

УДК 669-1
ГРНТИ 31.17.15
DOI 10.56525/HRGA5348

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД В ПРОЦЕССЕ ЧАНОВОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАМЕНИТЕЛЕЙ ЦИАНИДА НАТРИЯ

***Рамазанов Әліби Есболұлы¹, Мукажанова Жазира Бигалиевна¹, Жарликов
Михаил Сергеевич², Зинченко Алексей Михайлович²**

¹НАО «Восточно-Казахстанский университет имени С.Аманжолова»,
Усть-Каменогорск, Казахстан

e-mail: ramazanov2002ally@gmail.com; e-mail: nykmukanova@mail.ru;

²ТОО «Eurasian Minerals Trade», Усть-Каменогорск, Казахстан
e-mail: garliokovmihail@mail.ru; e-mail: a-zinchenko84@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению процесса извлечения золота из руды методом чанового выщелачивания с использованием заменителей цианида.

В Казахстане золото добывают преимущественно методами кучного и чанового выщелачивания с применением цианида натрия. Данный метод продемонстрировал свою эффективность благодаря меньшим капиталовложениям и операционным издержкам по сравнению с традиционными фабричными процессами. Однако, с ухудшением экологической ситуации, альтернативные методы выщелачивания, включая тиомочевину и тиосульфат, становятся все более актуальными.

В статье детально рассматриваются основные этапы технологии чанового выщелачивания, включая подготовку руды, укладку и орошение, отвод растворов и извлечение золота, а также проблемы, связанные с применением традиционных цианидных методов. Обсуждаются причины, по которым определенные первичные руды не поддаются выщелачиванию этим методом, и предложены решения, такие как предварительное окомкование или агломерация.

Кроме того, в исследовании приводится информация о проведенных бутылочных тестах для определения наиболее эффективных заменителей цианида, подчеркивающих важность экологически безопасных и экономически выгодных решений в горнодобывающей отрасли. В заключение, статья делает акцент на необходимость дальнейших исследований и внедрения альтернативных методов выщелачивания золота, что может значительно улучшить как экономические характеристики процессов, так и экосистему в целом.

Ключевые слова: золото; бутылочный тест; цианид; тиомочевина; альтернативный метод.

Введение: Золото – мало распространенный элемент и его содержание в руде обычно невелико. В земной коре распространенность золота $5 \cdot 10^{-7} \%$. Золото используют в государственных резервах, в космических, оборонных, электронных отраслях промышленности, в ювелирной технике и медицине. Золото с серебром являются среднеплавкими металлами. Еще одной проблемой его извлечения из руды является его устойчивая способность к химическим воздействиям. Так как золото относится к благородным металлам, оно не взаимодействует с кислородом в любых температурных условиях и в природе находится в самородном виде.

Производство золота в Казахстане. Золото в Казахстане извлекают из руды гравитационным методом, амальгамированием, и преимущественно выщелачиванием цианидом натрия. Богатый практический опыт множества иностранных предприятий

подтверждает их впечатляющую технико-экономическую эффективность при применении кучного и чанового выщелачивания для окисленных руд. В сравнении с технологиями с фабричными характеристиками, процесс выщелачивания отличается незначительными капиталовложениями и эксплуатационными издержками, более низким энергопотреблением и потреблением воды, а также окажет влияние на повышение производительности при низких концентрациях золота до 2-х г/т. Методы кучного и чанового выщелачивания обладает возможностью избежать необходимости измельчения сырья до освобождения, что является дорогостоящим процессом. В современных реалиях метод кучного выщелачивания применяется практически в половине стран-лидеров, занимающихся добычей золота, и это говорит о его быстром внедрении.

Применение методов кучного и чанового выщелачивания позволяет не только эффективно добывать крупные месторождения бедных руд, но и извлекать золото из вскрышных пород, техногенного золотосодержащего сырья (таких как хвосты обогащения руд цветных и драгоценных металлов) и небольших по запасам месторождений, находящихся в малоосвоенных районах. Благодаря своей избирательности, простоте и экономичности, этот метод является наиболее предпочтительным для извлечения золота.

С целью извлечения ценных металлов, таких как золото и серебро, из легкообогащаемых руд, применяется метод выщелачивания. Эти руды содержат золото и серебро в цианируемой форме, как свободные металлы или в сростках в своей основной массе. Особенно подходят для цианирования окисленные руды с включениями, руды сульфидного типа, руды из коренных месторождений, россыпи, смешанные руды забалансовых рудных отвалов, техногенное сырье (хвосты от золотоизвлекательных и обогатительных фабрик) и текущие хвосты от переработки золотосодержащих руд.

Однако первичные руды с тонкими включениями золота или серебра в сульфидах, присутствие углеродистого вещества, которое образует сорбционноактивные соединения с цианидами, не могут быть переработаны методами кучного и чанового выщелачивания. Кроме того, наличие глинистых компонентов в руде также ограничивает применение этой технологии, поскольку они уменьшают проницаемость растворов, что затрудняет процесс выщелачивания и снижает эффективность извлечения золота. Однако, чтобы преодолеть эти препятствия, часто используют предварительное окомкование или агломерацию руды.

Чановое выщелачивание золота из руды — это процесс, используемый для извлечения золота из различного рода руд с помощью цианидного раствора. Этот метод позволяет эффективно извлечь золото из крупных объемов руды. Процесс включает несколько ключевых этапов:

1. Подготовка руды. Дробление и измельчение: Руда измельчается до необходимого размера, чтобы увеличить поверхность контакта с реагентами. Это может включать этапы первичного дробления и последующего измельчения.

2. Создание пульпы. Смешивание с водой: Измельчённая руда смешивается с водой для формирования пульпы. Это необходимый этап перед добавлением реагентов.

3. Добавление цианидного раствора. Введение NaCN: В пульпу добавляется раствор цианида натрия (NaCN), который служит для извлечения золота. Цианид связывается с золотом, образуя растворимые комплексы.

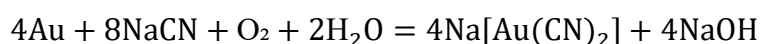
4. Выщелачивание. Продукт танкового выщелачивания: Полученная пульпа помещается в специальные чановые установки, где происходит выщелачивание. Этот этап может длиться от нескольких часов до нескольких дней, в зависимости от природы руды и условий процесса.

5. Отделение золота. Осаждение: после завершения выщелачивания пульпа содержит растворимые формы золота. Этот раствор затем обрабатывается для извлечения золота, например, методом осаждения с использованием цинка (процесс Цинкового осаждения) или другими методами.

6. Обработка осадка. Рафинирование: Полученный осадок, содержащий золото, подлежит дальнейшему рафинированию. Это может включать процесс плавления или другие методы очистки для получения чистого золота.

7. Утилизация отработанных растворов. Утилизация и очистка: после извлечения золота отработанные растворы цианида необходимо правильно утилизировать или обработать для удаления токсичных компонентов, чтобы минимизировать экологические риски.

Эти этапы позволяют эффективно извлекать золото из рудных материалов, обеспечивая высокую степень экономической доступности этого драгоценного металла. Процесс цианирования основан на формировании устойчивых комплексов между цианидными ионами и золотом, а также серебром. Растворение золота и серебра происходит благодаря воздействию слабощелочных цианидных растворов. Основной метод перевода золота в растворный вид при помощи цианида осуществляется в соответствии со следующим уравнением.



Скорость растворения золота цианидом натрия (NaCN) зависит от его концентрации и щелочности раствора, причем оптимальным pH значением является 10,5-11,0.

Использование раствора цианида натрия в качестве растворителя золота имеет некоторые недостатки, включая токсичность из-за использования цианидов и необходимость обезвреживания образующихся стоков. Несмотря на это, множество золотоизвлекательных предприятий всё же предпочитают использовать данный метод.

Поскольку появились серьезные экологические проблемы, использование цианида для выщелачивания золота в настоящее время запрещено во многих регионах.

В последние годы все больше внимания уделяется альтернативным методам выщелачивания золота. Выделяются такие вещества, как хлориды, тиомочевина и тиосульфат, которые показали наибольший потенциал в этой области.

В ходе создания заменителей цианида для извлечения золота, главной сложностью является обеспечение соответствия металлургическим процессам и характеристикам руды. Альтернативные вещества для выщелачивания должны быть селективными, не токсичными, совместимыми с последующими процессами восстановления, экономически выгодными и годными для повторной обработки.

С целью определения наиболее эффективного заменителя для выщелачивания золота были проведены бутылочные тесты.

Результаты исследования. Были отобраны представительные пробы руд месторождения «А». Исходное содержание в пробах составило 0,77 г/т. Ситовой анализ по классу -0,071 мм составил 78-79%. Пробы были предварительно высушены и разделены на 13 равных по весу проб (0,5кг). Затем, в течении 24 часов, пробы подвергались цианированию на лабораторном «Роль-Ганге» с заданным расходом цианида натрия: 0,8 кг/т.; с расходами заменителей цианида «Astodep 500 и Astodep 500 ST» - 0,64; 0,80; 1,12 кг/т.

Ж:Т=2:1

Таблица 1 - Информация о составе заменителей цианида «Astodep 500» и «Astodep 500 ST»

Компонент	Формула	%	CAS номер	EINECS номер
1,3,5-triazine-2,4,6 (1H,3H,5H)-трион	$\text{C}_3\text{N}_3\text{Na}_3\text{O}_3$	73	3047-33-4	221-255-6
Тиомочевина	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$	21	62-56-6	200-543-5
Карбид железа	CFe_3		12011-67-5	234-566-7

Реагенты ASTODEP 500 и ASTODEP 500 ST представляет собой экологичную альтернативу токсичному цианиду натрия для выщелачивания золота. В его состав входят

такие компоненты, как карбонизированный триполицианат натрия, щелочная тиомочевина, щелочное полимерное железо и карбонат. Эти вещества действуют совместно в процессе выщелачивания, благодаря чему цианидные группы образуют комплексные соединения с золотом, что позволяет эффективно извлекать его из руды.

Основное различие между ASTODEP 500 и ASTODEP 500ST заключается в их составе и эффективности. ASTODEP 500ST содержит дополнительные компоненты или модификации, которые могут улучшать его производительность в определенных условиях выщелачивания.

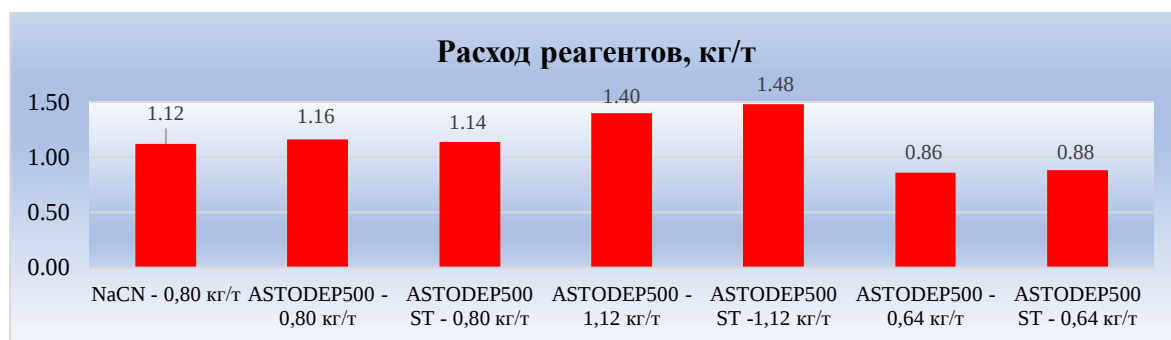
Таблица 2 - Данные по извлечению золота в раствор пробы месторождения «А» с применением заменителей цианида «Astodep 500 и Astodep 500 ST», C_1 - исходное содержание Au; C_2 - конечное содержание Au; ω - извлечение; А – подкрепление бутылок реагентами

№	Название реактива	2 часа			А, гр	24 часа			C_1 , г/т	C_2 , г/т	ω , %
		ц, мг/л	N, г/л	pH		Au, мг/л	CN, г/л	pH			
1	NaCN - 0,80 кг/т	0,25	0,10	9,80	0,30	0,34	0,24	10,44	0,77	0,08	89,61
2	ASTODEP500 - 0,80 кг/т	0,22	0,08	9,78	0,30	0,37	0,12	10,50	0,77	0,05	93,51
3	ASTODEP500 ST - 0,80 кг/т	0,21	0,08	9,83	0,30	0,37	0,13	10,52	0,77	0,04	94,81
4	ASTODEP500 - 1,12 кг/т	0,24	0,10	9,96	0,40	0,35	0,30	10,60	0,77	0,07	90,91
5	ASTODEP500 ST - 1,12 кг/т	0,18	0,10	10,04	0,40	0,35	0,26	0,49	0,77	0,06	92,21
6	ASTODEP500 - 0,64 кг/т	0,21	0,06	9,65	0,25	0,36	0,12	10,40	0,77	0,06	92,21
7	ASTODEP500 ST - 0,64 кг/т	0,21	0,06	9,74	0,25	0,36	0,11	10,47	0,77	0,07	91,56

Через два часа выщелачивания все растворы подкрепляли реагентами.

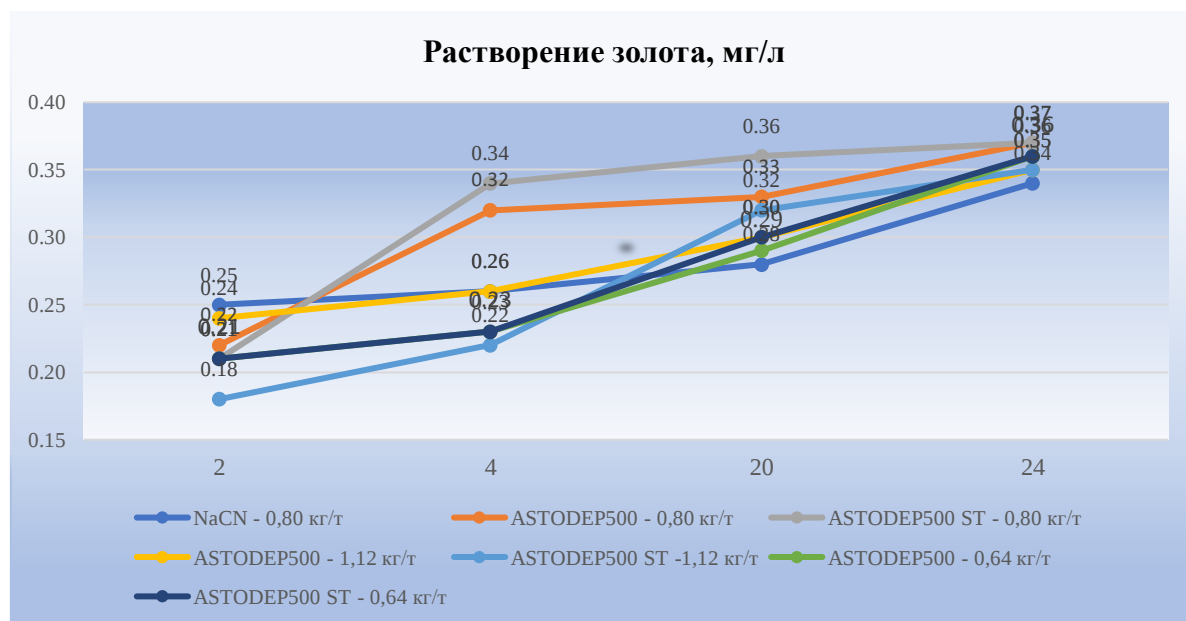
Расход реагентов представлены в графике 1.

Рисунок 1 - Расход реагентов



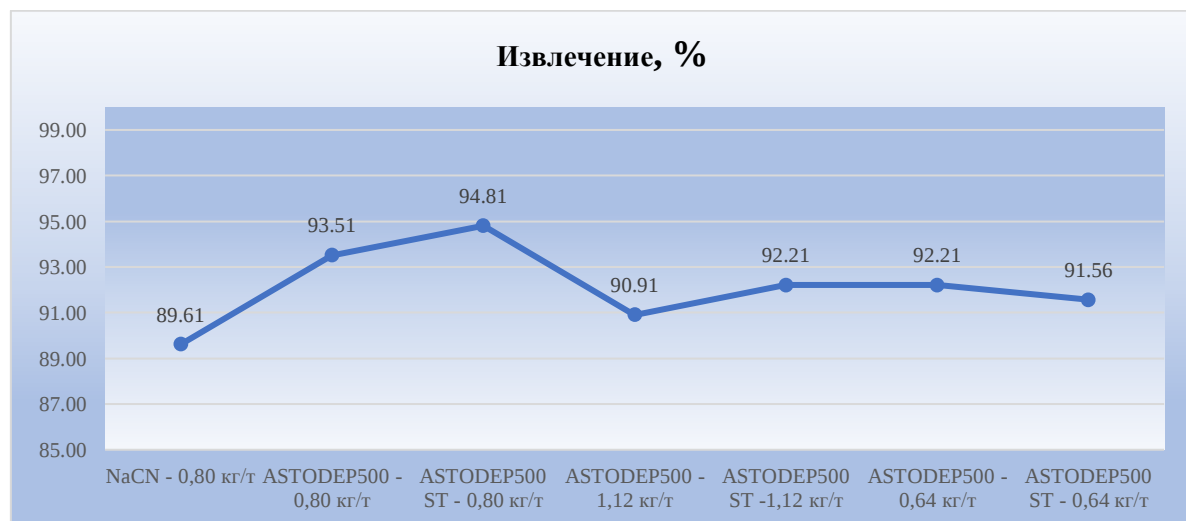
Как видно из графика 2, наилучшие результаты по растворению золота (0,37) были достигнуты с использованием реагентов ASTODEP500 и ASTODEP500 ST в концентрации 0,8 кг/т. Ни одно из других сочетаний реагентов не продемонстрировало более высокой эффективности в растворении золота по сравнению с этими двумя.

Рисунок 2 - Растворение золота



Как видно из графика 3, максимальное извлечение золота – 94,81% достигнуто реагентом –Astodep 500 ST - 0,8кг/т; минимальное извлечение золота 89,61% достигнуто реагентом NaCN - 0,8 кг/т.

Рисунок 3 -Извлечение золота, %



Заключение. В ходе проведенных экспериментов по выщелачиванию золота из проб руд месторождения «А» было установлено, что использование различных реагентов, включая как традиционный цианид натрия, так и его заменители, позволяет достичь значительных результатов по извлечению драгметалла.

Самый высокий показатель по извлечению золота составил 94,81%, при использовании заменителя —Astodep 500 ST при расходах 0,8 кг/т. Это свидетельствует о высокой эффективности этих реагентов при аналогичных условиях цианирования.

Анализируем результаты по извлечению золота для разных реагентов и уровней их расхода. Рассмотрим показатели эффективности каждого реагента при конкретных значениях расхода:

NaCN (0,80 кг/т) — извлечение 89,61%. Это наименьший процент извлечения среди всех вариантов при одинаковом расходе, что указывает на его меньшую эффективность по сравнению с ASTODEP500 и ASTODEP500 ST.

ASTODEP500:

1. При расходе 0,80 кг/т — извлечение 93,51%, что значительно выше, чем у NaCN при том же расходе.

2. При расходе 1,12 кг/т — извлечение 90,91%, что выше, чем у NaCN, но меньше, чем при расходе 0,80 кг/т.

3. При расходе 0,64 кг/т — извлечение 92,21%, что также выше, чем у NaCN при аналогичном расходе.

ASTODEP500 ST:

1. При расходе 0,80 кг/т — извлечение 94,81%, это наивысший процент среди всех вариантов при минимальном расходе, что делает этот реагент наиболее эффективным.

2. При расходе 1,12 кг/т — извлечение 92,21%, что немного выше, чем у ASTODEP500 при аналогичном расходе.

3. При расходе 0,64 кг/т — извлечение 91,56%, что также выше, чем у NaCN, но немного ниже, чем у ASTODEP500 при таком же расходе.

В заключение, результаты проведенных исследований подтверждают целесообразность использования заменителей цианида как эффективной альтернативы традиционным реагентам, что не только способствует улучшению показателей извлечения золота, но и содействует охране окружающей среды, что делает использование данных реагентов актуальным и выгодным в долгосрочной перспективе.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muir D.M. A review of the selective leaching of gold from oxidised copper-gold ores with ammonia-cyanide and new insights for plant control and operation. *Miner. Eng.* 2011, 24, 576–582.

2. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А., Бобохонов Б.А. Изучение кинетики процесса цианирования золотосодержащих руд Таджикистана. *Известия НАНТ, Отд. физ.-мат., геол. и техн. наук.* 2012, № 1, 85–91

3. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А., Бобомуродов О.М. Разработка технологии тиомочевинного выщелачивания золота и серебра из концентратов месторождения Чоре. *Цветные металлы*, 2014, № 2, 62–66

4. Панченко А.Ф., Бывальцев В.Я., Лодейщиков В.В. Тиокарбамидное выщелачивание золота из сурьмяных концентратов, *Цветная металлургия*, 1987, № 4, 27–29

5. Deng T.L., Liao M.X., Wang M.H., Chen Y.M., Belzile N. Enhancement of gold extraction from biooxidation residues using an acidic sodium sulphite-thiourea system. *Minerals Engineering* 2001, № 14 (2), 263–268.

6. Swaminathan C., Pyke P., Johnston R.F. Reagent Trends in the Gold Extraction Industry. *Minerals Engineering*, 1993, № 6 (1), 1–16.

7. Масленицкий Н.М., Чугаев Л.В., Борбат В.Ф., Никитин М.В., Стрижко Л.С. *Металлургия благородных металлов*, Металлургия, 1987, 432

8. Langhans J.W., Blake B.D. Gold extraction from low grade carbonaceous ore using thiosulphate, *Practical aspects of international management and processing*, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Colorado, 1996, 85–96

9. Ramadorai G. Use of chlorine in the processing of gold ores, *Precious Metals* 1993, International Precious Metals Institute, Pennsylvania, 1993, 265–279

10. Tan T., Davis A., Song J. Extraction of gold in halide media, Extractive Metallurgy of Gold and Base Metals, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Victoria, 1992, 323–327.

REFERENCES

1. Muir D.M. A review of the selective leaching of gold from oxidised copper-gold ores with ammonia-cyanide and new insights for plant control and operation. *Miner. Eng.* 2011, 24, 576–582.
2. Samikhov Sh.R., Zinchenko Z.A., Bobokhonov B.A. Study of the kinetics of the cyanidation process of gold-bearing ores in Tajikistan. *Proceeding NANT, Department of Physics and Mathematics, chem., geol. and tech. sciences*, 2012, № 1, 85–91
3. Samikhov Sh.R., Zinchenko Z.A., Bobomurodov O.M. Development of technology for thiourea leaching of gold and silver from concentrates of the Chore deposit. *Nonferrous metals*, 2014, № 2, 62–66
4. Panchenko A.F., Byvaltsev V.Y., Lodeyshchikov V.V. Thiocarbamide leaching of gold from antimony concentrates, *Nonferrous metallurgy*, 1987, No. 4, 27–29
5. Deng T.L., Liao M.X., Wang M.H., Chen Y.M., Belzile N. Enhancement of gold extraction from biooxidation residues using an acidic sodium sulphite-thiourea system. *Minerals Engineering* 2001, № 14 (2), 263–268.
6. Swaminathan C., Pyke P., Johnston R.F. Reagent Trends in the Gold Extraction Industry. *Minerals Engineering*, 1993, № 6 (1), 1–16.
7. Maslennitsky N.M., Chugaev L.V., Borbat V.F., Nikitin M.V., Strizhko L.S. *Metallurgy of noble metals*, Metallurgy, 1987, 432
8. Langhans J.W., Blake B.D. Gold extraction from low grade carbonaceous ore using thiosulphate, *Practical aspects of international management and processing*, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Colorado, 1996, 85–96
9. Ramadorai G. Use of chlorine in the processing of gold ores, *Precious Metals 1993*, International Precious Metals Institute, Pennsylvania, 1993, 265–279
10. Tan T., Davis A., Song J. Extraction of gold in halide media, *Extractive Metallurgy of Gold and Base Metals*, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Victoria, 1992, 323–327.

EXTRACTION OF GOLD FROM GOLD-BEARING ORES IN THE PROCESS OF VAT LEACHING USING SODIUM CYANIDE SUBSTITUTES

***Ramazanov Alibi, Mukazhanova Zhazira, Zharlikov Michail, Zinchenko Aleksey**
East Kazakhstan university named after S. Amanzholov, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
LLP “Eurasian Minerals Trade”, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

Annotation: The article is devoted to the study of the process of gold extraction from ore by the method of tank leaching using cyanide substitutes.

In Kazakhstan, gold is predominantly extracted using heap and tank leaching methods using sodium cyanide. This method has demonstrated its effectiveness due to lower capital investment and operating costs compared to traditional factory processes. However, with the deterioration of the environmental situation, alternative leaching methods, including thiourea and thiosulfate, are becoming increasingly important.

This paper examines in detail the main stages of tank leaching technology, including ore preparation, stacking and irrigation, solution diversion and gold recovery, as well as the problems associated with the use of traditional cyanide methods. The reasons why certain primary ores are not amenable to leaching by this method are discussed, and solutions such as pre-pelletization or agglomeration are proposed.

In addition, the study provides information on bottle tests conducted to determine the most effective cyanide substitutes, highlighting the importance of environmentally friendly and cost-effective solutions in the mining industry. In conclusion, the article emphasizes the need for further research and implementation of alternative gold leaching methods, which can significantly improve both the economic characteristics of the processes and the ecosystem as a whole.

Keywords: gold, bottle test, cyanide, thiourea, alternative method.

НАТРИЙ ЦИАНИДТІ АЛМАСТЫРҒЫШТАРДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ЧАНДЫ ШАЙМАЛАУ ПРОЦЕСІНДЕ АЛТЫН КЕНДЕРІНЕН АЛТЫН АЛУ

***Рамазанов Әліби Есболұлы, Мукажанова Жазира Бигалиевна, Жарликов**

Михаил Сергеевич, Зинченко Алексей Михайлович

С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан

«Eurasian Minerals Trade» ЖШС, Өскемен, Қазақстан

Аңдатпа. Мақала цианидті алмастырғыштарды пайдалана отырып, чанды шаймалау арқылы рудадан алтын алу процесін зерттеуге арналған.

Қазақстанда алтынды негізінен натрий цианидінің көмегімен үйінді және чанды шаймалау арқылы өндіріледі. Бұл әдіс дәстүрлі зауыттық процестермен салыстырғанда күрделі салымдар мен операциялық шығындардың төмен болуына байланысты тиімді екені дәлелденді. Дегенмен, экологиялық жағдайдың нашарлауына байланысты сілтісіздендірудің альтернативті әдістері, соның ішінде тиокарбамид пен тиосульфат барған сайын өзекті бола түсуде.

Мақалада кенді дайындау, қабаттау және суару, ерітінділерді дренаждау және алтын алуды қоса алғанда, чанды шаймалау технологиясының негізгі кезеңдері, сонымен қатар дәстүрлі цианид әдістерін қолданумен байланысты мәселелер егжей-тегжейлі қарастырылады. Кейбір бастапқы кендердің осы әдіспен сілтісіздендіруге жарамсыз болуының себептері талқыланады және алдын ала түйіршіктеу немесе агломерация сияқты шешімдер ұсынылады.

Сонымен қатар, зерттеу тау-кен өнеркәсібіндегі экологиялық таза және үнемді шешімдердің маңыздылығын көрсете отырып, ең тиімді цианидті алмастырғыштарды анықтау үшін жүргізілген бөтелке сынақтары туралы ақпарат береді. Қорытындылай келе, мақалада процестердің экономикалық көрсеткіштерін де, тұтастай алғанда экожүйені де айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік беретін алтынды сілтілеудің баламалы әдістерін одан әрі зерттеу және енгізу қажеттілігі атап өтіледі.

Түйін сөздер: алтын, бөтелке сынағы, цианид, тиокарбамид, альтернативті әдіс.