

УДК 622.7.017.24

И.В. Шадрюнова, М.Н. Сабанова, Н.Н. Орехова

**ИЗЫСКАНИЯ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОБОГАЩЕНИЯ ТОНКОВКРАПЛЕННЫХ РУД
ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА**

В настоящее время медно-цинковые руды Южного Урала относятся к наиболее трудным объектам обогащения, характеризующимся низким содержанием ценных компонентов, тонким взаимным прорастанием минералов, тонкой и ультратонкой вкрапленностью, природной активацией минералов цинка. В статье представлены результаты систематических исследований руд на обогатимость и микроскопический анализ продуктов обогащения. Показаны общие причины недостаточной эффективности обогащения руд. Рассмотрены основные пути повышения технологических показателей флотации. Представлены результаты изучения влияния добавки реагента-диспергатора на показатели флотации.

Ключевые слова: обогатимость, гидроциклонирование, высокощелочная среда, аэрация.

Медные и медно-цинковые руды Южно-Уральского региона в основном являются колчеданными, и относятся к наиболее труднообогащаемому сырью. По результатам исследований на обогатимость основными негативными факторами, влияющими на эффективность флотационного обогащения являются:

— сложный вещественный состав руд;

— неблагоприятное соотношение меди и цинка;

— тонкое, неравномерное взаимопрорастание сульфидных минералов между собой и с породными минералами;

— поверхностное и развитое вглубь окисление халькопирита и пирита;

— переменный состав и нестабильные свойства жидкой фазы пульпы.

В настоящее время совершенствование схем обогащения и реагентного

режима флотации являются одними из основных направлений повышения технологических показателей.

Результаты работы исследовательской лаборатории СФ ОАО «Учалинский ГОК» и практика переработки труднообогащаемых руд на фабрике позволяют назвать в качестве эффективных путей повышения технологических показателей следующие:

1. Оптимизация тонины помола руд с «головы» процесса за счет стабилизации плотностного режима и режимов гидроциклонирования, регулирования циркуляционной нагрузки. Это позволило увеличить извлечение ценного компонента в концентрат без снижения его качества [1].

2. Увеличение тонины помола промежуточных продуктов за счет введения операций доизмельчения, замены измельчающей среды — шаров на шильпессы, которые позволяют за счет своей геометрической формы увеличивать плоскость сопри-

косновения мелющих тел и дополнительно истирать руду.

3. Введение в процесс массивированной аэрации пульпы в высокощелочной среде (рН до 12,5) с «головой» процесса и пооперационно, позволяющей частично депрессировать пирит, пирротин [1], повышая тем самым качество концентратов при неизменном извлечении.

4. Ведение флотационного процесса с применением новых реагентов: депрессоров — триполифосфата натрия, собирателей «Берафлот» (работа совместно с МИСИС), «БТФ», пенообразователей «ДМИПЭК» [2].

5. Подачу реагентов-собирателей в мельницу на третьей стадии измельчения, что позволяет вовлекать во флотационный процесс тончайшие шламы ценного минерала, увеличивая извлечение на 3—5 %.

6. Применение реагентов — диспергаторов и оптимизацию состава оборотной воды.

Последнее направление стало особенно актуальным с практикуемым в последнее время на фабрике увеличением тонины помола руд.

Эксперимент

Исследования проведены на пробах руд текущей переработки обогатительной фабрики Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК» по стандартной программе и в рамках исследований применения новых реагентов.

Флотационные опыты проводилась на лабораторном оборудовании в открытом цикле на технической и оборотной воде. При оптимальном технологическом режиме проведены замкнутые опыты по принципу непрерывного производственного процесса.

Новыми операциями, дополнительно введенными во флотационный процесс, явились:

— аэрация (продолжительность, расход воздуха-переменные) пульпы в высокощелочной среде (содержание свободной CaO переменное) (пооперационно);

— предварительное кондиционирование воды до оптимальных параметров (для каждой руды свои) по щелочности и температуре;

— стабилизация ионного состава оборотной воды за счет кондиционирования её с водополимерной гидрофильной системой;

— введение новых реагентов (депрессоров, собирателей, пенообразователей, диспергаторов) в сочетании с классическим набором реагентов для медных и медно-цинковых руд;

Продукты флотационных опытов (концентраты, хвосты) подвергались анализу: химическому, гранулометрическому, минералогическому.

Характеристика руд

Вещественный состав медных и медно-цинковых руд разнообразен и сложен. Главными рудообразующими минералами являются пирит, халькопирит и сфалерит, второстепенными — борнит, теннантит, халькозин, галенит, магнетит и гематит. Из нерудных минералов широко распространены серицит и кварц, в меньших количествах присутствуют хлорит, карбонаты, полевые шпаты (альбит) и барит.

Обобщенные результаты химического и фазового анализа руд, поступающих в исследовательскую лабораторию, представлены в табл. 1 и 2.

Плотность вес руд текущей переработки ОФ СФ ОАО «УГОК» — 2500–4500 кг/м³.

Минералогические исследования руд показали, что к общим чертам медных и медно-цинковых руд месторождений, относятся:

— чередование вкрапленных и сплошных текстур;

Таблица 1

Обобщенные результаты химического анализа руд текущей переработки ОФ СФ ОАО «УГОК»

Наименование элемента	Содержание,%, (г/т)	
	медные руд	медно-цинковые руд
Медь	1,0-2,7	1,0-2,7
Цинк	0,09-0,8	1,5-3,5
Сера	9,83-40,0	10,0-35,0
Железо	12,47-45,0	11,0-40,0
Двуокись кремния	12,0-40,0	12,0-60,0
Золото	(0,1-5,0)	(0,1-5,0)
Серебро	(0,8-40,4)	(0,8-40,4)

Таблица 2

Результаты фазового анализа соединений меди и цинка руд текущей переработки ОФ СФ ОАО «УГОК»

Минералы	Относительное содержание %				
	сульфидные		сульфатные	окисленные	всего
	первичные	вторичные			
Меди	20,0-98,0	70-1,0	8,0-0,001	15,0-0,5	100,0
Цинка	90,0-98,0		4,0-0,01	7,0-1,0	100,0

Таблица 3

Результаты химического анализа руды месторождения «Юбилейное»

Наименование элемента	Содержание,%, (г/т)	
	медные руд	медно-цинковые руд
Медь	2,0-2,7	1,0-5,0
Цинк	0,09-0,5	1,5-3,0
Сера	27,0-35,0	27,0-35,0
Железо	25,0-35,0	25,0-35,0
Двуокись кремния	12,0-17,0,0	12,0-18,0
Золото	1,0-2,2	1,0-2,2
Серебро	6,0-12,0	4,0-15,0

Таблица 4

Результаты фазового анализа соединений меди и цинка руды месторождения «Юбилейное»

Минералы	Относительное содержание %				
	сульфидные		сульфатные	окисленные	всего
	первичные	вторичные			
Меди	20,0-88,0	70-12,0	8,0-0,004	15,0-1,5	100,0
Цинка	90,0-98,0		4,0-0,01	5,0-1,0	100,0

– наличие ковеллиновой и борнитовой минерализаций;

– широкое развитие эмульсионных включений пирита в халькопирит-

те, борните, халькопирита в пирите и нерудных;

- замещение пирита – пирротином и (или) магнетитом;
- окисление пирита и халькопирита в месторождении;
- наличие ультратонких нерудных включений.

Наличие ковеллиновой, борнитовой, халькозиновой минерализации приводит к активации минералов цинка и железа уже в процессе измельчения руды. Характерной особенностью руд является природная активация сфалерита при микроскопических включениях эндогенного халькозина, что в процессе технологической переработки руд приводит к низкой селективности медного концентрата по цинку и железу, потерям цинка в медном цикле [3].

К наиболее интересным и сложным рудам относятся медно-цинковые руды месторождения «Юбилейное», которым присуще большинство перечисленных особенностей медных и медно-цинковых руд Южно-Уральского региона. Обобщенные результаты химического и фазового анализа руд представлены в табл. 3 и 4.

Удельный вес руды месторождения «Юбилейное» 3,7—4,4 г/см³.

Результаты исследований

Наиболее объективный анализ эффективности обогащения медных и медно-цинковых руд можно сделать с помощью микроскопических исследований получаемых продуктов. Микроскопический анализ является инструментом наиболее точной оценки причин низкого качества концентратов, потерь ценных компонентов с хвостами флотации, позволяющий принять решение о направлении оптимизации флотационного процесса.

Анализ проб медных и цинковых концентратов, отвальных хвостов по-

казал, что их качество напрямую связано с наличием в них тончайших сростков с ценными минералами и единично свободных зерен. Такие сростки пирита с халькопиритом и пирита со сфалеритом переходят в концентрат при низкой щелочности пульпы, при повышении температуры жидкой фазы, при увеличении расхода собирателей, пенообразователей.

Тончайшие сростки пирита с халькопиритом и пирита со сфалеритом переходят в хвосты при высокой щелочности пульпы, при снижении температуры жидкой фазы, при снижении расхода собирателей, пенообразователей, при введении в процесс депрессоров, реагентов-диспергаторов, ведение операций при высоком плотностном режиме. Анализ отвальных хвостов переработки руды месторождения «Юбилейное» (табл. 5) выявил, что основные потери меди и цинка связаны со сростками в тонких классах.

Из результатов фазового анализа видно, что основные потери меди представлены сульфидами вторичной и первичной формы. Рассев хвостов показал, что медь по массовым долям почти равномерно распределена по классам крупности, но основные потери приходятся на тонкие классы (в классе минус 0,044 мм).

Минералогический анализ отвальных хвостов выявил следующее:

— потери меди в хвостах флотации в основном связаны с потерей в тончайших сложных сростках. Причем сростки представлены конгломератами с эмульсионной вкрапленностью борнита, халькозина, азурита в нерудные и пирит, эмульсионной вкрапленностью халькопирита в пирит и нерудные;

— в классе менее 0,016 (0,01) мм (шламы) имеется большое количество

Таблица 5

Распределение меди и цинка по классам крупности в отвальных хвостах

Класс крупности, мм	Выход, %		Содержание		Извлечение	
	частный	суммарный «по минусу»	Cu	Zn	Cu	Zn
-0,315+0,125	4,44	100	0,4	0,16	5,2	4,46
-0,125+0,074	11,8	95,56	0,34	0,13	11,74	9,62
-0,074+0,044	13,46	83,76	0,28	0,13	11,04	10,97
-0,044+0	70,3	70,3	0,35	0,17	72,02	74,95
Итого	100		0,34	0,16	100	100

Таблица 6

Результаты фазового анализа соединений меди в пробе отвальных хвостов медной руды месторождения «Юбилейное»

Медь содержание	сульфидная		окисленная	сульфатная	общая
	первичная	вторичная			
Абсолютное, %	0,12	0,16	0,054	0,0022	0,34
Относительное, %	36,41	47,06	15,88	0,65	100

свободных зерен ковеллина, халькозина, борнита, единичные свободные зерна халькопирита.

Все выше перечисленное позволяет сделать следующие выводы: переработка медных и медно-цинковых руд сложного вещественного состава с характерными текстурно-структурными особенностями подразумевает многостадийную схему с постепенным выводом из процесса раскрытых сростков меди и цинка, что позволит не переизмельчать и не приводить к ошлагованию вторичные сульфиды меди (ковеллин, халькозин, борнит). При этом позволит раскрыть тончайшие сростки халькозина, борнита, халькопирита, азурита с нерудными и пиритом.

Учитывая, что полное раскрытие сростков, которыми обусловлены потери, возможно только при измельчении до класса менее 16 мкм, флотация шламистых пульп становится объективной реальностью.

Анализ показателей флотации ошлагованных пульп на фабрике показал

существенное влияние состава и температуры жидкой фазы на флотационный процесс. Особенно четко это влияние прослеживается при смене температуры окружающей среды в зависимости от времени года. Ряд проведенных исследований и промышленный анализ показали, что наибольшее ухудшение показателей флотационного процесса происходит в зимний период времени (декабрь — февраль): на 2-4 % снижается извлечение меди и цинка в одноименные концентраты, на 3-5 % снижается качество цинкового концентрата. Отмечено, что связано это в том числе, и с увеличением жесткости оборотной воды в результате отсутствия притока в хвостохранилище дождевых вод. Как известно, соли жесткости замедляют флотацию сульфидов, а ионы кальция оказывают отрицательное влияние на флотационное извлечение железосодержащих минералов [4] в том числе халькопирита, что и является причиной снижения извлечения металлов и качества концентрата.

Таблица 7

Результаты открытых опытов на пробах медной руды месторождения «Юбилейное»

Продукты	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %	Расход системы, г/т
		медь	медь	
<i>Проба 1</i>				
Медный концентрат	13,51	19,09	84,8	0
Хвост 1 мед. пер-ки медной перечистки	5,14	2,98	5,04	
Грубый медный концентрат	18,65	14,65	89,84	
Отв.хв.	81,35	0,38	10,16	50
Руда	100	3,04	100	
Медный концентрат	12,37	20,48	85,83	
Хвост 1 мед. пер-ки	8,17	2,2	6,09	
Грубый мед. конц-т	20,54	13,2	91,92	
Отв.хв.	79,46	0,30	8,08	
Руда	100	2,95	100	70
Медный концентрат	12,69	20,54	85,47	
Хвост 1 мед. пер-ки	7,21	2,15	5,08	
Грубый мед. конц-т	19,9	13,88	90,55	
Отв.хв.	80,1	0,36	9,45	
Руда	100	3,05	100	
<i>Проба 2</i>				
Медный концентрат	13,0	16,12	91,38	0
Хвост 1 мед. пер-ки	6,14	0,85	2,28	
Грубый мед. конц-т	19,14	11,22	89,84	
Отв.хв.	80,86	0,18	6,34	150
Руда	100	2,29	100	
Медный концентрат	12,91	15,99	89,77	
Хвост 1 мед. пер-ки	5,59	0,71	1,73	
Грубый мед. конц-т	18,5	11,37	91,5	
Отв.хв.	81,5	0,24	8,5	
Руда	100	2,29	100	300
Медный концентрат	11,5	17,82	89,72	
Хвост 1 мед. пер-ки	7,33	0,99	3,18	
Грубый мед. конц-т	18,83	11,27	92,9	
Отв.хв.	81,17	0,2	7,1	
Руда	100	2,28	100	
Медный концентрат	11,82	17,5	91,96	400
Хвост 1 мед. пер-ки	8,08	0,65	2,34	
Грубый мед. конц-т	19,9	10,65	94,3	
Отв.хв.	80,1	0,16	5,7	
Руда	100	2,29	100	

В весенний период (март-апрель) наблюдается изменение состава оборотной воды за счет массивованного попадания в объем хвостохранилища обескислороженной талой воды, что

приводит к увеличению расхода реагентов, нарушению селективности процесса флотации.

Для повышения качества концентратов в лаборатории использована

водополимерная гидрофильная система на основе поликарбонатных кислот, их эфиров и солей. Реагент предоставленный объединением «Оргполимерсинтез» (г. Санкт-Петербург) является диспергатором и связывает ионы кальция и магния в комплексные соединения, не активирующие вмешивающиеся минералы.

Добавка в оборотную воды водополимерной гидрофильной системы позволила стабилизировать концентрации ионов кальция, магния и др. При различных расходах системы прирост качества медного концентрата составил 1,39-1,77 % при сохранении извлечения. Результаты представлены в табл. 7.

Выводы

Переработка медных и медноцинковых руд сложного вещественного состава с характерными текстурно-структурными особенностями требует изыскания путей повышения эффективности обогащения.

Основные потери меди представлены сульфидами вторичной и первичной формы в тончайших сложных сростках — конгломератах с эмульсионной вкрапленностью борнита, халькозина, азурита в нерудные и пирит, эмульсионной вкрапленностью халькопирита в пирит и нерудные. Потери приходятся на классы менее 0,044 мм.

Полное раскрытие сростков, которыми обусловлены потери, возможно только при измельчении до класса менее 16 мм, что обуславливает необходимость флотации шламистых пульп, для которых значимым фактором является управление составом и параметрами оборотной воды.

Добавка в оборотную воды водополимерной гидрофильной системы позволила при различных расходах получить прирост качества медного концентрата 1,39-1,77 % при сохранении извлечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сабанова М.Н.* Условия эффективности технологического процесса флотации медных руд плановой переработки Сибайской обогатительной фабрики. <http://tlnh.samlit.com>
2. *Сабанова М.Н., Дубровская Е.П., Орехова Н.Н.* Основные направления в повышении эффективности обогащения медноцинковых руд Уральского региона / Материалы научно-практической конференции РИВС-2010 СПб.: «Руда и Металлы» <http://rivs.rudmet.ru/materialy> С.35-36.
3. *Сабанова М.Н.* Тонковкрапленные руды месторождения «Юбилейное» — проблемы переработки / Сабанова М.Н., Заварухина Е.А., Рачкова Е.Н. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. М.: ИПКОН РАН, 2009. С 299 – 302.
4. *Чантурия В.А., Миненко В.Г., Лунин В.Д., Шадрунова И.В., Орехова Н.Н.* Электрохимическая технология водоподготовки в процессах флотации и выщелачивания Cu-Zn колчеданных руд» «Цветные металлы, №9, 2008. — С. 16—21. **ГИАЗ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шадрунова Ирина Владимировна — доктор технических наук, профессор, ученый секретарь Института проблем комплексного освоения недр РАН, shadrunova@mail.ru,
Орехова Наталья Николаевна — кандидат технических наук, доцент, Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова, nn_orehova@mail.ru,
Сабанова Маргарита Николаевна — начальник исследовательской лаборатории СФ ОАО «УГОК», margo@ufamts.ru