

# ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

УДК 669.334.12:549.332

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-2-22-28>

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ ЗОЛОТОМЕДНОЙ РУДЫ

Молмакова М.С.<sup>1</sup>, Кожонов А.К.<sup>2</sup><sup>1</sup> Институт горного дела и горных технологий им. У.Асаналиева при Кыргызском государственном техническом университете им. И.Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика<sup>2</sup> ОсОО «Geotechservice Technology», Бишкек, Кыргызская Республика

### Аннотация

**Постановка задачи (актуальность работы):** в статье приведены результаты исследования по выщелачиванию меди из хвостов флотационного обогащения золотомедной руды месторождения Кумбель. Для выбора условий процесса выщелачивания меди изучены зависимости расхода серной кислоты, продолжительности, температуры, соотношения Т:Ж. Для интенсификации процесса сернокислотного выщелачивания предложено использование ферромагнитного порошкообразного катализатора, введение которого способствует снижению кинетики выщелачивания и расхода растворителя. **Цель работы** – определение оптимальных параметров сернокислотного выщелачивания меди из хвостов флотационного обогащения с применением катализатора. **Используемые методы:** ИК-спектроскопический, рентгенофазовый, спектральный, химический (с применением сертифицированных методик) методы анализа. **Новизна:** при сернокислотном выщелачивании использован ферромагнитный катализатор, введение которого способствовало повышению скорости выщелачивания и снижению расхода растворителя. **Результаты:** установлено, что выщелачивание хвостов флотационного обогащения медьсодержащих руд сернокислотными растворами в присутствии ферромагнитного катализатора приводит к повышению уровня извлечения меди. **Практическая значимость:** результаты исследований могут быть полезными для горно-обогатительных предприятий при вовлечении в переработку техногенных отходов с целью повышения сырьевой базы.

**Ключевые слова:** медь, выщелачивание, серная кислота, температура, пульпа, интенсификация, ферромагнитный катализатор, извлечение.

### Введение

В последнее время повышенное внимание во всем мире уделяется разработке эффективных гидрометаллургических методов переработки отходов обогатительных фабрик. Гидрометаллургические технологии обеспечивают низкую себестоимость получения металлов и оказывают значительно меньшее вредное воздействие на окружающую среду, чем пирометаллургические способы переработки. В условиях снижения качества рудного сырья и повышения экологических требований преимущества гидрометаллургической переработки очевидны [1, 11, 24].

Для всех разновидностей процесса выщелачивания в основу химических реакций растворения металлов положены кислотно-обменные, окислительного бактериального или комбинация кислотно-окислительного с бактериальным методом химического обогащения. В основном применяют

ся методы выщелачивания серной кислотой [4, 5, 10, 27] кучным и подземным выщелачиванием [18].

В настоящее время одним из основных направлений технического прогресса в металлургической промышленности является интенсификация и удешевление технологических процессов, позволяющих увеличить выпуск новой высокорентабельной продукции и повысить ее конкурентоспособность [7, 23, 28].

Методы интенсификации включают физические, химические и механические способы воздействия [18]. Анализируя стадии гидратации и протонирования растворения меди, предложены способы активации процессов выщелачивания: уменьшение pH раствора; увеличение концентрации анионов фонового электролита; увеличение анодной поляризации [19].

Кроме методов прямого выщелачивания, особое внимание уделяется также комбинированным технологиям извлечения меди, где основной акцент ставится на предварительный автогенный обжиг с последующим выщелачиванием раствором серной кислоты [9].

В ряду ферромагнитных материалов большое место занимают ферромагнитные жидкости, которые представляют собой не индивидуальные вещества, а коллоидные растворы, в которых ферромагнитные частицы равномерно распределены в жидкой фазе [2].

Ферромагнитные катализаторы используются в виде порошков, реже – в виде растворов (суспензий), а иногда – в виде волокон или пленок. Наиболее распространено применение в качестве катализаторов порошков металлов и сплавов, которые, в свою очередь, осаждают на носитель с развитой поверхностью: цеолиты, силикагель, кремнезем, пемзу, стекло и т.д.

Носитель способствует достижению наименьшего размера осаждаемых частиц и препятствует их спонтанной коалесценции. Однако носитель в катализе может играть весьма важную роль: из-за образования связей с носителем атомы катализатора, непосредственно с ним контактирующие, могут изменять свою электронную структуру. При этом, чем большее число атомов находится в контакте с носителем, тем больше его влияние на каталитическую активность. Поэтому для крупных частиц роль носителя сравнительно мала, однако по мере уменьшения размера материала она увеличивается и становится достаточно заметной.

Ферромагнитная жидкость представляет собой трехкомпонентную систему, состоящую из дисперсионной среды, магнитной фазы и стабилизатора. В качестве дисперсионной среды может выступать любая жидкая среда: вода, масло, различные растворы. В качестве магнитной составляющей обычно используются наночастицы, обладающие сильными ферромагнитными свойствами. Введение же в жидкость стабилизатора, прочно связывающегося с поверхностью магнитных частиц и препятствующего их агрегации, обеспечивает устойчивость такой жидкости. Ферромагнитные жидкости – это совершенно новый обширный класс магнитных материалов, и их, несомненно, ждет широкий спектр применений в технике и промышленности [16,17, 20–23].

Для интенсификации процесса выщелачивания хвостов флотационного обогащения золотомедной руды предлагается использовать ферромагнитный порошкообразный катализатор, введение которого будет способствовать снижению времени выщелачивания и расхода растворителя.

Проблемы сернокислотного выщелачивания руд и продуктов обогащения изучены учеными: Кефрут Д.Д., Шо Раймонд Уолтер, Тусупбаев Н.К., Шаламов В.М., Давыдова Л.А., Денисов М.Э., Таужиянская З.А., Михайлова С.Ф., Джоунс Д.Л., Дружинина С.И., Набойченко С.С., Chang Chu Vong, Minoz P.B., Miller J.D., Wodsworth M.E., Pang Jinhui, Lui Chunpeng и рассмотрены в рабо-

тах [3–15, 24–32]. А вопросы по использованию ферромагнитных порошкообразных катализаторов посвящены труды видных отечественных и зарубежных ученых: Иванов В.В., Стороженко П.А., Галкин А.А., Кастюк Б.Г., Эрик Ландре, Подвязкин Ю.А., Шлыгин А.И., Скопин Ю.А., Соколовский Д.В. и рассмотрены в работах [2, 7, 10, 14–17, 20, 21, 28].

### Методы экспериментальных исследований

Тесты на выщелачивание проводились на материале хвостов флотационного обогащения руд месторождения «Кумбель».

Эксперименты по выщелачиванию осуществляли в чанах при перемешивании со скоростью 500 об/мин с использованием механической мешалки марки «IKA RW 14 basic» с одно-временной подачей воздуха. Пульпу после выщелачивания отфильтровывали и полученные рабочие растворы и кеки анализировали на содержание меди (Cu) и железа (Fe).

Тесты выщелачивания проводили при комнатной температуре, плотность пульпы приняли 50%, тонина помола 92% класса –0,074 мм. Содержание меди и железа определяли спектротрическим способом.

Влияние концентрации кислоты на показатели выщелачивания меди изучали при концентрациях серной кислоты 5, 15, 25, 50, 100 г/л. Время выщелачивания – 4 ч.

Влияние продолжительности выщелачивания изучали при концентрации серной кислоты 50 г/л, плотности пульпы 50%, при тонине помола 92% класса –0,074 мм. Выщелачивание проводили от 1 до 4 ч.

Влияние температуры на степень выщелачивания меди изучали в интервале температур от 20 до 50°C при плотности пульпы 50%, концентрации серной кислоты 50 г/л, при тонине помола 92% класса –0,074 мм.

Изучение зависимости извлечения меди от разжижения пульпы проводили при плотностях пульпы: 25; 30; 40 и 50%. Концентрация серной кислоты 50 г/л при тонине помола 92% класса –0,074 мм, продолжительность выщелачивания – 8 ч.

В целях сокращения продолжительности выщелачивания проведены тесты выщелачивания с добавлением ферромагнитного катализатора. Опыты проводились при следующих условиях:

- расход серной кислоты от 3,5 до 12,53 кг/тн;
- продолжительность выщелачивания от 2 до 5 ч;
- тонина помола и концентрация серной кислоты приняты константой (98% класса –0,074 мм и 50 г/л соответственно);
- первые два опыта проведены без катализатора, последующие – в присутствии катализатора с расходом от 10 до 13 г/т.

Таблица 1

Результаты химического анализа хвостов флотационного обогащения

Наименование продукта	Содержание, %				
	Cu	Zn	Pb	Fe	Au, г/т
Хвосты флотации	1,34	0,01	0,005	3,8	0,4

В качестве катализатора процесса сернокислотного выщелачивания применен ферромагнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , содержащий кварц-  $\alpha\text{-SiO}_2$ -1087, 799, 779, 515, 460, 391, 376  $\text{см}^{-1}$ , магнетит  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$  – 565, 391  $\text{см}^{-1}$ . Присутствует микроклин  $\text{K[AlSi}_3\text{O}_3]$  – 1139, 1087, 1019, 431  $\text{см}^{-1}$ . Также возможно присутствие минерала лепидокрокит –  $\gamma\text{-FeOON}$  – 1139 п, 1019, 877 п, 565, 460, 367  $\text{см}^{-1}$ . В спектре наблюдаются полосы поглощения валентных  $\nu(\text{OH})$  – 3362  $\text{см}^{-1}$  и деформационных колебаний  $5\text{HOH}$  -1644  $\text{см}^{-1}$  молекул воды. Спектры получены на ИК-Фурье спектрометре «Avatar 370Csl» в спектральном диапазоне 4000-300  $\text{см}^{-1}$  от препаратов в виде суспензии с вазелиновым маслом в окнах KRS-5. Приставка для эксперимента Transmission E.S.P.

При исследованиях создавались одинаковые экспериментальные условия наблюдения и измерения всех образцов.

### Результаты

Результаты химического анализа хвостов флотационного обогащения руд месторождения «Кумбель» приведены в табл. 1.

Результаты сернокислотного выщелачивания хвостов обогащения приведены в табл. 2, а график зависимости уровня извлечения и расхода серной кислоты от продолжительности выщелачивания на рис. 1.

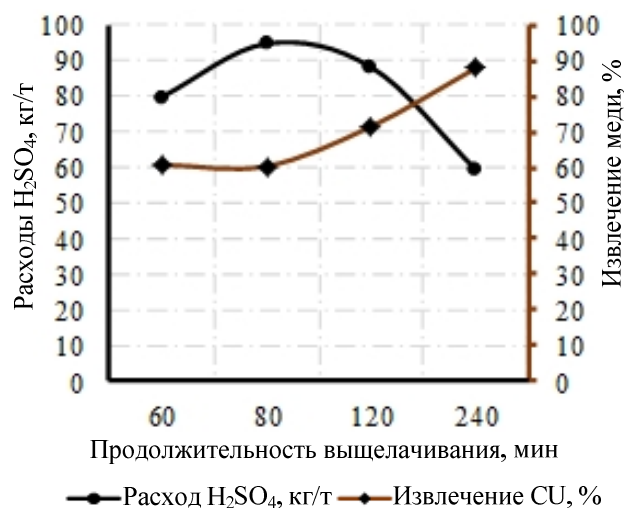


Рис. 1. Влияние продолжительности выщелачивания на уровень извлечения меди и на расход серной кислоты

Таблица 2

Результаты выщелачивания меди из хвостов флотационного обогащения

Тест	Концентрация кислоты, г/л	Время выщелачивания, мин	Тонина помола, % кл. –0,074 мм	Расход $\text{H}_2\text{SO}_4$ , кг/т	Извлечение Cu, %
B8-1	25	60	80,1	79,7	60,7
B8-2	50	80	80,1	94,7	60,3
B8-3	57,5	240	80,1	102,8	73,8
B8-4	25	120	82,9	72,5	62,4
B8-5	50	120	82,9	66,2	68,7
B8-6	75	240	82,9	91,4	70,9
B8-18	25	60	84,8	78,8	62,2
B8-21	25	120	87,5	88,1	71,5
BR-4	50	240	92	59,3	87,9

Таблица 3

Результаты выщелачивания меди из хвостов флотационного обогащения с применением ферромагнитного катализатора

Условия и результаты	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Тонина флотоконцентрата, кл –74 мкм, %	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0
Продолжительность выщелачивания, мин	120	240	120	180	240	300
Концентрация серной кислоты, г/л	30	50	50	50	50	50
Расход серной кислоты, кг/т	12,53	16,4	5,29	4,37	3,5	3,76
Расход катализатора, г/т	0	0	10	12	13	13
Содержание меди в исходной пробе, %	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
Содержание меди в кеке, %	0,328	0,226	0,110	0,105	0,057	0,101

Зависимость извлечения меди от температуры представлена на **рис. 2**. С повышением температуры от 20 до 50°C извлечение меди повышалось незначительно. Результаты зависимости показывают, что с увеличением температуры до 50°C извлечение меди составляет 92,5%.

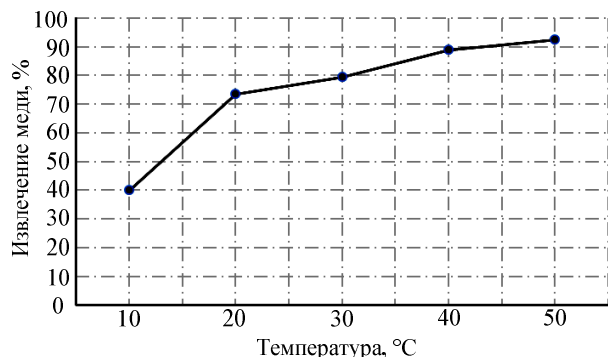


Рис. 2. Зависимость извлечения меди от температуры процесса

Результаты тестов сернокислотного выщелачивания с добавлением ферромагнитного катализатора приведены в **табл. 3**, а график зависимости уровня извлечения от входных параметров процесса сернокислотного выщелачивания в присутствии ферромагнитного катализатора на **рис. 3**.

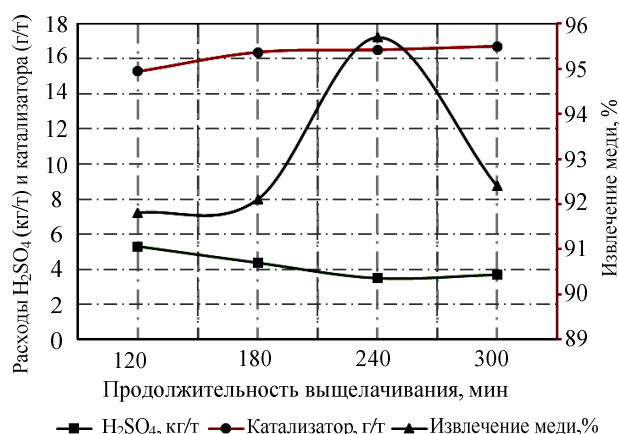


Рис. 3. График зависимости уровня извлечения от входных параметров процесса сернокислотного выщелачивания в присутствии ферромагнитного катализатора

### Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что определяющее влияние на уровень извлечения оказывают концентрация и расход серной кислоты, время выщелачивания.

По результатам сернокислотного выщелачивания при стандартных режимах установлено:

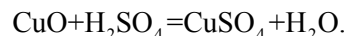
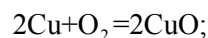
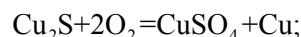
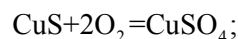
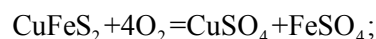
- расход серной кислоты колеблется от 60 до 102 кг/т, оптимальные показатели извлечения получены при расходе 59,3 кг/т;

- при концентрации серной кислоты 50 г/л извлечение меди достигает 87,9%. При повышении концентрации серной кислоты выше 50 г/л приводит к снижению кривой извлечения;

- интенсивность выщелачивания меди достигает своего пика при 4 ч. Дальнейшее продолжение процесса не приводит к улучшениям;

- при низких температурах извлечение меди повышается незначительно, а при повышении температуры до 50°C извлечение меди достигает 87%.

Влияние ферромагнитного катализатора на процесс выщелачивания меди из хвостов флотационного обогащения происходит при столкновении частиц сульфидных минералов меди с поверхностью катализатора окислителя, который концентрирует вокруг себя кислород, происходит одновременный контакт системы: «Растворенный кислород — частицы медного минерала — катализатор окисления», где протекает окислительно-восстановительная реакция, в результате которой происходит окисление сульфидных медных минералов (халькопирит, ковеллин, халькозин). Окисление в присутствии катализатора сопровождается по следующим реакциям:



По результатам исследований установлено, что при выщелачивании хвостов флотационного обогащения медьсодержащих руд сернокислотными растворами в присутствии ферромагнитного катализатора приводит к повышению уровня извлечения меди до 95,7% при расходе серной кислоты 3,5 кг/т и катализатора 13 г/т. Оптимальное время выщелачивания — 4 ч.

### Заключение

Теоретический анализ литературы показывает, что вопросы интенсификации процесса выщелачивания меди рассмотрены достаточно широко. В то же время целый ряд конкретных программ исследований, связанных с применением ферромагнитных катализаторов в различных сочетаниях технологических параметров, остается мало разработанным. К этим вопросам можно, прежде всего, отнести изучение механизма влияния катализаторов на параметры выщелачивания меди при различных температурных режимах, pH среды, концентрации и расхода выщелачивающего реагента с последующим цианидным выщелачиванием золота из кеков сернокислотного выщелачивания. Практиче-



ски отсутствуют исследования по применению ферромагнитных катализаторов при интенсификации выщелачивания меди из техногенных отходов, но детально изучен вопрос ведения процесса сернокислотного выщелачивания с уменьшением pH раствора, повышением концентрации анионов фонового электролита и увеличением анодной поляризации. Отдавая должное тому, что было сделано предшественниками, мы тем не менее считаем, что применение ферромагнитного катализатора в принятой «композиции» исходных данных позволяет получить высокие технологические показатели. В результате применения ферромагнитного катализатора уровень извлечения меди достигает 95,7%, при этом расход серной кислоты снижается с 59,3 до 3,5 кг/т, что позволяет значительно сократить операционные расходы производства.

Дальнейшие исследования с применением катализаторов будут продолжены в направлении изыскания эффективных параметров для гидрометаллургических методов выщелачивания меди и золота из лежалых хвостов обогащения с изменением состава катализаторов с различным сочетанием входных технологических факторов.

#### Список литературы

1. Авдохин В.М., Абрамов А.А. Окисление сульфидных минералов в процессах обогащения. М.: Недра, 1989.
2. Галкин А.А., Кастюк Б.Г., Кузнецова Н.Н. и др. // Кинетика и катализ. 2001. Т. 42. №2. С. 172–181.
3. Давыдова Л.А., Таужнянская З.А., Михайлова С.Ф. Зарубежный опыт кучного выщелачивания цветных и драгоценных металлов из забалансовых руд // Бюл. Цветная металлургия. 1982. №19. С. 19–25.
4. Технология переработки медной руды Удоканского месторождения с предварительным сернокислотным выщелачиванием / Денисов М.Э., Руднев Б.П., Крылова Л.Н., Кучмина Ю.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал); ОсОО «Горная книга». 2015. С. 100–104.
5. Джоунс Д.Л. / Способ извлечения меди из сернистой медной руды или концентрата: пат. 2137856 РФ, С22В 15/00, 20.12.1994.
6. Изменение вещественного состава забалансовых медно-порфировых руд отвалов Коунрадского рудника в процессе выщелачивания / Дружинина С.И., Шевелева Л.Д., Храменкова Д.П. и др. // Цветные металлы. 1992. №4. С. 14–17.
7. Иванов В.В. Нанопорошки нужны и востребованы современным рынком // Российские нанотехнологии. 2009. Т.4. №1–2. С. 22–26.
8. О скорости растворения и растворимости халькозина / Каражанов Н.А., Макатова И.Н., Бейсембаев Б.Б. и др. // Комплексное использование минерального сырья. 1980. №6. С. 16–21.
9. Каримова Л.М. Комбинированный метод переработки забалансовой медной сульфидной руды // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №2. С. 11–14.
10. Керфут Д.Д. Способ выделения, экстракции и извлечения никеля, кобальта и меди из сульфидного концентрата, стимулируемого хлором, путем окислительного выщелачивания серной кислотой под давлением: пат. 2221881 РФ, С22В 3/08.
11. Киореску А.В. Способы интенсификации процессов выщелачивания воздействием микроволнового излучения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал); ОсОО «Горная книга». 2015. С. 346–350.
12. Перспективы применения комбинированных методов переработки руд цветных металлов / Крушкел О.Б., Павличенко Г.А., Шевелева Л.Д. и др. // Бюл. Цветная металлургия. 1990. №10. С. 36–39.
13. Молмакова М.С., Ногаева К.А., Тусупбаев Н.К. Сернокислотное выщелачивание меди из хвостов гравитационно-флотационного обогащения месторождения Кумбель // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2013. №28. С. 278.
14. Молмакова М.С., Ногаева К.А., Тусупбаев Н.К. Способ сернокислотного выщелачивания меди: пат. 1637 КР, 30.05.2014.
15. Набойченко С.С., Смирнов В.И. Гидрометаллургия меди. М.: Металлургия, 1974. 272 с.
16. Подвизкин Ю.А., Шлыгин А.И. Изучение поверхностных свойств порошкообразных металлических катализаторов и адсорбентов методом кривых заряжения // Физ. химия, 1957. Т.31. С.1305–1310.
17. Подвизкин Ю.А., Шлыгин А.И. О кривых заряжения порошкообразных катализаторов и адсорбентов // Труды четвертого совещания по электрохимии. М., 1959. С. 125–128.
18. Рыльникова М.В., Емельяненко Е.А., Ангелова Е.И. Перспективы использования физико-химических методов интенсификации процессов выщелачивания меди и цинка на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал); ОсОО «Горная книга». 2012. С. 97–102.
19. Соколов И.В., Горичев И.Г., Кузнецов С.В. Обоснование способов интенсификации выщелачивания медьсодержащего минерального сырья с позиции Модели Лоренца // Вестник РУДН. Сер. Инженерные исследования. 2009. №3.
20. Скопин Ю.А., Сокольский Д.В. Электрохимическое измерение поверхности металлических порошков // Вест.АН КазССР. 1956. №6. С. 89–91.
21. Скорчеллетти В.В. Теоретические основы коррозии металлов. М.: Химия, 1973. 260 с.
22. Сокольский Д.В. Кинетика каталитической гидрогенизации в жидкой фазе // Вопросы химической кинетики, катализа и реакционной способности. М., 1955. С. 588–607.
23. Стороженко П.А. Нанопорошки – технология сегодняшнего дня // Российские нанотехнологии. 2009. Т.4. №1–2. С. 10–15.
24. Фомченко Н.В., Кайнова А.А., Муравьев М.И. Выщелачивание цветных металлов из металлургических шлаков сернокислыми растворами трехвалентного железа, полученными путем биоокисления // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. №1 (15). Т.4. С. 119–123.
25. Хопунов Э.А., Гуляев Н.Д. Геохимические аспекты гидрометаллургии техногенного сырья // Изв. вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение. 1995. №55–60.

26. Цефт А.Л. Гидрометаллургические методы переработки полиметаллического сырья. Алма-Ата: Наука, 1976. 332 с.
27. Шо Раймонд Уолтер. Извлечение меди из халькопирита: заявка 2004116335, С22В 3/04, 29.10.2002.
28. Эрик Ландре. Общие направления развития нанотехнологий до 2020 г. // Российские нанотехнологии. 2007. Т.2. №1–2. С. 8–16.
29. Chang Chu Vong, Lawson F. The kinetics of leaching covellite in acidic oxygenated sulfate-chloride solutions // Hydrometallurgy. 1991. 27. №3. P. 269–284.
30. Complex sulfide ores: processing options // Miner. Proc. Grossroads: Problem and prospects: Proc. NATO Adv. Study Inst. Falmouth; 24 March 4 Apr. 1986. Dordrecht e.a. 1986. P. 157–194.
31. Minoz P.B., Miller J.D., Wodsworth M.E. Reaction Mechanism for the Acid Ferric Sulfate of Chalcopirite & Metall. Trans. 1979. V. 108. №2. V. 1. P. 149–158.
32. Pang Jinhui, Lui Chunpeng. The kinetics of ferric chloride leaching of sphalerite in the microwave field // Trans. Nonferrous Metals Soc. China. 1992. №1. P. 53–57.

Поступила 05.03.18

Принята в печать 09.04.18

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-2-22-28>

## METHOD OF EXTRACTING COPPER FROM FLOTATION TAILINGS OF GOLD AND COPPER ORE

**Mira S. Molmakova** – PhD (Eng.), Associate Professor

Asanaliev Institute of Mining and mining technology at the Razzakov Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyz Republic. E-mail: molmakova\_m@mail.ru

**Almaz K. Kozhonov** – PhD (Eng.), General Director

Geotechservice Technology, Bishkek, Kyrgyz Republic. E-mail: kozhonov@mail.ru

**Abstract**

**Problem Statement (Relevance):** This article describes the results of a study that looked at copper leaching from the flotation tailings of the gold and copper ore of the Kumbel deposit. Relationships of such parameters as sulfuric acid consumption, duration, temperature, solid-to-liquid ratio, were looked at to identify the best conditions for copper leaching. Use of a ferromagnetic powder catalyst is proposed to intensify the sulfuric acid leaching process. Such catalyst helps reduce the leaching kinetics and the solvent consumption. **Objectives:** The aim of the research is to identify optimal parameters of sulfuric acid leaching of copper from flotation tailings using a catalyst. **Methods Applied:** IR spectroscopic, X-ray phase, spectral, chemical (using certified methods) analyses. **Originality:** For sulfuric acid leaching, a ferromagnetic catalyst was used, which helped increase the leaching rate and reduce the consumption of the solvent. **Findings:** It was found that leaching the flotation tailings of copper-bearing ores by sulfuric acid solutions in the presence of a ferromagnetic catalyst leads to increased copper recovery. **Practical Relevance:** The results of this research can be useful for mining enterprises striving to utilize man-made waste with the purpose of expanding their raw material base.

**Keywords:** Copper, leaching, sulfuric acid, temperature, slurry, intensification, ferromagnetic catalyst, recovery.

**References**

1. Avdokhin V.M., Abramov A.A. *Okislenie sulfidnykh mineralov v protsessakh obogashcheniya* [Oxidation of sulphide minerals in mineral processing]. Moscow: Nedra, 1989. (In Russ.)
2. Galkin A.A., Kastyuk B.G., Kuznetsova N.N. et al. *Kinetika i kataliz* [Kinetics and catalysis]. 2001, vol. 42, no. 2, 172–181 p. (In Russ.)
3. Davydova L.A., Tauzhnyanskaya Z.A., Mikhailova S.F. *Foreign practices in heap leaching of non-ferrous and precious metals from off-balance ores. Byull. Tsvetnaya metallurgiya* [Bulletin. Non-ferrous metallurgy], 1982, no. 19, pp. 19–25. (In Russ.)
4. Denisov M.E., Rudnev B.P., Krylova L.N., Kuchmina Yu.S. Processing of copper ore of the Udokan deposit with preliminary sulfuric acid leaching. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining bulletin], Gornaya kniga LLC, 2015, pp.100–104. (In Russ.)
5. Jones D.L. *Sposob izvlecheniya medi iz semistoy mednoy rudy ili kontsentrata* [The method of extracting copper from sulphurous copper ore or concentrate]. Patent RF, no. 2137856, 1994.
6. Druzhinina S.I., Sheveleva L.D., Khramenkova D.P. et al. Changing composition of the off-balance porphyry copper ores of the Kounrad mine dumps during leaching. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals], 1992, no. 4, pp. 14–17. (In Russ.)
7. Ivanov V.V. Nanopowders are needed and in demand by the modern market. *Rossiyskie nanotekhnologii* [Russian nanotechnologies], 2009, vol. 4, no. 1–2, pp. 22–26. (In Russ.)
8. Karazhanov N.A., Makatova I.N., Beisembayev B.B. et al. On the dissolution rate and solubility of chalcocite. *Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syriya* [Comprehensive use of minerals], 1980, no. 6, pp. 16–21.
9. Karimova L.M. Combined method of processing off-balance copper sulphide ore. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, no. 2, pp. 11–14. (In Russ.)
10. Kerfut D.D. A method for separating, extracting and recovering nickel, cobalt and copper from a sulphide concentrate stimulated with chlorine by pressure oxidation leaching with sulfuric acid. Patent RF, no. 2221881, 2001.
11. Kioresku A.V. Ways to intensify leaching processes by applying microwave radiation. *Gornyi informatsionno-*

- analiticheskiy byulleten* [Mining bulletin], Gornaya kniga LLC, 2015, pp. 346–350. (In Russ.)
12. Krushkol O.B., Pavlichenko G.A., Sheveleva L.D. et al. Prospects of using combined methods for processing of non-ferrous metal ores. *Byull. Tsvetnaya metallurgiya* [Bulletin. Non-ferrous metallurgy], 1990, no. 10, pp. 36–39. (In Russ.)
13. Molmakova M.S., Nogaeva K.A., Tusupbaev N.K. Sulfuric acid leaching of copper from the gravity-flotation tailings of the Kumbel deposit. *Izvestiya KGTU im. I.Razzakov* [Bulletin of Razzakov Kyrgyz State Technical University], no. 28, 2013, p. 278.
14. Molmakova M.S., Nogaeva K.A., Tusupbaev N.K. *Sposob semokislotochnogo vyshchelachivaniya medi* [Method of sulfuric acid leaching of copper]. Patent KR, no. 1637, 2014.
15. Naboychenko S.S., Smirnov V.I. *Gidrometallurgiya medi* [Hydrometallurgy of copper]. Moscow: Metallurgiya, 1974, 272 p. (In Russ.)
16. Podvyazkin Yu.A., Shlygin A.I. Study of surface properties of powder metal catalysts and adsorbents by charging curve method. *Zh.fiz. khimii* [Journal of physical chemistry], 1957, vol. 31, pp. 1305–1310. (In Russ.)
17. Podvyazkin Yu.A., Shlygin A.I. On the charging curves of powder catalysts and adsorbents. *Trudy chetvertogo soveshchaniya po elektrokhemii* [Proceedings of the fourth meeting on electrochemistry]. Moscow, 1959, pp. 125–128. (In Russ.)
18. Rynikova M.V., Emelianenko E.A., Angelova E.I. Perspectives on using physical and chemical techniques to intensify copper and zinc leaching processes at mining sites. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining bulletin], Gornaya kniga LLC, 2012, pp. 97–102. (In Russ.)
19. Sokolov I.V., Gorichev I.G., Kuznetsov S.V. Justifying the methods to intensify leaching of copper-bearing minerals in terms of the Lorentz model. *Vestnik RUDN, seriya Inzhenernye issledovaniya* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia, series: Engineering Surveys], 2009, no. 3. (In Russ.)
20. Skopin Yu.A., Sokolsky D.V. Electrochemical surface area measurement of metallic powders. *Vest.AN KazSSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR], 1956, no. 6, pp. 89–91.
21. Scorcelletti V.V. *Teoreticheskie osnovy korrozii metallov* [Basic theory behind metal corrosion]. Moscow: Khimiya, 1973, 260 p. (In Russ.)
22. Sokolsky D.V. The kinetics of catalytic hydrogenation in the liquid phase. *Voprosy khimicheskoy kinetiki, kataliza i reaktsionnoy sposobnosti* [Problems of chemical kinetics, catalysis and reactivity]. Moscow, 1955, pp. 588–607. (In Russ.)
23. Storozhenko P.A. Nanopowders: the technology of today. *Rossiyskie nanotekhnologii* [Russian nanotechnologies], 2009, vol. 4, no. 1–2, pp. 10–15. (In Russ.)
24. Fomchenko N.V., Kainova A.A., Muraviev M.I. Leaching of non-ferrous metals from metallurgical slags by ferric acid solutions obtained by biooxidation. *Izvestiya MSTU "MAMI"* [Bulletin of the Moscow State Technical University MAMI], Moscow, no. 1 (15), vol. 4, 2013, pp. 119–123. (In Russ.)
25. Khopunov E.A., Gulyaev N.D. Geochemical aspects of hydrometallurgy of man-made materials. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal. Uralskoe gornoe obozrenie* [Proceedings of Russian Universities. Mining Journal. Ural Mining Review], 1995, no. 55–60. (In Russ.)
26. Tseft A.L. *Gidrometallurgicheskie metody pererabotki polimetallicheskogo syriya* [Hydrometallurgical methods in polymetallic materials processing]. Alma-Ata: Nauka, 1976, 332 p.
27. Shaw Raymond Walter. *Iz vlechenie medi iz khalkopirita* [Recovery of copper from chalcopyrite]. Application no. 2004116335, 2002.
28. Eric Landre. Overall development of nanotechnology till 2020. *Rossiyskie nanotekhnologii* [Russian nanotechnologies], 2007, vol. 2, no. 1–2, pp. 8–16. (In Russ.)
29. Chang Chu Vong, Lawson F. The kinetics of leaching covellite in acidic oxygenated sulfate-chloride solutions. *Hydrometallurgy*. 1991. 27, no. 3, pp. 269–284.
30. Complex sulfide ores: processing options. *Miner Proctss. Grossroads: Problem and prospects: Proc. NATO Adv. Study Inst. Falmouth*; 24 March 4 Apr. 1986. Dordrecht e.a. 1986, pp. 157–194.
31. Minoz P.B., Miller J.D., Wodsworth M.E. Reaction Mechanism for the Acid Ferric Sulfate of Chalco-pirite & Metall. *Trans.* 1979, v. 108, no. 2, v. 1, pp. 149–158.
32. Pang Jinhui, Lui Chunpeng. The kinetics of ferric chloride leaching of sphalerite in the microwave field. *Trans. Nonferrous Metals Soc. China*. 1992, no. 1, pp. 53–57.

Received 05/03/18

Accepted 09/04/18

#### Образец для цитирования

Молмакова М.С., Кожонов А.К. Способ получения меди из хвостов флотации золотомедной руды // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №1. С. 22–28. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-22-28>

#### For citation

Molmakova M.S., Kozhonov A.K. Method of extracting copper from flotation tailings of gold and copper ore. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 1, pp. 22–28. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-22-28>