

Статья поступила в редакцию: 24.07.2026

Статья принята к публикации: 06.08.2026

Статья опубликована: 28.08.2026

УДК 622.342+669.294

DOI: 10.32743/UniTech.2026.149.8.23276

Полупромышленные испытания по переработке упорных углеродистых золотосодержащих руд комбинированными методами

Эргашев Улуғбек Абдурасулович

д-р техн. наук, проф.
заместитель начальника технологического отдела АО НГМК
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: info@ngmk.uz

Чулиев Фархад Гафурович

д-р филос. по техн. наукам (PhD), директор
Гидрометаллургического завода №5 АО НГМК
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: chuliev86@mail.ru

Кароматов Санъат Сафоевич

главный инженер Гидрометаллургического завода №5 АО НГМК
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: skaromatov21@gmail.com

Фармонов Илхомжон Эркинжон угли

заместитель начальник
а лаборатории Гидрометаллургического завода №5 АО НГМК
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: ilhom.farmonov4017@gmail.com

Semi-industrial tests on the processing of refractory carbonaceous gold-bearing ores using combined methods

Ergashev Ulugbek

doctor of Technical Sciences, Professor
Deputy Head of the Technology Department, NMMC JSC
Republic of Uzbekistan, Navoi

Chuliev Farkhad

doctor of Philosophy (PhD)
in Engineering Sciences Director of Hydrometallurgical Plant No. 5, NMMC JSC
Republic of Uzbekistan, Navoi

Karomatov Sanat

Chief Engineer, Hydrometallurgical Plant No. 5, NMMC JSC
Republic of Uzbekistan, Navoi

Farmonov Ilhomjon

Deputy Head of the Laboratory at Hydrometallurgical Plant No. 5, NMMC JSC
Republic of Uzbekistan, Navoi

Библиографическое описание: Полупромышленные испытания по переработке упорных углеродистых золотосодержащих руд комбинированными методами // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Эргашев У.А. [и др.]. 2026. 8(149). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23276>

Аннотация

Упорные углеродистые золотосодержащие руды характеризуются высоким содержанием активного органического углерода и мелкодисперсного золота, что приводит к выраженному эффекту «прег-роббинга» и низкой эффективности прямого сорбционного цианирования. Повышение коэффициента извлечения золота из такого сырья требует применения комплексных технологий, обеспечивающих высвобождение золотосодержащих минеральных фаз и снижение сорбционной активности углеродистого материала. Целью данного исследования было проведение полупромышленных испытаний комбинированной технологии переработки упорных углеродистых золотосодержащих руд и оценка её эффективности в повышении коэффициента извлечения золота. Полупромышленные испытания включали ультратонкое измельчение флотационного концентрата, кислотную обработку, кислородно-известковое окисление, предварительную обработку лигносульфонатом натрия, сорбционное цианирование, окислительное обжигание и горячую щелочную обработку. Установлено, что применение комбинированного процесса способствует более полному высвобождению сульфидной матрицы, снижению сорбционной активности углеродистых веществ и уменьшению проявления эффекта «прег-роббинга». Результаты испытаний показали, что при производительности обогатительной установки 40 кг/ч общий коэффициент извлечения золота достигает 88,06 %, что на 13,4 % превышает показатель, достигнутый при использовании технологической схемы без предварительной кислотной обработки. Эти результаты подтверждают эффективность предлагаемой технологии и потенциал её дальнейшего промышленного масштабирования при переработке упорных углеродистых золотосодержащих руд.

Abstract

Refractory carbonaceous gold-bearing ores are characterised by a high content of active organic carbon and finely dispersed gold, which results in a pronounced preg-robbing effect and low efficiency of direct sorption cyanidation. Increasing the gold recovery rate from such feedstock requires the use of integrated technologies that ensure the liberation of gold-bearing mineral phases and a reduction in the sorption activity of the carbonaceous material.

The aim of this study was to conduct semi-industrial trials of a combined processing technology for refractory carbonaceous gold-bearing ores and to evaluate its effectiveness in improving gold recovery. The semi-industrial trials included ultra-fine grinding of the flotation concentrate, acid treatment, oxygen-lime oxidation, pre-treatment with sodium lignosulphonate, sorption cyanidation, oxidative roasting and hot alkali treatment. It was established that the use of a combined process contributes to more complete liberation of the sulphide matrix, a reduction in the sorption activity of carbonaceous substances and a reduction in the occurrence of the preg-robbing effect. The test results showed a total gold recovery of up to 88.06 per cent at a plant throughput of 40 kg/h, which is 13.4 per cent higher than that achieved using a process flow without preliminary acid treatment. These results confirm the effectiveness of the proposed technology and the potential for its further industrial upscaling in the processing of refractory carbonaceous gold-bearing ores.

Ключевые слова: упорное золото, прег-роббинг, углеродистое вещество, сорбционная активность, кислотная обработка, кислородно-известковое окисление, лигносульфонат натрия, обжиг, горячая щелочная обработка, сорбционное цианирование.

Keywords: refractory gold, preg-robbing, carbonaceous matter, sorption activity, acid treatment, oxygen-lime oxidation, sodium lignosulfonate, roasting, hot alkaline treatment, sorption cyanidation.

Введение

В настоящее время основные направления деятельности горно-металлургической отрасли Узбекистана сосредоточены на повышении эффективности использования минеральных ресурсов, увеличения объёмов производимой высоколиквидной продукции и ускорения развития новых видов производства. В связи с истощением легкоцианируемых окисленных золотосодержащих руд в металлургической отрасли в последние годы всё больше привлекаются в переработку упорные руды, требующие сложных технологических схем извлечения золота [6].

Одним из таких объектов являются упорные золотосодержащие руды Ауминзо-Амантайского рудного поля, переработка которых сопровождается проблемами при достижении приемлемой степени извлечения золота [1]. Причиной явилось наличие углистых веществ (УВ) в упорных рудах. Углистые вещества, представляющие собой природные органические продукты – битумы, керогены и т.п., способны адсорбировать растворенное золото из технологических растворов в процессе цианирования [6].

Повышение эффективности переработки подобных руд требует применения комплексных технологий, способных как высвободить тонковкрапленное золото, так и снизить сорбционную активность углеродистой составляющей. Перспективным направлением является сочетание методов механической, химической и термической обработки с последующим сорбционным цианированием, что позволяет смягчить эффект «прег-роббинга» и значительно повысить общее извлечение золота.

Целью данного исследования является проведение полупромышленных испытаний комбинированной технологии переработки упорных углеродистых золотосодержащих руд, включающей сверхтонкое измельчение, кислотную обработку, кислородно-известковое окисление, предварительную обработку лигносульфонатом натрия, сорбционное цианирование, окислительный обжиг и горячую щелочную обработку, а также оценка эффективности предложенной технологической схемы в плане повышения извлечения золота и снижения негативного воздействия эффекта «прег-роббинга».

Материалы и методы

Содержание Сорг в продукте флотационного обогащения составляло 3,0 – 5,0 % которое сорбировало растворенное золото при цианировании флотоконцентрата (preg-robbing). Сорбционная активность флотоконцентрата упорных руд Ауминзо-Амантайского рудного поля определенная по методике ИРГИРЕДМЕТ составляла более 90,0 % [3, 8]. Лабораторными исследованиями был установлен положительный эффект применения лигносульфоната натрия (LS) по снижению эффекта preg-robbing [4, 5]

Для подтверждения лабораторных результатов на опытной установке были проведены полупромышленные испытания, включавшие процессы сверхтонкого измельчения флотоконцентрата, его кислотной обработки, кислородно-известкового окисления (КИО), предварительной обработки поверхностно-активными веществами (лигносульфонатом натрия) перед сорбционным цианированием, а также окислительный обжиг хвостов сорбционного цианирования обработанного флотоконцентрата и сорбционное цианирование огарка с последующей горячей щелочной обработкой (термообработка). Столь сложная комбинация технологических приёмов была вызвана следующими фактами [2, 9, 10]:

1. извлечение золота при прямом сорбционном цианировании флотоконцентрата составило 25 – 30 %, несмотря на то что содержание свободно цианируемого золота в нем согласно рациональному анализу на золото составляет 50–52 % (эффект preg-robbing);

2. окислительный обжиг повышает извлечение золота только до 75 %, причиной является капсуляция тонкодисперсного золота уже при температуре 550 – 600 °С, дальнейшее снижение температуры приводит к недогоранию углеродистых веществ, повышая их сорбционную активность. Таким образом, обжиг вскрывая золота одновременно капсулирует тонкодисперсное золото;

3. гидрометаллургические методы окисления (кислородно-известковое, бактериальное) не обеспечили извлечение золота выше 55 – 60 %.

Предлагаемый комбинированный метод имеет следующую теоретическую предпосылку:

4. флотоконцентрат с механоактивированной поверхностью частиц минералов после сверхтонкого измельчения подвергается кислотной обработке с переходом Fe^{2+} в раствор (в жидкую фазу пульпы);

5. Fe^{2+} при КИО переходит в Fe^{3+} , являясь окислителем сульфидов вскрывая тонкодисперсное поверхностное золото;

6. обработка поверхностно-активными веществами снижает эффект preg-robbing при сорбционном цианировании, обеспечивая извлечение вскрытого золота в сорбент;

7. обжиг и горячая щелочная обработка обеспечивает дальнейшее вскрытие и извлечение золота.

Результаты и обсуждения

На базе опытной установки были проведены полупромышленные испытания с целью повышения эффективности извлечения золота из флотоконцентрата месторождения «Ауминзо-Амантой» согласно следующей схеме (рис.1).

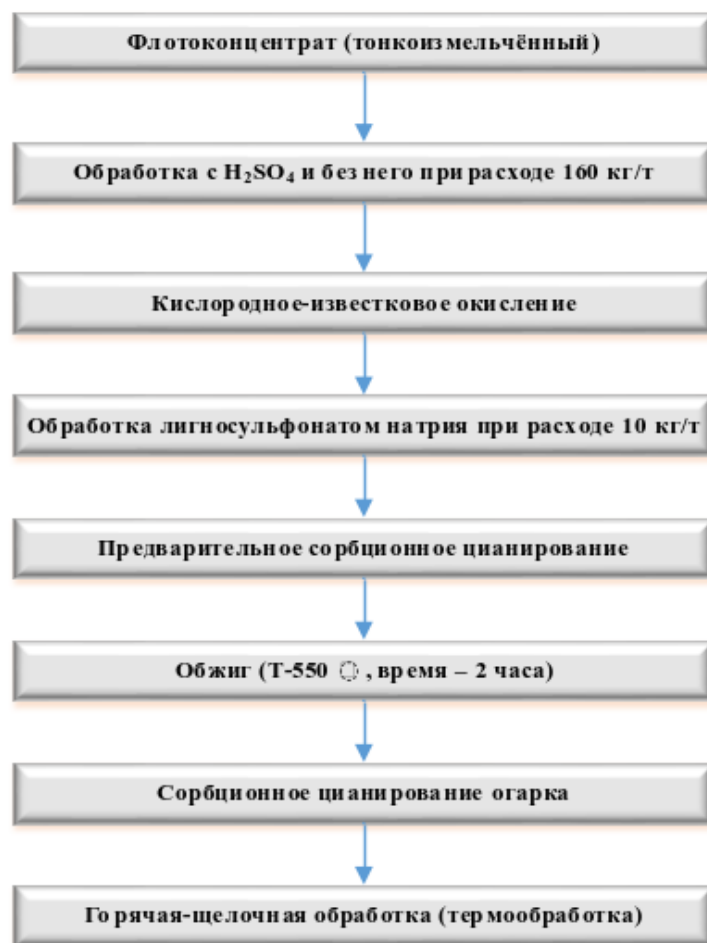


Рисунок 1. Схема полупромышленных испытаний по переработке упорных углеродистых руд комбинированным методом

С целью вскрытия поверхности золота, покрытого сульфидными минералами, снижения эффекта preg-robbing, возникающего в процессе цианирования, а также дальнейшей оптимизации процесса обжига и повышения эффективности извлечения золота была создана полупромышленная экспериментальная установка (рис. 2).

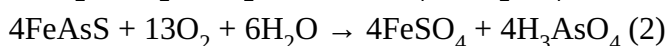
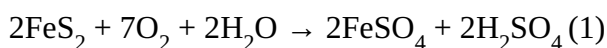
[EMF формула не сконвертирована: image2.emf]

№	Наименование продукта	Исходные данные			Результаты после кислотной обработки		Содержание химических элементов в жидкой фазе, мг/л					
		Au, г/т	Ss, %	C _{org} , %	Ss, %	C _{org} , %	Fe ⁺² , г/л	Fe ⁺³ , г/л	Pb	Ni	Zn	Cu
2	Флотоконцентрат с обработкой H ₂ SO ₄ , (расход 160 кг/т)				14,27	3,56	10,1	12,6	2,2	30	34	262

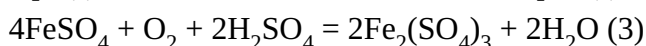
Результаты кислотной обработки показали существенные изменения в составе жидкой фазы, что свидетельствует о разрушении сульфидных минералов и переходе части компонентов в раствор.

После кислотной обработки для проведения кислородно-известкового окисления (КИО) в тот же ёмкость подавался технический кислород в течение 72 часов (расход ~2 м³/ч, чистота до 84 %) из кислородной станции VPSA 4000/90.001-PS. Одновременно осуществлялась подача пара для поддержания температуры в диапазоне 80–85 °С.

Окисление минералов пирита (FeS₂) и арсенопирита (FeAsS) происходит по следующим реакциям [3]:



При дальнейшем окислении железо переходит из двухвалентного в трехвалентное:



Кислотное-кислородное окисление флотоконцентрата в температурных режимах обеспечивает деструкцию сульфидных минералов, что приводит к раскрытию золота из сульфидной матрицы. Одновременно с этим происходит частичная деструкция и пассивация органических соединений, что существенно снижает их сорбционную активность в процессе последующего цианирования.

После завершения процесса окисления кислородом сульфатные соли, а также ионы двухвалентного и трёхвалентного железа (Fe²⁺ и Fe³⁺), перешедшие в раствор, отмываются при соотношении Т:Ж = 1:20. В отмытый сгущенный продукт добавляют известковое молоко для поддержания уровня pH пульпы в диапазоне 10,0–10,5, после чего процесс окисления продолжают путём подачи кислорода. Данные условия способствовали интенсивному окислению сульфидных минералов, высвобождению золота и других ценных компонентов.

После защелачивания окисленный флотоконцентрат подвергался обработке с применением лигносульфоната натрия в количестве 10 кг/т для пассивации углеродистых веществ, которые сорбировали растворённое золото при цианировании (эффект preg-robbing) [7]. В ёмкость объёмом 1 м³ проводилось предварительное сорбционное цианирование в течение 12 часов при концентрации NaCN 2000 мг/л с добавлением ионно-обменной смолы в количестве 6 % от объёма пульпы как более оптимальный сорбент при переработке концентратов содержащие углеродистые вещества [11].

Результаты предварительного сорбционного цианирования приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты КИО и предварительного сорбционного цианирования

№	Наименование продукта	Исходные данные			Результаты после КИО				Результаты предварительного сорбционного цианирования		
		Au, г/т	Ss, %	C _{org} , %	Au, г/т	Ss, %	C _{org} , %	Степень окисления, %	До Au, г/т	После Au, г/т	Изв-е, %
1	Флотоконцентрат без обработки	26,0	15,81	3,65	23,50	10,50	3,30	33,89	23,50	15,65	33,40
2	Флотоконцентрат с обработкой H ₂ SO ₄ (расход-160кг/т) и лигносульфонатом натрия (расход-10кг/т)	26,0	14,27	3,56	21,90	6,30	3,22	55,85	21,90	11,65	46,80

После завершения процесса предварительного сорбционного цианирования проводилась фильтрация хвостов в фильтр-прессе. Этот этап необходим для отделения жидкой фазы от твёрдой и подготовки продукта к последующим стадиям обработки. Фильтрация продолжается до достижения оптимальной влажности конечного продукта — 30–32 %.

Поддержание такого уровня влажности обеспечивает удобство транспортировки и хранения, а также подготовку материала к следующему технологическому этапу — сушке. Контроль влажности является важным параметром, поскольку избыток влаги может снизить эффективность последующей сушки и ухудшить качество конечного продукта. Влажность измеряется регулярно, а процесс фильтрации регулируется для поддержания заданных условий. Использование фильтр-пресса позволяет эффективно отделять жидкую фазу и минимизировать потери драгоценных металлов, остающихся в твёрдой фазе, что способствует повышению общей производительности технологической линии.

Отфильтрованный и подготовленный продукт загружается в приёмный бункер сушильной печи партиями с периодичностью примерно каждые 20 минут. Далее материал подается внутрь печи с помощью шнекового питателя. Сушка продукта осуществлялась в барабанной сушильной печи ВГТП–2,6 с основными параметрами: диаметр барабана — 500 мм, длина — 2,6 м, скорость вращения — 0,67 об/мин. Природный газ подается в печь с противоположной стороны загрузки продукта с расходом около 3 м³/ч, при этом для обеспечения полного и эффективного горения одновременно подавался воздух. В результате внутри сушильной печи поддерживалась температура в диапазоне 150–180 °С.

Для точного регулирования подачи газа в технологическую систему использовался автоматический регулятор давления газа модели Madas FRG/2MCDN15 FC02020-Анкас. Этот регулятор обеспечивает стабильное давление газа, что критично для поддержания эффективного и безопасного процесса сушки. После завершения сушки влажность кека снижалась до оптимального уровня, составляющего примерно 7–10 %, что обеспечивает удобство дальнейшей обработки и стабильность качества конечного продукта.

Высушенный кек направлялся во вращающуюся трубчатую печь обжига ВГТП-8,5, изготовленную на Навоийском машиностроительном заводе (НМЗ) в составе НГМК. Печь имеет диаметр 500 мм и длину 8,5 м. Скорость вращения составляет 0,67 об/мин, что обеспечивает равномерное перемещение материала вдоль печи. Уклон печи составляет 2–3°, что способствует естественному перемещению сырья по рабочему пространству. Такая конструкция позволяет эффективно нагревать кек и обеспечивать качественный обжиг в непрерывном режиме.

В загрузочной зоне печи (сухой конец) материал медленно перемещается навстречу потокам горячих газов, образующихся в результате сгорания серы и углерода, содержащихся в сырье, а также за счёт подачи природного газа (расход 11–14 м³/час) и воздуха (300 – 350 м³/час) с горячего конца печи. Такая организация газового потока обеспечивает эффективный теплообмен и равномерный прогрев материала.

Температурный режим печи по трём контрольным точкам составлял:

1. Точка 1 (горячая зона): 550–600 °С;
2. Точка 2 (средняя часть печи): 480–500 °С;
3. Точка 3 (загрузочная зона): 430–450 °С.

Для автоматического регулирования подачи природного газа использовался регулятор давления Madas FRG/2MCDN15 FC02020-Анкас, обеспечивающий стабильность давления и безопасность процесса обжига.

В ёмкости объёмом 1 м³ проводилось сорбционное цианирование огарка в течение 12 часов при концентрации NaCN 2000 мг/л с добавлением активированного угля в количестве 6 % от объёма пульпы. После сорбционного цианирования пульпа обрабатывалась щелочью (NaOH) при концентрации 5 г/л: при нагреве до 80–85 °С в течение 6 часов и без нагрева — в течение 12 часов.

Результаты сорбционного цианирования огарка приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты обжига и сорбционного цианирования огарка

№	Наименование продукта	Результаты после обжига				Результаты сорбционного цианирования огарка			Результаты горячей щелочной обработки хвостов сорбционного цианирования огарка			Суммарное извлечение из флотоконцентрата, %
		Аи, г/т	SS, %	C _{org} , %	Степень окиснения, %	До Аи, г/т	После Аи, г/т	Изв-е %	До Аи, г/т	После Аи, г/т	Изв-е %	
1.	Хвосты предварительной сорбции без кислотной обработки (нагрузка 40 кг/ч)	17,30	0,05	0,11	99,52	17,30	7,40	57,23	7,40	5,20	29,73	79,98

№	Наименование продукта	Результаты после обжига				Результаты сорбционного цианирования огарка			Результаты горячей щелочной обработки хвостов сорбционного цианирования огарка			Суммарное извлечение из флотоконцентрата, %
		Au, г/т	Ss, %	C _{org} , %	Степень окиснения, %	До Au, г/т	После Au, г/т	Изв-е %	До Au, г/т	После Au, г/т	Изв-е %	
	Хвосты предварительной сорбции после кислотной обработки (нагрузка 40 кг/ч)	15,15	0,03	0,15	99,52	15,15	5,80	61,72	5,80	3,40	41,38	88,06
2.	Хвосты предварительной сорбции без кислотной обработки (нагрузка 50 кг/ч)	17,05	0,18	0,23	98,29	17,05	7,50	56,01	7,50	5,30	29,33	79,29
	Хвосты предварительной сорбции после кислотной обработки (нагрузка 50 кг/ч)	15,10	0,07	0,17	98,89	15,10	5,10	66,23	5,10	4,00	21,57	85,91
3.	Хвосты предварительной сорбции без кислотной обработки (нагрузка 60 кг/ч)	16,90	0,28	0,35	97,33	16,90	8,35	50,59	8,35	6,15	26,35	75,76
	Хвосты предварительной сорбции после кислотной обработки (нагрузка 60 кг/ч)	13,70	0,14	0,18	97,78	13,70	7,00	48,91	7,00	4,10	41,43	84,08
4.	Хвосты предварительной сорбции без кислотной обработки (нагрузка 70 кг/ч)	16,85	0,35	0,52	96,67	16,85	8,00	52,52	8,00	6,15	23,13	75,69
	Хвосты предварительной сорбции после кислотной обработки (нагрузка 70 кг/ч)	14,15	0,21	0,21	96,67	14,15	6,50	54,06	6,50	4,90	24,62	81,58

№	Наименование продукта	Результаты после обжига				Результаты сорбционного цианирования огарка			Результаты горячей щелочной обработки хвостов сорбционного цианирования огарка			Суммарное извлечение из флотоконцентрата, %
		Au, г/т	Ss, %	C _{org} , %	Степень окиснения, %	До Au, г/т	После Au, г/т	Изв-е %	До Au, г/т	После Au, г/т	Изв-е %	
5.	Хвосты предварительной сорбции без кислотной обработки (нагрузка 80 кг/ч)	16,80	1,47	2,45	86,00	16,80	10,80	35,71	10,80	8,10	25,00	67,89
	Хвосты предварительной сорбции после кислотной обработки (нагрузка 80 кг/ч)	14,25	0,47	0,87	92,54	14,25	7,00	50,88	7,00	6,00	14,29	77,60
6.	Хвосты предварительной сорбции без кислотной обработки (нагрузка 90 кг/ч)	16,20	2,53	2,55	75,90	16,20	12,40	24,69	12,40	10,55	14,92	56,63
	Хвосты предварительной сорбции после кислотной обработки (нагрузка 90 кг/ч)	14,00	0,71	1,29	88,73	14,00	10,10	27,86	10,10	8,30	17,83	68,46
7.	Хвосты предварительной сорбции без кислотной обработки (нагрузка 100 кг/ч)	15,90	2,47	2,72	76,48	15,90	12,60	20,75	12,60	11,00	12,70	54,33
	Хвосты предварительной сорбции после кислотной обработки (нагрузка 100 кг/ч)	13,70	1,25	1,40	80,16	13,70	10,20	25,55	10,20	8,20	19,61	68,16

Проведённые полупромышленные испытания подтвердили осуществимость и эффективность предложенной технологии комбинированной переработки упорных углеродистых золотосодержащих руд. Технология основана на последовательном применении ультратонкого измельчения, кислотной обработки, кислородно-известкового окисления, предварительной обработки лигносульфонатом натрия, сорбционного цианирования, окислительного обжига и горячей щелочной обработки. Комплексное применение этих этапов переработки обеспечивает более полное высвобождение

золотосодержащих минеральных фаз, снижает сорбционную активность природных углеродистых веществ и смягчает эффект «прег-роббинга», тем самым повышая эффективность последующего сорбционного цианирования.

Результаты показали, что кислотная обработка в сочетании с кислородно-известковым окислением создает благоприятные условия для разложения сульфидной матрицы, облегчая дальнейшее окисление сульфидных минералов. Кроме того, лигносульфонат натрия эффективно пассивирует углеродистые вещества, тем самым снижая потери золота, вызванные адсорбцией растворенных комплексов золота на природном углероде.

В ходе испытаний в пилотном масштабе был достигнут общий коэффициент извлечения золота 88,06 % при производительности установки 40 кг/ч, что представляет собой улучшение на 13,4 % по сравнению с технологическим процессом без предварительной кислотной обработки. По мере увеличения производительности переработки наблюдалось постепенное снижение коэффициента извлечения золота, что указывает на необходимость дальнейшей оптимизации времени пребывания материала в основных технологических агрегатах и уточнения технологических параметров отдельных этапов процесса.

Заключение

Полупромышленные испытания подтвердили технологическую эффективность предложенной комбинированной технологической схемы переработки упорных углеродистых золотосодержащих руд, включающей последовательное сверхтонкое измельчение, кислотную обработку, кислородно-известковое окисление, предварительную обработку лигносульфонатом натрия, сорбционное цианирование, окислительный обжиг и горячую щелочную обработку. Комплексное применение этих этапов переработки способствует высвобождению золота, заключенного в сульфидную матрицу, снижает сорбционную активность углеродистых веществ и смягчает эффект «прег-роббинга», тем самым повышая эффективность последующего извлечения золота.

Результаты показали, что предварительная кислотная обработка в сочетании с кислородно-известковым окислением значительно усиливает разложение сульфидных минералов и создает благоприятные условия для последующего цианирования. Кроме того, лигносульфонат натрия эффективно пассивирует природные углеродистые вещества, тем самым снижая потери золота, связанные с повторной адсорбцией растворенных комплексов золота. Наивысший общий коэффициент извлечения золота, равный 88,06 %, был достигнут при производительности пилотной установки 40 кг/ч, что представляет собой улучшение на 13,4 % по сравнению с традиционным процессом без предварительной кислотной обработки. По мере увеличения производительности переработки наблюдалось постепенное снижение коэффициента извлечения золота, что указывает на необходимость дальнейшей оптимизации времени пребывания материала и технологических параметров на отдельных этапах переработки.

Полученные результаты подтверждают воспроизводимость лабораторных данных в полупромышленных условиях и демонстрируют потенциал предлагаемой комбинированной технологии переработки для промышленного применения в отношении упорных углеродистых золотосодержащих руд. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию технологических параметров отдельных этапов процесса,

увеличение производительности установки без снижения коэффициента извлечения золота, а также на проведение комплексной технико-экономической оценки для обоснования внедрения предлагаемой технологии в промышленных масштабах.

Список литературы

1. Абдурахмонов С.А. Исследование упорности золотосодержащих руд месторождения Амантайтау // Горный вестник Узбекистана. – 2021. – № 2.
2. Богородский А.В., Генералов В.А. Окислительные методы подготовки упорных золото-сульфидных концентратов к цианированию // Записки Горного института. – 2022. – Т. 255.
3. С.С. Кароматов, Ф.Г. Чулиев, Р.А. Хамидов. Влияние лигносульфоната натрия на прег-роббинг при сорбционном цианировании // Universum: технические науки. – 2024. – № 7.
4. J. Liu, X. Lv, Y. Zhang [et al.]. Passivation and blinding mechanism of sodium lignosulfonate on preg-robbing carbonaceous matter in gold cyanidation leaching // Hydrometallurgy. – 2022. – Т. 211.
5. M.O. Amankwah, W.T. Yen, J.A. Ramsay [et al.]. The application of organic depressants to mitigate preg-robbing in double refractory gold ore processing // Minerals Engineering. – 2021. – Т. 163. – P. 1–12.
6. Miller J.D., Wan R., Diaz X. Preg-robbing gold ores // Developments in Mineral Processing. – 2005. – Т. 15.
7. Papangelakis V.G., Demopoulos G.P. Acid pressure oxidation of pyrite: reaction kinetics // Hydrometallurgy. – 1991. – Т. 26.
8. Rees K.L. van Deventer J.S.J. Preg-robbing phenomena in the cyanidation of sulphide gold ores // Hydrometallurgy. – 2000. – Т. 58.
9. X. Chen, Y. Li, H. Zhang [et al.]. Enhanced oxidation mechanism of refractory gold-bearing pyrite catalyzed by iron ions in aqueous media // Minerals Engineering. – 2023. – Т. 199. – P. 108382–108390.
10. Z.Y. Wang, Q.M. Feng, Y.P. Lu [et al.]. Roasting kinetics and phase transformations during pre-treatment of double refractory gold concentrates // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Т. 24.
11. Zhou Q. Surfactant blinding agents for refractory carbonaceous gold ores in cyanide leaching // Materials Science, Chemistry. – 2015.

References

1. [Study of refractoriness of gold-bearing ores of the Amantaytau deposit]. Gornyj vestnik Uzbekistana, 2021, no. 2 (85), P. 45–48. (In Russ.)
2. Bogorodskii A.V., Generalov V.A. [Oxidative preparation methods of refractory gold-sulfide concentrates for cyanidation]. Zapiski Gornogo instituta, 2022, vol. 255, P. 415–426. DOI: 10.31897/PMI.2022.61. (In Russ.)

3. Karomatov S.S., Chuliyev F.G., Khamidov R.A. [Effect of sodium lignosulfonate on preg-robbing during sorption cyanidation]. *UNIVERSUM: Tekhnicheskie nauki*, 2024, no. 7 (124), P. 6–11. (In Russ.)
4. Liu J., Lv X., Zhang Y. [et al.] Passivation and blinding mechanism of sodium lignosulfonate on preg-robbing carbonaceous matter in gold cyanidation leaching. *Hydrometallurgy*, 2022, vol. 211, art. 105881.
5. Amankwah M.O., Yen W.T., Ramsay J.A. [et al.] The application of organic depressants to mitigate preg-robbing in double refractory gold ore processing. *Minerals Engineering*, 2021, vol. 163, art. 106798.
6. Miller J.D., Wan R., Diaz X. Preg-robbing gold ores. *Developments in Mineral Processing*, 2005, vol. 15, P. 937–972.
7. Papangelakis V.G., Demopoulos G.P. Acid pressure oxidation of pyrite: reaction kinetics. *Hydrometallurgy*, 1991, vol. 26, P. 309–325.
8. Rees K.L., van Deventer J.S.J. Preg-robbing phenomena in the cyanidation of sulphide gold ores. *Hydrometallurgy*, 2000, vol. 58, P. 61–80.
9. Chen X., Li Y., Zhang H. [et al.] Enhanced oxidation mechanism of refractory gold-bearing pyrite catalyzed by iron ions in aqueous media. *Minerals Engineering*, 2023, vol. 199, art. 108120.
10. Wang Z.Y., Feng Q.M., Lu Y.P. [et al.] Roasting kinetics and phase transformations during pre-treatment of double refractory gold concentrates // *Journal of Materials Research and Technology*,. – 2023.
11. [et al.] Surfactant blinding agents for refractory carbonaceous gold ores in cyanide leaching. *Materials Science, Chemistry*, 2015, P. 9.