

УДК 622.7

**В.А. Бочаров, Т.И. Юшина, В.А. Игнаткина, Л.С. Хачатрян,
Е.Л. Чантурия, А.А. Вишкова**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УПОРНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД И ПРОДУКТОВ*

Выполненные исследования позволяют создать условия для селективного выделения пирита различных структур в камерные продукты флотации в операциях коллективной медно-цинковой и селективной флотации, черновых концентратов цветных металлов с размыканием основных циклов, что улучшает качество концентратов и повышает извлечение за счет снижения циркуляции пирита, создаваемой его высокой флотоактивностью.

Ключевые слова: флотация, комплексная переработка, концентрат, полиметаллические руды, флотоактивность, пирит, селективные реагенты, физико-химические свойства, технологические свойства.

Установлено, что минералы массивных и вкрапленных пиритных руд цветных металлов многих месторождений имеют различные структуры от кристаллической до корродированной, коломорфной и метакolloидной форм с тонкодисперсными взаимными включениями сульфидных и породных минералов.

Для сульфидов различных структур характерны в зависимости от генезиса неодинаковая дефектность кристаллической решетки, разный примесный состав в изоморфной и минеральной формах, неравномерная вкрапленность и тонкодисперсные эмульсионные включения до наноразмерных частиц в полиминеральных агрегатах, некоторых разделяемых флотацией минералов, что определяет различие физико-химических и технологических свойств отдельных минералов и их разновидностей. Одновременная близость контрастных признаков.

Разнофлотируемость структурных модификаций минералов одного и того же металла, малая контрастность флотационных свойств с другими сульфидами, неодинаковая флотоактивность генераций пирита, сфалерита, галенита предопределяют необходимость применения фракционного межциклового выделения различных форм в соответствии с свойствами минералов, в многоопределенной технологической схеме с использованием оптимального сочетания селективных собирателей в оптимальном соотношении компонентов в композиции собирателей различной комплексной структуры и состава.

Выполненные исследования и полученные результаты на пробах различных типов пиритных руд цветных металлов могут быть использованы в технологии переработки пиритных хвостов.

Выполнен обзор и проведены исследования по совершенствованию

* Работа выполнена при поддержке грантов: ФЦП 2014-14-576-0155-7937, РФФИ № 14-05-00232, № 14-05-00036а

схем и режимов обогащения, которые отражают технологические особенности минерального сырья, определены условия усиления контрастности свойств модификаций пирита, пирротина, сульфидных минералов и благородных металлов. Рекомендованные селективные реагенты, оптимально выбранные композиции собирателей, их соотношения, схема дозирования, снижают флотоактивность пирита, пирротина, повышают извлечение металлов. Стадиальное (межцикловое) выделение минералов по мере их раскрытия от сростков исключает шламуемость; создает условия в отдельных циклах флотации, выделяя из процесса флотоактивные пирит и пирротин в отвальный продукт, а мономинеральные фракции разнофлотируемых минералов меди, свинца и цинка – в черновые концентраты по циклам флотации, что позволяет снижать циркуляционные нагрузки и способствует повышению качества концентратов и извлечению металлов.

Большинство месторождений руд цветных металлов разрабатываются в течение многих десятилетий, при этом запасы достаточно богатых и сравнительно легкообогатимых руд ежегодно сокращаются, а в переработку на обогатительные фабрики поступают, так называемые, упорные руды. Отличительными особенностями упорного минерального сырья являются: пониженное содержание ценных компонентов; сложный минеральный и фазовый состав, представленный различными модификациями сульфидных и окисленных, рудных и породных минералов; неравномерная вкрапленность и широкий спектр крупности полезных минералов от наноразмерных и тонкодисперсных частиц до агрегатных образований рудных и породных частиц; тесное срастание друг с другом, с пиритом, пирротинном, породными минералами; наличие различных структур:

кристаллической, скрытокристаллической, метаколлоидной, каломорфной, эмульсионной и в виде твердых растворов с самой разнообразной текстурой: брекчеевидной, вкрапленной, полосчатой, сплошной, массивной и других форм.

Наибольшую трудность для разделения минералов представляют упорные колчеданные медно-цинковые золотосодержащие, полиметаллические, и другие руды. Руды являются комплексными, так как в них промышленную ценность имеют кроме минералов цветных металлов (медь, цинк, свинец) и благородные металлы: золото, серебро, платиноиды, редкие элементы. Технологии переработки этих руд предусматривают наряду с выделением концентратов цветных металлов, попутное извлечение благородных металлов во флотационные и гравитационные продукты.

Медно-цинковые пиритные руды Уральского региона содержат широкий спектр рудных и нерудных минералов. Характерными для большинства руд являются: тонкая до эмульсионных включений неравномерная вкрапленность сульфидных минералов, окисление сульфидов меди, пирита, пирротина с активацией образующимися сульфатами меди сфалерита, сульфидов железа; наличие разновидностей пирита, пирротина, сфалерита, минералов меди, обладающих различными физико-химическими свойствами. Все это влияет на показатели комплексного использования руд, которые ниже, чем при обогащении многих других типов первичных руд цветных металлов. Потеря цветных и благородных металлов с отвальными хвостами, пиритными концентратами и продуктами флотации значительные. Они достигают 15% Cu, 20% Zn, 80% Au. Большая часть этих потерь приходится на пиритные концентраты, величина выхода кото-

рых определяется содержанием пирита в руде и извлечением в них серы. Значительная часть золота и серебра связано с извлечением пирита в концентраты цветных металлов и хвосты флотации.

Недораскрытие сростков сульфидных минералов, несовершенство существующих схем измельчения, классификации и флотации, является основной причиной потерь металлов с хвостами флотации, поскольку схемы не учитывают минеральный состав и физико-химические свойства сульфидных и породных минералов. Полнота раскрытия минералов при измельчения неодинакова. Пирит, пирротин раскрываются от сростков раньше, чем сульфиды цветных металлов. Тоже самое относится к некоторым разновидностям сфалерита, модификациям меди. Сульфидные минералы имеют неодинаковую плотность, микротвердость, измельчаемость, содержат разные примеси. Разновидности пирита и халькопирита различаются содержанием Au, Co и As; пирротина – содержанием Fe, Cu, Ni, Pt; сфалерита – содержанием Fe, Cd, Cu, Mn, Ag; пентландита – содержанием Fe, Co, Ni, Cu. Разновидности пирита содержат золота в пределах от долей до сотен г/т. Содержание в сфалерите железа, изоморфно с ним связанного, составляет до 10% и более; железа, связанного в форме пирита в сростках со сфалеритом до 20%. Значительная доля серебра связана с халькопиритом и сфалеритом.

Основные рудообразующие минералы – пирит, другие сульфиды железа, и их модификации, наиболее легко и активно окисляются кислородом в воде. При взаимодействии с другими сульфидными минералами и компонентами пульпы, они изменяют физико-химические и технологические свойства, что сближают контрастность свойств разделяемых суль-

фидных минералов и в значительной степени осложняет выбор схем и показателей обогащения. Пирит в рудах месторождений Урала имеет различную степень дефектности кристаллической решетки, разную степень окисления, широкий спектр крупности зерен от единиц мм до наноразмерных частиц, от которых зависит степень раскрываемости сростков пирита с сульфидами меди, цинка, частицами золота, образование вторичных шламов и их флотоактивность.

Раскрываемость сложных сростков пирита от сульфидов меди и цинка, различных форм зерен самородного золота весьма неравномерная, что усложняет проблему извлечения гравитационного и флотационного извлечения золота. Значительная часть активированных минералов цинка флотируется вместе с сульфидами меди в медный концентрат, извлечение которого зависит от доли активированной катионами меди разновидности сфалерита. Потери цинка в медном концентрате вследствие флотации в него медистого сфалерита могут составлять 30–40%. Наличие примеси в сфалерите железа создает значительные проблемы в получении кондиционного цинкового концентрата по содержанию железа, что вызывает необходимость его доводки в специальных интенсивных условиях технологического режима. Анализом причин невысокого извлечения металлов и основные потери обусловлены тонкими сложными сростками с пиритом, а в ряде случаев свободными от сростков, но весьма тонкими шламистыми зернами, которые являются следствием неравномерной вкрапленности сульфидов меди, цинка и самородного золота, переизмельчения корродированного пирита и мягких рудных и породных минералов, и неполного раскрытия сростков. Раскрытые от сростков свободные зер-

на минералов, не выведенные после 1-й или 2-й стадий измельчения на флотацию, в последующих стадиях переизмельчаются, шламуются, и переходят в концентраты, снижая их качество и, в хвосты, увеличивая потери металлов. Применяемые схемы измельчения и флотации не всегда учитывают эти особенности вещественного состава руд. Вторичные и окисленные минералы меди вместе с крупнокристаллическим, корродированным пиритом и халькопиритом, раскрываются уже в первой и частично во второй стадиях измельчения, в то время как тонкокристаллические зерна этих минералов раскрываются во второй и третьей стадиях, крупнокристаллические раскрытые зерна в этих стадиях переизмельчаются. Проблема фракционного выведения пирита, фракций сульфидов цветных металлов из технологического цикла в отдельные продукты на разных стадиях процесса обогащения, является существенным фактором в повышении показателей селективной флотации. Разделение минералов и подавление флотации сульфидов железа осложняются близостью флотационных свойств с минералами меди, цинка, золота. Флотоактивность пирита и других сульфидных минералов при использовании ксантогената в качестве собирателя сопоставима Бутиловый и другие высшие ксантогенаты по отношению к сульфидам железа не являются селективными собирателями, активно флотируют все сульфидные минералы в коллективный концентрат, в черновые концентраты и продукты, разделение которых классическими методами осложнено. Раскрытые пирит, пирротин, другие сульфиды своевременно не выделенные в ранних стадиях измельчения и флотации, шламуются и переходят в медный, цинковый концентраты, или сульфидные продукты, снижая

качество концентратов и извлечение металлов. Исключить или уменьшить переизмельчение легкошламуемых сульфидных и породных минералов с одновременным повышением полноты раскрытия сложных сростков тонкозернистых комплексов возможно, если: применять стадильность измельчения, межцикловые операции гравитации и флотации с выделением через многостадийную и тонкую классификацию отдельные фракции в черновые продукты раскрытых минеральных зерен сульфидов цветных металлов, а раскрытый пирит выделять в камерный отвалный продукт основных и перечистных операций. Это позволит уменьшить переизмельчение минералов по кл. $-5+20$ мкм снизить выход граничных зерен крупностью менее 20 мкм и более 70 мкм, сократить потери в этих классах с хвостами флотации.

Схемы многих обогатительных фабрик, построенные несколько десятилетий назад, не учитывали всех особенностей минерального сырья, а поэтому и не смогли обеспечить оптимальную степень раскрытия и вывода готового класса минералов на гравитацию или флотацию. Проведенная на ряде обогатительных фабрик частичная реконструкция переделов измельчения и классификации позволила улучшить ситовую характеристику пульпы, поступающей на флотацию, без значительного повышения показателей флотации. Несмотря на положительные результаты обогащения, эксплуатация схем представляла трудности из-за необходимости перекачки камерного продукта первых циклов флотации снова в измельчительный передел. Реализация таких схем возможна при условии полной реконструкции отделений измельчения и флотации и при строительстве новых фабрик. Для сложного вещественного состава труднообогатимых

и пиритных руд Уральского региона разработаны и применяются: полная коллективно-селективная схема; частичная коллективно-селективная схема в различных вариантах; редко прямая селективная флотация сплошных сульфидных руд; комбинированная технология с выделением на стадии обогащения богатых селективных концентратов и пиритных медно-цинковых продуктов для пиро-гидро-металлургических способов переработки.

Каждая из приведенных схем имеет свои технологические особенности. Для всех схем целесообразны межцикловые операции обогащения. Сфалерит многих месторождений находится в виде нескольких генераций: одна из них – природноактивированная, легко флотируется в коллективный и другие концентраты, другая – малоактивная и для ее извлечения в коллективный или цинковый концентраты необходима активация медным купоросом. Для выделения железистого сфалерита требуется специальный режим доводки черногового цинкового концентрата. Успешная депрессия сфалерита при селективной флотации зависит от концентрации сульфидной серы (по сернистому натрию) в операциях дисорбции собирателя с частиц минералов коллективного концентрата, в операции селекции и доводки, и от степени окисленности руды и активированности сфалерита; концентрация Na_2S составляет 200–600 мг/л и 500–100 мг/л соответственно. Пириты различных модификаций, имеющие неодинаковую структуру, различную крупность, прочностные характеристики, флотоактивность, создают особо сложные проблемы при селекции коллективных концентратов. При 3-х стадийной схеме измельчения без вывода крупнокристаллического свободного от сростков пирита между стадиями измельчения и пирита колломорфного,

корридированного, они переизмельчаются и шламуются. Другая часть тоннокристаллического пирита раскрывается в последних стадиях при многочисленных перечистных операциях; ошламованный пирит достаточно активно флотируется и в конечном итоге извлекается в коллективный, медный, цинковый концентраты, аккумулируется в промпродуктах этих циклов, увеличивает циркуляционные нагрузки во флотации, ухудшает качество концентратов, снижает извлечение металлов. Для снижения потерь металлов и улучшения качества концентратов исследовано и реализовано фракционное выделение пирита в различных циклах коллективной и селективной флотациях. В технологической схеме, часть свободного пирита и в сростках с породными минералами, в агрегативных сростках грубозернистого пирита с сульфидами меди и цинка, а также колломорфный и скрытокристаллический, корродированный тонкий пирит, выделяют в отвальный продукт в виде хвостов коллективной флотации, или хвостов перечистных циклов флотации. Часть пирита выделяется при разделении сульфидного медно-цинково-пиритного концентрата в камерный продукт медно-цинковой флотации. Тонкодисперсный в сложных сростках и в свободных зернах, пирит, выделяют в перечистных операциях сульфидного коллективного, коллективного медно-цинкового концентрата, размыкая отмеченные циклы флотации в виде хвостов одной из перечистных операций черногового цинкового концентрата. Фракционное выделение пирита, улучшает качество всех концентратов, не снижая извлечение цветных металлов и золота, способствует стабилизации и облегчению регулирования технологического процесса. Изучение и внедрение указанных схемных решений не всегда обеспечивает по-

лучение положительного результата, что вызывает необходимость поиска более жестких депрессоров и селективных по отношению к пириту собирателей и в то же время эффективных по собирательной способности в отношении к минералам меди, цинка и золота.

Подавление флотации малоактивного сфалерита в медном цикле осуществляется в режиме «мягкой» депрессии, после чего проводят цинковую флотацию. Депрессия активированного сфалерита при разделении медно-цинкового концентрата проводится в более «жестком» режиме с высокими расходами сернистого натрия в сочетании с сульфатом цинка, и другими модификаторами, такими как сульфит, тиосульфат, диоксид серы, а при высоком содержании пирита цианистых соединений. Следует отметить, в зарубежной практике, даже на более легкообогащаемых рудах применяют цианид при малом расходе в сочетании с известью для более глубокой депрессии пирита. Технология фракционного выделения сфалерита различных генераций позволила снизить потери цинка в медном концентрате в 2 раза и повысить извлечение цинка на 10%.

В более сложном варианте разработана технология выделения разновидностей сфалерита из массивных руд ряда месторождений с высоким содержанием изоморфного железа и железа, связанного с тонкодисперсным пиритом. В обычных режимах и схемах получения цинкового концентрата без глубокой доводки черного концентрата содержание железа выше нормативного. Технология доводки черного цинкового концентрата основана на отмеченных особенностях выделения основной части сфалерита (природноактивированного) в режиме «жесткой» депрессии с получением концентрата камерным

продуктом. В усовершенствованной технологической схеме предусмотрено выделение разнофлотуемых фракций сфалерита в циклах коллективной, селективной флотации рудного материала, селекции коллективного концентрата и промпродуктов, с получением цинкового концентрата в 3–4-х операциях флотации. Несмотря на разные технологические схемы и режимы флотации руд с учетом особенностей подавления флотации сфалерита процессы разделения минералов значительных принципиальных отличий не имеют.

Для повышения эффективности собирателей для пиритных медно-цинковых руд, снижения флотуемости пирита и повышения флотоактивности минералов меди, цинка, золота и его минеральных ассоциаций, использованы сочетания на основе ксантогенатов, аэрофлотов, дисульфидов, диалкилдитиокарбаматов, неионогенных соединений и т.п. Наиболее перспективным оказалось совместное применение сильных и слабых собирателей. МИСиС, Гинцветмет исследовали и реализовали в разные периоды: бутиловый и изопропиловый ксантогенаты; бутиловый ксантогенат и аэрофлоты; бутиловый ксантогенат и МКБТ; собиратели S-703, S-701, R-100 и другие сочетания, которые обеспечивали прирост извлечения меди, золота при снижении общего расхода собирателя на 30–40% (Бочаров В.А., Игнаткина В.А., Лапшина Г.А., Херсонский М.И. и др.). Исследованы образцы собирателей серии СИГ, СГМ, М и другие. Реагенты этих серий по отношению к пириту проявляют более слабые собирательные свойства, чем к халькопириту, сфалериту и золоту. Снижение собирательной способности испытанных собирателей к пириту связано с более слабой степенью закрепления на поверхности минерала. Меньшее

извлечение пирита в сравнении с ксантогенатом достигается так же при применении собирателей: серии «Берафлот» модифицированных дитиофосфатов и др.

Значительные проблемы имеются при селективной флотации руды, в которых содержание пирротина достигает 40–60% от общей массы рудных минералов. В большинстве колчеданных Cu-Zn руд пирротин имеет подчиненное значение; при его содержании до 25% применение обычных технологических способов обогащения – аэрационная обработка в циклах коллективно-селективной флотации с использованием сернистого натрия в известковой среде, бутилового ксантогената, позволяет получать удовлетворительные показатели селективной флотации. Показано, что совместное использование более слабых по сравнению с БКс собирателей сери «Берафлот» и БКс в соотношении 3:1, позволяет повысить технологические показатели селективной флотации. Для повышения селективности флотации пирротин-пиритных руд. Проанализирован и изменен состав собирателя Берафлот. Показано, что восстановительные условия флотации с использованием серосодержащих соединений замедляют кинетику флотации как сульфидов железа, так и сульфидов цветных металлов. Лучшие результаты получены при создании окислительных условий флотации с использованием предварительной аэрации пульпы. Для депрессии пирротина и получения богатого по меди концентрата рекомендован режим аэрации пульпы перед первой медной флотацией с минимальным расходом собирателя. Выделение в начале рудной флотации медной «головки» позволило также выделить промпродукт перечистки коллективного концентрата с содержанием цинка близким к питанию цинковой рудной флотации и направить

его в этот цикл, что разомкнуло цикл коллективной флотации и способствовало снижению циркуляции пирита и пирротина в технологической схеме, повышению извлечения цинка в рудной флотации, уменьшению нагрузки при селекции коллективного концентрата.

Полиметаллические руды по технологическим свойствам близкие к медно-цинковым, в связи с близостью свойств минералов цветных металлов, также считаются труднообогатимыми и упорными рудами. Состояние технологии обогащения на обогатительных фабриках СССР, представляет практический интерес для освоения руд новых месторождений. По данным НИТУ «МИСиС», Уралмеханобр, «Иргиредмет», «Механобр-инжиниринг», «Сибполиметалл» и др. выделены некоторые особенности руд.

Основной минерал – галенит, встречается практически во всех полиметаллических рудах. Сульфидные вкрапленные Pb-Zn руды, обогащают по гравитационно-флотационным и флотационным схемам. При прямой селективной или коллективно-селективной флотации, депрессируют сфалерит. В связи с легкой шламуемостью галенита и других минералов для руд с неравномерной вкрапленностью применяют межцикловую флотацию в коллективном и свинцовом циклах. За рубежом чаще применяют депрессию сфалерита методом Шеридана-Гризвольда (цианид в сочетании с сульфатом цинка в щелочной среде); иногда используют только один цианид (фабрика Сулливан), используют также диоксид серы, сернистую кислоту, сульфит, тиосульфат натрия, железный купорос. В качестве собирателей применяют различные ксантогенаты и их сочетания, дитиофосфаты.

По схеме частичной коллективно-селективной флотации с выделением в начале медно-свинцового концент-

рата с последующей его селекцией и затем прямая селективная или коллективная флотация хвостов медно-свинцового цикла с последовательным выделением цинкового и пиритного концентратов, по такой схеме обогащают руды на Зырянской, Березовской, Золотушинской фабриках и на многих фабриках мира. По полной коллективно-селективной схеме работают Лениногорская, Белоусовская, фабрики Болгарии и Японии. Прямая селективная флотация за рубежом применяется в основном для богатых первичных руд (фабрики Лейк-Джордж, Экстолл, Канада). Селекцию медно-свинцовых концентратов проводят, депрессируя сульфиды меди сернистой кислотой, диоксидом серы, сульфитом, тиосульфатом натрия, иногда в сочетании с крахмалом, бихроматом, хлорной известью. При депрессии галенита бихроматный метод применяют в нейтральной или кислых средах, при малом содержании свинца (фабрики Швеции, Финляндии, Японии, Казахстана) в слабощелочной среде рН 7–8. Цианидный метод разделения медно-свинцового концентрата используют фабрики Казахстана и некоторые фабрики Японии; депрессию сульфидов меди ведут в содовой и реже в известковой среде с добавками иногда сульфида натрия, едкой щелочи, квебрахо. На ряде фабрик США и Японии медно-свинцовый концентрат кондиционируют с подавителями галенита и подогревают до 60 °С.

Полиметаллические руды новых месторождений РФ (Озерное, Рубцовское и другие) по минеральному и фазовому составу являются неоднородными и сложными, содержат окисленные и вторичные минералы до 50%. В наиболее сложной руде Озерного месторождения галенит имеет несколько структур и представлен разновидностями: крупнокристаллической,

скрытокристаллической, деформированной, слоистой. Извлечение цинка из руд определяется «цинковым модулем» (Zn:Pb), чем больше эта величина, тем ниже извлечение. Пирит с мелкозернистой, аморфной, коллоидной, почковидной и кольцевой структурами; породные карбонаты находятся в тесном сростании с сульфидами свинца и цинка с вкрапленной и слоистой структурой. В руде преобладают тонкие сростки пирита, галенита, сфалерита; размер агрегатных сростков пирита, галенита, сфалерита, марказита, кальцита от десятых долей до сотых долей. Пирит при измельчении раскрывается раньше галенита и сфалерита. Галенит в тонких сростках с пиритом практически не раскрывается, что не позволяет получить качественный свинцовый концентрат. В сфалерите содержится до 10% изоморфного железа. В связи с этим цинка в сфалерите ниже по сравнению со стехиометрией (67%) и составляет 55%; содержание свинца в галените ниже в сравнении со стехиометрией на 5%. В МИСиС(е) разработана схема, которая предусматривает межцикловую Pb-Zn, основную Pb-Zn флотацию и рудную цинковую флотацию.

Получение качественного свинцового концентрата при высоком извлечении свинца практически нереально.

Анализируя результаты исследований применительно к колчеданым медно-цинковым и сульфидным свинцово-цинковым рудам новых месторождений можно выделить общие и близкие технологические особенности пирита, сфалерита, галенита сульфидов меди, которые позволяют определить границы гравитационного и флотационного извлечения свободных зерен сложных тонкодисперсных сростков минералов по мере раскрытия в стадиях измельчения и фракционной флотации в многооперационной технологической схеме в

оптимальном сочетании с гидрометаллургическими процессами.

Пирит, является разнофлотируемым минералом. Основную долю тонкодисперсных сростков корродированного пирита с сульфидами цветных металлов вследствие высокой флотоактивности необходимо выделять в межцикловых операциях вместе с тонкозернистыми свободными частицами основного флотируемого минерала. Пирит с кристаллической структурой в условиях шадящего селективного режима по щелочности и депрессорам легко подавляется в основных циклах флотации. Пирит со скрытокристаллической, корродированной и шламистой структурами активно флотируется во всех циклах, несмотря на применение селективных композиций собирателей и «жестких» депрессоров. В связи с этим черновые концентраты с повышенным содержанием примесных минеральных компонентов доводят по специальным технологическим схемам. Галенит колчеданных руд по текстурно-структурным признакам значительно отличается от галенита вкрапленности руд (например, месторождений РФ (Приморья); Узбекистана (АГМК); Казахстана, (Зыряновское, Лениногорское и др.)). Галенит сравниваемых руд имеет крупно-средне-кристаллические структуры, которые легко выделяют применяя гравитацию и флотацию. В рассматриваемых рудах галенит имеет неравномерную тонкокристаллическую и тонкодисперсную вкрапленность в пирите, сфалерите, породных карбонатных минералах, часто с ячеистой структурой, покрытый пленками церуссита. Такой галенит при флотации «размазывается» по всем циклам пропорционально выходам пенных продуктов в операциях флотации, его извлечение сопоставимо с извлечением пирита, как и в медно-цинковых рудах. Эти особен-

ности галенита в ряде случаев не позволяют выделить в схеме флотации свинцовый концентрат в соответствии с техническими условиями. Черновые свинцовые концентраты целесообразно перерабатывать по гидрометаллургической технологии.

Разновидности сфалерита колчеданных полиметаллических руд близки к сфалеритам пиритных медно-цинковых и вкрапленных свинцово-цинковых руд, в них содержание компонентов, особенно железа изоморфного и пиритного, значительно больше.

Рекомендованные селективные реэпититы, оптимально выбранные композиции собирателей, их соотношения, схема дозирования, снижают флотоактивность пирита, пирротина, повышают извлечение металлов. Стадиальная (межцикловая) флотация минералов по мере их раскрытия от сростков исключает шламуемость; создает условия в отдельных циклах флотации выделения из процесса флотоактивных пирита и пирротина в отвальный продукт, а мономинеральных фракций разнофлотируемых минералов меди, свинца и цинка – в черновые концентраты по циклам флотации, что позволяет снижать циркуляционные нагрузки и способствует повышению качества концентратов и извлечению металлов.

Выводы

Для сульфидов различных структур характерны неодинаковые дефектность кристаллической решетки, разный примесный состав, неравномерная тонкодисперсная вкрапленность в полиминеральных агрегатах, что определяет различие и близость физико-химических и технологических свойств минералов и их разновидностей. Разнофлотируемость структурных модификаций минералов одного и того же металла, которые вызывают

необходимость применения фракционного и межциклового выделения различных их форм в соответствии с свойствами минералов в многооперационной технологической схеме, использование сочетания селективных собирателей, депрессоров, оптималь-

ных значений рН во всех циклах флотации, позволяют вывести разновидности пирита в отвальные продукты или пиритные концентраты, снизить его циркуляцию в процессе, повысить качество концентратов цветных металлов и извлечение металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горно-перерабатывающей индустрии России // Горный журнал. – 2007. – № 2. – С. 2–9.
2. Игнаткина В.А., Бочаров В.А. Комплексное обогащение пиритных золотосодержащих руд цветных металлов // Цветные металлы. – 2007. – № 8. – С. 18–24.
3. Прахова Е.В. Строение и формирование агрегатов пирита в колчеданных рудах Урала / Тр. ин-та Геологии и Геохимии. УФ АН ССР. – Свердловск, 1969. – вып. 80. – С. 4–53.
4. Изюитко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб.: Наука, 1997. – 581 с.
5. Храменкова Д.П., Нагирняк Ф.И. Комплексное прогнозирование колчеданных руд / Сборник научных трудов ВНИИ Унипромель. – Свердловск, 1988. – С. 65–71.
6. Бочаров В.А. Механизм окисления и особенности флотации сульфидных минералов / Теория процессов производства тяжелых цветных металлов. Сборник трудов института «Гинцветмет». – М., 1989. – С. 160–165.
7. Чантурия Е.Л. Минералого-технологические разновидности пирита Гайского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 12. – С. 263–273.
8. Митрофанов С.И. Селективная флотация. – М.: изд. Металлургия, 1967. – 585 с.
9. Бочаров В.А., Игнаткина В.А. О взаимосвязи физико-химических свойств тонкодисперсных сульфидных пульп и результатов селективной флотации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 2. – С. 332–341.
10. Бочаров В.А., Чантурия Е.Л. Изучение природы и технологических свойств золота сульфидных руд // Цветные металлы. – 2001. – № 6. – С. 61–65.
11. Бочаров В.А., Игнаткина В.А., Алексейчук Д.А. // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2012. – № 4. – С. 3–10.
12. Бочаров В.А., Игнаткина В.А. О роли железа и его соединений в процессах обогащения сульфидных руд цветных и благородных металлов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2007. – № 5. – С. 4–12.
13. Игнаткина В.А. Выбор селективных собирателей при флотации минералов, обладающих близкими флотационными свойствами // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2011. – № 1. – С. 3–10.
14. Игнаткина В.А. Исследование процесса образования осадков катионов меди с сульфидрильными собирателями // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2009. – № 4. – С. 14–16.
15. Игнаткина В.А., Бочаров В.А., Пунцукова Б.Т., Алексейчук Д.А. Исследования селективности действия сочетания ксантогената и дитиофосфата с тионокарбоматом // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2010. – № 3. – С. 105–115.
16. Бочаров В.А., Игнаткина В.А. О закономерностях формирования жидкой фазы флотационной сульфидной пульпы // Физико-технические проблемы. – 2007. – № 1. – С. 108–119. **ПЛАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бочаров Владимир Алексеевич – доктор технических наук, профессор,
Юшина Татьяна Ивановна – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой,
e-mail: yuti62@mail.ru,

Игнаткина Владислава Анатольевна – доктор технических наук, доцент, профессор,
Чантурия Елена Леонидовна – доктор технических наук, профессор, e-mail: elenachan@mail.ru,
Вишкова Александра Анатольевна – старший преподаватель, e-mail: aleksandra_vishk@mail.ru,
Хачатрян Лилия Степановна – кандидат технических наук, ведущий инженер,
МГИ НИТУ «МИСиС».

TECHNOLOGICAL EVALUATION OF THE MAIN DIRECTIONS OF COMPLEX PROCESSING OF REFRACTORY ORES AND PRODUCTS

Bocharov V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Yushina T.I., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of Chair,
e-mail: yuti62@mail.ru,
Ignatkina V.A., Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor,
Chanturiya E.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: elenachan@mail.ru,
Vishkova A.A., Senior Lecturer, e-mail: aleksandra_vishk@mail.ru,
Khachatryan L.S., Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer,
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS».

For sulfide minerals of many types of non-ferrous metals are characterized by unequal defectiveness of the crystal lattice, different impurity composition in the isomorphic and mineral forms irregular finely dispersed nano-sized particles to disseminated in multimineral aggregates, unequal disseminations splices and many other physicochemical characteristics, which determine the technological, and in particular flotation properties and contrast minerals and their varieties.

Different floatability or proximity flotation activity modifications of pyrite, sphalerite, copper sulphides, galena predetermine the need for the use of fractional inter-cycle allocation of different phase forms in accordance with the properties of minerals a multioperational technological scheme using a combination of different flotation agents, pH optimum cycles flotation varieties of the same minerals.

Executed researches allow to create the conditions for the selective isolation of the various structures of pyrite in the flotation chamber products operations collective copper-zinc and selective flotation, roughing concentrates of nonferrous metals with opening the main cycles, which improves the quality of concentrates and increases extraction by reducing the circulation of pyrite created its high flotation activity.

Key words: flotation, complex processing, concentrate, polymetallic ores, flotation activity, pyrite, selective reagents, physical and chemical properties, technological properties.

REFERENCES

1. Chanturiya V.A. *Gornyi zhurnal*, 2007, no 2, pp. 2–9.
2. Ignatkina V.A., Bocharov V.A. *Tsvetnye metally*, 2007, no 8, pp. 18–28.
3. Prakhova E.V. *Trudy instituta Geologii i Geokhimii. UF ANSER* (Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry. UV ANSER), Sverdlovsk, 1969, issue 80, pp. 4–53.
4. Izoitko V.M. *Tekhnologicheskaya mineralogiya i otsenka rud* (Technological mineralogy and ore assessment), Saint-Petersburg, Nauka, 1997, 581 p.
5. Khramenkova D.P., Nagirnyak F.I. *Sbornik trudov instituta «Unipromed»* (Proceedings of the Institute «Unipromed»), Sverdlovsk, 1988, pp. 65–71.
6. Bocharov V.A. *Teoriya protsessov proizvodstva tyazhelykh tsvetnykh metallov. Sbornik trudov instituta «Gintsvetmet»* (The theory of the processes of production of heavy non-ferrous metals. Proceedings of the Institute «Gintsvetmet»), Moscow, 1989, pp. 160–165.
7. Chanturiya E.L. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2005, no 12, pp. 263–273.
8. Mitrofanov S.I. *Selektivnaya flotatsiya* (Selective flotation), Moscow, Metallurgiya, 1967, 585 p.
9. Bocharov V.A., Ignatkina V.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2009, no 2, pp. 332–341.
10. Bocharov V.A., Chanturiya E.L. *Tsvetnye metally*, 2001, no 6, pp. 61–65.
11. Bocharov V.A., Ignatkina V.A., Alekseichuk D.A. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*, 2012, no 4, pp. 3–10.
12. Bocharov V.A., Ignatkina V.A. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*, 2007, no 5, pp. 4–12.
13. Ignatkina V.A. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*, 2011, no 1, pp. 3–10.
14. Ignatkina V.A. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*, 2009, no 4, pp. 14–16.
15. Ignatkina V.A., Bocharov V.A., Puntsukova B.T., Alekseichuk D.A. *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2010, no 3, pp. 105–115.
16. Bocharov V.A., Ignatkina V.A. *Fiziko-tekhicheskie problemy*, 2007, no 1, pp. 108–119.

