

УТВЕРЖДАЮ:Генеральный директор
ООО НИИПИ «ТОМС»

А.Е. Сенченко

«29» ноября 2018 года

ОТЗЫВ

ведущей организации – ООО НИИПИ «Технологии обогащения минерального сырья» на диссертацию Сидорова Ивана Александровича **«Разработка технологии извлечения золота из упорных сульфидных концентратов на основе процесса сверхтонкого помола»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

1 Актуальность темы диссертации и ее содержание

Диссертация И.А. Сидорова посвящена решению актуальной проблемы, связанной с переработкой сульфидных концентратов с тонковкрапленным золотом, являющихся существенным сырьевым источником получения металла и вместе с тем относящихся к категории упорного сырья. Переработка данного типа сырья требует применения специальных процессов, направленных на вскрытие поверхности тонковкрапленного золота перед операцией цианирования, что обуславливает высокую капиталоемкость таких технологий.

Проблеме переработки руд с тонковкрапленным золотом в последнее время уделяется особое внимание. Среди большого разнообразия подходов к

ООО НИИПИ «ТОМС» (Институт ТОМС)

переработке таких руд можно отметить две весьма перспективные технологии: Albion и Leachox, основанные на применении сверхтонкого помола продуктов обогащения и атмосферного окисления (кислородно-известковая обработка) с последующим цианированием.

Указанные технологии испытаны в лабораторном и пилотном масштабах на десятках упорных сульфидных концентратов различного состава, а также внедрены на ряде золотодобывающих предприятий, где достигнут заметный прирост в извлечении золота при последующем цианировании на 20-35 %. На сегодняшний день имеется определенный объем информации о физико-химических процессах, протекающих при ультратонком помоле и последующем окислении, однако дальнейшее изучение данных технологий применительно к новому сырью и оптимизация технологических параметров вскрытия золота на основе научных подходов к решению проблемы является актуальной задачей. Решить поставленную задачу автор предлагает за счет изучения поведения мономинеральной фракции пирита и пирита, входящего в состав полиминерального продукта, в процессе сверхтонкого измельчения, кислородно-известковой обработки и цианирования.

2 Научная новизна диссертации

По материалам теоретических и экспериментальных исследований автором получены следующие результаты, обладающие признаками научной новизны:

- доказано, что конечными продуктами окисления мономинеральной фракции пирита, подвергнутого сверхтонкому измельчению и кислородно-известковой обработке, являются рентгеноаморфные ярозитные и гидроксидные соединения железа, массовая доля которых повышается при увеличении продолжительности обработки и степени окисления минерала; в ходе окисления пирита отмечено образование элементной серы и гипса;



- установлено, что процесс окисления пирита протекает в диффузионной области, о чем свидетельствует величина кажущейся энергии активации, равная 15,56 кДж/моль;
- установлено, что при достижении одинаковой конечной крупности измельчения пирита удельная поверхность измельченного продукта существенно выше при использовании бисерной мельницы в сравнении с шаровой мельницей.

3 Практическая значимость работы

По результатам экспериментальных исследований автором получены следующие результаты:

- установлено повышение извлечения золота при цианировании (на 30-70 %) для упорных золотосульфидных флотоконцентратов (месторождений «Боголюбовское», «Петропавловское», «Березняки»), что свидетельствует о перспективности гидрометаллургической технологии на основе сверхтонкого помола с кислородно-известковой обработкой при температуре 80°C для данного типа минерального сырья;
- по результатам лабораторных исследований и полупромышленных испытаний разработан технологический регламент для проектирования цеха по переработке флотационного концентрата месторождения «Кекура» (Чукотский АО). Данный вариант основан на включении в гидрометаллургическую схему сверхтонкого измельчения флотоконцентрата до 10 мкм, кислородно-известковую обработку и последующее сорбционное цианирование;
- совместно со специалистами-разработчиками оборудования разработана аппаратная схема сверхтонкого измельчения флотоконцентрата в вертикальной бисерной мельнице МБП-1 производства ООО «БФК Инжиниринг». Достигнута конечная крупность измельчения 92,4 % класса минус 10 мкм при суммарных затраты электроэнергии на измельчение –

ООО НИИПИ «ТОМС» (Институт ТОМС)



ГОСТ ISO 9001-2011 (ISO 9001:2015)
ГОСТ Р ИСО 14001-2007 (ISO 14001:2015)
ГОСТ Р 54935-2012 (OHSAS 18001:2007)

664074, г. Иркутск,
ул. Лермонтова 83/1, а/я 83
e-mail: senchenko@tomsmineal.ru

тел.: +7 (395) 240 53 01
факс: +7 (395) 240 53 00
www.tomsmineal.ru

35,6 кВт·ч на 1 т флотоконцентрата. Отмечено увеличение удельной поверхности измельченного флотоконцентрата с 4,74 м²/г (крупность 92,6 % -71 мкм) до 16,4 м²/г (92,4 % -10 мкм);

- установлено, что извлечение золота может быть повышено при проведении двухстадиальной кислородно-известковой обработки сульфидного концентрата, что позволило разработать новый способ извлечения благородных металлов из упорного сульфидсодержащего сырья, защищенный патентом РФ (№ 2598742);
- проведенный технико-экономический расчет технологии, основанной на использовании сверхтонкого помола, кислородно-известковой обработкой и сорбционного цианирования флотоконцентрата «Кекура», в сравнении с альтернативными способами вскрытия тонковкрапленного золота, показал что экономический эффект от применения разработанной технологии может составить около 1,16 млрд руб. и 187,8 млн руб. в сравнении с автоклавно-цианистой и биогидрометаллургической технологиями соответственно.

4 Достоверность и апробация результатов

Работа выполнена на достаточно высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Для проведения исследований автор использовал современные методы анализа (химический, рентгенодифракционный, сканирующую электронную микроскопию) и методы математического моделирования на платформе программы SELECTOR.

Материалы диссертации неоднократно докладывались на научно-практических конференциях и были опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК.



5 Общая оценка диссертации, вопросы и замечания

Диссертация изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков и 39 таблиц. Графические и табличные материалы достаточно полно отражают полученные автором результаты. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы, включающего 129 наименований, в том числе ссылки на современные отечественные и зарубежные публикации, специальную научно-техническую документацию, монографии, патентную литературу по объекту исследования.

Текст изложения диссертации – научный, технически грамотный. Все главы работы логически связаны между собой, содержат выводы, по которым можно судить о завершенности раздела и решении задач на конкретном этапе исследования. Приведенные в работе рисунки и графики выполнены качественно и полноценно дополняют текстовую информацию. Автореферат отвечает основному содержанию работы, а поставленные в диссертации задачи решены в полном объеме.

По содержанию диссертации и автореферата имеются следующие вопросы и замечания:

1. Зависимости доли окислившейся серы от продолжительности процесса (рисунки 1 и 2 автореферата) носят практически линейный характер вплоть до степени разложения пирита 90 %. Учитывая, что процесс окисления пирита является гетерогенным и сопровождается постепенным снижением площади реакционной поверхности, полученные зависимости свидетельствуют о росте удельной скорости окисления пирита с течением времени. В диссертации отсутствует обоснование данному явлению, при этом автор приводит только одно значение удельной скорости окисления пирита для каждой температуры без указания периода времени, для которого производился замер.

2. При одинаковой крупности измельчения площадь поверхности пирита при использовании бисерного измельчения более чем в 1,5 раза превышает зна-



чение аналогичного показателя, полученного при шаровом помоле. В работе следовало бы привести сравнение формы частиц пирита после применения различных способов измельчения и дать обоснованное объяснение полученному эффекту.

3. Автор на стр. 9 автореферата приводит результаты замеров площади поверхности пирита при различной степени разложения сульфидного минерала (от 13,45 до 99,28 %), при этом отсутствует описание и обоснование методики замера площади поверхности пирита из смеси данного минерала с продуктами его окисления.

4. На стр. 19 автореферата неверно указан правообладатель патента: вместо Сидорова Ивана Александровича им является ОАО «Иргиредмет».

5. В процессе окисления «полисульфидного продукта» (рис. 2.23 диссертации) отмечается значительное снижение содержания кварца в продукте окисления, при этом доля пирита остается практически неизменной. В диссертации отсутствует комментарий и обоснование данному процессу.

6. Значение выхода твердой фазы при кислородно-известковой обработке 105% (стр. 13 автореферата и стр. 104 диссертации) не соответствует описанному химизму процесса (образование нерастворимого гипса, оксидов и гидроксидов железа) и приведенным расходам реагентов (CaO – 207 кг/т, O_2 – 100-110 кг/т).

7. В оформлении работы отмечаются неточности:

- присутствуют нарушения правил переноса слов по тексту диссертации;
- дважды обозначены номера нескольких страниц (стр. 60-75 диссертации);
- химические реакции, представленные на стр. 35, не уравнены по количеству электронов;



– по тексту на стр. 36 описывается процесс окисления As (III) до As (V), однако приведенная при этом химическая реакция описывает процесс восстановления As;

– некорректная запись единиц измерения удельной скорости реакции: моль/см²·с следует заменить на моль/(см²·с);

– некорректная запись химических формул: «Zn₂[Fe(CN)₆].5»;

– сумма массовых долей всех минералов в таблице 3.2 диссертации для нескольких технологических продуктов не соответствует 100%;

– минерал гетит ошибочно отнесен к группе оксидов железа (стр. 7 автореферата).

8. Отмечаются неточности в использовании некоторых терминов:

– термин «полисульфидный минерал» для материала, состоящего на 40,5% из оксида кремния, а также нескольких сульфидных минералов, следует заменить на «полиминеральный материал»;

– вместо термина «физико-химическое моделирование процесса» следует использовать «математическое моделирование физико-химического процесса»;

– вместо термина «термодинамическое моделирование» следует использовать «математическое моделирование на основе термодинамических расчетов».

6 Заключение

Результаты теоретических и экспериментальных исследований И.А. Сидорова содержатся в 11 печатных работах, в том числе опубликованных в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ. Результаты работы представлены на Международном конгрессе «International Mineral Processing Congress -IMPC 2014» в Сантьяго, Чили и на научно практических конференциях различного уровня в Астане, Санкт-Петербурге и Иркутске.

Диссертация И.А. Сидорова является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на совре-

ООО НИИПИ «ТОМС» (Институт ТОМС)



ГОСТ ISO 9001-2011 (ISO 9001:2015)
ГОСТ Р ИСО 14001-2007 (ISO 14001:2015)
ГОСТ Р 54935-2012 (OHSAS 18001:2007)

664074, г. Иркутск,
ул. Лермонтова 83/1, а/я 83
e-mail: senchenko@tomsmineal.ru

тел.: +7 (395) 240 53 01
факс: +7 (395) 240 53 00
www.tomsmineal.ru

менном научном уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью. Это позволяет считать, что диссертация И.А. Сидорова соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г., №842, а ее автор – Сидоров Иван Александрович достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета ООО НИИПИ «Технологии обогащения минерального сырья». Присутствовало на заседании 15 чел., результаты голосования: «за» – 13, «против» – 1, «воздержались» – 1, протокол заседания №18/11-02 от «27» ноября 2018 г.

Заведующий лабораторией
металлургии, к.т.н

А.В. Аксенов

Заведующий лабораторией
обогащения

Ю.В. Куликов

Ведущий научный сотрудник
лаборатории обогащения, к.т.н

С.В. Ульянов

Ведущий научный сотрудник
лаборатории металлургии, к.т.н.

А.А. Васильев

