

Л. В. СЕМУШКИНА, Д. К. ТУРЫСБЕКОВ, Н. К. ТУСУПБАЕВ,
С. Б. САТЫЛГАНОВА, А. А. МУХАНОВА*

*АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения»,
Алматы, *syomushkina.lara@mail.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ФЛОТОРЕАГЕНТОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Изучены возможности переработки хвостов флотационного обогащения Жезказганской обогатительной фабрики с применением модифицированных полифункциональных флотореагентов. Модифицированный полифункциональный собиратель представляет собой смесь композиционного аэрофлота, ТС-1000 и бутилового ксантогената. Соотношение реагентов составляет 1:1:3. Преимуществом предлагаемого флотореагента является то, что он имеет в своем составе две полярные группы и длинный углеводородный радикал. Такая структура в воде во флотационном процессе играет двоякую роль: во-первых, как собиратель, адсорбируясь на поверхности минерала, образует металлокомплексы с полярными группами в виде мостиков, во-вторых, аполярные радикалы флокулируют ошамованные полезные компоненты, тем самым интенсифицируя процесс флотации. Схема флотации хвостов обогащения Жезказганской обогатительной фабрики включает доизмельчение, основную и контрольную флотации, три перемешивания чернового медного концентрата. Показано, что при флотации хвостов с применением меньшего количества модифицированного реагента, по сравнению с расходом чистого бутилового ксантогената, получается черновой медный концентрат с содержанием меди 13,0 % при извлечении 80,22 %. По сравнению с базовой технологией содержание меди в черновом концентрате повышается на 5,1 %, извлечение – на 31,4 %.

Ключевые слова: флотационные хвосты, доизмельчение, извлечение, полифункциональный реагент, флотация, медный концентрат, обогащение.

Введение. Поиск и разработка новых более селективных реагентов-собираателей для совершенствования процесса флотации является одной из первоочередных задач при создании инновационных технологий флотационного разделения веществ и минералов. В качестве собирателя предложено большое количество органических соединений, однако используется на практике не более 160 [1]. Данные реагенты применяются для селективной гидрофобизации (понижения смачиваемости) поверхности определенных минеральных частиц, что вызывает прилипание к частицам газовых пузырьков. В зависимости от структурных признаков собиратели могут быть анионными, катионными, амфотерными и неионогенными. В молекулах катионных и анионных реагентов содержатся полярные (карбокси-, аминогруппы и т. д.) и неполярные (углеводородные) группы. Первые обраще-

ны к минералу и гидрофобизируют поверхность частиц, сорбируясь на ней. Неполярные группы обращены в воду и, отталкивая ее молекулы, предотвращают гидратацию поверхности частиц.

Современная практика применения собирателей при флотации сульфидных руд в большинстве случаев предусматривает совместное использование ксантогенатов и аэрофлотов. Дополнительное к ксантогенатам использование аэрофлотов дает возможность не только улучшить качество получаемых сульфидных концентратов за счет более селективного действия аэрофлотов, но и повысить извлечение металлов за счет способности аэрофлотов эффективно флотировать тонкие частицы.

В работе [2] приведены результаты лабораторных исследований и промышленных испытаний по применению гексилового ксантогената фирмы «Хёхст» и его смесей с бутиловым и

изопропиловым ксантогенатами при флотации сульфидных медных минералов. Показана технологическая и экономическая эффективность использования смеси гексилового и бутилового ксантогенатов при снижении ее расхода с 70 до 50 г/т. Прирост извлечения меди при этом составил около 0,4 %.

В качестве более селективного собирателя при разделении пирита и арсенопирита предложено использовать продукт взаимодействия ксантогената и пропиленхлоргидрина, который получил наименование реагент ПРОКС. Результаты экспериментальных исследований собирателей из класса диалкилдитиофосфатов (аэрофлотов) показывают, что их совместное применение с ксантогенатами во многих случаях обеспечивает повышение извлечения металлов [3-6]. При их оптимальном соотношении наблюдается наиболее эффективная флотация минералов, не обладающих природной гидрофобностью. При наличии на поверхности только одной из форм сорбции собирателя такие минералы плохо флотируются. Для эффективной флотации природно-гидрофобных минералов достаточно наличия на их поверхности одного физически адсорбированного собирателя.

Полученные результаты подтверждаются широким кругом исследований и позволяют объяснить практически все непонятные с позиций рассмотренных теорий и гипотез явления во флотации. Они дают возможность также считать, что сущностью методов повышения эффективности и интенсификации флотации, часто приписываемых синергизму действия реагентов, является обеспечение оптимального соотношения химически закрепившегося и физически адсорбированного собирателя на поверхности флотируемых минералов.

Использование смесей собирателей служит универсальным средством для получения необходимого соотношения в каждом конкретном случае количеств химически и физически сорбированного собирателя на поверхности флотируемого минерала. В случаях комбинаций анионного и катионного собирателей применяется противоположная направленность их гидролиза с изменением pH, а при использовании смеси ксантогенатов – различная способность их низших и высших гомологов к окислению на минеральной поверхности до диксантогенида.

В настоящее время в переработку широко вовлекаются труднообогатимые, упорные руды

и техногенное сырье, которые характеризуются низким содержанием ценных компонентов, тонкой вкрапленностью минеральных комплексов и близкими технологическими свойствами слагающих их минералов.

Важным моментом, определяющим получение высоких технологических результатов, является подготовка лежалых хвостов перед обогащательными операциями. Подготовительные операции могут включать доизмельчение хвостов, фракционирование, обесшламливание и отмывку [7-9].

Необходимость полноты и комплексности освоения различных месторождений, обеспечение высокой рентабельности предприятий, улучшения экологической обстановки в горнопромышленных регионах определяют актуальность научных исследований в направлении интенсификации методов и способов извлечения ценных компонентов из труднообогатимого и техногенного сырья [10, 11].

Методы исследований: ИК-спектроскопия (ИК-Фурье спектрометр «Avatar-370», США), рентгенофлуоресцентный анализ (рентгенофлуоресцентный спектрометр с волновой дисперсией Venus-200 PANalytical B.V., Голландия); химический анализ, флотация (флотомашины ФЛ-290, ФМ-1, ФМ-2, Россия).

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. Проведены исследования возможности переработки хвостов флотационного обогащения Жезказганской обогащательной фабрики и хвостов флотации Тишинского месторождения с применением полифункциональных флотореагентов. Для получения полифункциональных флотореагентов выбрана смесь реагентов, собирательная способность которой будет изменяться в зависимости от pH среды. Это дает возможность селективно разделить сульфидные минералы с близкими физико-химическими свойствами. Поэтому в качестве исходных реагентов были взяты: бутиловый ксантогенат (БКс), тионокарбамат марки ТС-1000 и композиционный аэрофлот. Композиционный аэрофлот синтезирован из очищенного сивушного масла и сульфида фосфора (V). Основные характеристики используемых сульфгидрильных собирателей представлены в таблице 1.

Преимуществом предлагаемых полифункциональных флотореагентов по сравнению с другими известными реагентами является то,

Таблица 1 – Основные характеристики сульфгидрильных собирателей

| Тип | Название | Структурная формула | Характеристика |
|--------------|------------------------------------|---|--|
| Ионогенные | Бутиловый ксантогенат | $\text{R}-\text{O}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=S} \\ \text{SNa} \end{array}$ | Кристаллическое вещество желтого цвета со специфическим запахом меркаптанов, хорошо растворяется в воде. Ксантогенаты легко окисляются даже кислородом воздуха в диалкилксантогениды |
| | Композиционный аэрофлот | $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \diagdown \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O} \\ \text{H}_3\text{C} \diagup \text{P} \\ \text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O} \end{array} \begin{array}{l} \text{=S} \\ \text{S} - \text{Na} \end{array}$ | |
| Неионогенные | 4-N-аллил-о-изо-бутилтионокарбамат | $\text{R}-\text{O}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=S} \\ \text{NH}-\text{R} \end{array}$ | Коричневые маслянистые жидкости со слабым запахом, практически не растворимые в воде. Они устойчивы в кислых средах, с катионами тяжелых металлов дают беловатые осадки. |
| | Полифункциональный реагент | Смесь ксантогената, тионокарбамата и композиционного аэрофлота | |

что они имеют в своем составе две полярные группы и длинный углеводородный радикал. Такая структура в воде во флотационном процессе играет двоякую роль: во-первых, как собиратель, адсорбируясь на поверхности минерала, образует металлокомплексы с полярными группами в виде мостиков, во-вторых, аполярные радикалы флокулируют ошламованные полезные компоненты, тем самым интенсифицируя процесс флотации. Установлено, что оптимальное соотношение реагентов в составе полифункционального реагента следующее: композиционный аэрофлот : тионокарбамат TC-1000 : бутиловый ксантогенат натрия = 1:1:3.

Изучен минеральный и гранулометрический состав хвостов флотационного обогащения Жезказганской обогатительной фабрики и отработавшего технологического режима флотации хвостов флотационного обогащения с применением базовых флотореагентов.

По результатам химического анализа в жезказганских хвостах содержится, %: 0,13 меди; 0,01 свинца; 0,01 цинка; 66,31 SiO₂; 2,3 железа общ.; 11,8 Al₂O₃; 5,96 CaO; <0,0003 Cd; 0,16 серы.

ИК-спектр хвостов флотационного обогащения получен в спектральном диапазоне 4000-250 см⁻¹ от препарата в виде суспензии на вазелиновом масле в окнах KRS-5. В качестве спектра сравнения снят спектр вазелинового масла (рисунок 1).

В ИК-спектре анализируемой пробы наблюдаются полосы поглощения, характерные для соединений:

- кварца α-SiO₂ – 1165, 1090, 798, 779, 695, 517, 465, 397, 372 см⁻¹.
- кальцита CaCO₃ – 1798, 1423, 876, 714 см⁻¹.
- плагиоклаза типа альбита Na[AlSi₃O₈] – 1165, 1090, 994п, 762п, 744п, 649, 611п, 588, 534п, 476п, 465, 431 см⁻¹.
- ортоклаза K[(Si, Al)4O8] - 1035, 762п, 726, 649, 588, 431 см⁻¹.
- мусковита KAl₂[(OH,F)₂] AlSi₃O₁₀] – 3625п, 1035, 534п, 476п, 435 см⁻¹.

На спектральной кривой в диапазоне валентных колебаний О-Н наблюдаются полосы поглощения с максимумами при волновых числах 3625, 3564, 3408 см⁻¹, полоса деформационных колебаний воды δ НОН зафиксирована при волновом числе 1615 см⁻¹.

Полоса поглощения в диапазоне проявления валентных колебаний ОН группы с максимумом при волновом числе 3564 см⁻¹ может относиться к гидрослюде и к минералу типа Rhipidolith (Prochlorit) – (Mg, Fe, Al)₃ [(OH)₂]Al_{1,2-1,5}Si_{2,8-2,5}O₁₀]Mg₃(OH)₆.

В длинноволновой области, где наблюдается проявление связей Me – O, Me – S, зафиксированы полосы поглощения при волновых числах 336, 264 см⁻¹, которые могут со-

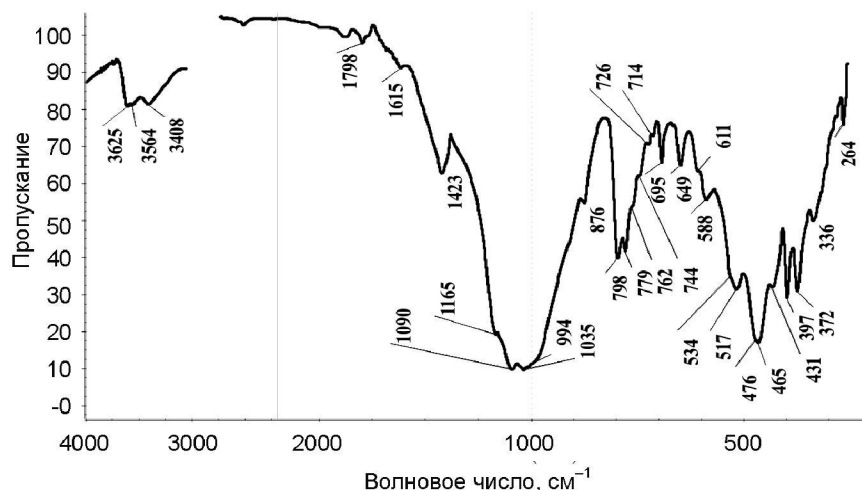


Рисунок 1 – Инфракрасный спектр хвостов флотационного обогащения

ответствовать валентным колебаниям связей типа $\text{Cu}^{2+}-\text{O}$ (в нитрате, сульфате) – 336 см^{-1} ; $\text{Cu}^{+}-\text{O}$ (в солях, в которых Cu находится в шестерной координации) – 264 см^{-1} .

Проведен дисперсионный анализ хвостов и изучено распределение меди и железа по классам крупности. Судя по результатам таблицы 2, основная часть меди (72,43 %) содержится в классе крупности -74+50 мкм, а также в классе мельче 10 мкм (17,2 %).

Проведены исследования по отработке технологических режимов флотации хвостов флотационного обогащения Жезказганской обогатительной фабрики с применением базовых и полифункциональных флотореагентов. Отрабатывались режимы доизмельчения хвостов обогатительной фабрики, определялся оптимальный расход реагентов. Флотацию проводили как с

отдельными реагентами, так и с их различным сочетанием.

Схема флотации хвостов обогащения с получением черного медного продукта представлена на рисунке 2.

Результаты флотационного обогащения хвостов с оптимальными расходами реагентов представлены в таблице 3.

На основании полученных результатов можно заключить, что применение полифункционального реагента (смесь композиционного аэрофлота, тионокарбамата ТС-1000 и бутилового ксантогената в соотношении 1:1:3) в цикле флотации хвостов обогащения позволяет существенно улучшить технологические показатели обогащения по сравнению с другими реагентами.

По базовой технологии с применением только бутилового ксантогената (250 г/т) получен

Таблица 2 – Результаты дисперсионного анализа хвостов флотационного обогащения Жезказганской медной фабрики

| Класс крупности, мкм | Выход, % | | Содержание, % | | Извлечение, % | |
|-------------------------|----------|-------|---------------|------|---------------|-------|
| | г | % | Cu | Fe | Cu | Fe |
| -74+60 | 82,3 | 41,15 | 0,11 | 4,68 | 42,26 | 42,52 |
| -60+50 | 10,1 | 5,05 | 0,64 | 3,96 | 30,17 | 4,41 |
| -50+40 | 10,5 | 5,25 | 0,05 | 3,6 | 2,45 | 4,17 |
| -40+30 | 14,5 | 7,25 | 0,04 | 3,6 | 2,71 | 5,76 |
| -30+20 | 8,4 | 4,2 | 0,046 | 2,88 | 1,80 | 2,67 |
| -20+10 | 13,8 | 6,9 | 0,053 | 4,68 | 3,41 | 7,13 |
| -10+0 | 60,4 | 30,2 | 0,061 | 5,0 | 17,2 | 33,34 |
| Исх. хвосты | 200,0 | 100,0 | 0,1071 | 4,53 | 100,0 | 100,0 |

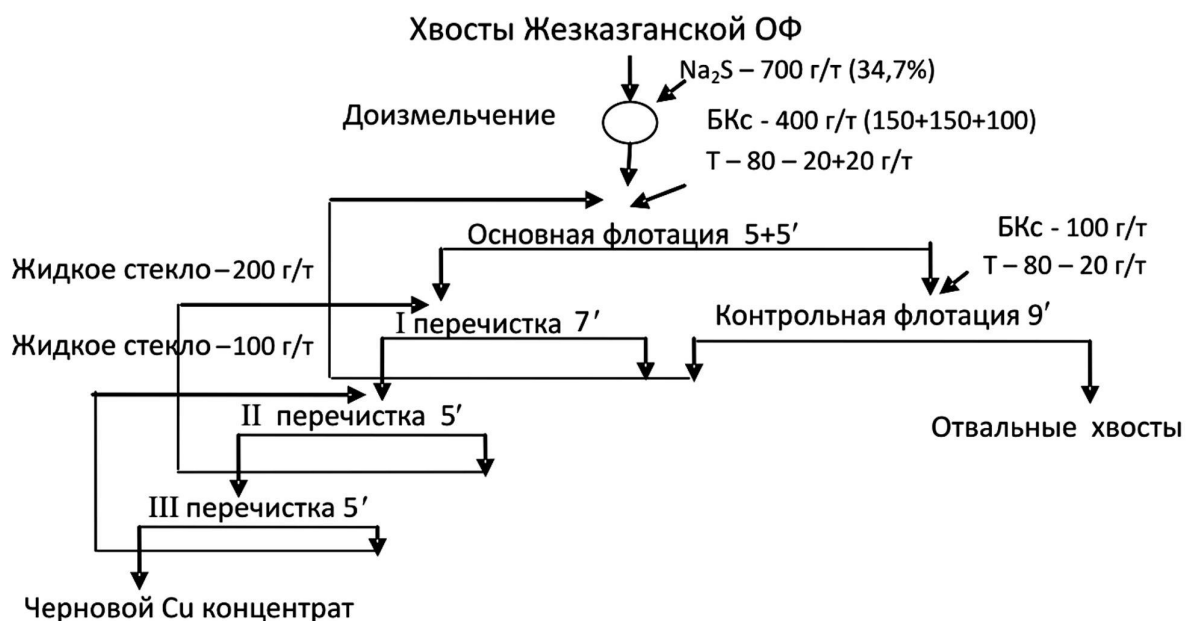


Рисунок 2 – Схема флотации хвостов обогащения Жезказганской обогатительной фабрики с получением черного медного концентрата

Таблица 3 – Результаты флотационного обогащения хвостов Жезказганской медной фабрики с различными реагентами

| Примечание | Выход, % | Содержание, % | | Извлечение, % | | Примечание |
|--|------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|---|
| | | Си | Fe | Си | Fe | |
| Черновой Си конц-т Отв. хвосты Исход. хвосты флот. | 0,6 99,4 100,0 | 7,9 0,05 0,097 | 10,7 3,2 3,25 | 48,82 51,18 100,0 | 1,98 98,02 100,0 | БКс 250 г/т |
| Черновой Си конц-т Отв. хвосты Исход. хвосты флот. | 0,8 99,2 100,0 | 5,2 0,05 0,091 | 9,8 3,1 3,15 | 45,61 54,39 100,0 | 2,49 97,51 100,0 | Композиционный аэрофлот 300 г/т |
| Черновой Си конц-т Отв. хвосты Исход. хвосты флот. | 0,6 99,4 100,0 | 10,5 0,03 0,093 | 10,2 3,3 3,34 | 67,87 32,13 100,0 | 1,83 98,17 100,0 | Тионокарбамат 60 г/т |
| Черновой Си конц-т Отв. хвосты Исход. хвосты флот. | 0,65 99,35 100,0 | 8,6 0,04 0,096 | 10,9 3,2 3,25 | 58,45 41,55 100,0 | 2,18 97,82 100,0 | БКс + композиционный аэрофлот, 110 г/т |
| Черновой Си конц-т Отв. хвосты Исход. хвосты флот. | 0,62 99,38 100,0 | 12,1 0,023 0,098 | 10,7 3,1 3,15 | 76,65 23,35 100,0 | 2,11 97,89 100,0 | БКс + тионокарбамат 60 г/т |
| Черновой Си конц-т Отв. хвосты Исход. хвосты флот. | 0,68 99,32 100,0 | 10,9 0,025 0,099 | 11,5 3,1 3,16 | 74,91 25,09 100,0 | 2,48 97,52 100,0 | Композиционный аэрофлот + тионокарба- мат, 90 г/т |
| Черновой Си конц-т Отв. хвосты Исход. хвосты флот. | 0,62 99,38 100,0 | 13,0 0,02 0,100 | 9,6 3,3 3,34 | 80,22 19,78 100,0 | 1,78 98,22 100,0 | Полифункциональный реагент, 25 г/т |

черновой медный концентрат с содержанием меди 7,9 % при извлечении 48,82 %. Применение тионоксидата (60 г/т) и его сочетания с бутиловым ксантогенатом позволяет повысить содержание меди в черновом медном концентрате до 12,1 % и извлечение меди до 76,65 %.

Наилучшие показатели по содержанию и извлечению меди из хвостов обогащения Жезказганской медной обогатительной фабрики достигнуты при применении полифункционального реагента, расход которого (25 г/т) гораздо ниже базовых реагентов. При его применении получен черновой медный концентрат с содержанием меди 13,0 % при извлечении 80,22 %.

Выводы. На основе комплексных исследований выбран селективный модифицированный полифункциональный собиратель, состоящий из смесей композиционного аэрофлота, ТС-1000 и бутилового ксантогената. Соотношение реагентов составляло 1:1:3.

Преимуществом предлагаемого флотореагента является то, что он имеет в своем составе две полярные группы и длинный углеводородный радикал. Такая структура во флотационном процессе в воде играет двойную роль: во-первых, как собиратель, адсорбируясь на поверхности минерала, образует металлокомплексы с полярными группами в виде мостиков, во-вторых, аполярные радикалы флокулируют ошламованные полезные компоненты, тем самым интенсифицируя процесс флотации.

Действие реагента изучено на хвостах флотационного обогащения Жезказганской обогатительной фабрики. Показано, что при флотации хвостов с применением меньшего по сравнению с бутиловым ксантогенатом расхода модифицированного реагента получен черновой медный концентрат с содержанием меди 13,0 % при извлечении 80,22 %. Сравнительно с базовой технологией содержание меди в черновом концентрате повышается на 5,1 %, извлечение – на 31,4 %.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Абрамов А.А. Роль форм сорбции собирателя в элементарном акте флотации // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2005. – № 1. – С. 96-108.
- 2 Отрожденнова Л.А., Рябой В.И., Кучаев В.А., Малиновская Н.Д. Флотация медных сульфидных руд гексиловым ксантогенатом фирмы «Хёхст» // Обогащение руд. – 2010. – № 4. – С. 9-12.

3 Рябой В.И., Кретов В.П., Смирнова Е.Ю. Использование диалкилдитиофосфатов при флотации сульфидных руд // IX Конгресс обогатителей стран СНГ: матер. конф. – Москва, МИСиС, 2013. – Т. 2. – С. 496-498.

4 Асончик К.М., Рябой В.И. Разработка технологии обогащения медно-цинковой руды с получением медного концентрата высокого качества // Обогащение руд. – 2009. – № 1. – С. 17-20.

5 Рябой В.И., Асончик К.М., Польшкин В.Н., Полтавская Л.М., Репина Н.В. Применение селективного собирателя при флотации медно-цинковых руд // Обогащение руд. – 2008. – № 3. – С. 20-22.

6 Рябой В.И., Шендерович В.А., Крепетов В.П. Применение аэрофлотов при флотации руд // Обогащение руд. – 2005. – № 6. – С. 43-44.

7 Бочаров В.А., Игнаткина В.А., Хачатрян Л.С. Переработка пиритных техногенных продуктов // IX Конгресс обогатителей стран СНГ: матер. конф., Москва, МИСиС, 2013. – Т. 1. – С. 122-125.

8 Xumeng Chen, Yongjun Peng, Dee Bradshaw The effect of particle breakage mechanisms during regrinding on the subsequent cleaner flotation // Minerals Engineering. – 2014. – V. 66-68. – P. 157-164.

9 Бочаров В.А., Игнаткина В.А. Рациональные технологии флотации труднообогатимых колчеданных руд цветных металлов // Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья – Плаксинские чтения: матер. Междунар. совещ. – Верхняя Пышма, Россия, 2011. – С. 17-22.

10 Чантурия В.А., Козлов А.П. Прогрессивные технологии комплексной и глубокой переработки природного и техногенного минерального сырья // Комбинированные процессы переработки минерального сырья. Теория и практика: матер. Междунар. конф. – Санкт-Петербург, Россия, 2015. – С. 12.

11 Рудой Г.Н., Волкова Н.А., Шадрюнова И.В., Зелинская И.В. Технологические, экономические и экологические аспекты переработки техногенного сырья горно-металлургических предприятий // Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья – Плаксинские чтения: матер. Междунар. совещ. – Верхняя Пышма, Россия, 2011. – С. 6-12.

REFERENCES

- 1 Abramov A.A. Rol' form sorbtzii sobiratelja v ehlementarnom akte flotatsii (The role of the collector in the form of sorption elementary act of flotation). *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh = Physical and technical problems of mining*. 2005. 1. 96-108 (in Russ.).
- 2 Otrozhdenнова L.A., Ryaboy V., Kuchaev V.A., Malinovskaya N.D. Flotatsiya mednykh sulfidnykh rud geksilovym ksatogenatom firmy «Hyohst» (Flotation of copper sulfide ores by hexyl xanthogenate of «Hyohst» firm). *Obogashchenie rud = Ore beneficiation*. 2010. 4. 9-12 (in Russ.).

3 Ryaboj V.I., Kretov V.P., Smirnova E.Yu. *Ispol'zovanie dialkilditiofosfatov pri flotatsii sulfidnykh rud* (Using dialkylthiophosphates the flotation of sulphide ores). *Materialy IX Kongressa obogatiteley stran SNG, MISiS* (The IX Congress of CIS countries dressers: proceedings of. Conf., MISA). Moscow, Russia. **2013**. 2. 496-498 (in Russ.).

4 Asonchik K.M., Ryaboj V.I. *Razrabotka tekhnologii obogashcheniya medno-tsinkovoy rudy s polucheniem mednogo kontsentrata vysokogo kachestva* (Development of technology for enrichment of copper-zinc ore to produce copper concentrate of high quality). *Obogashchenie rud = Ore beneficiation*. **2009**. 1. 17-20 (in Russ.).

5 Ryaboj V.I., Asonchik K.M., Pol'kin V.N., Poltavskaya L.M., Repina N.V. *Primenenie selektivnogo sobiratelya pri flotatsii medno-tsinkovykh rud* (Use of selective collectors in the flotation of copper-zinc ores). *Obogashchenie rud = Ore beneficiation*. **2008**. 3. 20-22 (in Russ.).

6 Ryaboj V.I., Shenderovich V.A., Krepetov V.P. *Primenenie aeroflotov pri flotatsii rud* (Application of Aeroflot in the flotation of ores). *Obogashchenie rud = Ore beneficiation*. **2005**. 6. 43-44 (in Russ.).

7 Bocharov V.A., Ignatkina V.A., Khachatryan L.S. *Pererabotka piritnykh tekhnogennykh produktov* (Recycling pyrite technological products). *IX Kongress obogatiteley stran SNG: mater. konf., MISiS* (The IX Congress of CIS countries dressers: proceedings of. Conf., MISA). Moscow, Russia. **2013**. 1. 122-125 (in Russ.).

8 Xumeng Chen, Yongjun Peng, Dee Bradshaw The effect of particle breakage mechanisms during regrinding on the subsequent cleaner flotation. *Minerals Engineering*. **2014**. 66-68. 157-164 (in Eng.).

9 Bocharov V.A., Ignatkina V.A. *Ratsional'nye*

tekhnologii flotatsii trudnoobogatimyykh kolchedannykh rud tsvetnykh metallov (Rational technology refractory pyrite flotation of base metal ores). *Novye tekhnologii obogashcheniya i kompleksnoj pererabotki trudnoobogatimogo prirodnogo i tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya* (Plaksinskie chteniya): mater. Mezhdunar. Soveshchaniya (New technologies of enrichment and processing of refractory complex natural and secondary mineral raw materials (Plaksin readings): proceedings of Intern. Conf.) Verkhnyaya Pyshma, Russia, **2011**. 17-22 (in Russ.).

10 Chanturiya V.A., Kozlov A.P. *Progressivnye tekhnologii kompleksnoj i glubokoj pererabotki prirodnogo i tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya* (The progressive technology of complex and deep processing of natural and technogenic mineral raw materials). *Kombinirovannye protsessy pererabotki mineral'nogo syr'ya. Teoriya i praktika: mater. Mezhdunar. konf. Sankt-Peterburg* (The combined processes of minerals processing. Theory and practice: proceedings of Intern. Conf.). St. Petersburg, Russia. **2015**. 12 (in Russ.).

11 Rudoj G.N., Volkova N.A., Shadrinova I.V., Zelinskaya I.V. *Tekhnologicheskie, ekonomicheskie i ekologicheskie aspekty pererabotki tekhnogennogo syr'ya gorno-metallurgicheskikh predpriyatij* (Technological, economic and environmental aspects of processing of technogenic raw materials mining and metallurgical enterprises). *Novye tekhnologii obogashcheniya i kompleksnoj pererabotki trudnoobogatimogo prirodnogo i tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya* (Plaksinskie chteniya): mater. Mezhdunar. Soveshchaniya (New technologies of enrichment and processing of refractory complex natural and secondary mineral raw materials (Plaksin readings): proceedings of Intern. Conf.) Verkhnyaya Pyshma, Russia, **2011**. 6-12 (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Жезқазған фабрикасындағы қалдықтарға (Қазақстан) түрлендірілген полуфункционалдық флотореагенттерді қолдана отырып, байытылған флотациялық қалдықтарды өңдеудегі мүмкіншіліктер қарастырылды. Түрлендірілген полуфункционалдық жинағыштар, композиционды аэрофлот, ТС-1000 және бутил ксантогенатының қоспасынан тұрады. Реагенттердің қатынасы 1:1:3 құрайды. Ұсынылып отырған флотореагенттің артықшылығы, оның құрамы екі полярлы топтан және ұзын көмірсутек радикалынан тұрады. Бұндай құрылым флотациялық үрдістеі суда екі түрлі рөл атқарады: біріншіден, жинағыш, яғни минерал бетінде адсорбцияланады да, полярлы топтармен мостик түрдегі металлдықешен құрайды, ал екіншіден, аполярлы радикалдары шламданған пайдалы компоненттерді флокуляциялай отырып флотация үрдісінің қарқынды жүруіне себебін тигізеді. Түрлендірілген полуфункционалдық флотореагенттерді қолдана отырып, Жезқазған байыту фабрикасындағы байытылған флотациялық қалдықтарды өңдеудегі мүмкіншіліктер бойынша зерттеу жұмыстары жүргізілді. Жезқазған байыту фабрикасындағы байытылған флотациялық қалдықтардың сұлбасы: қайтадан ұнтақтау, негізгі, бақылау және тазаланбаған мыс концентратының үш тазалау флотациясынан тұрады. Жезқазған қалдықтарының флотациясына бутилді ксантогенатпен салыстыра отырып, түрлендірілген реагентті аз шығынмен қолданғанда, тазаланбаған мыс концентраты алынды, ондағы мыстың үлесі 13,0 % болғанда, бөліп алу дәрежесі 80,22 %. Базалық технологиямен салыстырғанда, тазаланбаған концентраттағы мыстың үлесі 5,1 %, ал, бөліп алу дәрежесі – 31,4 % жоғарлады.

Түйінді сөздер: флотациялық қалдықтар, қайтадан ұнтақтау, бөліп алу дәрежесі, полуфункционалдық реагент, флотация, мыс концентраты.

SUMMARY

The possibility for processing of flotation tailings by using modified multifunctional flotation reagent was studied in the article. The modified multifunctional collector is a mixture of composite Aeroflot, TS-1000 and butyl

xanthate with reactants ratios 1:1:3. The advantage of offered flotation reagent is its composition including two polar groups and long hydrocarbon radical. This structure at the flotation process in the water plays dual role: firstly, as a collector, adsorbing the mineral on the surface, forms metal complexes with polar groups in the form of weak links, secondly, apolar radicals flocculates sludgy valuable components, thereby intensifying the flotation process. The possibility for processing of tailings from ores floatation beneficiation at Zhezkazgan concentrating plant was investigated by application of these multifunctional flotation agents. The scheme of concentrating plant's tailings recycling by flotation includes regrinding, general and control flotation and three re-cleaning of rough copper concentrate. It is shown that at the flotation of Zhezkazgan concentrating plant's tailings by using lesser consumption of the modified reagent in comparison with initial butyl xanthate, rough copper concentrate was obtained with 80.22 % recovery and with copper content in it – 13.0 %. In comparison with the basic technology the content of copper in the rough concentrate increases by 5.1 %, and the recovery – increases by 31.4 %.

Key words: flotation tailings, re-grinding, extraction, recovery, multifunctional reagent, flotation, copper concentrate, beneficiation.

Поступила 05.11.2015



УДК 622.765

**Комплексное использование
минерального сырья. № 4. 2015**

М. Р. ШАУТЕНОВ, А. Н. АЙТУЛОВА*

*Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К. И. Сатпаева, Алматы, *shautenov_m@mail.ru*

АППАРАТ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ФЛОТАЦИОННЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ¹

Разработан аппарат для модифицирования флотационных реагентов на основе энергетических воздействий (ультразвукового и электрохимического), позволяющий улучшить технологические свойства обрабатываемых реагентов при флотационном обогащении полезных ископаемых. Совместное использование вышеуказанных видов энергетического воздействия обусловлено взаимодополняющими эффектами от каждого из них. Описан принцип работы аппарата. Показано, что для эффективного ведения процесса электрохимической обработки растворов реагентов требуется интенсивное перемешивание раствора для увеличения вероятности подхода ионов обрабатываемого реагента к поверхности электродов и отвода образованных продуктов в объем раствора, а самое главное – устранение процесса пассивации поверхности рабочих электродов, что достигается использованием ультразвуковых колебаний. Установлены технические параметры аппарата для указанной комбинированной обработки жидких сред: частота ультразвуковых колебаний – 2-40 кГц; интенсивность ультразвукового поля – 0,2-0,4 Вт/см²; поверхность рабочих электродов – 1,45×10⁻² м²; плотность тока – 140-220 А/м²; давление рабочей жидкости на входе – 0,2-0,4 МПа; производительность – 0,8-1,0 м³/ч. Использование указанных видов обработки реагентов расширяет номенклатуру веществ – флотаторов, которые в обычных условиях не могут быть использованы вследствие высоковязкости и/или нерастворимости в воде. Приведены примеры флотационного обогащения свинцово-цинковой руды с использованием раствора ксантогената, подвергнутого комплексной обработке, и необработанного. Установлено повышение извлечения свинца и цинка на 3,52 и 2,82 % соответственно, а также повышение качества указанных концентратов и снижение содержания свинца и цинка в отвальных хвостах флотации при использовании обработанного реагента. Разработанные метод и

¹Материалы статьи доложены на Международной научной конференции «Ресурсосберегающие технологии в обогащении руд и металлургии цветных металлов», г. Алматы, 14-17 сентября 2015 г.