



**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор  
АО «Иргиредмет», к.т.н.

В.П. Дементьев

«30» августа 2022 г.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов АО «Иргиредмет»

Диссертация Набиулина Р. Н. «Низкотемпературное атмосферное окисление сульфидных золотомедных флотоконцентратов» выполнена в лаборатории металлургии Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов (АО «Иргиредмет»).

В 2015 году Набиулин Руслан Нурлович окончил ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» с присвоением квалификации «Инженер» по специальности 150102 «Металлургия цветных металлов».

В декабре 2015 года поступил в аспирантуру АО «Иргиредмет» на очную форму обучения. В период подготовки диссертации соискатель Набиулин Руслан Нурлович работал в АО «Иргиредмет» в лаборатории металлургии в должности научного сотрудника.

Соискатель в декабре 2018 года закончил аспирантуру АО «Иргиредмет».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по иностранному языку, истории и философии науки и по специальности 05.16.02. (2.6.2.) Металлургия черных, цветных и редких металлов выданы в 2021 году Иркутским научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов (АО «Иргиредмет»).

Научный руководитель – Баликов Станислав Васильевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник АО «Иргиредмет».

На заседании присутствовали сотрудники обогачительно-металлургической секции:

1. Войлошников Григорий Иванович – председатель, заместитель генерального директора по научной работе и инновациям, д.т.н., профессор;
2. Коблов Аркадий Юрьевич – заместитель председателя, заведующий лабораторией обогащения руд, к.т.н.;
3. Мусин Евгений Дмитриевич – заместитель председателя, заместитель заведующего лабораторией металлургии, к.т.н.;
4. Войлошникова Нина Сергеевна – секретарь секции, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрометаллургии, к.т.н.;
5. Афонина Татьяна Юрьевна – ученый секретарь, к.т.н.;
6. Баликов Станислав Васильевич – главный научный сотрудник, д.т.н.;

7. Богородский Андрей Владимирович – старший научный сотрудник лаборатории металлургии, к.т.н.;
8. Богородский Евгений Владимирович – ведущий научный сотрудник лаборатории гидрометаллургии, к.т.н.;
9. Бывальцев Александр Владимирович – ведущий научный сотрудник лаборатории гидрометаллургии, к.т.н.;
10. Дементьева Наталия Аркадьевна – ведущий научный сотрудник лаборатории обогащения руд, к.т.н.;
11. Емельянов Юрий Евгеньевич – ведущий научный сотрудник лаборатории металлургии, к.т.н.;
12. Епифоров Александр Владимирович – старший научный сотрудник лаборатории металлургии, к.т.н.;
13. Кононко Роман Васильевич – заведующий лабораторией обогащения алмазосодержащего сырья, к.т.н.;
14. Маньков Виктор Михайлович – заведующий лабораторией обогащения россыпей, к.т.н.;
15. Непомнящих Марина Петровна – ведущий научный сотрудник отдела охраны окружающей среды, к.б.н.;
16. Николаев Юрий Львович – ведущий научный сотрудник лаборатории металлургии;
17. Петров Сергей Владимирович – начальник отдела охраны окружающей среды, к.т.н.;
18. Ращенко Александр Федорович – ведущий научный сотрудник лаборатории металлургии;
19. Торбеева Тамара Семеновна – заведующая группой минералогии и рационального анализа, ведущий научный сотрудник;
20. Файберг Анна Александровна – старший научный сотрудник лаборатории металлургии, к.т.н.;
21. Хмельницкая Ольга Давыдовна – заведующая лабораторией гидрометаллургии, к.т.н.

По результатам рассмотрения диссертации «Низкотемпературное атмосферное окисление сульфидных золотомедных флотоконцентратов» принято следующее заключение:

Представленная Набиулиным Русланом Нурловичем диссертация обобщает самостоятельные исследования автора и является завершенным научным трудом, выполненным по специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов.

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Сульфидные золотомедные руды и получаемые при их обогащении концентраты характеризуются невысоким извлечением золота при цианировании. Низкое извлечение золота в цианистом процессе объясняется его тонкой вкрапленностью в пирите, арсенопирите и минералах меди. Руды такого типа являются наиболее упорными и для освобождения драгоценных металлов и меди требуется полное разрушение золотосодержащих сульфидов методом их окисления.

Для подготовки упорных золотосодержащих руд и концентратов к цианированию применяют обжиг с последующим цианированием огарка,

автоклавное и бактериальное окисление с последующим цианированием кеков.

Перспективным способом переработки упорных золотомедных концентратов является технология атмосферного окисления флотоконцентрата при температуре 90-95 °С в кислой или щелочной среде после предварительного сверхтонкого измельчения.

В связи с этим научный и практический интерес представляет разработка технологической схемы низкотемпературного атмосферного окисления для переработки сульфидного полиметаллического сырья с достижением максимальных показателей по извлечению драгоценных и цветных металлов.

**Цель работы соискателя** – разработка эффективной технологии извлечения драгоценных и цветных металлов из упорного полиметаллического сырья с использованием низкотемпературного серноокислотного атмосферного окисления.

**Основные научные результаты и их новизна.**

Установлено, что при низкотемпературном атмосферном окислении в серноокислотной среде золотомедных концентратов с использованием в качестве окислителя кислорода на поверхности сульфидов образуется пленка в виде переосажденных вторичных сульфидов меди, снижающая скорость окисления сульфидов.

Определена кажущаяся энергия активации – реакции окисления теннантита при использовании кислорода протекают во внешнедиффузионной области ( $E_a = 26,4$  кДж/моль), а при барботаже воздухом – в переходной области ( $E_a = 36,0$  кДж/моль).

Установлено, что в процессе серноокислотного окисления сульфидных золотомедных концентратов при дефиците кислорода в начальный период процесса в первую очередь происходит окисление сульфидов меди, без переосаждения вторичных сульфидов.

**Конкретное личное участие автора в получение результатов научных исследований, изложенных в диссертации** заключается в выполнении экспериментов по низкотемпературному атмосферному окислению упорных золотомедных флотоконцентратов и извлечению драгоценных и цветных металлов из окисленных продуктов, выполнение теоретических расчетов термодинамических и кинетических закономерностей процесса низкотемпературного атмосферного окисления, анализе и обобщении полученных результатов, написание статей по теме диссертационной работы, участие в полупромышленных и промышленных испытаниях, разработке технологической схемы процесса.

**Степень достоверности исследований** подтверждается использованием аттестованных физических (инструментальных) и физико-химических методов анализа, применением современных средств измерений, математической обработкой результатов исследований, полупромышленными и промышленными испытаниями.

**Практическая значимость.** Разработана методика для изучения основных закономерностей низкотемпературного атмосферного окисления золотомедного флотоконцентрата, позволяющая удалить порообразующие минералы плавиковой кислотой с последующим атмосферным окислением с

барботажем кислородом и воздухом при различной температуре с добавлением серной кислоты.

Установлены оптимальные параметры атмосферного окисления: Ж:Т составляет 4:1, продолжительность 18 ч (8 ч воздухом, 2 ч кислородом и 8 ч воздухом), температура процесса 90-95 °С, концентрация серной кислоты 50 г/дм<sup>3</sup>. При этом извлечение меди составило 80 %, золота при последующем цианировании 90-95 % (на основании проведенных исследований получен патент № 2749309 Российской Федерации).

Разработана технология низкотемпературного атмосферного окисления для переработки сульфидного золотомедного концентрата, упорного к цианистому процессу. Технология испытана в промышленном масштабе на действующем производстве (акт промышленных испытаний от 27.12.2017 г.) и использована в технологическом регламенте проектирования промышленного предприятия по переработке упорной золотомедной руды одного из месторождений Урала.

Использование разработанной трехстадиальной технологии окисления позволит увеличить прибыль на 175 млн. руб. в сравнении с аналогичной технологией, где в качестве окислителя применяется кислород.

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

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались на восьмом Конгрессе и выставке «Цветные металлы и минералы 2016» (г. Красноярск, 13–16 сентября 2016 г.); на Международном конгрессе по переработке минерального сырья «International Mineral Processing Congress» IMPC-2018 (г. Москва, 21 сентября 2018 г.); на международном совещании «Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке» «Плаксинские чтения-2019» (г. Иркутск, 9–14 сентября 2019 г.).

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Основные результаты диссертационной работы изложены в 9 научных работах автора:

#### *Статьи из Перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ*

1. Набиулин, Р.Н. Атмосферное окисление золотомедного флотоконцентрата / Р.Н. Набиулин, А.В. Богородский, С.В. Баликов, Емельянов Ю.Е. // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. Т. 10. № 1. – Красноярск. – 2017. С. 139-147.

2. Набиулин, Р.Н. Исследования по переработке измельченного золотомедного флотоконцентрата методом сернокислотного атмосферного окисления / Р.Н. Набиулин, А.В. Богородский, С.В. Баликов // Вестник Иркутского государственного технического университета. Т. 24. № 4. – Иркутск. – 2020. – С. 887-895.

#### *Патент*

3. Пат № 2749309, Российская Федерация, С22В 11/04, С22В 15/0071, С22В 3/08. Способ извлечения золота и меди из сульфидного золотомедного флотоконцентрата / Р.Н. Набиулин, А.В. Богородский, С.В. Баликов; заявитель

и патентообладатель АО «Иргиредмет». Заявл. 05.09.2019; опубл. 08.06.2021. Бюл. № 16.

#### *Другие публикации*

4. Набиулин, Р.Н. Способы вскрытия упорных золотосодержащих руд и концентратов / Р.Н. Набиулин, Т.С. Минеева // Переработка природного сырья: сб. науч. тр. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2014. – С. 38-42.

5. Набиулин, Р.Н. Зарубежный опыт переработки сульфидных золотосодержащих концентратов на основе ультратонкого помола и окислительного выщелачивания / Р.Н. Набиулин, Т.С. Минеева // Переработка природного и техногенного сырья: сб. науч. тр. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. – С. 115-119.

6. Козлов, А.А. Современные способы вскрытия золота из упорного сульфидного сырья / А.А. Козлов, Р.Н. Набиулин, Т.С. Минеева // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов: матер. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Иркутск, 21–22 апр., 2016 г.). – Иркутск. – 2016. – С. 29-31.

7. Набиулин, Р.Н. Термодинамический расчет реакций атмосферного окисления золотомедного флотоконцентрата / Р.Н. Набиулин, А.В. Богородский, Т.С. Минеева, С.В. Баликов // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов: матер. VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Иркутск, 19–20 апр., 2017 г.). – Иркутск. – 2017. – С. 69-71.

8. Набиулин, Р.Н. Исследования и разработка технологии переработки золотомедного флотоконцентрата методом низкотемпературного атмосферного окисления / Р.Н. Набиулин, А.В. Богородский, С.В. Баликов // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения - 2019): матер. междунар. совещания (Иркутск, 9-14 сент., 2019 г.). – Иркутск. – 2019. – С. 300-303.

9. Nabiulin, R.N. Atmospheric oxidation of a gold-copper flotation concentrate / R.N. Nabiulin, A.V. Bogorodsky, S.V. Balikov, Y.E. Emelyanov // IMPC 2018 – 29th International Mineral Processing Congress. Moscow. 2019. P. 2515-2521.

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

Диссертация Набиулина Руслана Нурловича на тему «Низкотемпературное атмосферное окисление сульфидных золотомедных флотоконцентратов» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Решение принято на заседание обогатительно-металлургической секции научно-технического совета АО «Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов».

Результаты голосования: «за» - 21 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол № 6 от 30 августа 2022 г.

Заместитель генерального директора  
по научной работе и инновациям,  
председатель обогатительно-металлургической  
секции научно-технического совета  
АО «Иргиредмет»,  
докт. техн. наук, профессор

Г.И. Войлошников

Ученый секретарь АО «Иргиредмет»,  
канд. техн. наук

Т.Ю. Афонина

Подпись: Войлошников Г.И.  
Афонина Т.Ю.  
Наг. О. В.  
30.08.2022

ИРГИРЕДМЕТ  
ОТДЕЛ  
КАДРОВ