

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Самихова Шонавруза Рахимовича: «НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УПОРНЫХ И БЕДНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД ТАДЖИКИСТАНА», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.01. – «Технология неорганических веществ»

### *Актуальность и важность темы исследования*

Одним из перспективных направлений развития любой страны является широкое внедрение в промышленности принципиально новых технологий, позволяющих повысить эффективность использования минеральных ресурсов, снизить энерго- и материалоёмкость производства, улучшить охрану окружающей среды. Применение новых технологий актуально также и к производству золота, особенно при его извлечении из упорных и бедных руд, для расширения его масштабов и увеличения добычи этого ценного и полезного металла, количества которых могут обеспечить благосостояние экономики страны. Значительную часть запасов упорного золоторудного сырья составляют руды, в которых тонковкрапленное золото находится в составе сульфидов и породообразующих минералов. Золото связано, в основном, с пиритом и арсенопиритом. Переработка таких руд существующими технологиями не обеспечивает полного извлечения металла из руды, в связи с чем возникла необходимость в выполнении диссертационной работы Самихова Ш.Р. Актуальность темы научной работы выражается, в первую очередь, в том, что в ней решена проблема извлечения золота из упорных и бедных золотосодержащих руд сравнительно мало энергоемким гидрометаллургическим способом.

### *Достоверность результатов работы обеспечивается:*

- исследованием кинетики гидрометаллургических способов переработки золотосодержащих руд в широких пределах изменения параметров процесса извлечения металла из руды;
- использованием современных физико-химических методов исследований, таких как рентгенофазовый, атомно-абсорбционный,

спектроскопический, фотоколориметрический, титроодометрический, пробирный, гравиметрический и другие методы анализа; с использованием названных химико-технологических методов исследований получен большой объём лабораторных экспериментальных данных, получивших дальнейшее подтверждение при опытно промышленных испытаниях. Статистическая обработка экспериментальных данных позволила оценить степень их достоверности, предложенная математическая модель адекватно описывает реальный технологический процесс.

**Цель и задачи исследования.** Изучение химико-технологических основ переработки упорных и бедных золотосодержащих руд Таджикистана способствует охране окружающей среды, повышению полноты и комплексности использования минерального сырья. Для достижения цели были поставлены и решены 8 задач исследований.

**Научная новизна работы.**

- установлены основные химико-технологические параметры процессов извлечения золота, серебра и меди при хлоридовозгонке упорных концентратов с использованием в качестве хлоринаторов  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  и их смесей и предложена принципиальная схема их переработки;
- изучены научные основы 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;
- показана возможность применения тиомочевинного 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 по времени.

Научная новизна исследования подтверждена получением 5 малых патентов Республики Таджикистан на изобретение.

*Практическая значимость диссертации заключается в том, что:*

- разработаны и внедрены новые материалы и технологии, позволяющие повысить извлечение золота из золотосодержащих руд, а именно:

- технология хлоридовозгонки золота и серебра из упорных концентратов и определены оптимальные параметры процесса.
- технология переработки золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов азотной кислотой с последующим извлечением из кеков выщелачивания золота методом цианирования.
- технология извлечения золота и серебра из упорных мышьяксодержащих руд и концентратов методом тиокарбамидного и тиосульфатного выщелачивания.

- 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 %.

- составлены математические модели процессов кучного (отвального) выщелачивания и даны рекомендации по их использованию на стадии проектных работ месторождений 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.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 1 монография и 91 научная статья и материалы конференций, из них 27 работ в рекомендованных ВАК РФ, получены 5 малых патентов Республики Таджикистан на изобретение.

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

**В главе 1** диссертационной работы рассмотрены теоретические вопросы процессов извлечения благородных металлов из упорного минерального сырья, переработки упорных золотосодержащих концентратов, гидрохлорирования и хлоридовозгонки золотосодержащих руд и концентратов, азотнокислотного способа переработки золотосодержащих концентратов. Рассмотрены физико-химические основы процессов кучного выщелачивания бедных золотосодержащих руд. Показаны особенности извлечения золота и серебра из различных руд Таджикистана.

**Глава 2 «Исследование технологии цианидных и нецианидных растворителей благородных металлов»** содержит подробные описания методик проведения эксперимента с использованием различных способов физико-химических исследований руд и концентратов. Показаны геохимические характеристики золотосодержащих и бедных различных руд Таджикистана. Приведены результаты кинетических исследований цианидного выщелачивания золота из руд 7 месторождений Таджикистана. Определены количественные показатели и проведены сравнительные оценки. Показано, что для окисленных руд месторождения Тарор более эффективным является процесс аммиачно-цианистого выщелачивания. Глава завершается разработкой технологической схемы переработки золотосодержащих руд месторождения Тарор. содержит результаты экспериментальных

исследований процесса тиомочевинного и тиосульфатного выщелачивания металлов из концентратов руд месторождений Чоре и Тарор. Изучены физико-химические закономерности процесса тиомочевинного и тиосульфатного выщелачивания золота и серебра и разработана технология гидрометаллургического извлечения металлов из золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов. Найдены оптимальные условия тиомочевинного выщелачивания флотационных концентратов. Предложена технологическая схема переработки золото- и мышьяксодержащих концентратов месторождения Чоре.

*В главе 3 «Научные основы технологии хлоридовозгонки и азотнокислотного выщелачивания металлов из концентратов»* посвящена исследованиям кинетики процесса хлоридовозгоночного обжига флотационных концентратов упорных руд в присутствии  $\text{NaCl}$ , определением степеней выхода металлов из руд в присутствии  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  и их смеси. Использование уравнения Ефремова - Колмогорова позволило определить значение кажущейся энергии активации, показывающее, что процесс протекает в кинетической области. Изучены влияние температуры и продолжительности процесса на степень извлечения благородных металлов из флотоконцентратов, на основании которых определены оптимальные условия процесса. Разработана и предложена принципиальная технологическая схема переработки золотых и золото-, медно-, мышьяксодержащих концентратов методом хлоридовозгонки. Содержит разделы по исследованию выщелачивания сульфидов из флотационного концентрата растворами азотной кислоты, кинетики разложения золото-, медно- и мышьяксодержащих концентратов месторождения Тарор, фазового состава продуктов азотнокислого выщелачивания флотоконцентратов месторождения Тарор. Глава заканчивается составлением технологической схемы переработки руды месторождения Тарор. Изучены основные кинетические закономерности азотнокислотного разложения флотационного концентрата месторождения Тарор. Найдены оптимальные условия вскрытия

золотосодержащих, медно-, мышьяксодержащих концентратов азотной кислотой. Определена энергия активации процесса. Методами рентгенофазового анализа изучены состав исходных флотоконцентратов и продуктов их разложения азотной кислотой. Установлено, что из состава флотоконцентрата селективно выщелачиваются сульфиды.

*Глава 4 «Исследование и разработка математических моделей процесса кучного (отвального) выщелачивания бедных золотосодержащих руд»* состоит из двух разделов. В первом разделе обобщены результаты колонного выщелачивания золотосодержащих концентратов месторождений Таджикистана. Итоговые результаты полупромышленного испытания отвального выщелачивания бедных золотосодержащих руд показывают на прибыльность предложенных технологий переработки концентратов. Во втором разделе данной главы соискатель осуществил математическую обработку экспериментальных данных. Закономерности процесса выщелачивания концентратов описана в виде уравнения параболы. Найденные значения коэффициентов регрессии позволили использовать данное уравнение для расчёта степени извлечения золота из концентрата в раствор. Соискателем установлены оптимальные параметры колонного выщелачивания бедных золотосодержащих руд.

В работе проведены полупромышленные и опытно-промышленные испытания технологии кучного (отвального) выщелачивания золотосодержащих концентратов на рудах различных месторождений. В промышленных условиях наибольшая степень извлечения золота составляет 69 % при себестоимости получения 1 грамма золота 10,4 доллара США. Прибыль за один цикл опытно-промышленных испытаний составила 45298 долларов США.

Таким образом, диссертационная работа Самихова Ш.Р. посвящена изучению научных химико-технологических аспектов процесса извлечения благородных металлов из упорных золотосодержащих руд месторождений

Таджикистана, она выполнена системно и представляет собой единый научный материал по переработке золотосодержащих руд и концентратов.

Вместе с тем работа Самихова Ш.Р. не лишена некоторых недостатков:

1. Основу работы составляют кинетические исследования, однако полностью не раскрыт механизм реакции выщелачивания золота и других благородных металлов, скорость реакции аппроксимирована уравнением первого порядка, что может не соответствовать истинному механизму реакции;
2. В пунктах 3.5 и 3.14 соискатель по одному значению энергии активации, рассчитанной по уравнению первого порядка, делает вывод о протекании реакции в кинетической и диффузионно-кинетической областях, что не является логичным, т.к. эксперименты по определению областей протекания реакции, например, изменением размера частиц концентрата, не были проведены в работе. Замечания 1 и 2 взаимосвязаны, т.к. относятся к форме уравнения кинетики и механизмов химических реакций при выщелачивании золотосодержащего концентрата;
3. В процессе выщелачивания сульфидов азотной кислотой из концентрата выделяются окислы азота. Желательно было бы здесь решить и вопросы утилизации окислов азота, т.к. их выделение загрязняет атмосферу. Их можно утилизировать для получения азотной кислоты, которая может быть использована повторно в цикл выщелачивания;
4. После азотнокислотного выщелачивания в процессе цианирования золота не исследованы процессы выщелачивания других благородных металлов. При выполнении данной работы возросла бы степень переработки концентратов с снижением себестоимости процессов их переработки;
5. В работе в общем исследованы концентраты из руды 7 месторождений Таджикистана. По каждому из них получены

положительные результаты, позволяющие использовать для их переработки предложенные соискателем технологии. Однако, в работе отсутствует обобщающий пункт исследования, где можно было показать общие и частные признаки составов и свойств этих концентратов, позволяющий определить использование разработанной технологии для одного концентрата при переработке другого концентрата.

Отмеченные недостатки не умаляют научную и практическую ценность полученных результатов и не снижают актуальность диссертационной работы Самихова Ш.Р., поскольку выполнен большой объём экспериментальных исследований, позволяющий разработать технологические основы переработки упорных и бедных золотосодержащих руд, внедрение которых в промышленности способствует не только повышению степени извлечения золота и других благородных металлов из концентрата, но и снижает себестоимость полученного готового продукта.

*Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.*

Автореферат вполне отражает основное содержание диссертации.

*Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.17.01. – технология неорганических веществ (технические науки) по следующим признакам:*

- производственные процессы получения неорганических продуктов: соли, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты;
- технологические процессы изменения состава, состояния, свойств;
- способы и процессы защиты окружающей среды от выбросов производств неорганических продуктов, утилизация и обезвреживание неорганических производственных отходов;
- способы и средства разработки, технологических расчетов, проектирования, управления технологическими процессами и качеством продукции применительно к производственным процессам получения неорганических продуктов.

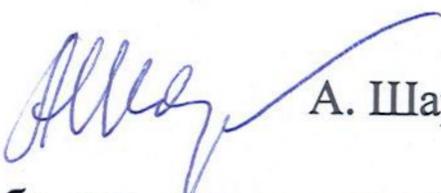
### Заключение

Диссертационная работа Самихова Шонавруза Рахимовича является законченным научным исследованием, выполненным автором самостоятельно на современном научно-техническом уровне. Работа является актуальной, имеет практическую ценность, содержит научную новизну, использование которой в золотодобывающей промышленности вносит определённый вклад для экономического развития и повышения экологической безопасности страны.

Основные научные результаты диссертационной работы Самихова Ш.Р. опубликованы в рецензируемых научных изданиях, соответствующих требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 26.11.2016 г. № 505.

По своему содержанию, объёму, теоретической и практической значимости диссертационная работа Самихова Ш.Р. соответствует «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 26.11.2016 г. № 505, а её автор Самихов Шонавруз Рахимович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.01. – технология неорганических веществ.

Официальный оппонент, доктор  
технических наук, профессор кафедры  
«Технология химических производств»  
Таджикского технического университета  
им. академика М.С. Осими

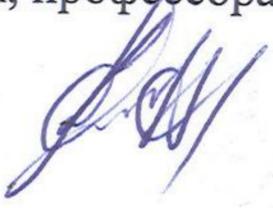
 А. Шарифов

Республика Таджикистан, 734042, г. Душанбе, ул. академиков Раджабовых  
10, Технический университет им. акад. М.С. Осими Тел.: (992 37) с: (992 37)  
221-71-35. E-mail: [ttu@ttu.tj](mailto:ttu@ttu.tj). Web: [www.ttu.tj](http://www.ttu.tj).

Подпись доктора технических наук, профессора Шарифова А. заверяю:

Начальник ОК и СР  
ТТУ им. М.С. Осими





Бадурдинов С.Т.