

УДК 622.775

Рассказова Анна Вадимовна

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: annbot87@mail.ru

Конарева Татьяна Геннадьевна

научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
e-mail: konar_tat@mail.ru

Соболев Алексей Анатольевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН
e-mail: alexsoboll@mail.ru

Кирильчук Максим Сергеевич

аспирант, Институт горного дела ДВО РАН
e-mail: kirilchukm@mail.ru

Лаврик Александра Викторовна

аспирант, младший научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН
e-mail: alexalavrikxx@gmail.com

**ТЕСТИРОВАНИЕ УПОРНЫХ
ЗОЛОТО-МЕДНЫХ РУД
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
АКТИВАЦИОННОГО ПЕРКОЛЯЦИОННОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ***

Аннотация:

Одним из самых крупных и привлекательных проектов в горной отрасли на Дальнем Востоке РФ является Малмыжское медно-порфировое месторождение. Несмотря на невысокие содержания ценных компонентов, запасы меди и золота в этом месторождении огромны. Балансовые запасы Малмыжского месторождения оцениваются в 5,156 млн т меди и 278 т золота. Тестирование первичных руд одного из участков месторождения Малмыж выявило их технологическую упорность и необходимость разработки новых технологических подходов к решению задачи извлечения ценных компонентов из золото-медно-порфировых руд. Исследована возможность извлечения ценных компонентов выщелачиванием просачиванием (перколяцией). Данная технология реализуется в промышленности в варианте кучного выщелачивания и характеризуется высокой производительностью труда, низкими капитальными и эксплуатационными затратами, что особенно актуально для медно-порфировых руд с низким содержанием меди. Тестирование упорных золото-медных руд с использованием электрофото-активированных нецианистых рабочих растворов выявило принципиальную возможность применения перколяционного выщелачивания для упорных золото-медно-порфировых руд. Проводилась электро- и фотоактивация рабочих раство-

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.090

Rasskazova Anna V.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Mining Institute, Far-East Branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str
e-mail: annbot87@mail.ru

Konareva Tatyana G.

Researcher,
Mining Institute, Far-East Branch of RAS,
e-mail: konar_tat@mail.ru

Sobolev Aleksey A.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Mining Institute, Far-East Branch of RAS
e-mail: alexsoboll@mail.ru

Kirilchuk Maksim S.

Postgraduate Student, Junior Researcher,
Mining Institute, Far-East Branch of RAS
e-mail: kirilchukm@mail.ru

Lavrik Aleksandra V.

Postgraduate Student, Junior Researcher,
Mining Institute, Far-East Branch of RAS
e-mail: alexalavrikxx@gmail.com

**TESTING OF REFRACTORY
GOLD-COPPER ORES
BY THE METHOD OF ACTIVATED
PERCOLATION LEACHING**

Abstract:

One of the largest and most attractive mining projects in the Russian Far East is Malmyzh porphyry copper deposit. Despite the low content of valuable components, the reserves of copper and gold in this deposit are huge. The balance reserves of the Malmyzh deposit are estimated at 5.156 million tons of copper and 278 tons of gold. Testing of primary ores of one of the areas of the Malmyzh deposit revealed their technological refractory and the need to develop new technological approaches for solving the problem of extracting copper and gold from porphyry gold-copper ores. The possibility of extracting valuable components by leaching by percolation has been studied. This technology is implemented in industry as heap leaching and is characterized by high labor productivity, low capital and operating costs, which is especially important for porphyry copper ores with a low copper content. Testing of refractory gold-copper ores using electro-and-photo-activated non-cyanic leaching solutions revealed the fundamental possibility of using percolation leaching for refractory gold-copper-porphyry ores. Electro-and-photo-activation of leaching solutions was carried out sequentially by electrolysis followed by irradiation with an ultraviolet emitter in order to form reactive oxygen species in the solution volume, which are strong oxidizing agents. When testing the diorite-porphyrific type of ore, a nitric acid-chloride-sulfuric acid scheme with nitro-

* Работа выполнена при поддержке проекта президиума ДВО РАН № 18-2-015 «Золото-медно-порфировое оруденение Дальнего Востока: индикаторы геодинамических обстановок, рудоносного магматизма и минералого-геохимические особенности рудно-магматических систем в связи с решением проблем прогноза, поиска, оценки и технологий разработки месторождений данного типа».

ров последовательно обработкой электролизом с последующим облучением ультрафиолетовым излучателем с целью формирования в объеме раствора активных форм кислорода, являющихся сильными окислителями. Перколяционное выщелачивание диорит-порфиритового типа руды проводилось с азотно-нитритным предокислением и последующим азотнокисло-хлоридно-сернокислотным орошением. Особенностью данного реагентного режима является использование продуктивного раствора, содержащего ионы окиси железа в качестве оборотного на стадии предокисления.

Ключевые слова: золото-медная руда, медно-порфириновая руда, кучное выщелачивание, окислители, окись железа, активные формы кислорода, нецианистые растворы

gen-nitrite pre-oxidation was used. A feature of this scheme is the use of a pregnant solution containing iron oxide ions as a reverse one at the pre-oxidation stage.

Keywords: gold-copper ore, copper-porphyry ore, heap leaching, oxidizing agents, iron oxide, reactive oxygen species, non-cyanide solutions.

Введение

Одним из самых крупных и привлекательных проектов в горной отрасли на Дальнем Востоке РФ является Малмыжское медное месторождение. В настоящее время дочерняя компания Русской медной компании ООО «Амур Минералс» является оператором его разработки. Это перспективное месторождение мирового класса было открыто в 2006 г. Оно расположено на территории Нанайского и Амурского районов Хабаровского края на правом берегу реки Амур в 274 км от Хабаровска и в 125 км от Комсомольска-на-Амуре. Балансовые запасы Малмыжского месторождения оцениваются в 5,156 млн т меди и 278 т золота. Для освоения месторождения в два этапа в период с 2023 по 2024 г. планируется запустить горно-обогачительный комбинат мощностью переработки 56 млн т руды в год [1].

В проекте фабрики основной технологической операцией будет флотационное обогащение золото-медных руд Малмыжского месторождения. Переработка руды указанным способом приводит к накоплению большого объема отходов (хвостов флотации), оказывающих комплексное негативное влияние на окружающую среду [2].

В зоне аэрации происходит окисление минеральных веществ, слагающих тела полезных ископаемых. Ей соответствует зона окисления, которая может быть на месторождениях самых различных генетических типов. Степень развития зоны окисления зависит от климата, геоморфологии и тектоники, состава руд и вмещающих пород, их текстурно-структурного облика. Наиболее интенсивно она проявлена в сульфидных месторождениях, не является исключением и месторождение Малмыж. С технологической точки зрения руды зоны окисления плохо поддаются флотации, кроме того, являются бедными по содержанию целевых компонентов. Содержание меди (менее 0,3 %) является нерентабельным для фабричной технологии [3]. При ориентации на флотационную технологию данные руды зоны окисления будут рассматриваться как забалансовые и уйдут в отвал.

В данной ситуации, с технологической и экономической точки зрения, оптимально применение метода кучного выщелачивания. Окисленные руды не являются упорными для выщелачивания с технологической точки зрения. Низкие капитальные и эксплуатационные затраты в процессе кучного выщелачивания позволяют сделать переработку руд с низкими содержаниями ценных компонентов рентабельной.

Было экспериментально установлено [4], что руда не является упорной к выщелачиванию, однако применение стандартной цианидной технологии осложнено большим расходом цианида вследствие его взаимодействия с медью и железом. В связи с этим в ИГД ДВО РАН была разработана комбинированная реагентная схема, не требующая применения цианидов и обеспечивающая извлечение золота на уровне 94 % для данного типа руды [5].

Тестирование разработанного реагентного режима на материале первичных руд выявило его низкую эффективность и необходимость разработки новых технологических подходов к решению задачи извлечения меди и золота из упорных золото-медно-порфировых руд.

Микробиологическими исследованиями установлено, что в медных рудах (в частности, представляющих смесь окисленных, вторичных и первичных форм) и растворах выщелачивания развиваются бактерии *T. Ferrooxidans*, которые непрерывно регенерируют окислитель - Fe^{3+} [6]. Выщелачивание меди из халькопирита серной кислотой с применением ионов трехвалентного железа позволяет извлечь до 35 % меди. Но при использовании пероксида водорода (H_2O_2) извлечение достигает 80 % [7], из чего следует вывод о том, что активные формы кислорода чрезвычайно эффективны для переработки упорных руд. Главными рудными минералами первичной руды Малмыжского месторождения являются халькопирит и пирит [8], что позволяет предположить применимость указанного подхода к исследуемому объекту.

Выщелачивание просачиванием (перколяцией), реализуемое в промышленности в варианте кучного выщелачивания, в сравнении с традиционной технологией имеет более высокую производительность труда, низкие капитальные и эксплуатационные затраты. Экологическая безопасность применения данного метода обеспечивается применением различных видов покрытия с целью предотвращения проникновения технологических растворов в подземные воды, управления потоками воды во время дождей, а также уменьшения их испарения в окружающую среду [9].

Технология кучного выщелачивания также может быть применена при вторичной переработке и доизвлечении ценных компонентов из техногенного минерального сырья [10]. Для повышения комплексности использования минерального сырья возможно применение метода кучного выщелачивания к хвостам флотации золото-медных руд после их предварительного окомкования.

Задачей данного исследования является установление возможности применения перколяционного выщелачивания ценных компонентов из первичных золото-медно-порфировых руд месторождения Малмыж.

Материалы и методы исследования

Согласно минералогическим и технологическим особенностям, первичные руды месторождения Малмыж были разделены на брекчиевый и диорит-порфириновый типы. Исходное содержание золота в руде диорит-порфиринового типа – 0,5 г/т, серебра – 1 г/т, меди – 0,37 %, железа – 4,83 %.

При тестировании диорит-порфиринового типа руды применялся азотнокислородно-сернокислотный реагентный режим с азотно-нитритным предокислением. Особенностью данного режима является использование продуктивного раствора, содержащего ионы трехвалентного железа в качестве оборотного на стадии предокисления. Комбинированная схема реагентного нецианистого выщелачивания включает:

1. Диффузионное предокисление электро-фотоактивированным азотнокислородным раствором (30 г/л + 1 г/л, соответственно) в течение 3-х суток.
2. Орошение раствором азотной кислоты (10 мл/л) и нитрита натрия (3 г/л) (сливы 2-5). Затем был произведен переход с азотнокислотной схемы на сернокислотную для перевода pH слива в кислую область (сливы 6-12).
3. Выщелачивание активным гипохлоритно-хлоридным раствором проводилось на сливах 13-56 с закислением сернокислотным раствором на сливах 19-21.
4. На конечном этапе проводилось орошение сернокислотным раствором (сливы 57-67).

Проводилась электро- и фотоактивация рабочих растворов последовательно обработкой электролизом с последующим облучением ультрафиолетовым излучателем с

целью формирования в объеме раствора активных форм кислорода, являющихся сильными окислителями.

Результаты и их обсуждение

Динамика извлечения меди и серебра в продуктивный раствор в ходе эксперимента представлена на рис. 1.

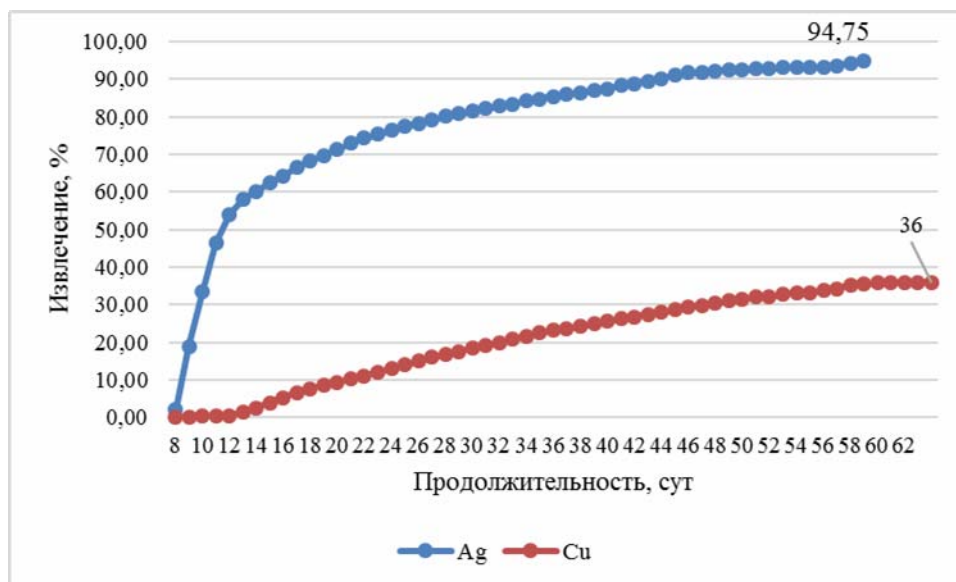


Рис. 1 – Динамика извлечения меди и серебра в продуктивный раствор по азотнокислородно-сернокислотной схеме с азотно-нитритным преокислением

На данном этапе эксперимента серебро было извлечено практически полностью (95 %) и 36 % меди перешло в продуктивный раствор. В настоящий момент эксперимент продолжается и наблюдается стабильная динамика извлечения меди в продуктивный раствор, что позволяет применить метод экстраполяции для прогнозной оценки динамики этого процесса. При сохранении существующей кинетики извлечения меди в раствор ожидается достичь 65-процентного извлечения меди на 114-й день эксперимента, что соответствует временным рамкам промышленной технологии кучного выщелачивания (4 месяца).

Динамика извлечения золота в продуктивный раствор представлена на рис. 2.

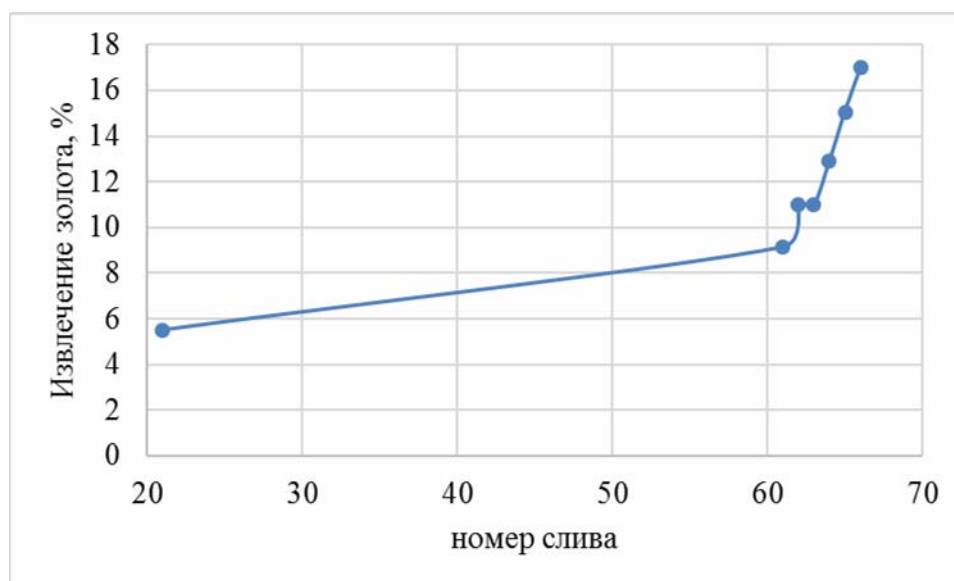


Рис. 2 – Динамика извлечения золота в продуктивный раствор

Переход золота в продуктивный раствор наблюдается с 61-го слива в процессе активационного хлоридного выщелачивания. На данном этапе экспериментов достигнуто 17 % извлечения золота в продуктивный раствор.

Заключение

Тестирование метода активационного перколяционного выщелачивания на упорной золото-медной руде показало принципиальную возможность и эффективность данного метода. Разработанный реагентный режим активационного выщелачивания обеспечил практически полное извлечение серебра (95 %) и 36 % извлечения меди в продуктивный раствор.

В результате экспериментальных исследований установлено, что задача извлечения меди и серебра из упорных золото-медно-порфировых руд может быть решена с применением метода перколяционного выщелачивания, для успешного извлечения золота из данного типа руд необходим поиск более эффективных технологических подходов.

Внедрение методов активационного кучного выщелачивания меди на Малмыжском месторождении при переработке бедных руд может обеспечить максимальную экологическую безопасность производства и его высокую экономическую эффективность. Реализация проекта разработки Малмыжского месторождения будет иметь стратегическое значение для развития Дальнего Востока и российской медной отрасли.

Благодарность

Авторы выражают благодарность д.т.н. А.Г. Секисову за научное руководство, ценные советы при планировании исследования и рекомендации по оформлению статьи.

Литература

1. ООО «Амур Минералс». – Москва, 2020. – URL: <http://www.rmk-group.ru/ru/activities/enterprises/minerals/> (дата обращения 18.03.2020) – Текст : электронный.
2. Application of a Method for Intelligent Multi-Criteria Analysis of the Environmental Impact of Tailing Ponds in Northern Kosovo and Metohija / G. Milentijevic, B. Nedeljko, M. Lekic[et al.] // *Energies*. – 2016. – Vol. 9, 11. – Article number 935.
3. Геохимические особенности руд зоны окисления медно-золоторудного месторождения Малмыж и результаты их геотехнологического тестирования / А.Г. Секисов, В.В. Иванов, А.В. Рассказова, Е.К. Игнатъев // *Горный журнал*. – 2018. – № 10. – С. 30 - 35.
4. Comparative research of cyanide and sulfate-chloride gold leaching from oxidized gold-copper ore / A. Sekisov, A. Rasskazova, T. Konareva [et al.] // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. – 2018. – P. 35 - 42.
5. Патент № 2647961 Российская Федерация, МПКС22В, 11/00 С22В 3/04 (2006.01). Способ выщелачивания золота из упорных руд / А.Г. Секисов, А.В. Рассказова; заявитель ИГД ДВО РАН. - № 2017120462, заявл. 09.06.2017; опубл. 21.03.2018. – 7 с.
6. Халезов Б.Д. Кучное выщелачивание меди на Кальмакырском руднике Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК) / Б.Д. Халезов, В.А. Неживых // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2004. – № 2. – С. 245 - 250.
7. Wu, J. Comparative Leaching Study on Conicalcrite and Chalcopyrite Under Different Leaching Systems / J. Wu, J. Ahn, J. Lee // *Korean Journal of Metals and Materials*. – 2019. – Vol. 57, 4. – P. 245 - 250.
8. Гурман М.А. Технологические исследования первичных медно-порфировых руд Малмыжского месторождения / М.А. Гурман, А.Е. Полтарецкая // *Проблемы недропользования*. – 2019. – № 2. – С. 94 - 100. - DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.094.

9. Воробьев А.Е. Практика применения геосинтетических глинистых экранов на площадках кучного выщелачивания в Перу / А.Е. Воробьев, Х. Тчаро, Т.В. Чекушина / Проблемы недропользования. – 2017. – № 2. – С. 62 - 72.– DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.062.

10. Шадрунова И.В. Обоснование параметров технологии кучного выщелачивания техногенного тонкодисперсного медьсодержащего сырья / И.В. Шадрунова, Д.Н. Радченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 3. – С. 276 - 280.