

УДК 622.765

В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИЙ СОБИРАТЕЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОТАЦИИ ПИРИТНЫХ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Механизм совместного взаимодействия сульфгидрильных собирателей многогранен. Сульфгидрильные собиратели различных классов сорбируются на свободных участках поверхности в зависимости от последовательности дозирования. В механизме формирования сорбционного слоя на поверхности минерала участвуют физическая и химическая формы, от соотношения которых зависит эффективность использования сочетания собирателей. Лучший результат получен при сочетании ксантогенатов-дитиофосфатов и ксантогенатов-дитиокарбаматов.

Ключевые слова: композиции собирателей, селективная флотация, сульфидные руды цветных металлов, сорбционный слой, поверхность, минерал.

Нами подготовлен аналитический обзорный материал по применению сочетания собирателей при флотации сульфидных минералов и руд. Приведу лишь основные выводы и тенденции развития этого направления совершенствования реагентных режимов с использованием композиций сульфгидрильных и других собирателей различных классов соединений.

Применение сочетания собирателей при флотации различных видов минерального сырья известно с середины прошлого века. Одни из первых исследовали сочетание сильного и слабого собирателей И.Н. Плаксин, И.А. Каковский, Е.И. Силина и др., а затем это направление нашло широкое распространение в исследованиях и практике флотации.

Прежде чем перейти к обзору использования сочетаний различных собирателей необходимо попытаться сформулировать обобщающее представление о механизме взаимодействия сульфгидрильных собирателей с сульфидными минералами.

И.А. Каковский выделяет несколько форм сорбции собирателей — фи-

зическую, электростатическую, хемосорбцию или гетерогенную химическую реакцию. По отношению к флотуемым минералам избирательно взаимодействует только химическая форма, которая состоит из двух стадий — механизма закрепления собирателя и, собственно, процесса флотации. Первая стадия определяется законами химической термодинамики, вторая — кинетикой флотации, составом поверхности минерала, ее гидрофобностью, прочностью закрепления собирателя и т.д. И.А. Каковский отмечает, что активность сульфгидрильного собирателя зависит от прочности связи в системе таких атомов, как фосфор, углерод, кислород.

А.А. Абрамов, М.М. Сорокин считают, что основными формами сорбции являются — также, хемосорбция, или гетерогенная химическая реакция и физическая сорбция, что созвучно с представлениями И.А. Каковского.

Результатом химического взаимодействия является образование ковалентных, координационных связей для сульфгидрильных собирателей.

О.С. Богданов, В.И. Рябой и др. полагают, что при хемосорбции пре-

обладает донорно-акцепторный механизм взаимодействия.

И.Н. Плаксин, В.А. Чантурия и др. сформулировали электрохимический механизм взаимодействия ксантогената с сульфидными минералами, который так же в основном зависит от наличия на поверхности минерала донорных и акцепторных участков и их соотношения.

В случае применения во флотации композиций собирателей механизм их взаимодействия с поверхностью минералов изменяется и определяется активностью собирателей.

По данным В.А. Чантурия с соавторами последовательность дозирования ксантогената и ДМДК изменяет характер их сорбции на сульфидных минералах. Первоочередная подача ДМДК снижает сорбцию ксантогената на пирротине в 4—5 раз. При обратной подаче собирателей снижение адсорбции собирателя составляет 80 %.

П.М. Соложенкин отмечает, что при совместном применении смеси ксантогенатов с дитиокарбаматами или дитиофосфатами ионогенных сульфидрильных собирателей с разной солидофильной группой или собирателей одного класса, но с разной длиной углеводородного радикала образуются в результате их окисления разнолигандные дисульфиды, которые могут достаточно легко восстанавливаться сульфидными минералами, или другими активными соединениями.

В этой связи в работах О.С. Богданова и др. отмечается, что эффект действия неионогенных собирателей (тионокарбаматов, эфиров ксантогеновых кислот, дисульфидов) связывают с их самостоятельной координацией на участках поверхности. При этом отмечается, что при использовании сочетания собирателей повышается скорость образования сорбцион-

ного слоя и кинетика флотации. На скорость окисления ксантогената влияет также минеральный состав (Голиков А.А.), длина углеводородной цепи собирателя и другие факторы. Так, в присутствии катионов меди скорость окисления возрастает с увеличением длины углеводородного радикала; в наших исследованиях потенциометрическим методом впервые был установлен следующий ряд окисления — дитиокарбамат > ксантогенат > дитиофосфат.

П.М. Соложенкин отмечает, что сочетание собирателей одного класса соединений, но с разными солидофильными группами (ксантогенат, ДТК) с различной структурой углеводородного радикала способствует образованию несимметричных дисульфидов.

В практике флотации применяют различные сочетания и соотношения собирателей многих классов соединений.

Для флотации медно-молибденовых руд (С.И. Митрофанов и А.В. Курочкина) исследовали сочетание собирателей — алкилсульфата и ксантогената; изопропиловый и бутиловый ксантогенаты; изопропиловый и изобутиловый ксантогенаты; бутиловый, изопропиловый ксантогенаты и бутиловый аэрофлот; этиловый и изоаминовый ксантогенаты; ИТК, и бутиловый или изопропиловый ксантогенаты.

Недосекина Т.В. с соавторами выполнили исследования механизма действия сочетания тионокарбамата и ксантогената при флотации медно-молибденовых руд. Ими показана неодинаковая прочность закрепления собирателей в зависимости от последовательности их дозирования.

В работе С. Давааням, И.Ш. Сагаева, Ж. Баатарху и др. исследовано сочетание собирателя S-703G и ксан-

тогената при флотации медно-молибденовых руд, которые позволили повысить содержание меди в медном концентрате в 1,5—2,0 раза.

Г.А. Бехтле, Т.В. Недосекина показали, что тионокарбамат на пирите закрепляется не прочно, который даже при высоких расходах собирателя вяло флотируется, но с подачей ксантогената флотируемость пирита резко возрастает.

Т.Н. Матвеевой и др. установлено, что использование собирателей различных классов соединений повышает их суммарную адсорбцию, увеличивает плотность первого монослоя. Это отмечается и другими авторами. Так, диэтилдитиокарбаматы, обработанные высокоактивными соединениями, взаимодействуя с минералами, могут образовывать труднорастворимые комплексные соединения, имеющие в своем составе гидроксильные, карбоксильные, сульфитные и др. группы.

М.И. Херсонским исследованы синтезированные этилоктилсульфиды индивидуально и в сочетании с диизопропилдифосфатом; отмечена их высокая собирательная способность к халькопириту и селективность в отношении пирита.

А.К. Лившиц показано, что совместное применение ксантогената и алиловых эфиров алкилксантогеновых кислот обеспечивает получение высококачественных концентратов из полиметаллических руд, соблюдая при этом первоочередность подачи эфиров, прочность закрепления которых на пирите значительно ниже, чем на халькопирите и сфалерите.

В.А. Щербаков исследовал сочетание этилового и бутилового аэрофлотов вместе с МИБК, позволивших уменьшить активность пирротина при флотации медно-никелевых руд. Хорошие результаты получены при флотации сульфидов меди с использова-

нием сочетания тионокарбаматов (ЭТК, ИТК, Z-200 и др.) с изобутиловым аэрофлотом.

В.А. Чантурия, Т.В. Недосекина получили хорошее разделение пентландита и пирротина, применяя сочетание ДМДК и бутилового ксантогената.

Использование ДМДК в сочетании с ксантогенатом позволило исключить цианид при разделении свинцово-цинковых руд (Глинкин В.В.).

Интересен опыт применения собирателя «S-703G» при флотации медно-молибденовых, медно-молибденовых, медно-цинковых и др. типов руд. В состав этого реагента введены компоненты различной активности — сульфиды, дитиофосфат и вспениватель. Такая смесь позволяет получать лучшие результаты селекции.

Собиратель «S-703G» проявляет слабые собирательные свойства по отношению к пириту и более высокую флотоактивность к сульфидам меди, цинка и другим минералам, что позволяет получать высокоселективные концентраты. Собиратель «S-703G» исследовали на медно-цинковых, медно-молибденовых рудах В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина, Л.С. Хачатрян. Получены лучшие результаты разделения в сравнении с одним ксантогенатом. Исследованы аналоги собирателя Российского производства, синтезированные в Гинцветмете — реагенты серий «СИГ», «СГМ», «Берафлот», которые являются смесью дитиофосфатов и дисульфидов, не содержащих вспенивающего компонента. Эти собиратели в сочетании с бутиловым (изопропиловым) ксантогенатом проявляют не только слабые собирательные селективные свойства к пириту, но и обеспечивают достаточно высокую флотируемость других сульфидных минералов. Результаты лабора-

торных исследований подтверждены промышленными испытаниями; получен прирост извлечения цветных и благородных металлов; снижен расход собирателей на 30 %; улучшено качество концентрата. С использованием различных методов физико-химических исследований на образцах халькопирита, галенита, сфалерита, пирита и на золотой пластине — измерение краевых углов смачивания, ИК- и УФ-спектроскопия, термографические измерения, беспенная флотация — показано, что новые собиратели в меньшей степени закрепляются на пирите, чем на других минералах, проявляя высокие собирательные свойства для халькопирита, сфалерита, золота и слабые по отношению к пириту. Наибольшая эффективность отмечена у собирателя «Берафлот 3035» при оптимальном соотношении с ксантогенатом, дитиофосфатом, тиокарбаматом.

Выводы

Механизм совместного взаимодействия сульфгидрильных собирателей многогранен и полностью не изучен. Закрепление дитиофосфатов и тиокарбаматов при совместном использовании с ксантогенатами происходит на свободных участках поверхности и определяется последовательностью дозирования собирателя.

В механизме взаимодействия собирателей с минералами важное значение имеют условия их окисления с образованием новых форм

собирателя, участвующих в формировании сорбционных слоев на поверхности.

Оптимальное соотношение форм сорбции собирателей зависит от значения рН, окислительно-восстановительного состояния пульпы и др. факторов. Использование сочетания собирателей изменяет плотность сорбционных слоев и их селективные и собирательные свойства.

Исследованные и выбранные нами композиции собирателей повышают эффективность их использования, обеспечивая значительный технологический, экономический и экологический результат и сопоставимы с зарубежными аналогами.

Наибольший технологический эффект по результатам исследований и практики флотации заметен при использовании сочетания различных соотношений сильного и слабого собирателя:

- с разной длиной углеводородных радикалов с одинаковой солидофильной группой (этиловый, бутиловый и др. ксантогенаты, ДТТ и др.);
- с разной длиной углеводородных радикалов с различной солидофильной группой (ксантогенаты, дитиокарбаматы);
- ионогенные и неионогенные собиратели (дисульфиды, дитиофосфаты, дитиокарбаматы);
- ионогенные и аполярные (предельные углеводороды, масла), например, ксантогенаты и керосин. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бочаров В.А. — доктор технических наук, профессор,

Игнаткина В.А. — кандидат технических наук, доцент, докторант,

Национальный исследовательский технологический университет Московский институт стали и сплавов, E-mail: uchsovet@misis.ru.

