

УДК 622.765+621.385.6+533.1+66.061: 539.21+542.61

*В.А. Чантурия, И.Ж. Бунин, Т.А. Иванова,
Т.В. Недосекина*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОИМПУЛЬСНЫХ
(PULSED POWER) ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ФИЗИКО-
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ
СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ И ПРОДУКТОВ
ОБОГАЩЕНИЯ***

Семинар № 19

Ранее в ИПКОН РАН была исследована растворимость и интенсивность растворения железосодержащих сульфидов и продуктов обогащения в зависимости от режимов высокоимпульсной обработки (воздействие мощными электромагнитными импульсами – МЭМИ) и крупности материала. Была обнаружена взаимосвязь между изменением технологических показателей золотосодержащих продуктов (извлечение золота в процессе цианирования) и физико-химических свойств поверхности после воздействия МЭМИ [1, 2].

Наметившаяся перспектива использования этого способа воздействия на сульфидсодержащие продукты перед другими обогатительными процессами, в частности перед процессом флотации, определила предмет настоящих исследований. Поведение минеральных частиц в процессе флотации определяется свойствами их поверхности, которая образуется в процессах первичной переработки руд, а в дальнейшем подвергается воздействию молекул воды и растворенных в ней веществ. Воздействие МЭМИ на сухие и увлажненные

минеральные частицы модифицирует их поверхность, изменяя физико-химические свойства, в частности, химическую активность и гидрофобность [2].

Несмотря на существенные различия физических и окислительно-восстановительных свойств поверхности макрообразцов и тонкодисперсных порошкообразных образцов сульфидных минералов, изучение гидрофобности локальных участков поверхности макрообразцов до и после воздействия МЭМИ представляет значительный интерес.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния МЭМИ на изменение состава и окисленности поверхности, сорбционной и флотационной активности сульфидных минералов и пиритсодержащих продуктов обогащения, полученных из руд различных месторождений, а также на гидрофобность поверхности макрообразцов пирита и арсенопирита.

Материалы и методики исследований

Опыты проводились на порошкообразных образцах пирита месторождений Бе-

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ "Научная школа акад. В.А. Чантурия" – № НШ-472.2005.5 и Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН "Наночастицы в природе: условия образования, экологические и технологические аспекты их изучения"

резовское и Сибайское (мономинеральные, крупностью $(-0,1 + 0,063)$ мм), арсенопирита месторождения Нежданинское $(-0,16 + 0,1)$ мм, пирротине и халькопирите месторождения Мончегорское $(-0,1 + 0,063)$ мм, пирит-арсенопиритном гравитационном концентратах Нежданинского $-0,1$ мм и $-0,5$ мм и Ключевского $(-0,1 + 0,063)$ мм месторождений и лежалых хвостах флотации Урупского и Гайского ГОКов $-0,4$ мм, а также макрообразцах пирита и арсенопирита. Общей характерной особенностью исследованных образцов концентратов и хвостов флотации являлось наличие в них тонкодисперсного золота, значительная часть которого тесно ассоциирована с сульфидными минералами, главным образом с пиритом и арсенопиритом. Отличительной особенностью гравитационного концентрата – наличие значительной доли золота в сростках и в свободном состоянии.

Навески минералов, а также макрообразцы сульфидов обрабатывались в условиях отсутствия омического контакта с электродами в межэлектродном промежутке серией *биполярных* мощных электромагнитных импульсов с наносекундным фронтом и длительностью импульса порядка 5–30 нс, амплитудой электрической компоненты поля до 50 кВ, и частотой повторения импульсов 125–200 Гц.

Анализ количества элементарной серы, удаленной с поверхности минеральных порошков пирита и пиритсодержащих продуктов гексаном, проводился экстракционно-фотометрическим методом до и после проведения высокоимпульсной обработки сухих и предварительно увлажненных образцов, а также после перемешивания обработанных МЭМИ навесок в дистиллированной воде в течение 10 минут при интенсивности перемешивания 200 оборотов/мин и высушивания. Концентрацию трехвалентного железа и сульфат-ионов определяли в фильтрате водной фазы минеральной суспензии колориметрическим

методом после перемешивания в воде в течение 15 минут.

Сравнительную величину сорбции бутилового ксантогената (БКс) на мономинеральных порошках до и после импульсного воздействия оценивали по остаточной концентрации (БКс) в фильтрах водной фазы после 4-х минутного перемешивания суспензии. Сравнительную флотационную активность минеральных порошков оценивали по выходу минерала в пенный продукт, в присутствии собирателя БКс (0–300 г/т) и вспенивателя МИБК (50 г/т).

Гидрофобность мономинеральных макрообразцов пирита и арсенопирита оценивали по величине силы отрыва пузырька воздуха ($F_{отр}$) от локальных участков поверхности в точках находящихся в центре участков, предварительно определенных делением поверхности на примерно равные части, а также в областях, имеющих дефекты (каверны – естественные или образованные после обработки МЭМИ, шероховатости, трещины). Перед измерениями образцы минералов очищали от возможных загрязнений, для чего их обрабатывали гексаном и протирали фильтровальной бумагой. Подготовленный таким образом минерал помещали в кювету, которую заполняли дистиллированной водой (объем 200 мл).

Для измерения силы отрыва к покрытой слоем парафина посадочной площадке поплавок вогнутой сферической формы с помощью иглы шприца подвели снизу пузырек воздуха размером около ~ 3 мм. Поплавок посредством тонкой стальной нити был связан с торсионными весами. Вращением ручки весов поплавок вместе с пузырьком воздуха подвели к поверхности минерала. После контакта пузырька с поверхностью и образования трехфазного периметра смачивания снимали показания по шкале торсионных весов (A_1). Затем начинали вращать ручку весов в обратную сторону и в момент отрыва пузырька от минерала опять снимали показания по шкале весов (A_2). Расчет силы от-

Изменение поверхностных свойств пиритсодержащих продуктов

| | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| $N_{имп.} \times 10^{-4}$ | 0 | 0,125 | 0,375 | 0,75 | 1,5 | 3,75 | 6,0 | 7,5 |
| Хвосты Урупского месторождения, крупность частиц (+0,08 мм) | | | | | | | | |
| $S_{пов.}$, мг/г | 0,2 | - | 0,098 | - | 0,138 | 0,093 | 0,21 | 0,15 |
| Выход, % | 66,33 | - | 59,06 | - | 55,07 | 63,72 | 62,1 | 64,0 |
| Хвосты Гайского месторождения (-0,4 +0,16 мм) | | | | | | | | |
| $S_{пов.}$, мг/г | 0,031 | - | 0,014 | - | 0,033 | 0,027 | 0,06 | 0,04 |
| Выход, % | 61,21 | - | 54,79 | - | 47,87 | 55,98 | 50,8 | 49,1 |
| Концентрат Ключевского месторождения (-0,1 +0,063 мм) | | | | | | | | |
| $S_{пов.}$, мг/г (влажные) | 0,196 | 0,346 | 0,174 | 0,250 | - | - | - | - |
| $S_{пов.}$, мг/г (сухие) | 0,144 | 0,15 | 0,496 | 0,186 | - | 0,27 | - | 0,21 |
| Fe^{3+} , мг/л | 10,71 | 20,0 | 12,38 | 9,78 | - | - | - | - |
| SO_4^{2-} , мг/л | 475 | 490 | 462 | 435 | - | - | - | - |
| Пирит Березовского месторождения (-0,1 +0,063 мм) | | | | | | | | |
| $S_{пов.}$, мг/г | 0,135 | 0,257 | 0,054 | 0,085 | - | 0,23 | - | - |
| Fe^{3+} , мг/л | 0,94 | 1,0 | 1,12 | 0,92 | - | 0,66 | - | - |
| Пирит Сибайского месторождения (-0,1 +0,063 мм) | | | | | | | | |
| $S_{пов.}$, мг/г | 0,296 | 0,128 | 0,243 | 0,271 | - | 0,17 | - | - |
| Выход, % | 77,5 | 60,5 | 72,82 | 58,32 | - | 49,48 | - | - |

рыва производился путем вычитания значения А1 из значения А2.

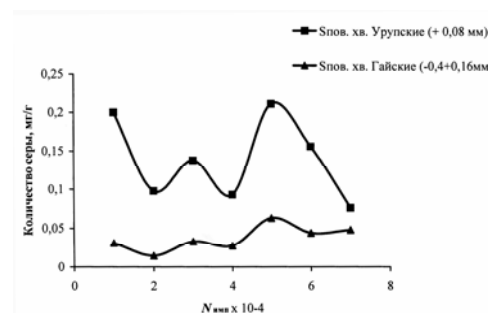
Результаты исследований и их обсуждение

В процессе высокоимпульсной обработки (как и при воздействии потоком ускоренных электронов и при электроимпульсной обработке пульпы) в воздушном зазоре над минералом образуется озон, являющийся продуктом радиолиза воздуха. Экспериментально установлено, что озон активизирует процесс окисления поверхности минералов, изменяя их флотационную активность и несколько снижая рН водной фазы. Наличие воды при облучении ускоренными электронами минеральных порошков значительно усиливает эффект окисления [3]. Одним из признаков окисления сульфидов является переход их

в растворимое состояние. Так окисление пирита может происходить с образованием на поверхности гидроксидов железа $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, а также S^{2-} , S^0 , HSO_4^- и SO_4^{2-} .

Зависимость количества серы на поверхности минералов от количества импульсов ($N_{имп.}$) имела нелинейный характер для всех образцов (таблица, рис. 1–5). Отклонения значений изучаемых параметров от базовых (без высокоимпульсной обработки) достигали 50%. Для продуктов, однотипных по составу, степени окисленности, способу обработки и хранения, наблюда-

Рис. 1. Изменение количества элементарной серы на поверхности частиц золотосодержащих хвостов ОФ от параметров воздействия МЭМИ



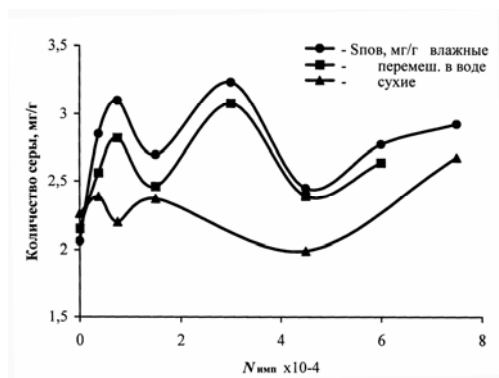


Рис. 2. Изменение количества серы на поверхности частиц концентрата из руды месторождения Нежданинское в зависимости от условий обработки МЭМИ

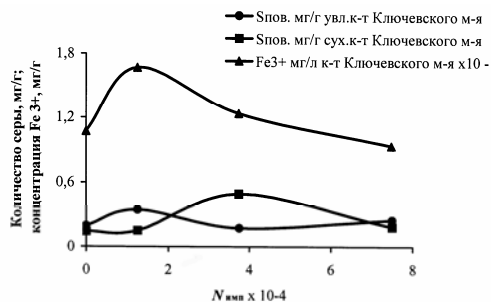


Рис. 3. Влияние высокоимпульсных воздействий на состояние поверхности частиц флотационного концентрата месторождения Ключевское

лось характерное совпадение максимальных значений на кривых-зависимостях (рис. 1). На рис. 2 и 3 видно, что для одного и того же продукта, обработанного импульсами в сухом и предварительно увлажненном состоянии, указанные максимумы сдвигаются друг относительно друга. Это может свидетельствовать о различиях в скоростях процессов окисления на поверхности минералов, протекающих в неодинаковых условиях.

После предварительной обработки МЭМИ и последующего перемешивания образцов в воде на их поверхности наблюдалось снижение содержания серы, вследствие частичного ее окисления и перехода в растворимую форму. При

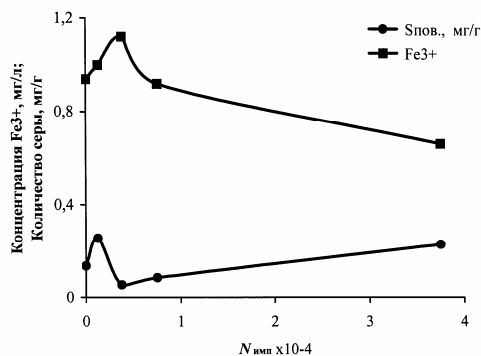


Рис. 4. Влияние высокоимпульсных воздействий на состояние поверхности частиц пирита месторождения Березовское

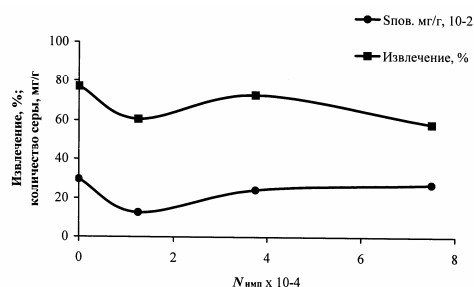


Рис. 5. Влияние МЭМИ на свойства поверхности пирита Сибайского месторождения (извлечение – выход минерала в пенный продукт флотации)

этом расположение максимумов и минимумов на кривых не изменялось (рис. 2). Характер зависимостей сохранялся даже после перемешивания образцов минералов в 0,1N H₂SO₄ в течение четырех часов, что может свидетельствовать о модификации как приповерхностных, так и внутренних слоев материала обрабатываемых проб при высокоимпульсном воздействии.

Указанные особенности изучаемых кривых-зависимостей свидетельствуют о влиянии МЭМИ на окислительно-восстановительные процессы, протекающие на поверхности сульфидных минералов под воздействием озона и приводящие

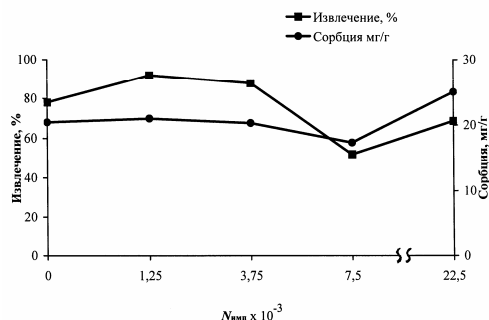


Рис. 6. Влияние МЭМИ на флотуемость пирита месторождения Березовское и сорбцию ксантогената

к изменению валентного состояния серы и послойному удалению продуктов окисления с поверхности. Это подтверждается данными анализа водной фазы суспензий пирита и пиритсодержащего концентрата. Состав продуктов, образующихся при окислении сульфидов, зависит от pH среды. После импульсной обработки поровая влага, предварительно введенная при смачивании образцов, либо выделяющаяся из разрушенных газожидких включений, имела кислую реакцию (pH 2,5-5). На пирите в кислой среде образуются ионы SO_4^{2-} и Fe^{3+} .

На рис. 3 и 4 и из таблицы видно, что максимальный уровень содержания ионов Fe^{3+} и SO_4^{2-} в водной фазе соответствует режимам импульсного воздействия, при которых в независимых опытах отмечено минимальное количество элементарной серы на поверхности частиц. Причем на увлажненных образцах при обработке МЭМИ окисление идет интенсивнее, а рост количества окисленной формы железа и серы происходит при минимальной длительности воздействия. На мономинеральных образцах пиритов нескольких месторождений отмечено снижение количества окисленной формы железа до значений ниже базовых при длительном воздействии импульсами. При анализе состава поверхности порошков других сульфидных минералов (халькопирита и арсенида пирита), содержащих переходные ме-

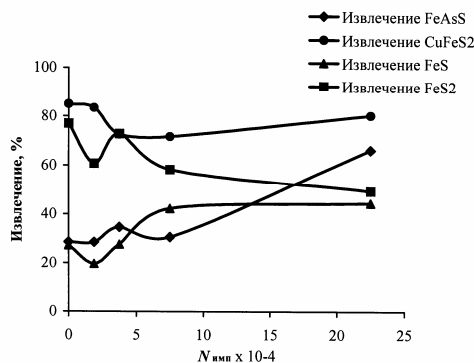


Рис. 7. Влияние МЭМИ на флотуемость сульфидных минералов

таллы, проведенным после воздействия МЭМИ, также обнаружено появление ионов металлов высшей валентности Cu^{2+} и As^{5+} .

Установлено, что флотоактивность сульфидов также зависит от интенсивности предварительного высокоимпульсного воздействия. Для мономинеральных фракций пирита наибольшая флотуемость достигалась при таком режиме электроимпульсной обработки, при котором образовывалось наибольшее количество серы на поверхности частиц (рис. 5). Как следует из таблицы, для пиритсодержащих хвостов такая зависимость не выявлена. При флотации пиритсодержащих хвостов без собирателя и при низком его расходе (40–160 г/т) наблюдалось ухудшение флотуемости сульфидов по сравнению с образцами базового опыта, что свидетельствует о снижении их гидрофобности взаимодействия флотореагентов с сульфидами металлов обусловлены как физико-химическими свойствами собирателя, так и состоянием поверхности самого минерала. На сорбционной активности ионогенного собирателя существенно сказывается степень окисленности поверхности минерала. На рис. 6 приведены результаты исследования сорбции ксантогената на пирите Березовского месторождения. Характер изменения величины сорбции повторяет

в независимых опытах характер зависимости флотуемости пирита от количества импульсов. Как показано на рис. 7, флотуемость халькопирита, пирротина и арсенопирита (рН 5–6,5) также изменяется нелинейно при увеличении количества импульсов. Для указанных минералов в области малой интенсивности импульсного воздействия характерно незначительное снижение флотуемости и повышение флотуемости с ростом числа импульсов.

При исследовании влияния МЭМИ на гидрофобность поверхности макрообразцов пирита и арсенопирита получены следующие результаты.

Пирит. Измерение $F_{отр}$ от верхней и боковой грани макрообразца пирита размером 1,5x1,0x1,5 см показало, что поверхность обладала низкой гидрофобностью ($F_{отр}$ - на уровне $(7,2-15,2) \cdot 10^{-5}$ н), обусловленной вероятно, наличием в поверхностном слое элементарной серы, образовавшейся в процессе хранения минерала. Выдержка образца в течение часа в воде вызвала в целом повышение гидрофобности как верхней, так и боковой граней пирита в среднем на $(2-3) \cdot 10^{-5}$ н, что свидетельствует об увеличении количества поверхностной серы.

В результате воздействия МЭМИ гидрофобность поверхности возросла до уровня $(14,7-23,3) \cdot 10^{-5}$ н, а в области образовавшегося кратера электрического пробоя сила отрыва составила $22 \cdot 10^{-5}$ н. После часовой выдержки в воде, в течение которой на поверхности минерала наблюдалось образование пузырьков газа, на верхней грани величина $F_{отр}$ понизилось в среднем на $5,5 \cdot 10^{-5}$ н, а в области кратера пробоя она упала до нулевого значения. Таким образом, можно предположить, что в процессе обработки пи-

рита МЭМИ происходило образование элементарной серы, которая равномерно распределялась по всей поверхности минерала. В водной среде по реакции $S^0 + 2H_2O + 2e = H_2S + 2OH^-$ происходило восстановление серы с образованием сероводорода, причем наиболее быстро эта реакция протекала вблизи пробоя поверхности.

Арсенопирит. Образцы арсенопирита до и после обработки МЭМИ обладали более высокой гидрофобностью, чем в случае пирита ($F_{отр}$ от поверхности арсенопирита достигала уровня $30 \cdot 10^{-5}$ н). После часовой выдержки в воде гидрофилизация поверхности, предварительно обработанной импульсами, происходила не только в точках "пробоя", но в прилегающих к ним областях. Вероятно, арсенопирит быстрее окисляется с образованием поверхностной серы и оказывает более сильное каталитическое воздействие на реакцию восстановления серы в воде, чем пирит. Исследования поверхности макрообразцов пирита и арсенопирита показали, что окислительно-восстановительные процессы, инициированные воздействием МЭМИ, привели к существенному изменению состава и гидрофобности локальных участков поверхности. Таким образом, при выборе параметров воздействия мощными электромагнитными импульсами на сульфидсодержащее минеральное сырье и промпродукты перед их флотационным обогащением необходимо учитывать изменение ионного состава поверхности, гидрофобности, сорбционных свойств и флотуемости минералов с учетом воздействия озона, образующегося в процессе высокоимпульсной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бунин И.Ж., Иванова Т.А., Лунин В.Д. Влияние высокоэнергетических воздействий на процесс растворения золотосодержащих минералов. // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), – М.: Изд-во МГГУ. – 2002, №8. – С. 172-176.

2. Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Иванова Т.А. Изменение физико-химических свойств золотосо-

державших сульфидов железа под воздействием мощных электромагнитных импульсов // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), – М.: Изд-во МГУ. – 2004, №10. – С. 301-305.

3. Чантурия В.А., Иванова Т.А., Лукин В.Д., Нагибин В.Д. Влияние жидкой фазы и продуктов ее радиолиза на поверхностные свойства пирита и арсенопирита. // ФТПРПИ. 1999. №1. С. 85-91.

Коротко об авторах

Чантурия В.А. – академик РАН, директор ИПКОН РАН, профессор.

Лукин В.Д. – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ИПКОН РАН, старший научный сотрудник.

Иванова Т.А. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИПКОН РАН.

Недосекина Т.В. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИПКОН РАН.

НОВИНКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Моссаковский Я.В. Экономика горной промышленности: Учебник для вузов. — 525 с.: ил. ISBN 5-7418-0292-3 (в пер.)

Рассмотрен комплекс вопросов, определяющих экономику горно-добывающего производства и его предприятий. В их числе: объект конкретной экономики — минерально-ресурсный потенциал страны, методы его экономической оценки, производственный потенциал горной промышленности, его роль и значение в народном хозяйстве России; производственные ресурсы горных предприятий и результаты их использования в процессе добычи полезных ископаемых; методы оценки эффективности реализации инвестиционных проектов, внедрения новой техники и другие вопросы. Материал учебника проиллюстрирован конкретными статистическими данными и необходимыми методическими разработками.

Я.В. Моссаковский — д-р экон. наук, проф. кафедры «Экономика и планирование горного производства» Московского государственного горного университета.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Экономика и управление на предприятии (горная промышленность)» и по направлению подготовки дипломированных специалистов «Горное дело». Может быть полезен экономистам и инженерно-техническим работникам горно-добывающих отраслей промышленности.

УДК 622:338.45

© Н. Мэргэнбаатар, В.В. Морозов,
2005

УДК 622.7

Н. Мэргэнбаатар, В.В. Морозов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФЛОТАЦИИ

МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ФЛОТАЦИОННЫХ РЕАГЕНТОВ

Семинар № 19

Задачей исследований являлось установление влияния фракционного состава, сортности и условий хранения флотореагентов на показатели флотации.

Исследования по установлению влияния фракционного состава проводились на примере *собирателя «Берафлот» 3026*. Выбор данного реагента в качестве объекта исследований был обусловлен открытостью и воспроизводимостью состава, а также наличием доступа и возможности получения его отдельных компонентов.

Реагент «Берафлот» состоит из диизопропилдитиофосфата, метиллидодецилсульфида и моноэтилового эфира полипропиленгликоля. Введение последнего компонента вызвано необходимостью получения гомогенной, нераслаивающейся смеси из ионогенного (полярного) диалкилдитиофосфата и неионогенного (слабополярного) диалкил сульфида. Оксипропилированный бутиловый спирт обладает повышенной устойчивостью к пеногашению в присутствии аполярных собирателей. Согласно техническим условиям конкретное соотношение этих реагентов строго не определено. Имеются данные о том, что наилучшие показатели имеют место при соотношении реагентов 1:1:1 [1].

Для решения поставленной задачи нами синтезировались смеси указанных реагентов при различных соотношениях, граничные значения которых определялись лишь фазовой устойчивостью смеси (отсутствием выпадения осадков или расслаиванием).

Оценка эффективности собирателей проводилась по результатам процесса кол-

лективной медно-молибденовой флотации.

Флотация (основные и контрольные операции) проводилась в лабораторной флотационной машине объемом 1,8 л. Перечистка концентрата в лабораторной флотомашине объемом 200 мл. Опыты проводились в закрытом цикле по схеме с одной перечистой и одной контрольной флотацией. Это позволяло получить концентрат с содержанием меди 11-14 % при извлечении 81-85 %.

Для флотации были отобраны пробы медно-молибденовых руд месторождения Эрдэнэтийн-Овоо с составом, соответствующим смеси вторичных сульфидных руд верхних горизонтов, смешанным рудам средних горизонтов и первичным рудам нижних горизонтов в соотношении 1:1:1, что моделировало руду текущей добычи. Параметры флотации приведены в таблице.

Решение поставленной задачи требует применения комплексного критерия, использующего технико-экономическую информацию. Использованный нами критерий представляет извлеченную стоимость меди и молибдена за вычетом затрат, связанных с удалением пирита в се-

Технологические параметры лабораторных опытов по флотации медно-молибденовой руды

| Параметр | Размерность | Значение |
|----------------------------|-------------|-----------|
| Время осн. флотации | мин | 10 |
| Время контр. флотации | мин | 5 |
| Время переч. флотации | мин | 3 |
| Расход собирателя | г/т | 15 |
| Расход вспенивателя (ОПСБ) | г/т | 20 |
| Расход извести | кг/т | 1,5 |
| Расход серн. натрия | г/т | 15 |
| pH осн. флотации | ед | 10,3-10,4 |

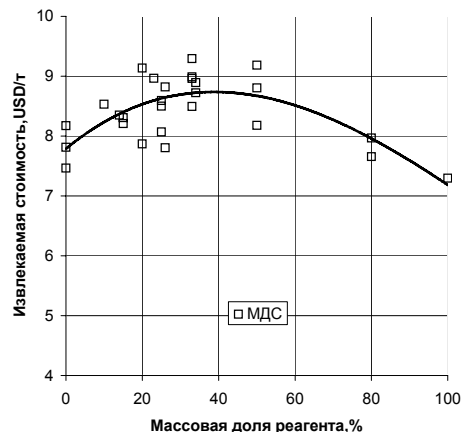
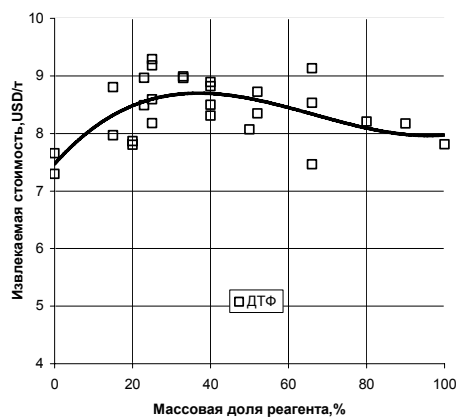


Рис. 1. Зависимости комплексного критерия эффективности – извлекаемой стоимости в коллективный концентрат от доли диизопропилдитиофосфата (ДТФ) и метилдодecilсульфида (МДС) в реагенте Берафлот 3026.

лективном цикле. Используемая функция имеет следующий вид:

$$Q_c = \varepsilon_{Cu} \alpha_{Cu} \Pi_{Cu} + \varepsilon_{Mo} \alpha_{Mo} \Pi_{Mo} - \varepsilon_{Fe} \alpha_{Fe} \Pi_{Fe} \quad (1)$$

где ε , α и Π – извлечения, содержания в руде и стоимость металлов (для железа – стоимость удаления пиритного железа).

На рис. 2 представлены зависимости критерия оптимизации от массовых долей основных компонентов собирателя.

Анализ полученных результатов позволяет определить оптимальный фракционный состав собирателя Берафлот 3026. Максимальное значение критерия оптимизации наблюдается при массовой доле диизопропилдитиофосфата в 35 %, массовой доле метилдодecilсульфида в 38 % и при массовой доле моноэтилового эфира полипропиленгликоля в 31 %. Полученные результаты требуют корректировки, поскольку их сумма несколько больше 100 %, что обусловлено естественной связью извлечения с расходом собирателя. С учетом корректировки оптимальные значения массовых долей фракций собирателя Берафлот 3026 следующие: диизопропилдитиофосфата – 33,8 %; метилдодecilсульфида – 36,2 %; мо-

ноэтилового эфира полипропиленгликоля – 30 %. Анализ полученных результатов показывает также, что отклонение массовых долей компонентов на 5 % ведет к снижению извлекаемой стоимости на 0,05–0,1 доллара на 1 т руды.

К сегодняшнему дню практически отсутствуют отраслевые стандарты на *комовую известь*, применяемую в процессах флотации в качестве регулятора pH для подавления флотации пирита и других минералов. Во многом это обусловлено тем, что минеральный состав руд месторождений существенно различается, также значительны отличия в схемах флотации и номенклатуре используемых реагентов. Поэтому разработка требований к составу извести остается индивидуальной задачей каждого предприятия в отдельности.

Основными компонентами извести являются окись кальция (55–85 %); окись магния (5–25 %), окись алюминия (1–8 %), окись железа (1–7 %), неразлагаемые соляной кислотой соединения – кварц, алюмосиликаты и т.д. (3–25 %). Влияние именно этих компонентов было выбрано нами в качестве объекта исследований.

Методика флотационных опытов соответствовала описанной в разделе 1. Принципиальным было то, что расход извести поддерживался таким, чтобы он обеспечивал величину pH 10,4 в коллективной медно-молибденовой флотации и 10,5 в

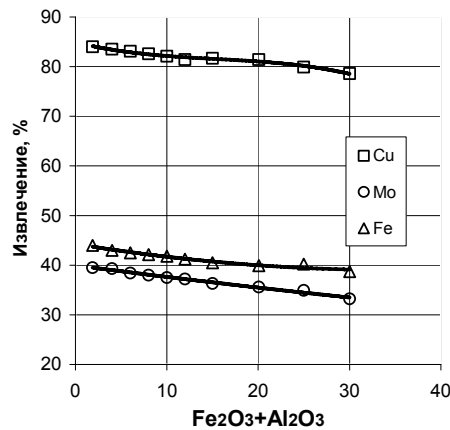
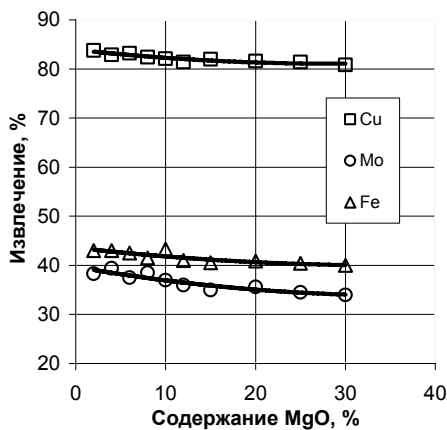


Рис. 2. Зависимости извлечения металлов в коллективной медно-молибденовой флотации от содержания окиси магния (MgO) и от суммы содержаний окислов железа и алюминия (Fe₂O₃+Al₂O₃) в подаваемой извести

перечистой флотации. Состав используемой в опытах извести варьировался путем смешивания вышеперечисленных компонентов в заданных весовых соотношениях.

Рост массовой доли окиси магния вызывает плавное снижение извлечения в коллективный концентрат меди и молибдена. Максимальное снижение технологических показателей наблюдается в интервале значений массовой доли окиси магния от 5 до 20 %. Так, снижение извлечения меди происходит с 83 до 81,5 %, снижение извлечения молибдена происходит с 39 до 35,6 %, снижение извлечения железа – с 42,9 до 40,9 %. Симбатное снижение извлечения всех сульфидных минералов свидетельствует о неселективном депрессирующем действии окиси магния. Механизм депрессии, по-видимому, связан с сорбцией собирателя и образовании шламовых пленок на поверхности воздушных пузырьков и минералов.

Абсолютное значение снижения извлечения меди и молибдена весьма велико, что требует обязательного введения огра-

ничений на массовую долю окиси магния в применяемой извести.

Рост массовой доли окиси кремния вызывает плавное снижение извлечения в коллективный концентрат меди и молибдена. Максимальное снижение технологических показателей наблюдается в интервале значений массовой доли окиси кремния от 5 до 30 %. Так, снижение извлечения меди происходит с 83 до 82,1 %, снижение извлечения молибдена происходит с 39 до 37,4 %, снижение извлечения железа – с 42,9 до 41,5 %. Симбатное снижение извлечения всех сульфидных минералов свидетельствует о слабом неселективном депрессирующем действии окиси кремния. Механизм депрессии, по-видимому, связан негативным влиянием образования шламовых пленок на поверхности минералов, а также образовании коллоидного кремнезема. что рост массовой доли окислов железа и алюминия вызывает довольно снижение извлечения в коллективный концентрат меди и молибдена. Максимальное снижение технологических показателей наблюдается в интервале значений массовой доли окиси магния от 0 до 15 %. Так, снижение извлечения меди происходит с 83 до 81,4 %, снижение извлечения молибдена происходит с 39 до 35,9 %, снижение извлечения железа – с 40,9 до 33,9 %. Снижение извле-

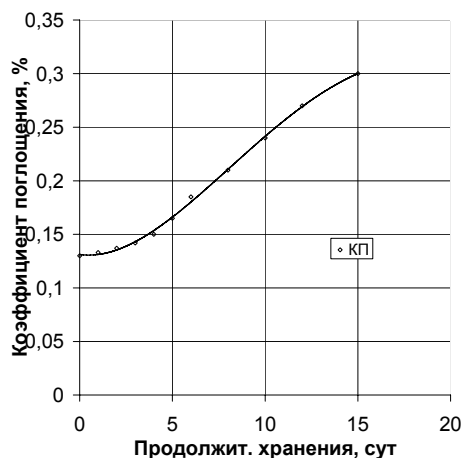
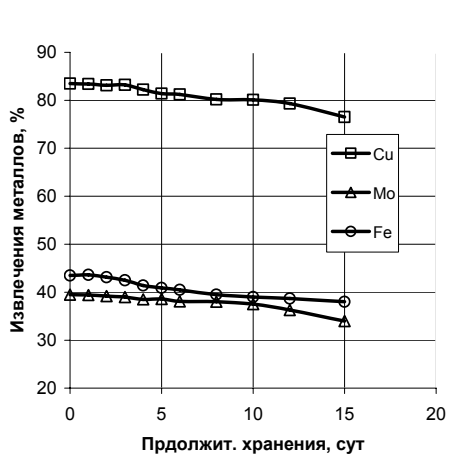


Рис. 3. Влияние продолжительности хранения реагента на извлечения металлов в коллективной медно-молибденовой флотации (Cu, Mo, Fe) и коэффициент поглощения светового излучения (КП).

чения всех сульфидных минералов свидетельствует о малоселективном депрессирующем действии окиси железа и алюминия. Механизм депрессии, по-видимому, связан с сорбцией собирателя и образовании шламовых пленок. Характерно более резкое снижение флотиремости пирита, что обусловлено селективным влиянием солей железа на этот минерал.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно расположить примеси по мере снижения их негативного влияния на процесс:

1. Сумма окислов железа и алюминия. Снижение извлечения меди на 1 % наступает при массовой доле загрязнений в 6,7 %.
2. Окись магния. Снижение извлечения меди на 1 % наступает при массовой доле загрязнений в 8,5 %.
3. Окись кремния. Снижение извлечения меди на 1 % наступает при массовой доле загрязнений в 21 %.

Полученные результаты предназначены для использования при разработке производственных технических условий на известь.

Основными факторами, снижающими технологические свойства реагентов являются неблагоприятные факторы, связанные с их хранением. Продолжительное выдерживание органических флотационных реагентов сопровождается процессами разрушения исходной структуры, обусловленными их термодинамической нестабильностью. Большинство соединений, содержащих двойные и тройные связи склонны к протеканию процессов полимеризации, заключающихся в «сшивке» скелетов органических молекул новыми связями, образующимися по месту расположения непредельных связей. Это особенно характерно для высококонцентрированных органических реагентов.

Негативным процессом, протекающим в органических реагентах при их хранении, является разрушение нестабильных структур типа органических эфиров, в которых солидофильный радикал соединен с предельным или непредельным углеводородом через атом кислорода или серы. Такие соединения в процессе хранения разрушаются с образованием оксигидрильных или сероорганических соединений и спиртов.

Перечисленные процессы полимеризации и деструкции в конденсированных органических фазах заметно ускоряются при воздействии следующих факторов:

- росте температуры;
- световом воздействии;
- попадании в реагент воды и солей тяжелых металлов;
- доступе кислорода.

В процессе исследований было изучено снижение технологических свойств реагентов в процессе их хранения. В качестве объекта был выбран *реагент ВК-901*, используемый в процессах флотации полиметаллических руд в качестве основного или дополнительного собирателя. Анализ полученных результатов показывает, что при выдерживании реагента в открытой емкости при температуре 18 °С при влажности 60 % ведет к значительному снижению его физико-химических и технологических свойств. При хранении более 3-х суток происходит рост вязкости реагента, увеличение его оптической плотности (рис. 4), что, по-видимому, связано с изменением его состава. Одновременно ухудшаются и его технологические свойства. При выдерживании реагента в окислительных условиях в течение 10 су-

ток его собирательные свойства значительно снижаются, что следует из снижения извлечения меди и молибдена в коллективный концентрат при медно-молибденовой флотации на 4-7 %. При дальнейшем «старении» реагента процесс изменения его физико-химических и технологических свойств продолжается (рис. 4).

Полученные результаты определяют требования к условиям хранения реагента и во многом объясняют снижение технологических показателей при использовании собирателей после их продолжительного хранения.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что применение флотационных реагентов с несоответствующим фракционным составом, низкого качества или хранившихся в несоответствующих условиях является причиной значительного снижения показателей флотации и технико-экономических показателей обогащения руд.

Коротко об авторах

Мэргэнбаатар Н. – СП ГОК «ЭРДЭНЭТ».

Морозов В.В. – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой химии, Московский государственный горный университет.



© **В.Н. Лыгач, Ю.В. Семенов,
Л.А. Ладыгина, Р.Н. Моисеева,**
2005

УДК 622.7

В.Н. Лыгач, Ю.В. Семенов, Л.А. Ладыгина, Р.Н. Моисеева

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО УСТРАНЕНИЮ ПРИЧИН ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ СУХИХ ФОСФОР-КОНЦЕНТРАТОВ И ЭФЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ РУД ЕГОРЬЕВСКОГО

Целью настоящей работы явилось разработать оптимальные режимы термообработки сухих фосконцентратов и эфелей узких классов крупности (7–12, 3–7, 1–3, 0,5–1 мм) для обеспечения минимального влагопоглощения высушенными материалами не более 0,5 % масс.

По характеру распределения воды в пустотах пород различают следующие типы влагоемкости: **гигроскопическую** (ее имеют грунты, залегающие вблизи от поверхности), **молекулярную** (количество воды, удерживаемой за счет молекулярного взаимодействия на поверхности зерен минералов), **капиллярную** (воды, удерживаемой за счет капиллярных сил), **полную** (максимальное количество воды, которое способна удерживать водонасыщенная порода в естественных условиях).

Гранулометрические фракции отбирались ситовым методом, влажность и влагопоглощение определялись весовым методом описанным в [1].

Фосконцентрат содержит фосфат в виде фторгидроксилкарбонатапатита – 40–50 % и примесные минералы: глауконит, кварц, пирит, сидерит, глинистые и пр.; эфеля содержат до 50 % гидратированных минералов: глауконита, гидрослюды, гидрооксидов же-леза; фосфата до 20–25 %, кварца до 20–25 % и пр. На дериватограммах егорьевских фосфатов четко выделяются 3 стадии: 70–220 °С: выделение адсорбированной воды; 220–646 °С: выделение конституционной воды и 630–1010 °С: выделение CO₂ за счет разложения карбонатов.

Результаты исследований по термообработке фосконцентрата и эфелей даны в табл. 2 и 3.

Таблица 1
Гранулометрические составы образцов

| Мытый концентрат | | Эфеля | |
|------------------|---------------|-------------|---------------|
| Классы, мм | Содержание. % | Классы, мм | Содержание. % |
| Более 12 | 8.1 | Более 1 | 14.8 |
| 7 – 12 | 8.3 | 0.5 – 1 | 4.1 |
| 3 – 7 | 13.8 | 0.25 – 0.5 | 16.9 |
| 1 – 3 | 21.5 | 0.15 – 0.25 | 32.3 |
| 0.5 – 1 | 7.95 | 0.1 – 0.15 | 21.8 |
| Менее 0.5 | 40.35 | 0.05 – 0.1 | 8.1 |
| Итого | 100 | Итого | 100 |

Таблица 2
 Результаты лабораторных испытаний по прокалке образцов
 мытого концентрата фосфорита, рассеянного по классам

| Время выдержки при термообработке, мин | Влагопоглощение из воздуха за 50 часов при 18°C (% по массе) при температурах термообработки (°C): | | |
|--|--|-------|-------|
| | 600 | 800 | 1100 |
| | Фракция более 12 мм | | |
| 5 | 0.923 | 0.558 | 0.310 |
| 10 | 0.911 | 0.629 | 0.006 |
| 20 | 0.731 | 0.081 | 0.053 |
| 45 | 1.087 | 0.099 | 0.017 |
| | Фракция 7 – 12 мм | | |
| 5 | 0.780 | 0.556 | 0.081 |
| 10 | 0.810 | 0.204 | 0.033 |
| 20 | 0.751 | 0.073 | 0.041 |
| 45 | 0.244 | 0.086 | 0.074 |
| | Фракция 3 – 7 мм | | |
| 5 | 0.780 | 0.475 | 0.079 |
| 10 | 0.660 | 0.261 | 0.081 |
| 20 | 0.330 | 0.149 | 0.092 |
| 45 | 0.660 | 0.037 | 0.058 |
| | Фракция 1 – 3 мм | | |
| 5 | 0.650 | 0.268 | 0.192 |
| 10 | 0.531 | 0.141 | 0.114 |
| 20 | 0.202 | 0.210 | 0.210 |
| 45 | 0.101 | 0.087 | 0.087 |
| | Фракция 0.5 – 1 мм | | |
| 5 | 0.918 | 0.931 | 0.468 |
| 10 | 0.476 | 0.389 | 0.119 |
| 20 | 0.461 | 0.215 | 0.038 |
| 45 | 0.419 | 0.342 | 0.013 |
| | Фракция менее 0.5 мм | | |
| 5 | 1.778 | 1.404 | 0.779 |
| 10 | 1.687 | 1.299 | 0.471 |
| 20 | 1.632 | 0.230 | 0.465 |
| 45 | 1.162 | 0.201 | 0.543 |

На образцах фосконцентрата максимальное значение влагопоглощения получено на образцах самой мелкой фракции. При этом, термообработанный при температуре 600 °С материал и выдержанный на открытом воздухе в течение 4.4 часов поглотил 0.648 % влаги, а через 46.5 часов – 1.687 %; термообработанный при температуре 800 °С материал и выдержанный на открытом воздухе в течение 4.4 часов поглотил 0.18 % влаги, а через 53.7 часов – 0.201 %; термообработанный при температуре 1100 °С материал и выдержанный на открытом воздухе в течение 3.55 часов

поглотил 0.063 % влаги, а через 51.7 часов – 0.465 %.

Исследованы процессы потери массы при термообработке узких классов фосконцентрата и установлено, что они связаны с выделением влаги и летучих компонентов и возрастают с ростом температуры от 180 до 1100 °С и достигают 10–12.9 %, что согласуется с термоаналитическими исследованиями (при 1000 °С – 10.8 %). При этом разлагающийся фосфат переходит в структуру фторапатита.

Наиболее активное поглощение влаги из воздуха эфелями, обезвоженными при

Таблица 3

Результаты лабораторных испытаний по термообработке образцов эфелей

| а) сушка при 180°C. | | | | |
|---|--|--------|--------|--------|
| Влагопоглощение из воздуха при 18°C. | | | | |
| Время сушки, час. | Время выдержки на открытом воздухе, час. | | | |
| | 1.45 | 26.2 | 49.7 | 75.6 |
| 5 | 0.178 | 2.105 | 2.110 | 2.119 |
| б) t = 600°C. | | | | |
| Время преб. в печи, мин. | 5 | 10 | 20 | 45 |
| Потеря массы (ПМ), % отн. | 7.260 | 8.617 | 9.713 | 10.357 |
| Влагопоглощение из воздуха при 18°C. | | | | |
| Время преб. в печи, мин. | Время выдержки на открытом воздухе, час. | | | |
| | 1.5 | 24.5 | 49.0 | 74.1 |
| 5 | 0.755 | 1.341 | 1.555 | 1.619 |
| 10 | 0.832 | 1.185 | 1.322 | 1.411 |
| 20 | 1.371 | 1.762 | 1.822 | 1.903 |
| 45 | 0.574 | 0.905 | 0.951 | 0.981 |
| в) t = 800°C. | | | | |
| Время преб. в печи, мин. | 5 | 10 | 20 | 45 |
| Потеря массы (ПМ), % отн. | 7.575 | 8.989 | 9.858 | 9.931 |
| Влагопоглощение из воздуха при 18°C. | | | | |
| Время преб. в печи, мин. | Время выдержки на открытом воздухе, час. | | | |
| | 1.3 | 25.0 | 50.2 | 72.1 |
| 5 | 0.927 | 1.358 | 1.421 | 1.453 |
| 10 | 0.992 | 1.246 | 1.275 | 1.286 |
| 20 | 0.596 | 0.599 | 0.601 | 0.604 |
| 45 | 0.375 | 0.397 | 0.401 | 0.404 |
| г) t = 1100°C. | | | | |
| Время преб. в печи, мин. | 5 | 10 | 20 | 45 |
| Потеря массы (ПМ), % отн. | 10.142 | 11.947 | 12.421 | 12.479 |
| Влагопоглощение из воздуха при 18°C. | | | | |
| Время преб. в печи, мин. | Время выдержки на открытом воздухе, час. | | | |
| | 3.7 | 22.5 | 48.8 | 72.9 |
| 5 | 0.863 | 1.016 | 1.021 | 1.024 |
| 10 | 0.015 | 0.020 | 0.021 | 0.023 |
| 20 | 0.084 | 0.089 | 0.091 | 0.094 |
| 45 | 0 | 0.002 | 0.002 | 0.003 |

180 °С, наблюдается в течение первых 2,5 часов прежде всего глауконитом и гидрослюдами. Прокалка при более высокой температуре 600 °С и выше ведет к уменьшению влагопоглощения до 0,4–0,95 % преимущественно в первые 1-2 часа. Термообработка при 1000 °С ведет к радикальному изменению структуры и состава гидратированных минералов с выделени-

ем газообразных CO₂, H₂S и др. и повторная сорбция влаги не превышает 0,1 %.

На ЗАО «ГОП» были проведены опытно-промышленные испытания сушки фосконцентрата до заданной влажности (не более 0,5 %). Фосконцентрат перерабатывался по действующей схеме. Исходная нагрузка по питанию сушильного аппарата составляла 34 т/ч, т.е. была уменьшена

в 2 раза против нормы. В ходе испытаний было установлено, что существующая аппаратурно-технологическая схема сушильно-размольного цеха ЗАО «ГОП» и ее компоновочное исполнение не позволяют без реализации дополнительных мероприятий обеспечить влагопоглощение продукции не более 0,5 %, так как сушка фосконцентрата протекала при температурах 800 °С (вход) и 160 °С (выход) и средняя влажность – 0,3 %. На последующих

стадиях (измельчение, классификация, транспортировка, бункерирование, затаривание) происходит дополнительное влагонасыщение до 1 % особенно интенсивное в первые 3-4 часа нахождения на открытом воздухе.

Нашими исследованиями установлена необходимость высокотемпературной 900–1100 °С обработки в течение 10–20 мин с последующей герметичной упаковкой в течение 0,5 часа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. В 2 кн. Кн. 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа: Учеб. для ВУЗов. - М. - Высш. шк. - 2001. - 559 с.

Коротко об авторах

Лыгач В.Н., Семенов Ю.В. – Московский государственный горный университет,
Ладыгина Л.А., Моисеева Р.Н. – ИКИМСО.



© А.В. Фатьянов, Л.Г. Никитина,
С.В. Никитин, 2005

УДК 622.7

А.В. Фатьянов, Л.Г. Никитина, С.В. Никитин

ПРОБЛЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ ТОНКОВКРАПЛЕННЫХ РУД ФЛЮОРИТО-КАРБОНАТНОГО ТИПА

Семинар № 19

При обогащении бедных флюорито-карбонатных руд с низким содержанием и тонким вкраплением CaF_2 и сопутствующих ему компонентов флотационный способ имеет преимущества перед всеми другими.

Наибольший опыт в практике флотации накоплен при обогащении флюоритовых, кварц-флюоритовых и сульфидно-флюоритовых руд. В промышленных условиях переработка таких руд осуществляется по несложным схемам с применением, как правило, «стандартных» режи-

мов. Значительно большие трудности вызывает разработка схем обогащения кальцито-флюоритовых, барито-флюоритовых и кальцито-барито-флюоритовых руд, в состав которых входят минералы, обладающие близкими флотационными свойствами [1].

При огромном объеме выполненных исследований в лабораторных условиях на предприятиях достигнуты явно неудовлетворительные показатели, которые необходимо улучшать. Для достижения положительных сдвигов в этом направлении необходимо систематически заниматься изучением причин низкой селективности минералов в производственных условиях, изысканием новых собирателей и регуляторов флотации, изучением механизма действия реагентов с минералами этой группы, разработкой условий селективной флотации комплексных флюоритовых руд.

Анализ минерально-сырьевой базы Забайкалья показывает, что значительная доля запасов представлена группой месторождений, характеризующихся наличием крупных и сложных по форме рудных тел, представленных чаще всего тонковкрапленными флюоритом, кальцитом, доломитом и другими минералами. Значительно более бедные по содержанию флюорита руды таких месторождений сложны по составу и являются труднообогатимыми [2].

Истощение запасов богатых руд, содержащих более 35 % фтористого кальция, вовлечение в эксплуатацию бедных, труднообогатимых руд и высокие требования к выпускаемой продукции очень остро ставят вопрос совершенствования технологии обогащения флюоритовых руд. Накопленный в этом направлении научный материал показывает, что флюорит может быть сфлотирован почти всеми типами анионных и катионных собирателей, применяемых при флотации несulfидных минералов. Однако, при выборе собирателя для флотации флюорита из рудного материала основным критерием приемлемости того или иного реагента является степень селективного выделения CaF_2 ,

причем это особенно важно, если в руде присутствуют другие кальцийсодержащие минералы.

Флотация флюорита обычно проводится в щелочной среде, создаваемой содой или едким натрием. Широко используемая в качестве собирателя олеиновая кислота очень часто заменяется продуктами переработки таллового масла, окисленным рибсайклом, калийным мылом, кубовыми остатками от дистилляции высших жирных спиртов, алкилсульфатами и другими продуктами, имеющими меньшую стоимость, а по технологическим показателям – не уступающими олеиновой кислоте. Флотация флюорита жирнокислотными собирателями осуществляется, как правило, при температуре более 25 °С. Применение температуры ниже 15-20 °С без специальной подготовки собирателя часто ухудшает показатели обогащения. В перемешивающих операциях в некоторых случаях наблюдается существенное улучшение селективности минералов при подогреве пульпы до 60-80 °С и более.

Однако, следует отметить, что одним из самых сложных вопросов при обогащении флюорито-карбонатных руд является селективность кальцийсодержащих минералов [3]. В связи с тем, что отечественные предприятия в настоящее время выпускают флюоритовые флотоконцентраты только марки ФФ-92, содержащие 92-93 % CaF_2 и 4-5 % CaCO_3 , основной задачей при обогащении руд флюорито-карбонатного типа является разработка технологии получения высококачественных флюоритовых концентратов с содержанием CaF_2 93-99 % и минимальным количеством в них CaCO_3 и SiO_2 .

Обычно для руд такого типа применяют сложные развернутые схемы обогащения с переработкой промпродуктов в отдельном цикле; использованием многократного доизмельчения, пропарки, промежуточного обезвоживания продуктов, сложного реагентного режима, умягченной воды, обесшламливания, выщелачивания и т.д. Достижение высоких техноло-

гических показателей по таким схемам очень часто зависит от применяемых депрессоров минералов пустой породы (кварца, кальцита, силикатов различного вида, алюмосиликатов, полевых шпатов и др.), в качестве которых используют жидкое стекло (простое и активированное), соли различного вида и состава, таннин, дубильный экстракт, декстрин, крахмал и другие органические регуляторы, фтористые соединения, сочетания различных реагентов и др. При этом в процессе исследования флотации тонкодисперсных флюорито-карбонатных руд показано, что разделение кальцийсодержащих минералов и технологические показатели флотации определяются карбонатным модулем руды. Большинство авторов подчеркивают, что при модуле, равном 2, возможное извлечение флюорита в концентрат находится в пределах 83-88 %, при модуле 1,3 извлечение CaF_2 снижается до 69 % и до 36 % при модуле 0,07. Содержание CaF_2 в концентрате редко превышает 92 %.

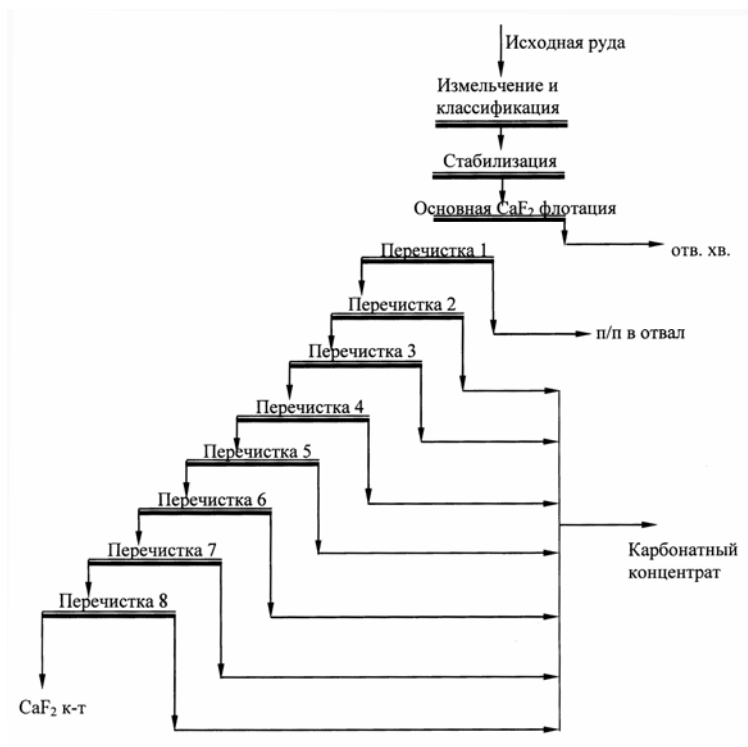
Возможность более эффективного ведения процесса обогащения сложных труднообогатимых руд показана нами на примере кварц-карбонатно-флюоритовых руд Начирского и Олимпийского участков Гарсонуйского ме-

Рекомендуемая технологическая схема получения высококачественных флюоритовых концентратов марки ФФ-97А из флюорито-карбонатных руд Начирского и Олимпийского участков Гарсонуйского месторождения

сторождения с карбонатным модулем 0,95 [4]. Вмещающие породы в этих рудах представлены кальцитом, доломитами и магнезитом. Карбонатные породы окварцованы, силикатные – гидрослюдизированы и карбонатизированы.

Рекомендуемая технология проста в исполнении и основана на использовании последних достижений в области теории и практики флотации. Схема предусматривает получение двух концентратов – флюоритового и карбонатного (рисунок). Селекция кальцийсодержащих минералов обеспечивается с применением структурирования дисперсионной среды и стабилизации энергетического состояния дисперсной системы на основе специального метода пульподготовки.

В качестве структурообразователя принят хлорид натрия, собирателя – олеиновая кислота, депрессора карбонатных минералов – кислое жидкое стекло с добавкой кислого раствора хлорида кальция. Выделение отвальных продуктов произво-



дится только в основной флотации и первой перечистке флюоритового концентрата, остальные семь перечисток работают без выделения отвальных хвостов с получением в восьмой перечистке флюоритового концентрата высокого качества, а все промпродукты 2-8 перечисток являются кондиционным карбонатным продуктом, содержащим частично флюорит, необходимый при использовании карбонатного концентрата в металлургической промышленности и строительных материалов.

Схема обеспечивает получение высококачественного флюоритового концентратов марки ФФ-97А, содержащих 98,28 % CaF_2 и 0,13 % CaCO_3 при общем извлечении CaF_2 во флюоритовый и карбонатный концентраты 80,52 %, и карбонатного концентрата, содержащего 43,56 % CaCO_3 и 35,54 % CaF_2 .

Разработанная технология флотации флюорито-карбонатных руд обладает кинетическими особенностями, обеспе-

чивающими за счет использования специального реагентного режима и регулирования энергетического состояния дисперсной системы появление аэрофлокулярного эффекта, что позволяет резко сократить время флотации в каждой операции. Довольно существенные преимущества проявляются и в том, что при данных технологических особенностях переработки труднообогатимого карбонатносодержащего сырья жесткость воды на процессе селекции кальций-содержащих минералов влияния не оказывает.

Промышленное освоение рекомендованной технологии обогащения флюорито-карбонатных руд с низким карбонатным модулем позволяет считать ее как одно из эффективных направлений интенсификации флотации низкосортного сырья с получением высокосортной продукции отечественными обогатительными фабриками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фатьянов А.В., Леонов С.Б., Каташин Л.В.* Состояние обогащения флюоритовых руд. – М.: Цветметинформация, 1972, 67 с.
2. *Анферов В.Е., Московец И.А., Фатьянов А.В., Федоров В.П.* Флюоритовые месторождения Восточного Забайкалья // Вещественный состав и обогащение руд россыпей Восточного Забайкалья. – Чита: Поиск, 2001. – С 266-312.
3. *Астахов Р.Я, Никифоров К.А., Мохосоев М.В.* Селективная флотация флюорит-карбонатных руд. – Новосибирск: Наука, 1983, 137 с.
4. *Фатьянов А.В., Никитина Л.Г., Никитин С.В.* Новые возможности в повышении качества плавиковошпатовой продукции России // Труды международного форума по проблемам науки, техники, образования. – М.: Академия наук о Земле, 2003. – С. 49-51.

Коротко об авторах

Фатьянов А.В., Никитина Л.Г., Никитин С.В. – Читинский государственный университет.