


УДК: 544.7:669.2

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.8

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЦИОННОГО ЦИАНИРОВАНИЯ УПОРНЫХ СЕРЕБРО-СОДЕРЖАЩИХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ



**Хужакулов Нурмурод  
Ботирович**

Доцент, Навоийский  
государственный горный и  
технологический университет,  
Навои, Узбекистан  
E-mail: [xuja\\_nur@mail.ru](mailto:xuja_nur@mail.ru)  
ORCID ID: 0009-0006-4489-1812



**Насирова Нигора  
Рамазановна**

Ст. преподаватель, Навоийский  
государственный горный и  
технологический университет,  
Навои, Узбекистан  
E-mail:  
[nigora.nasirova0502@gmail.com](mailto:nigora.nasirova0502@gmail.com)  
ORCID ID: 0009-0000-5553-9706



**Иботов Бобур Одил  
угли**

Докторант, Навоийский  
государственный горный и  
технологический университет,  
Навои, Узбекистан  
E-mail:  
[boburibotov876@gmail.com](mailto:boburibotov876@gmail.com)  
ORCID ID: 0009-0000-9092-2356



**Сафаров Аминжон  
Неъмат угли**

Студент, Навоийский  
государственный горный и  
технологический университет,  
Навои, Узбекистан  
E-mail:  
[safarovaminjon439@gmail.com](mailto:safarovaminjon439@gmail.com)  
ORCID ID: 0009-0001-2598-8137

**Аннотация.** В статье исследовано влияние предварительной реагентной обработки на эффективность сорбционного цианирования огарков гидрометаллургического завода № 3, полученных после процесса окислительного обжига. В качестве реагентов предварительной обработки использованы азотная и соляная кислоты, а также гидроксид натрия. Установлено, что наибольший положительный эффект достигается при применении азотной кислоты. Результаты сорбционного цианирования показали, что предварительная азотнокислая обработка огарка при концентрации азотной кислоты 20 г/л и температуре 85 °С обеспечивает повышение степени извлечения серебра с 53,7 % до 85,1 %. В результате степень извлечения серебра в процессе сорбционного цианирования возрастает на 31,4 %, что подтверждает эффективность применения азотной кислоты для интенсификации переработки упорных серебряносодержащих огарков.

**Ключевые слова:** упорная руда, серебро, кислая обработка, щелочная обработка, сорбционное цианирование.

Received: 06.05.2026

Accepted: 19.05.2026

Published: 29.06.2026

## MURAKKAB KUMUSH TARKIBLI RUDALARNI TURLI REAGENTLAR YORDAMIDA QAYTA ISHLASH ORQALI SORBSION SIANLASH JARAYONI SAMARADORLIGINI OSHIRISH

**Xujakulov Nurmurod  
Botirovich**

Navoiy davlat konchilik va  
texnologiyalar universiteti dotsenti,  
Navoiy, O'zbekiston

**Nasirova Nigora  
Ramazanovna**

Navoiy davlat konchilik va  
texnologiyalar universiteti katta  
o'qituvchisi, Navoiy, O'zbekiston

**Ibotov Bobur Odil o'g'li**

Doktorant, Navoiy davlat konchilik  
va texnologiyalar universiteti,  
Navoiy, O'zbekiston

**Safarov Aminjon Ne'mat  
o'g'li**

Navoiy davlat konchilik va  
texnologiyalar universiteti talabasi,  
Navoiy, O'zbekiston

**Annotatsiya.** Maqolada 3-sonli gidrometallurgiya zavodi kuyindisini sorbsion sianlash jarayoni mahsulotiga dastlabki ishlov berishning ta'siri ko'rib chiqilgan. Tadqiqotning obyekti sifatida 3-sonli gidrometallurgiya zavodining oksidlovchi kuydirish jarayoni kuyindisi olindi. Dastlabki ishlov berish nitrat kislota, xlorid kislota hamda natriy gidroksid kabi reagentlar yordamida amalga oshirildi. Kuyindini dastlabki qayta ishlash jarayonida nitrat kislota qo'llanilganda ijobiy natijalar olindi. Kuyindilarga nitrat kislotali ishlov berishdan so'ng sorbsion sianlash natijalari shuni ko'rsatdiki, nitrat kislotadan foydalangan holda kuyindiga dastlabki ishlov berish 85 °C haroratda nitrat kislotaning 20 g/l konsentratsiyasida kumushni ajratib olish darajasini 53,7% dan 85,1% gacha oshirdi. Natijada sorbsion sianlash jarayonida metalni ajratib olish darajasi 31,4% ga oshadi.

**Kalit so'zlar:** murakkab tarkibli ruda, kumush, kislota yordamida qayta ishlash, ishqor yordamida qayta ishlash, sorbsion sianlash.

## INCREASING THE EFFICIENCY OF SORPTION CYANIDATION OF REFRACTORY SILVER-CONTAINING ORES USING VARIOUS REAGENTS FOR PRE-TREATMENT

**Xujakulov Nurmurod**

Associate Professor, Navoi State  
Mining and Technology University,  
Navoi, Uzbekistan

**Nasirova Nigora**

Senior Lecturer at Navoi State  
University of Mining and  
Technology, Navoi, Uzbekistan

**Ibotov Bobur**

Doctoral student, Navoi State  
Mining and Technology University,  
Navoi, Uzbekistan

**Safarov Aminjon**

Student of Navoi State Mining and  
Technology University, Navoi,  
Uzbekistan

**Abstract.** The present study investigates the effect of preliminary reagent treatment on the efficiency of sorption cyanidation of calcines obtained from Hydrometallurgical Plant No. 3 after the oxidative roasting process. Nitric acid, hydrochloric acid, and sodium hydroxide were used as reagents for the preliminary treatment. The results demonstrate that nitric acid provides the most pronounced positive effect. Sorption cyanidation tests revealed that preliminary nitric acid treatment at a concentration of 20 g/l and a temperature of 85 °C increases the silver recovery from 53.7% to 85.1%. As a result, the overall silver recovery during the sorption cyanidation process increases by 31.4%, confirming the high efficiency of nitric acid pretreatment for enhancing the processing of refractory silver-bearing calcines.

**Keywords:** composite ore, silver, acid treatment, alkaline treatment, sorption cyanidation.

**Введение.** Переработка упорных сереброросодержащих огарков, образующихся после окислительного обжига, представляет собой актуальную задачу современной гидрометаллургии. Сложный вещественный состав огарков и наличие труднорастворимых соединений серебра существенно снижают эффективность традиционного цианирования.

Перспективным методом повышения извлечения серебра является сорбционное цианирование, однако его эффективность при переработке упорных материалов во многом ограничивается пассивирующими фазами и сорбционными потерями металла. В этой связи важное значение приобретает предварительная реагентная обработка, направленная на изменение химического состояния огарка и повышение доступности серебра для выщелачивания.

Целью настоящей работы является повышение эффективности сорбционного цианирования огарков гидрометаллургического завода № 3 путем применения азотной и соляной кислот, а также гидроксида натрия на стадии предварительной обработки.

**Литературный анализ и методы.** Анализ современных исследований показывает, что переработка упорных сереброросодержащих материалов традиционными методами цианирования характеризуется низкими показателями извлечения из-за сложного минералогического состава и наличия труднорастворимых фаз [1]. В ряде работ отмечается, что предварительная реагентная обработка увеличивает доступность серебра и улучшает результаты последующего цианирования [2]. Например, применение восстановительной или кислотной подготовки значительно повышало извлечение

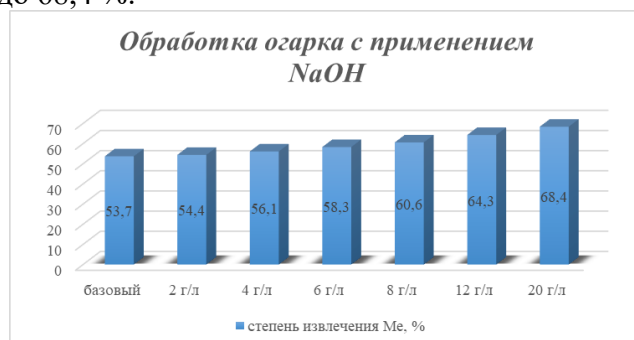
серебра из рефрактерных руд по сравнению с прямым цианированием без предварительной обработки [2,3]. Другие исследования показывают, что кислые предпроцессы, включая обработку азотной кислотой, улучшают кинетику выщелачивания и освобождение ценных металлов из минералов-носителей [3]. При этом щелочные методы также рассматриваются как подход к модификации минеральной матрицы и повышению эффективности выщелачивания [4]. Однако сравнительный анализ влияния соляной и азотной кислот, а также гидроксида натрия на сорбционное цианирование серебрясодержащих огарков описан в литературе недостаточно подробно, что обуславливает актуальность настоящего исследования.

Объектом исследования являлся огарок, полученный после процесса окислительного обжига на гидрометаллургическом заводе № 3. Предварительная обработка огарка проводилась с использованием азотной кислоты, соляной кислоты и гидроксида натрия при определённых концентрациях и температурных режимах. После реагентной обработки материал подвергался сорбционному цианированию в лабораторных условиях. Эффективность предварительной обработки оценивалась по степени извлечения серебра, рассчитанной на основе химического анализа растворов после цианирования.

**Результаты.** Для определения эффективности процесса сорбционного цианирования было применено перед цианированной обработкой огарка с помощью соляной кислоты, азотной кислоты а также гидроксида натрия. Все реагенты были применены в разных концентрациях реагентов при следующих условиях: температура процесса обработки составила 85 °С, время обработки 1 час. После обработки провели сорбционную цианированию и определили изменения степень извлечения металла. Полученные результаты каждой обработки в виде диаграмме сопоставили. В рисунках 1,2,3 в виде диаграмме показано результаты обработки огарков перед цианирования с помощью различных реагентов.

Предварительная обработка огарка гидроксидом натрия проводилась при кон-

центрации щёлочи от 2 до 20 г/л, продолжительности обработки 60 минут и температуре 85 °С. После завершения испытаний продукт направлялся на процесс сорбционного цианирования. По результатам опытов была определена степень извлечения серебра. Из рисунка 1 видно, что степень извлечения металла при концентрации 2 г/л составляет 54,4 %, а при повышении концентрации щёлочи до 20 г/л увеличивается до 68,4 %.



**Рис.1. Диаграмма обработки огарка с применением NaOH.**

Для определения наиболее эффективного реагента для обработки огарков были проведены исследования с применением соляной кислоты. Для этого была использована та же проба материала и выполнена предварительная обработка перед цианированием раствором HCl в концентрациях от 10 до 40 г/л при тех же условиях процесса. Полученные результаты представлены на рисунке 2.



**Рис.2. Диаграмма обработки огарка с применением HCl.**

Из полученных данных видно, что степень извлечения серебра повышается с увеличением концентрации кислоты: от 55,4 % при минимальной концентрации до 66,8 % при концентрации 40 г/л. Наилучший показатель

достигается при обработке раствором соляной кислоты концентрацией 40 г/л, при этом прирост степени извлечения металла составляет 13,1 %. Однако данные значения не являются достаточно рентабельными для промышленной обработки огарков.

Проведённые исследования с применением обоих реагентов не показали высокой эффективности. В связи с этим были выполнены дополнительные исследования с использованием азотной кислоты. Концентрация кислоты варьировалась в пределах от 10 до 40 г/л. Условия процесса обработки оставались аналогичными предыдущим опытам.

Из диаграммы на рисунке 3 видно, что при использовании азотной кислоты степень извлечения серебра заметно повысилась по сравнению с другими реагентами. При концентрации 40 г/л получены наивысшие показатели, а степень извлечения металла по сравнению с базовыми значениями увеличилась на 31,4%. Данное значение является экономически рентабельным для обработки огарков.



Рис.3. Диаграмма обработки огарка с применением HNO<sub>3</sub>.

**Заключения.** В результате проведённых исследований установлено, что предваритель-

ная химическая обработка огарков оказывает существенное влияние на эффективность процесса сорбционного цианирования и степень извлечения серебра. Были изучены три вида реагентов: гидроксид натрия, соляная кислота и азотная кислота, применяемые в различных концентрациях при одинаковых технологических условиях.

Результаты экспериментов показали, что обработка гидроксидом натрия способствует повышению степени извлечения серебра до 68,4%, однако достигнутые показатели уступают результатам кислотной обработки. Применение соляной кислоты также позволило увеличить извлечение металла до 66,8 %, но эффективность данного реагента оказалась недостаточной с экономической точки зрения.

Наиболее высокие результаты были получены при использовании азотной кислоты. При концентрации 40 г/л степень извлечения серебра увеличилась на 31,4 % по сравнению с исходными показателями, что свидетельствует о высокой эффективности данного реагента. Кроме того, достигнутые значения можно считать экономически рентабельными для дальнейшей переработки огарков.

Таким образом, по итогам исследований установлено, что наиболее перспективным реагентом для предварительной обработки огарков перед сорбционным цианированием является азотная кислота. Её применение позволяет повысить извлечение серебра и улучшить технико-экономические показатели процесса.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Acidic pretreatment of a copper silver ore and its beneficial effect on cyanide leaching. (2020). Minerals Engineering, 149, 106233. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106233>
- [2] Awe, S. A., et al. (2011). Implementation of sodium hydroxide pretreatment for refractory antimonial gold and silver ores. Hydrometallurgy, 108(1–2), 109–114.
- [3] Nitric acid pretreatment applied to a refractory gold tellurides ore. (2023). Mining, Metallurgy & Exploration, 40, 2051–2058.
- [4] Pressure leaching of a lead zinc silver concentrate with nitric acid at moderate temperatures. (2010). Hydrometallurgy, 104(1), 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.04.001>
- [5] Advances in the cyanidation of silver. (2011). Mining, Metallurgy & Exploration, 28, 37–42.

---

**Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article**

Хужакулов, Н. Б., Насирова, Н. Р., Иботов, Б. О., & Сафаров, А. Н. (2026). ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЦИОННОГО ЦИАНИРОВАНИЯ УПОРНЫХ СЕРЕБРО-СОДЕРЖАЩИХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.8>

---