

Хамдамов М.Б.

Студент, г.Алмалык (Узбекистан)

Научный руководитель: Холикулов Д.Б., д.т.н., проф.

Алмалыкский государственный технический институт

ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ РУД

Аннотация. В работе представлены результаты исследований, направленных на изучение возможностей извлечения драгоценных металлов из окисленных медных руд. В лабораторных условиях проведены эксперименты по гравитационному обогащению с применением концентратора Knelson MD3. При этом извлечение меди составило 12,45%, а золота – 52,2%.

Ключевые слова: окисленная медная руда, гравитация, концентрат, хвосты, центробежные концентраторы, выход продукта.

Khamdamov M.B.

Student

Supervisor: Kholikulov D.B., Doctor of Technical Sciences, Professor

Almalyk State Technical Institute

METAL EXTRACTION FROM OXIDIZED COPPER ORES

Abstract. This paper presents the results of research aimed at studying the potential for precious metal extraction from oxidized copper ores. Laboratory experiments were conducted using gravity concentration using a Knelson MD3 concentrator. Copper recovery was 12.45%, while gold recovery was 52.2%.

Keywords: oxidized copper ore, gravity, concentrate, tailings, centrifugal concentrators, product yield.

Введение. Месторождение Кальмакыр в Узбекистане является одним из крупнейших в мире месторождений медно-порфировых месторождений с высоким содержанием золота [1]. Медно-золотая и молибденовая минерализация порфирового месторождения Кальмакыр представлена

штокверками, прожилками и вкраплениями в зонах филлитовых и калий-силикатных изменений, развитых преимущественно в интрузивном комплексе среднего и позднего карбона, сложенном монцонитовыми и гранодиоритовыми порфирами [2].

В работе [3] было проведено лабораторное исследование по извлечению меди из окисленной руды с использованием различных концентраций серной кислоты в качестве выщелачивающего агента. Скорость извлечения меди 80,0–94,26% при сниженном расходе кислоты (20%) оказалась экономически эффективным подходом.

Объект и методы исследования. В качестве объекта исследования были выбраны окисленные медные руды, находящиеся в отвалах №39 Кальмакырского месторождения. Общий объем этих руд составляет 1,5 млн тонн. Содержание меди составляет – 0,47 %, золото – 0,51 г/т. Окисленная зона Калмакырского месторождения представлена в основном малахитом (локально - хризокolloй, иногда бирюзой), глубина окисления примерно 20–65 м. Такие медные минералы, особенно хризокolla, плохо поддаются гравитации [4].

Цель исследований является изучение возможности извлечение металлов из окисленных медных руд с применением центробежного концентратора Knelson MD3. Концентраторы Knelson — это усиленная гравитация, изначально “заточенная” под свободное золото и платиноидов; их используют, когда есть высокая контрастность плотности и достаточно грубая разубоженная крупность. Исключение — наличие самородной меди или крупно освобождённого малахита/куприта: такие фракции можно частично отобрать Knelsonом, но это нишевый эффект.

Результаты исследований. Для окисленных руд Калмакыра, где доминируют малахит и хризокolla, Knelson можно использовать лишь как вспомогательный оборудование [4-7]. При экспериментах по применение

Концентратора Knelsona для окисленных медных руд основным технологическим параметром является:

1. Класс крупности питания: малахит/куприт эффективно извлекаются только если зерно освобождено и имеет крупность, сопоставимую с диапазоном работы концентратора (обычно $-1.0+0.075$ мм), хризокolla и тонкие шламы ($<38-45$ мкм) практически не поддаются гравитации;

2. Содержание твёрдого в пульпе: слишком высокая густота ухудшает разделение, слишком низкая — снижает загрузку и эффективность;

3. G-force (ускорение): для рудных минералов меди оптимум выше, чем для золота, при низком ускорении часть тяжёлых зерен уходит в хвосты, при слишком высоком — забивается концентратор и растёт потеря в слив;

4. Время цикла: длинный цикл - перегрузка концентрата и ухудшение селективности, короткий цикл - не успевает стабилизироваться градиент плотности.

5. Скорость водной промывки: для медных минералов диапазон 4–8 L/min, подбирается по визуальному выходу «легкой фракции», слишком малая подача - концентратор забивается, слишком большая - выносит ценные минералы.

Вода для флюидизации создаёт “псевдооживленный слой” в чаше концентратора. При малом расходе воды лёгкие минералы не вымываются и концентратор начинает забирать много постороннего материала. При расходе воды 2,5-3,0 l/min выход концентрата составляет 4,8 % и содержание Au в концентрате достигается до 2,5 g/t. Дальнейшее увеличение расхода воды приводит к увеличению выхода продукта, но селективность падает, часть тяжёлых минералов уносится в хвост (табл. 1). При оптимальных условиях, выход готового класса составил 7,8%. При

этом, извлечение золота достигло уровня 52,2%, меди – 12,45%, а серебра – 6%. Лабораторные эксперименты проводились с использованием технологической схемы, разработанной для извлечения металлов из окисленных медных руд месторождения «Кальмакыр» (рис. 1).

Таблица 1.

Результаты исследований

№	Продукт	Выход		Содержание,			Извлечение, %			Режим гравитации
		kg	%	Au, g/t	Ag, g/t	Cu, %	Au	Ag	Cu	
1	Концентрат	0,077	7,7	0,68	0,62	0,27	12,2	2,8	4,42	Скорость вращения ротора - 700 rpm, время - 3 min
	Хвосты	0,923	92,3	0,408	1,82	0,49	87,8	97,3	95,58	
	Исходный	1,0	100	0,429	1,727	0,47	100,0	100,0	100,0	
2	Концентрат	0,053	5,3	3,08	1,05	0,65	38,1	3,2	7,33	Скорость вращения ротора - 800 rpm, время - 3 min
	Хвосты	0,947	94,7	0,281	1,765	0,46	61,9	96,8	92,68	
	Исходный	1,0	100	0,429	1,727	0,47	100,0	100,0	100,0	
3	Концентрат	0,065	6,5	0,95	1,13	0,21	14,4	4,32	2,90	Скорость вращения ротора - 600 rpm, время - 5 min
	Промпродукт	0,087	8,7	0,32	1,22	0,12	6,5	6,12	2,22	
	Хвосты	0,848	84,8	0,4	1,824	0,53	79,1	89,56	94,88	
	Исходный	1,0	100	0,429	1,727	0,47	100,0	100,0	100,0	
4	Концентрат	0,033	3,3	0,87	0,57	0,46	6,7	1,1	3,23	Скорость вращения ротора - 700 rpm, время - 5 min
	Промпродукт	0,185	18,5	0,72	0,51	0,18	31,1	5,5	7,09	
	Хвосты	0,782	78,2	0,342	2,06	0,54	62,3	93,4	89,69	
	Исходный	1,0	100	0,429	1,727	0,47	100,0	100,0	100,0	
5	Концентрат	0,078	7,8	2,87	1,33	0,75	52,2	6,0	12,45	Скорость вращения ротора - 800 rpm, время - 5 min
	Хвосты	0,922	92,2	0,223	1,76	0,45	47,8	94,0	87,56	
	Исходный	1,0	100	0,429	1,73	0,47	100,0	100,0	100,0	
6	Концентрат	0,073	7,3	1,21	0,85	0,49	20,6	3,6	7,61	Скорость вращения ротора – 600 rpm, время - 7 min
	Промпродукт	0,094	9,4	0,55	0,79	0,15	12,1	4,3	3,00	
	Хвосты	0,833	83,3	0,347	1,91	0,50	67,3	92,1	89,39	
	Исходный	1,0	100	0,429	1,73	0,47	100,0	100,0	100,0	
7	Концентрат	0,069	6,9	1,43	0,68	0,42	23,0	2,7	6,17	Скорость вращения ротора - 700 rpm, время
	Промпродукт	0,153	15,3	0,61	0,79	0,20	21,8	7,0	6,51	
	Хвосты	0,778	77,8	0,305	2,005	0,53	55,2	90,3	87,32	

Исходный	1,0	100	0,429	1,73	0,47	100,0	100,0	100,0

- 5 min

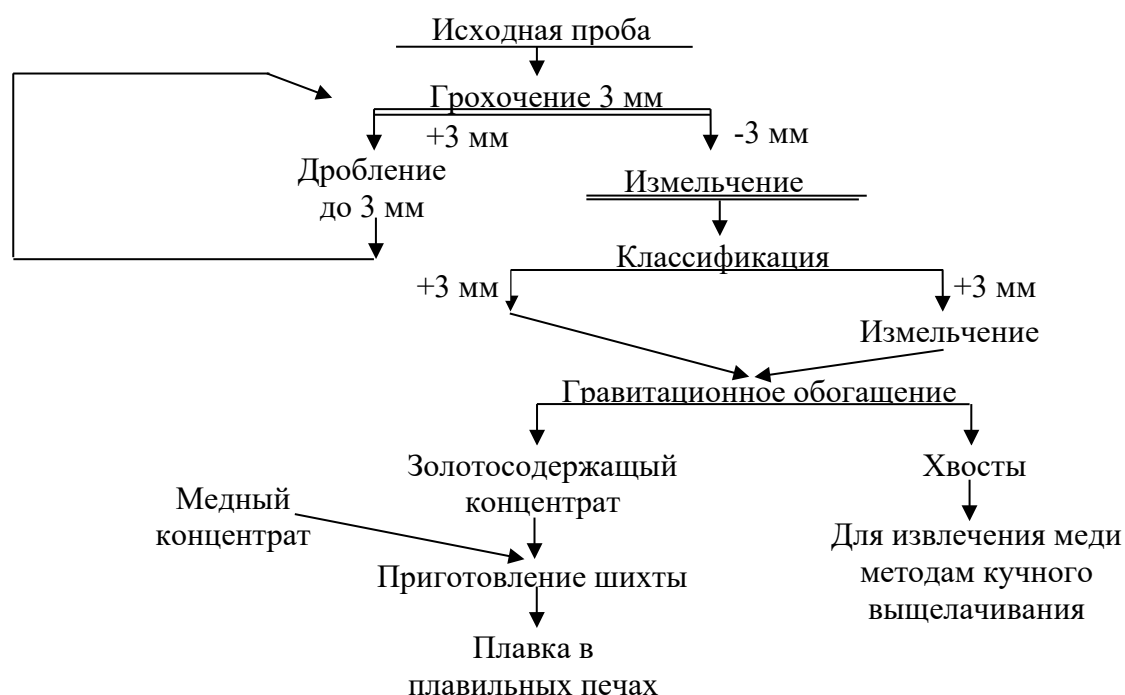


Рис. 2. Рекомендуемая технологическая схема

Закключение. Результаты проведенных исследований показали возможности извлечения золота из окисленной медной руды посредством центробежных концентраторов Knelson. Оптимальным параметром процесса является: расход флюидизационной воды - 2,5-3 l/min, скорость вращения ротора - 800 rpm, продолжительность процесса - 5 min, соотношение твердой фазы к жидкой – 1:3. При этих оптимальных условиях, выход готового класса составил 7,8%. Извлечение золота в концентрат составить 52,2%. Полученный концентрат содержит 2,87 g/t золота и его можно использовать в качестве флюса при плавке медных концентратов.

Использованные источники:

1. Liu Y, Zhao X, Xue C, Nurtaev B and Chen J (2023) Contrasting apatite geochemistry between ore-bearing and ore-barren intrusions of the giant

Kalmakyr gold-rich porphyry Cu deposit, Tien Shan, Uzbekistan. *Front. Earth Sci.* 11:1162994.

2. Xiao-Bo Zhao, Chun-Ji Xue, Guo-Xiang Chi, Xuan-Xue Mo, Bakhtiar Nurtaev, Guo-Zhen Zhang. Zircon and molybdenite geochronology and geochemistry of the Kalmakyr porphyry Cu–Au deposit, Almalyk district, Uzbekistan: Implications for mineralization processes, *Ore Geology Reviews*, Volume 86, 2017, Pages 807-824.

3. Chan-Ung Kang, Seung-Eun Ji, Thomas Pabst, Kung-Won Choi, Moonis Ali Khan, Rahul Kumar, Prakash Krishnaiah, Yosep Han, Byong-Hun Jeon and Do-Hyeon Kim. Copper Extraction from Oxide Ore of Almalyk Mine by H₂SO₄ in Simulated Heap Leaching: Effect of Particle Size and Acid Concentration. *Minerals*, 2021, 11(9).

4. Холикулов, Д. Б., Самандаров, И. Р. Подготовка технологической пробы окисленных медных руд месторождений Кальмакир к лабораторным испытаниям // *ORIENSS*. 2024. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podgotovka-tehnologicheskoy-proby-okislennyh-mednyh-rud-mestorozhdeniy-kalmakir-k-laboratornym-ispytaniyam> (дата обращения: 26.09.2025).

5. Chan-Ung Kang, Seung-Eun Ji, Thomas Pabst, Kung-Won Choi, Moonis Ali Khan, Rahul Kumar, Prakash Krishnaiah, Yosep Han, Byong-Hun Jeon and Do-Hyeon Kim. Copper Extraction from Oxide Ore of Almalyk Mine by H₂SO₄ in Simulated Heap Leaching: Effect of Particle Size and Acid Concentration. *Minerals*, 2021, 11(9), 1020.

6. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. *Металлургия благородных металлов: Учебник в 2-х кн. Кн. 1* М.: МИСИС., Издательский дом «Руда и Металлы», 2005. – 432 с.

7. Исроилов А.Т., Ходжаев А.Р., Ниязметов Б.Е., Холикулов Д.Б. Обогащение забалансовых медных руд месторождения «Кальмакир» АО «Алмалыкский ГМК» // *Материалы междунар. науч.-практической. конф.*

«Современные проблемы и инновационные технологии решения вопросов переработки техногенных месторождений Алмалыкского ГМК», г. Алмалык, 18–19 апреля 2019 г. – С. 58–60