© А.А. Кондратьева, В.И. Брагин, Е.А. Бурдакова, И.И. Бакшеева, А.А. Глумова, 2013

УДК 622.7

А.А. Кондратьева, В.И. Брагин, Е.А. Бурдакова, И.И. Бакшеева, А.А. Глумова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОЧЕТАНИЙ РЕАГЕНТОВ-СОБИРАТЕЛЕЙ

Исследованы возможности повышения технологических показателей флотации с применением сочетаний реагентов-собирателей.
Ключевые слова: полиметаллические руды, разделение минералов, флотируемость, реагенты-собиратели.

Основные технологические проблемы при обогащении полиметаллических руд обусловлены, как правило, разнообразием и сложностью вещественного состава, а также тонкой вкрапленностью ценных компонентов и тесной их ассоциацией друг с другом. Существующие технологии базируются на использовании сложных и развитых схем с многочисленными промпродуктовыми циклами, а также использовании повышенных расходов реагентов-собирателей в процессе флотации.

Однако существующие способы разделения минералов не лишены ряда недостатков, о чем свидетельствуют значительные потери металлов с разноименными концентратами, что характерно для большинства типов руд цветных металлов – медно-никелевых, медно-молибденовых, свинцово-цинковых и т.д.

Исходя из вышесказанного, очевидно, что существует необходимость разработки эффективных реагентных режимов, позволяющих повысить селективность разделения сульфидов металлов флотационным методом.

В качестве основного направления исследований было выбрано исследование возможности повышения технологических показателей флотации с применением сочетаний реагентов-собирателей.

Эффективность применения сочетаний реагентов была показана еще в работах И.И. Плаксина и С.П. Зайцевой, которые использовали микрорентгенографические методы анализа, что позволило установить повышение плотности слоев собирателей, адсорбированных на минеральной поверхности, а также более равномерное распределение при использовании этилового и бутилового ксантогентатов. Было отмечено, что применение указанных реагентов обеспечивает синергетический эффект взаимодействия, приводя к уменьшению общего расхода собирателей, улучшая извлечение крупнозернистых фракций, повышая скорость флотации минеральных частиц.

Публикации зарубежных авторов также свидетельствуют о положительных результатах при использовании сочетаний реагентов. Так, в работе S.J. Adkins и M.J. Pearse была установлена эффективность применения сочетания ксантогената и дитиофосфата для повышения извлечения меди

из руд смешанного типа [1]. В работах [2, 3, 4] была показана эффективность применения сочетаний реагентов-собирателей ксантогената и дитиокарбамата, ксантогената и дитиофосфата по сравнению с индивидуальным их применением в процессе флотации.

Применением сочетания слабого и сильного собирателей представляется возможность использовать различие в естественной флотируемости разных генераций сфалерита, что позволяет выделять природнонеактивированный сфалерит в готовый цинковый концентрат в рудном цикле, после выделения в коллективный концентрат легкофлотируемой генерации сфалерита. Исследования, проведенные на мономинеральных фракциях сфалерита, показали, что в наименьшей степени неактивированный сфалерит флотируется дитиофосфатами и Берфлотом 3035. Массовая доля сильного собирателя бутилового ксантогената в сочетании со слабым собирателем Берафлотом 3035 должна быть минимальная (10-30 %) для обеспечения высокого извлечения минералов цветных металлов [5, 6, 7].

В [8] представлены экспериментальные данные испытаний собирателей из класса диалкилдитиофосфатов (аэрофлотов) свидетельствуют о том, что их совместное применение с ксантогенатами во многих случаях обеспечивает повышение извлечения металлов.

Смесь ДЭДК (диэтилдитиокарбамата) и бутилового ксантогената натрия (1:1) является более эффективным собирателем активированного сфалерита, чем бутиловый ксантогенат натрия.

При совместном закреплении реагентов на поверхности минерала происходит перекрывание бутилового радикала нормального строения ксантогената с разветвленными двумя этильными радикалами ДЭДК. Флотационные опыты в открытом цикле показали возможность использования собирателя в виде смеси для цинковой флотации. При этом наблюдался его меньший расход по сравнению с бутиловым ксантогенатом натрия, при росте извлечения цинка до 5,13 % [9].

Объектом настоящих исследований является свинцово-цинковая руда Горевского месторождения Западного рудного тела.

Свинцово-цинковые руды находятся в мире повсеместно. Совместно с основными металлами они содержат серебро, золото, кадмий, индий и другие элементы. Для предконцентрации свинцово-цинковых руд применяют промывку, разделение в тяжелых суспензиях, радиометрическую сортировку, отсадку.

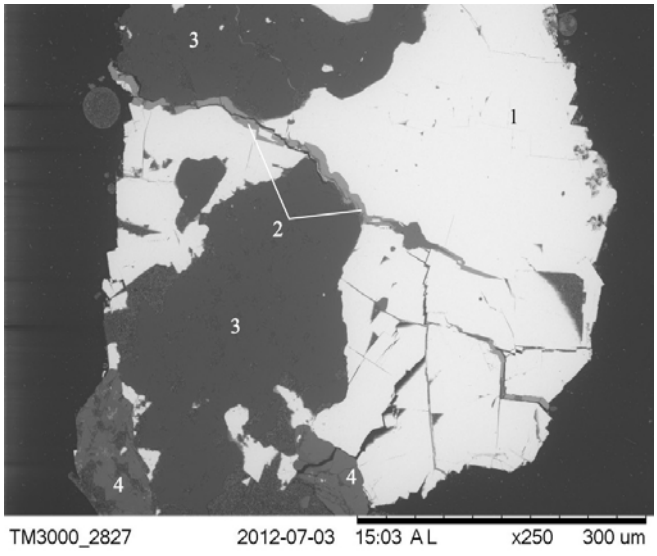

Рис. 1. Галенит (1) с прожилком сфалерита (2), вмещающая порода - кварц (3), карбонат (4)

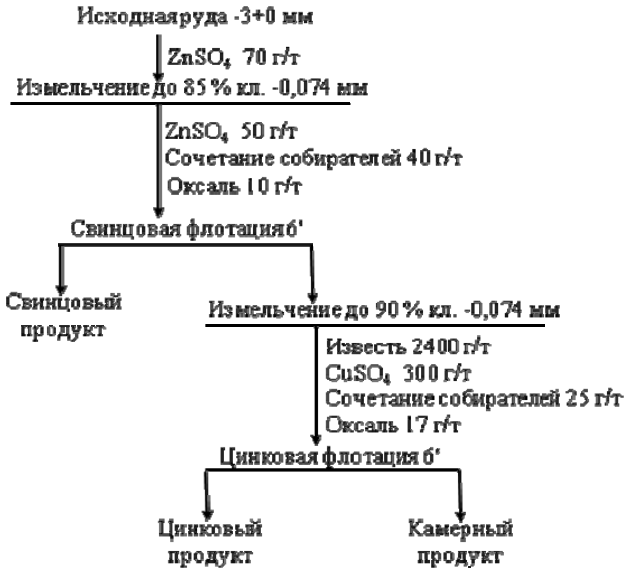

Рис. 2. Схема флотации руды с различными сочетаниями собирателей

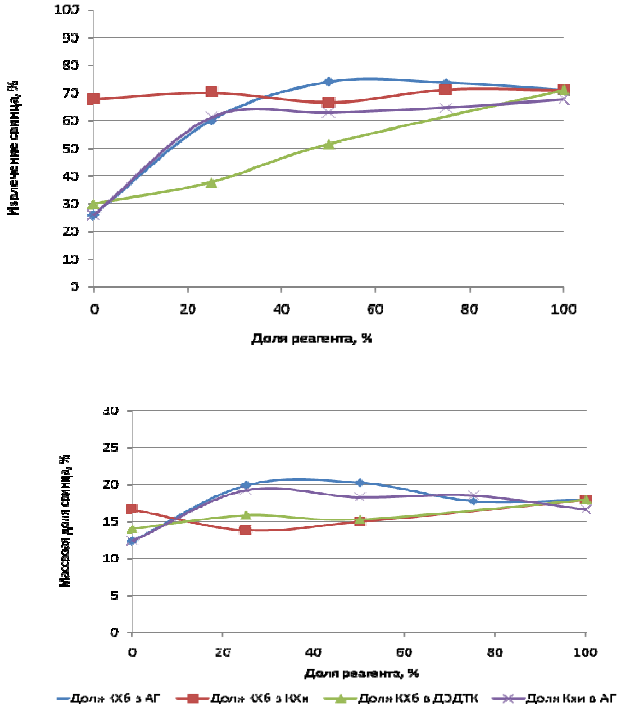

Рис. 3. Влияние различных сочетаний собирателей на флотацию галенита

Основной метод обогащения такого типа сырья – флотация. Интенсифицировать флотационный процесс возможно путем оптимизации состава адсорбционного слоя собирателя на поверхности флотируемых минералов.

В рудах исследуемого месторождения насчитывается около 40 минералов.

Минералогическим анализом установлено, что главными рудными минералами являются галенит и сфалерит, второстепенными – пирротин, пирит, редко встречается арсенопирит, марказит, магнезит. Из нерудных минералов наибольшим распространением пользуются сидероплезит и кварц. Наиболее распространенными среди материала пробы являются рудные метасоматиты смешанного кварц-сидеритового состава имеющие вкрапленные, прожилковые и прожилково-вкрапленные текстуры. Кварц в них наблюдается в просечках, прожилках и в основной массе, его содержание в отдельных случаях может достигать 60 %, а размеры его зерен от 0,01 до 0,5 мм в прожилках и гнездах.

Галенит является одним из главных минералов

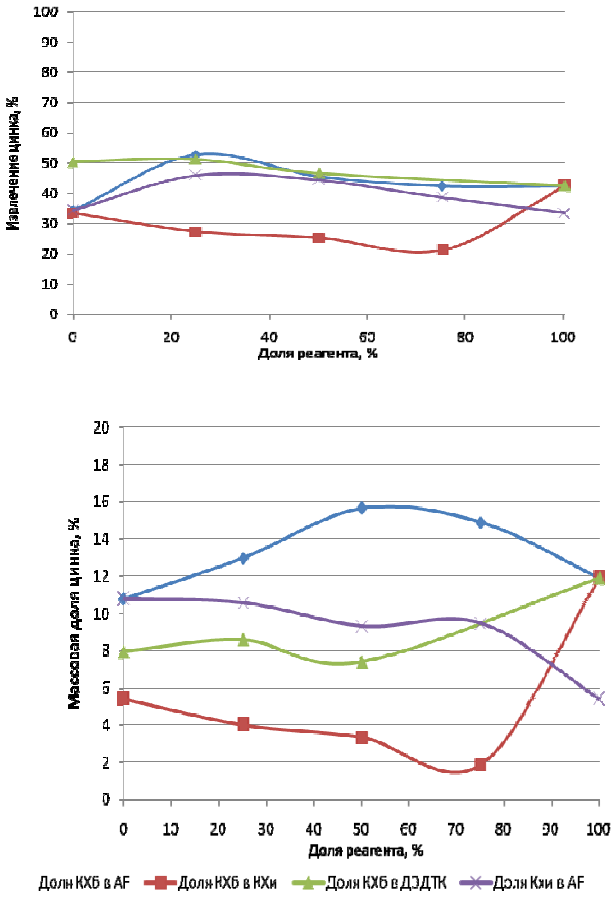

Рис. 4. Влияние различных сочетаний собирателей на флотацию сфалерита

пробы. Его количество колеблется значительно – от первых процентов до 30 % в отдельных образцах. Размеры выделений галенита достигают первых сантиметров, а
размеры его зерен – от пылевидных (микронных) до 0,5 мм.

Сфалерит встречается отдельно от других минералов лишь в единичных случаях. Обычно это сложные агрегаты в большей степени сфалерита с пирротином. Иногда такие агрегаты представляют собой изогнутые полоски размером до первых сантиметров, которые являются цементом кварцевых и сидеритовых обломков в брекчированной руде. Сфалерит также образует прожилки в галените и других минералах (рис. 1).

Согласно с проведенными ранее исследованиями нами были использованы следующие сочетания реагентов-собирателей: бутиловый ксантогенат калия (КХб) и бутиловый аэрофлот (AF), бутиловый и изопропиловый (КХи) ксантогенаты калия, бутиловый аэрофлот и изопропиловый ксантогенат калия, бутиловый ксантогенат калия и N, N-диэтилдитиокарбамат (ДЭДТК).

Для фабрик, перерабатывающих сульфидные свинцово-цинковые руды, базовой является схема прямой селективной флотации, также более эффективно использовать стадиальную схему. Максимальная сорбция бутилового ксантогената на галените наблюдается в нейтральной среде. Для депрессии сфалерита, не содержащего примесей меди, достаточно подачи одного цинкового купороса [10].

Обогащение осуществлялось по селективной схеме при крупности измельчения исходной руды для свинцовой флотации 85 % класса -0,074 мм и доизмельчением перед цинковой флотацией до 95 % класса -0,074 мм в мельнице с поворотной осью при соотношении твердое : жидкое : шары =1:0,5:20.

Для депрессии минералов цинка подавали цинковый купорос в измельчение и свинцовую флотацию, расход собирателей составлял 40 г/т. В цинковом цикле регулятором среды являлась известь, а активатором медный купорос, расход собирателей составлял 25 г/т. В качестве вспенивателя применяли оксаль (рис. 2).

Результаты проведения опытов представлены на рис. 3 и 4 для свинцового и цинкового продуктов соответственно.

Исходя из данных, изображенных на графиках, для дальнейших экспериментов было выбрано сочетание реагентов собирателей ксантогенат бутиловый калия (25 %) и аэрофлот (75 %) при общем расходе 40 г/т для свинцовой флотации и 25 г/т для цинковой флотации. При таком соотношении возможно получить свинцовый продукт с содержанием свинца 20,21 % при извлечении 73,9 %. Цинковый продукт, полученный при предлагаемом соотношении реагентов, содержит 12,962 % сфалерита при извлечении 52,68 %.

При проведении флотационных опытов, было замечено, что цинковый купорос оказывает недостаточное депрессирующее действие на сфалерит, извлечение которого в свинцовый продукт составляет от 9 до 70 %. Таким образом целью дальнейших исследований является изучение сочетаний цинкового купороса с различными депрессорами для снижения количества цинка в свинцовом продукте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Adkins, S.J., Pearse, M.J.,* 1992. The influences of collector chemistry on kinetics and selectivity in base-metal sulphide flotation. Minerals Engineering 5 (3–5), 295– 310.

2. *McFadzean B., Castelyn D.G., O'Connor C.T.* The effect of mixed thiol collectors on the flotation of galena. Minerals Engineering, october 2012, p. 211-218. http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2012.03.027

3. *Bradshaw D.J.,* 1997. Synergistic effects between thiol collectors used in the flotation of pyrite. Ph.D. thesis. University of Cape Town.

4. *Bradshaw, D.J., Harris, P.J., O'Connor, C.T.,* 1998. Synergistic interactions between reagents in sulphide flotation. The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 98 (4), 189–194.

5. *Разработка* технологических схем обогащения сульфидных руд цветных металлов с применением сочетания сульфгидрильных собирателей разных типов (ионогенных и неионогенных) / Игнаткина В.А., Бочаров В.А., Хачатрян Л.С., Пунцукова Б.Т., Алексейчук Д.А. (111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4, trubetsk@mail.sitek. ru) // Научные основы и современные процессы комплексной переработки труднообогатимого минерального сырья (Плаксинские чтения 2010): Материалы Международного совещания, Казань, 13-18 сент., 2010. - М., 2010. - С. 264-266. - Рус.

6. *Исследование* применения ионогенных и неионогенных собирателей для повышения селективности флотации сульфидных руд : Докл. [Научный симпозиум Неделя горняка-2009. Семинар 26. Физические и химические методы переработки минерального сырья, Москва, 26-30 янв., 2009] / Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Пунцукова Б. Т. (117935, г. Москва, Ленинский просп., 6, abitur@msmu. ru) // Горн. инф.-анал. бюл. - 2009. - Отд. вып. 14 Обогащение полезн. ископаемых-1. - С. 456-470. - Рус.; рез. англ.

7. *К поиску* режимов селективной флотации сульфидных руд на основе сочетания собирателей различных классов соединений / Игнаткина В. А., Бочаров В. А., Тубденова Б. Т. (630090, г. Новосибирск, просп. ак. Лаврентьева, 17,

root@hq. soan. nsk. su, postserv@sbras. nsc. ru) // Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. - 2010. - № 1. - С. 97-103. - Рус.

8. *Применение* аэрофлотов при флотации руд : Докл. Международное совещание Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения - 2005), Санкт-Петербург, 5-9 сент., 2005_] / Рябой В. И., Шендерович В. А., Кретов В. П. (117936, г. Москва, В-49, Ленинский просп., 4) // Обогащ. руд. - 2005. - № 6. - С. 43-44. - Рус.; рез. англ.

9. *Усовершенствование* технологии обогащения труднообогатимой свинцово-цинковой руды на основе нового реагентного режима / Тусупбаев Н. К., Турысбеков Д. К., Сулейменова У. Я., Семушкина Л. В., Нарбекова С. М., Мухамедилова А. М. (117936, г. Москва, Ленинский пр., 4., infocenter@misis. ru) // 8 Конгресс обогатителей стран СНГ, Москва, 28 февр.-2 марта, 2011 : Сборник материалов. Т. 2. - М., 2011. - С. 257-259. - Рус.

10. *Технология* переработки и обогащения руд цветных металлов: Учебное пособие для вузов. В 2 к. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. – Кн. 2. Pb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg-содержащие руды. – 470 с.: ил.

ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Брагин Виктор Игоревич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ОПИ, vic.bragin@gmail.com,
Кондратьева Анна Андреевна – старший преподаватель, ankondratieva@mail.ru,
Бурдакова Екатерина Александровна – старший преподаватель, kate-groo@yandex.ru,
Бакшеева Ирина Игоревна – аспирант, Irina__igorevna@mail.ru,
Глумова Алена Александровна – аспирант, alena_glumova@mail.ru,
Сибирский федеральный университет» («СФУ») Институт цветных металлов и материаловедения.

ГОРНАЯ КНИГА

Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений

Г.Г. Ломоносов
2013 г., 2-е издание
517 с.
ISBN: 978-5-98672-343-3
UDK: 622.273.06:622.34

Приведены основные сведения о производственных процессах добычи руд и нерудных полезных ископаемых, осуществляемых в рамках технологических схем подземных рудников. Рассмотрены производственные процессы очистной выемки, внутрирудничного транспорта и подъема полезного ископаемого, а также проведения эксплуатационных горных выработок, непосредственно связанных с добычными работами. Большое внимание уделено производственным процессам управления качеством продукции рудников, посредством которых обеспечиваются повышение концентрации полезных компонентов в добытой руде и стабилизация ее состава. Книга иллюстрирована рисунками и фотографиями, отражающими современное горное оборудование и производственные процессы, технологическими схемами горных работ с их техническими характеристиками, а также расчетными графиками и другими материалами.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело».