



ФЛОТАЦИЯ СУЛЬФИДНОЙ МЕДНОЙ РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАНИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ КОМБИНИРОВАННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

¹Носиров Н.И, ²Абдатова З.Т.

¹ Доцент Алмалыкского государственного технического института,
Узбекистан

² студент Алмалыкского государственного технического института,
Узбекистан

АННОТАЦИЯ:

Медные сульфидные руды часто встречаются совместно с пиритом, что создает значительную проблему для их селективного разделения в процессах обогащения. Несмотря на достижения в технологии флотации, по-прежнему существует острая потребность в эффективных методах повышения извлечения меди при подавлении интерференции пирита, особенно без ущерба для сопутствующих драгоценных металлов, таких как золото и серебро. Современная практика часто испытывает трудности с достижением высокой селективности и восстановлением при сохранении экологической устойчивости. Здесь мы исследуем эффективность трехмерной коллекторной смеси, состоящей из дибутилдитиофосфата аммония (АДФ), бутилксантата (БХ) и этилксантата (ЭХ), для селективной флотации сульфида меди из комплексной руды, содержащей 0,79% Cu и сопутствующие драгоценные металлы (0,233 г/т Au и 5,83 г/т Ag). Для эффективного подавления пирита в щелочных условиях (pH = 11,33) в качестве ингибиторов была использована комбинация извести и перекиси водорода. Результаты показывают, что оптимизированная тройная система коллекторов (ADD:BX:EX при соотношении 1:0,5:0,5) значительно улучшает сорт и извлечение меди при



сверхнизкой дозировке 10 г/т. Оптимизированный метод флотации с использованием комбинированных коллекторов и ингибиторов эффективно отделил халькопирит от пирита, получив медный концентрат с содержанием Cu 20,08% и извлечением 87,73%. Кроме того, процесс привел к значительному извлечению золота (9,22%) и серебра (26,66%). Эти результаты способствуют развитию отрасли, обеспечивая жизнеспособный и экологически чистый подход к обогащению сульфидных руд, что может служить моделью для переработки аналогичных месторождений полезных ископаемых при одновременном минимизации расхода реагентов и затрат.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сульфидная руда меди; технологическая минералогия; сверхнизкая дозировка; комбинированные коллекторы; флотационная сепарация

FLOTATION OF COPPER SULFIDE ORE USING ULTRA-LOW DOSAGE OF COMBINED COLLECTORS

N.I.Nosirov¹, Z.T.Abdatova²

¹Associate Professor of Almalyk State Technical Institute, Uzbekistan

²student of Almalyk State Technical Institute, Uzbekistan

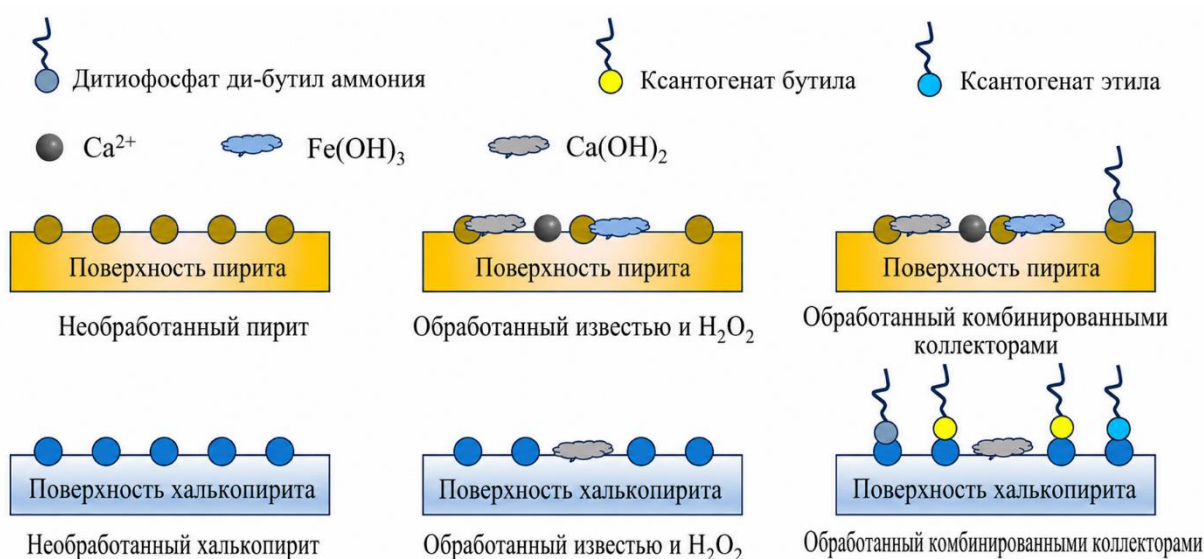
ABSTRACT

Copper sulfide ores frequently co-occur with pyrite, presenting a significant challenge for their selective separation during beneficiation processes. Despite advancements in flotation technology, there remains a critical need for efficient methods to enhance copper recovery while suppressing pyrite interference, particularly without compromising the associated precious metals such as gold and silver. Current practices often struggle with achieving high selectivity and recovery



while maintaining environmental sustainability. Here, we investigate the efficacy of a ternary collector mixture consisting of ammonium dibutyl dithiophosphate (ADD), butyl xanthate (BX), and ethyl xanthate (EX) for the selective flotation of copper sulfide from a complex ore containing 0.79% Cu and associated precious metals (0.233 g/t Au and 5.83 g/t Ag). A combination of lime and hydrogen peroxide as inhibitors was employed to suppress pyrite effectively under alkaline conditions (pH = 11.33). The results demonstrate that the optimized ternary collector system (ADD:BX:EX at a ratio of 1:0.5:0.5) significantly improves the copper grade and recovery at an ultra-low dosage of 10 g/t. The optimized flotation method using the combined collectors and inhibitors effectively separated chalcopyrite from pyrite, achieving a copper concentrate with 20.08% Cu content and a recovery of 87.73%. Additionally, the process yielded notable recoveries of gold (9.22%) and silver (26.66%). These findings advance the field by providing a viable and environmentally conscious approach to the beneficiation of sulfide ores, potentially serving as a blueprint for processing similar mineral deposits while minimizing reagent usage and costs.

Keywords: copper sulfide ore; process mineralogy; ultra-low dosage; combined collectors; flotation separation



Вступление



Селективное отделение минералов сульфида меди из пирита всегда было технической задачей, которую необходимо срочно решить на флотационных установках. Флотация является наиболее широко используемой техникой отделения и обогащения металлических полезных ископаемых. Если содержание пирита в сульфидной руде меди низкое (<5%), значения рН условия измельчения и флотационной пульпы, как правило, повышаются, что подавляет флотацию пирита. Ранее проведенное исследование показало, что добавление депрессантов может быть использовано для контроля степени окисления поверхности пирита, что является ключом к его гидрофильности, путем образования вторичных минералов железа, таких как гидроксид железа. Высокий рН способствует окислению поверхности пирита, выделяя в раствор ионы железа и сульфата. Эти продукты гидрофильного окисления вступают в реакцию с катионами, такими как Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} и др., что позволяет эффективно разделять пирит и халькопирит. Ху и другие установили, что образование гидрофильных осадков, таких как гидроксид кальция, сульфат кальция и гидроксид железа, в высокощелочном известковом процессе в первую очередь является причиной снижения флотабельности пирита. Однако халькопирит часто тесно сосуществует с пиритом (распространенным минералом породы) и драгоценными металлами, такими как золото и серебро. В условиях высокого рН поверхность халькопирита легко эродируется ионами OH^- , в результате чего образуются оксиды железа и снижается флотабельность. И не способствует извлечению попутных драгоценных металлов, таких как золото и серебро.

Однако в рудах с высоким содержанием пирита усиливается анодный эффект халькопирита и пирита, что способствует окислительному растворению халькопирита и образованию ионов меди, которые адсорбируются на поверхности пирита, повышая его флотабельность. В условиях высокой щелочности окислители могут дополнительно



способствовать образованию гидрофильных компонентов на поверхности пирита с целью снижения его флотативности, тем самым достигая флотационного разделения сульфидных минералов меди и получения высококачественного концентрата меди. Поэтому флотабельность пирита может быть синергетически подавлена добавлением извести и окислителей (H_2O_2 , $Ca(ClO)_2$, Na_2SO_3) при высоком pH ($pH > 8$). Кроме того, гидрофобность халькопирита зависит от поверхностного окисления, которое растворяет ионы меди и железа и образует полисульфидный слой в щелочных условиях.

При флотационном разделении медной серы низкосортные и трудноотбираемые сульфидные руды часто сопровождаются драгоценными металлами, такими как золото и серебро, поэтому выбор коллекторов особенно важен. По сравнению с традиционным методом флотации высокодозированного ксантагета, комбинированный коллектор широко используется в области флотации полезных ископаемых благодаря преимуществам высокой эффективности сбора и низкой дозировки [28,29,30]. Дхар [31] провел систематическое исследование медной руды Нуссира, используя систему DBD и смешанных коллекторов (SIBX и DBD). Результаты показывают, что по сравнению с использованием только коллектора ДБД, смешанный коллектор с ксантогенатом-дитиофосфатом (соотношение 1:3) улучшил сорт и извлечение меди. Далее Dhar [32] провел технико-экономическое исследование селективной флотации сульфидов с использованием SIBX, ВВТ, DBD и их смесей в качестве коллекторов. По сравнению с одним коллектором, смешанный коллектор ББТ и СИБХ (с соотношением 3:1) улучшил сорт меди и извлечение продуктов флотации. В то же время порядок добавления комбинированных коллекторов также повлияет на результаты флотации меди. Большинство флотационных экспериментов используют бинарные комбинированные коллекторы и новые



коллекторы, однако мало исследований по совместному использованию трех традиционных коллекторов: дибутилдитиофосфата аммония (ADD), бутилксантата (BX) и этилксантата (EX).

Целью данной работы была разработка эффективного процесса флотации меди с использованием сверхнизкой дозировки комбинированных коллекторов для флотационного разделения и обогащения сульфидной медной руды. Ультранизкая дозировка (<20 г/т) означает использование минимального количества флотореагентов при сохранении высокой эффективности флотации. Сначала была оценена процессуальная минералогия руды, чтобы обеспечить теоретическую основу для определения соответствующего процесса флотации. Затем было проведено флотационное разделение сульфидных минералов меди и изучена наилучшая система реагентов и технологическая схема. Высококачественный продукт медного концентрата был получен с помощью замкнутого испытания.

Список литературы

1. Хосо С.А.; Гао З.; Тянь М.; Ху, Ю.; Сунь В. Явление синергетической депрессии органического и неорганического реагента на FeS₂ в схеме флотации CuS. Дж. Мол. Liq. 2020, 299, 112198. [Google Scholar] [CrossRef]
2. Пенг Ю.; Грано, С.; Форнасьеро Д.; Рэлстон Дж. Контроль условий измельчения при флотации халькопирита и его отделении от пирита. Int. Дж. Майнер. Процесс. 2003, 69, 87–100. [Google Scholar] [CrossRef]
3. Бруккард У.Дж.; Спарроу Г.Дж.; Вудкок Дж.Т. Обзор влияния среды измельчения на флотацию сульфидов меди. Int. Дж. Майнер. Процесс. 2011, 100, 1–13. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Пенг Ю.; Грано С. Влияние измельчающих сред на активацию флотации пирита. Шахтёр. Англ. 2010, 23, 600–605. [Google Scholar] [CrossRef]



5. Ли Ю.; Чен Дж.; Канг, Д.; Го Дж. Депрессия пирита в щелочной среде и его последующая активация медью. Шахтёр. Англ. 2012, 26, 64–69. [Google Scholar] [CrossRef]
6. Фучида, С.; Сюэ Дж.; Ишида С.; Токоро К. Кинетическое исследование начального окислительного растворения пирита в щелочных средах (рН 9–12) и влияние Са и Mg: фундаментальное исследование депрессии пирита при пенной флотации. J. Поддерживать. Металл. 2022, 8, 732–741. [Google Scholar] [CrossRef]
7. Жак С.; Привет, К.Дж.; Бастин Д. Окислительное выветривание сульфидной руды меди и его влияние на химию пульпы и флотацию. Шахтёр. Англ. 2016, 99, 52–59. [Google Scholar] [CrossRef]
8. Инь У.; Сюэ Дж.; Ли Д.; Сун, К.; Яо Дж.; Хуанг С. Флотация сильно окисленного пирита в присутствии мелких частиц дигенита. Шахтёр. Англ. 2018, 115, 142–149. [Google Scholar] [CrossRef]
9. Римстидт Дж.Д.; Вон Д.Дж. Окисление пирита: современная оценка механизма реакции. Геохим. Космохим. Acta 2003, 67, 873–880. [Google Scholar] [CrossRef]
10. Нью, Х.; Руан, Р.; Ся, Л.; Ли, Л.; Sun, Н.; Цзя Ю.; Тан К. Корреляция поверхностной адсорбции и окисления с разницей флотабельности галена и пирита в высокощелочных известковых системах. Лэнгмюр 2018, 34, 2716–2724. [Google Scholar] [CrossRef]
11. Чен Дж. Взаимодействие флотационных реагентов с ионами металлов на поверхности минералов: перспектива из координационной химии. Шахтёр. Англ. 2021, 171, 107067. [Google Scholar] [CrossRef]
12. Му, Ю.; Пенг Ю.; Лаутен Р.А. Депрессия пирита при селективной флотации различными системами реагентов — Обзор литературы. Шахтёр. Англ. 2016, 96, 143–156. [Google Scholar] [CrossRef]