самихов, Ш.Р.** Тиосульфатное растворение золота и серебра из руды месторождения Чоре / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Комплексная переработка местного сырья и промышленных отходов». – Душанбе, ТНУ, 2013. – С. 67 – 72.

82. **Самихов, Ш.Р.** Изучение кинетики процесса цианирования золота и серебра из руды месторождения Мосариф / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Наука и инновация ТНУ. – Душанбе, ТНУ, 2014. – № 1. – С. 88 – 92.

83. **Самихов, Ш.Р.** Моделирование процесса кучного выщелачивания бедных руд месторождения Хирсхона / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, Н. Шерматов // Материалы 5-й Международной научно-практической конференции «Всемирная торговая организация: Развитие науки, техники и образования». – Душанбе, ТТУ, 2014. – С. 23 – 26.

84. Зинченко, З.А. Разработка технологий переработки золотосодержащих руд Таджикистана / З.А. Зинченко, **Ш.Р. Самихов**, И.А. Тюмин, М.С. Исмоилова // Научная конференция «Актуальные проблемы современной науки». Посв. 70- летию Победы в Великой Отечественной Войне. – Душанбе, Ф МИ-СиС, 2015. – С. 19 – 20.

85. **Самихов, Ш.Р.** Тиомочевинное выщелачивание золото- серебросодержащих руд / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, О.М. Бобомуродов // Материалы Международной научно-практической конференции, посв. 1150-летию персидско-таджикского учёного-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази. – Душанбе, Институт химии АН РТ 2015. – С. 81 – 83.

86. **Самихов, Ш.Р.** Тиосульфатное выщелачивание золотых мышьяксодержащих руд / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, О.М. Бобомуродов // Материалы Республиканской научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ, посв. «700-летию Мир Сайида Али Хамадони». – Душанбе, ТНУ, 2015. – С. 52 – 53.

87. **Самихов, Ш.Р.** Интенсификация кучного (отвального) выщелачивания бедных руд месторождения Олимпийское / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Роль молодежи в развитии отечественной науки». – Душанбе, АН РТ, 2015. – С. 136 – 141.

88. **Самихов, Ш.Р.** Тиосульфатное выщелачивание золото-, серебряно-, медных флотационных концентратов / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы XII Нумановских чтений «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан». – Душанбе, Институт химии АН РТ, 2015. – С. 44 – 47.

89. **Самихов, Ш.Р.** Поведение пирита и арсенопирита в процессе обжига флотационного концентрата / **Ш.Р. Самихов**, Х.А. Махмудов, Х.И. Холов // Материалы Республиканской научно-практической конференции, посв. 25-ти летию Государственной независимости Республики Таджикистан и 10-ти летию ГМИТ. – Чкаловск, ГМИТ, 2016. - С. 62-64.

90. **Самихов, Ш.Р.** Вскрытие упорных золото-, медно-, мышьяковых концентратов азотной кислотой / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Проблемы материаловедения в машиностроении Республики Таджикистан». – Душанбе, ТТУ, 2016. - С.136-141.

91. **Самихов, Ш.Р.** Тиосульфатное выщелачивание золота, серебра и меди из руды и концентратов месторождения Тарор / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых» посв. к 25-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан и 10-летию Горно-металлургического института Таджикистана. – Чкаловск, ГМИТ, 2016. - С. 109-111.

92. **Самихов, Ш.Р.** Роданидное выщелачивание золота и серебра из руд / **Ш.Р. Самихов**, З.А. Зинченко, // Материалы Международной научной конференции «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий» посв. 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан». – Душанбе, АН РТ, 2016. - С. 148-152.

Изобретения по теме диссертации

94. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 485, МПК(2011.01) 11/08 С22В Способ переработки упорных золотосодержащих концентратов / **Ш.Р. Самихов**; заявитель и патентообладатель: З.А. Зинченко - №1100648; заявл. 19.08.11; опубл. 07.12.11, Бюл. 68, 2011. – 2 с.

95. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 517, МПК(2011.01) С22В 11/08 Способ извлечения золота из золотосодержащего сырья / З.А. Зинченко; заявитель и патентообладатель: **Ш.Р. Самихов**, И.А. Тюмин №1100687 заявл. 15.12.2011, опубл. 14.06.12, Бюл. 74, 2012. – 2 с.

96. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 592, МПК(2012) С22В 11/08 Способ извлечения золота из бедных забалансовых руд / **Ш.Р. Самихов**; заявитель и патентообладатель: З.А. Зинченко, Б.А. Бобохонов №1000526 заявл. 26.09.2011, опубл. 11.12.13, Бюл. 92, 2013. – 2 с.

97. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 693, МПК С22В 11/08 Способ извлечения золота из бедных забалансовых руд / **Ш.Р. Самихов**; заявитель и патентообладатель: З.А. Зинченко, Б.А. Бобохонов №1400869 заявл. 08.07.2014, опубл. 02.06.15, Бюл. 107, 2015. – 2 с.

98. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 691, МПК С22В 11/08 Способ извлечения золота из рудных концентратов / **Ш.Р. Самихов**; заявитель и патентообладатель: О.М. Бобомуродов №1400861 заявл. 09.06.2014, опуб. 15.05.15, Бюл. 106, 2015. – 2 с.

ШАРҲИ МУХТАСАР

ба диссертатсияи Самихов Шонаврӯз Раҳимович «Асосҳои илмӣ технологияи коркарди маъданҳои тиллодори душворкоркард ва камҳосили конҳои Тоҷикистон», барои дарёфти дараҷаи илмӣ доктори илмҳои техники аз рӯи ихтисоси 05.17.01 – технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ

Мақсади корҳои таҳқиқотӣ ин омӯзиши асосҳои илмӣ технологияи коркарди маъданҳои тиллодори душворкоркард ва камҳосили конҳои Тоҷикистон мебошад, ки қобилияти беҳтаргардонии ҳифзи муҳити атроф ва комплексӣ истифодабарии ашёҳои минералиро зоҳир менамояд.

Ба сифати маъданҳои конҳои таҳқиқотӣ: маъданҳои душворганигардонидашавандаи тилло, мис ва арсендори конҳои Тарор ва Чоре, маъданҳои тиллодори камҳосили конҳои Ҷилав, Олимпикӣ, Хирсхона, Мосариф ва Ҷилави Шимолӣ дохил мешаванд. Барои ҳали ин масъалаи гузошташуда усулҳои таҳқиқотии муосир зерини физикӣ-химиявӣ рентгенофазавӣ, атомӣ-абсорбсионӣ, спектроскопӣ, фотокolorиметрӣ, инчунин титрӯдометрӣ, баркашӣ, гравиметрӣ ва дигар усулҳои таҳлил, таҷрибаҳои технологӣ, озмоишгоҳӣ, нимисаноатӣ ва саноатӣ истифода карда шудааст.

Дар асоси таҳқиқотҳои эксперименталӣ: қонуниятҳои раванди ҷудокунии тилло, нукра ва мис хангоми хлорбуғронкунии концентратҳои душворкоркард бо истифодабарии ба сифати хлоридҳо NaCl , CaCl_2 ва омехтаи онҳо инчунин нақшаи принсипиалии коркарди онҳо тавсия карда шудааст; асосҳои илмӣ технологияи раванди ҳалшавии концентрати тилло, мис ва арсендор дар кислотаи нитрат омӯхта шудааст. Дар асоси омӯзиши маълумотҳои кинетикӣ имконияти механизми гузариши раванди кушодашавии концентрат бо кислотаи нитрат ва коркарди нақшаи принсипиалии технологияи объекти таҳқиқшаванда бо ба даст овардани тилло ва мис муайян карда шудааст; бори аввал имконияти истифодабарии ишқоронии тиокарбамид ва тиосульфат барои ҷудокунии тилло ва нукра аз маъданҳои душворкоркард ва концентратҳои Тоҷикистон нишон дода шуда, тоза кардани арсен аз маҳлул омӯхта шудааст; бори аввал таҳқиқот оиди шароити тӯдаи ишқоронии маъданҳои камҳосили конҳои Ҷилав, Олимпикӣ, Ҷилави Шимолӣ ва Хирсхона гузаронида шудааст; раванди тӯдаи ишқоронӣ бо модели математикӣ коркард шудааст, ки имконияти параметрҳои раванди технологиро дар ҳамагуна лаҳзаи вақти додаси назорат ва пешгӯӣ менамояд.

Аз рӯи натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронидашуда 5 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба даст оварда шудааст. Санчишҳои нимисаноатӣ ва саноатии технологияи тӯдаи ишқоронӣ аз маъданҳои гуногуни кон гузаронида шудааст, ки дар натиҷа дараҷаи ҷудошавии тилло ба 69 % расида, арзиши 1 грамм тилло ба дастномада 10, 4 доллари ШМА-ро ташкил дод. Ҷоида дар аз як сикли таҷрибавӣ 45298 доллари ШМА-ро ташкил дод.

Рисолаи диссертатсионӣ аз ҷаҳор боб иборат буда, муқаддима, боби таҳлилии адабиёт, се боби маводи эксперименталӣ, хулосаҳо, рӯйхати адабиёт ва замимаҳо дар бар мегирад. Диссертатсия дар 315 саҳифаи ҳуруфчинии компютерӣ баён мегардад, ки дорои 109 ҷадвал, 72 расм ва 240 номгӯи манбаҳои адабиётӣ мебошад.

Натиҷаҳои асосии рисолаи диссертатсионӣ дар 91 интишороти илмӣ, аз ҷумла 1 монография, 28 мақола дар маҷаллаҳои тақризии бонуфуз, ки КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия намудааст ва дар 54 маводҳои конферонсҳои байналмилалӣ ва Ҷумҳуриявӣ нашр шудааст.

Калимаҳои калидӣ: ишқоронии сианидӣ, кон, ишқоронии тиомочевинӣ, ишқоронии тиосульфатӣ, оксидкуни бо пухтан, хлорбуғронкунии тилло ва нукра, кинетикаи раванди хлорбуғронкунии, таҳқиқоти химиявӣ-технологӣ, нақшаи коркарди технологӣ, моделронии математикӣ, ишқоронии флотоконцентрат бо кислотаи нитрат, ишқоронии маъданҳои тиллодор дар манора, тӯдаи ишқорони дар таҷрибаи саноатӣ.

РЕЗЮМЕ

к диссертации Самихова Шонавруза Рахимовича «Научные основы технологии переработки упорных и бедных золотосодержащих руд Таджикистана», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ

Цель работы заключается в изучение научных основы технологии переработки упорных и бедных золотосодержащих руд Таджикистана, способствующих охране окружающей среды, повышению полноты и комплексности использования минерального сырья.

Объектами исследований являлись: труднообогатимые золото-, медно-, мышьяксодержащие руды Тарорского и Чоринского месторождений и золотосодержащие бедные руды месторождений Джилау, Олимпийское, Хирсхона, Мосариф и Северное Джилау. Для решения поставленных задач в работе использованы современные методы исследований: рентгенофазовый, атомно-абсорбционный, спектроскопический, фотоколориметрический, а также титрометрический, пробирный, гравиметрический и другие методы анализа, технологическое тестирование, укрупненные лабораторные, полупромышленные и опытно-промышленные испытания.

На основе экспериментальных исследований: установлены закономерности процессов извлечения золота, серебра и меди при хлоридовозгонке упорных концентратов с использованием в качестве хлоринаторов NaCl , CaCl_2 и их смесей и предложена принципиальная схема их переработки; изучены научные основы технологии процесса разложения золото-, медно-, мышьяковых концентратов азотной кислотой. На основе изучения кинетических данных установлен возможный механизм протекания процесса азотнокислотного вскрытия концентратов, и разработана принципиальная технологическая схема переработки исследуемых объектов с получением золота и меди; впервые показана возможность применения тиокарбамидного и тиосульфатного выщелачивания для извлечения золота и серебра из упорных руд и концентратов Таджикистана. Изучена возможность утилизации мышьяка из растворов; впервые исследованы условия отвального выщелачивания бедных руд месторождений Джилау, Олимпийское, Северное Джилау и Хирсхона; разработана математическая модель процесса кучного (отвального) выщелачивания, позволяющая прогнозировать и контролировать технологические параметры процесса в любой заданный момент времени.

По результатам исследований получено 5 малых патентов Республики Таджикистан на изобретение. Проведена полупромышленная и опытно-промышленная проверка технологии кучного (отвального) выщелачивания на рудах различных месторождений, в результате которых достигнута степень извлечения золота - 69 %, себестоимость получения 1 грамма золота составила 10,4 доллара США, а прибыль за один цикл опытных испытаний составляло 45298 дол. США.

Диссертационная работа состоит из четырёх глав, включает введение, обзор литературы, три главы экспериментального материала, выводы, список литературы и приложений. Диссертация изложена на 315 страницах компьютерного набора, включая 109 таблиц, 72 рисунка и 240 наименования литературных источников.

Результаты работы отражены в 90 научных публикациях, из которых 1 монография, 28 статей в рецензируемых, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и в 54 материалах международных и республиканских конференций.

Ключевые слова: цианидное выщелачивание, месторождения, тиомочевинное выщелачивание, тиосульфатное выщелачивание, окислительный обжиг, хлоридовозгонки золота и серебра, кинетика процесса хлоридовозгонки, химико технологические исследования, технологическая схема, математическое моделирование, азотнокислотного выщелачивания флото-концентратов, колонного выщелачивания золотосодержащих руд, опытно - промышленные испытания отвального выщелачивания.

SUMMARY

to the dissertation of Samikhov Shonavruz Rakhimovich "Scientific bases of the technology of processing of persistent and poor gold-bearing ores of Tajikistan", submitted for the scientific degree of doctor of technical sciences in specialty 05:17:01 - technology of inorganic substances

The aim of the work is to study the chemical-technological and technological bases for processing of the stubborn and poor gold-bearing ores of Tajikistan, which contribute to environmental protection, increase the completeness and complexity of the use of mineral raw materials.

The objects of research were: difficult-to-enrich gold-, copper-, arsenic-bearing ores of the Taror and Chorin deposits and gold-bearing poor ores of the Gilau, Olympic, Hirskhona, Mosarif and Northern Gilau areas. To solve the tasks in hand, modern methods of research were used in the work: X-ray phase, atomic absorption, spectroscopic, photolorimetric, and also titroiodometric, assay, gravimetric and other methods of analysis, technological testing, large-scale laboratory, semi-industrial and pilot-industrial tests.

On the basis of experimental studies: regularities in the processes of gold, silver and copper recovery during chloride sublimation of refractory concentrates using NaCl, CaCl₂ and their mixtures as chlorinators have been established and a principic scheme for their processing has been proposed; The physicochemical bases of the process of decomposition of gold, copper, and arsenic concentrates with nitric acid have been studied. On the basis of the study of kinetic data, a possible mechanism for the process of the nitric acid opening of concentrates has been established, and a principal technological scheme for processing the objects under study with obtaining gold and copper has been developed; For the first time has been shown the possibility of using thiourea and thiosulphate leaching for the extraction of gold and silver from persistent ores and concentrates of Tajikistan. The possibility of utilization of arsenic from solutions was studied; For the first time were studied the conditions for the dump leaching of poor ores from the deposits of Jilau, Olimpiyskoe, Northern Gilau and Hirschon ; a mathematical model of the process of heap (dump) leaching has been developed, which allows to predict and control the technological parameters of the process at any given time.

Based on the results of the research for the invention were obtained. five small patents of the Republic of Tajikistan. Semi-industrial and pilot industrial verification of the technology of heap (dump) leaching on ores of various locations, as a result of which the degree of gold extraction was achieved – 69 %. The cost of obtaining 1 gram of gold amounted to 10,4 USA dollars. The profit for one cycle of experimental tests was equal to 45298 USA dollars.

The thesis consists of four chapters, including introduction, review of literature, three chapters of experimental material, conclusions, a list of literature and applications.

The thesis is set out on 315 pages of the computer kit, including 109 tables, 72 drawing and 240 names of literary sources.

The results of the work are reflected in 90 scientific publications, of which 1 monograph, 28 articles in peer-reviewed, academic, translated journals recommended by the Higher Attestation Commission and 54 materials of international and republican conferences.

Key words: cyanide, deposits and thiosulphate leaching, oxidative roasting, gold and silver chloride sublimation, kinetics of the chloride sublimation process, physicochemical studies, processing scheme, mathematical modeling, nitric acid leaching of flotation concentrates, column leaching gold - bearing ores, pilot - industrial tests of dump leaching.

Сдано в печать 07.12.2017 г.
Подписано в печать 18.12.2017 г.
Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии
Министерства образования и науки РТ
г. Душанбе, ул. Лахути 6, 1 проезд