

УДК 622.7

И.В. Шадрунова, А.В. Малашта, В.И. Павлова, Н.А. Нуждина

**КОМПЛЕКСНАЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ХВОСТОВ
ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД***

Семинар № 14

Результатом функционирования фабрик, перерабатывающих медно-цинковые руды, является образование на дневной поверхности отходов производства. Причиной тому является низкое содержание в них цветных металлов и снижение качества перерабатываемой руды. Пылеобразование и миграция продуктов естественного выщелачивания материала в подземные воды нарушают экологическое равновесие в окружающей среде. Постепенное заполнение хвостохранилищ продуктами переработки и концентрация в них цветных и благородных металлов позволяет рассматривать хвостохранилища как техногенное сырье.

Для освоения месторождений техногенных материалов требуется разработка принципиально новой технологии, позволяющей осуществить глубокое селективное разделение металлов с высоким коэффициентом извлечения из исходного материала. Обеспечение экологичности и безотходности являются основными усло-

виями разрабатываемой технологии переработки техногенного сырья.

Объектом исследования являлись хвосты обогащения обогатительных фабрик Южного Урала. Для исследования взяты две пробы - сульфидные хвосты обогащения медно-цинковой руды Учалинской обогатительной фабрики и хвосты переработки кор выветривания Башкирского медно-серного комбината, как наиболее типичные для рассматриваемых объектов (табл. 1.).

В настоящее время единственной областью применения сульфидных хвостов переработки является использование их в качестве закладочной смеси. Окисленные хвосты кор выветривания складированы в специальные хвостохранилища по причине концентрации в них высокого содержания благородных металлов. Временная консервация таких хвостов не вызывает существенного изменения их минерального состава, и они могут быть переработаны будущими поколениями.

Таблица 1
*Химический состав хвостов УГОКа, идущих на закладку,
и хвостов спецхранилища БМСК*

Тип хвостов	Содержание металла					
	Медь, %	Цинк, %	Железо, %	Сера, %	Золото, г/т	Серебро, г/т
БМСК	0,20	0,06	36,6	23,8	5,9	19,0
УГОК	0,24	0,83	35,6	36,2	0,8	15,5

* Работа выполнена при поддержке РФФИ Урал, проект № 04-05-96060

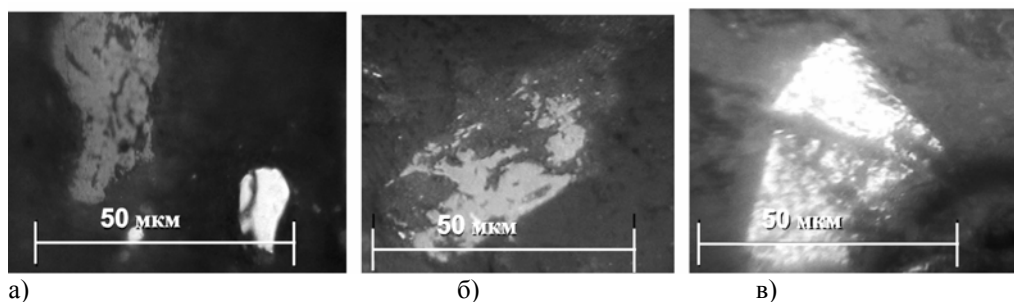


Рис. 1. Минеральные зерна пирита и сфалерита (а); сростки халькопирит – сфалерит (б) и пирит – халькопирит (в) в хвостах Сибайской обогатительной фабрики (ув. 500)

Основная масса хвостов, находящихся в хвостохранилище, подвержена существенному изменению минерального и химического состава под действием естественно природных факторов.

Для установления общих закономерностей технологических свойств хвостохранилищ провели сравнительный минерографический, оптико-геометрический анализ руд Учалинского и Юбилейного месторождений и хвостов их обогащения.

Минеральный состав руды и хвостов переработки изучался при помощи рудного микроскопа. Характер вкрапленности, раскрытие сростков изучались на электронном оптическом приборе SIAMS – 600.

Руды месторождения “Юбилейное” сложены сульфидами и окислами железа – пиритом (45-55 %) и гетитом (30-35 %), сульфидами меди- халькопиритом (5–8 %), ковеллином (1–2 %), в небольшом количестве встречается сфалерит (2–2,5 %). Текстура массивная, брекчиевидная с элементами коррозионных микротекстур. Структура агрегатов пирита, халькопирита и сфалерита зернистая, метазернистая, метакристаллическая и раздробленная.

Пирит встречается как в виде зернистых агрегатов пронизанный серией трещин, так и в виде идиоморфнобластических выделений, сцементированных халькопиритом с последующим замещением ковеллином. Сульфиды меди, в основном, заполняют трещины и пустоты между зёрнами пирита. Нерудная часть представле-

на кварцем и алюмосиликатами. Форма нахождения золота в руде комковидная и каплевидная, размером 20-150 мкм. Встречается в виде сростков с кварцем, а также в тонкодисперсном состоянии в сульфидах.

Минеральный состав хвостов переработки руды железной «шляпы» БМСК (“Юбилейное”) слагает рудная фракция состава: пирит (38–45 %), гетит (50–60 %); халькопирит – около 1,5 %; сфалерит – 1,5–2 %, свободного мелкого золота и серебра или в сростка обнаружено не было. Область концентрации рудных минералов 0,040+0 мм. Кроме рудных минералов встречается кварц, фаялит (Fe_2SiO_4), афвиллит ($3CaO_2SiO_2 \cdot 3H_2O$), которые составляют четверть этой пробы. Все рудные минералы с явными признаками окисления на поверхности зерен и их обломков (рис. 1).

Большинство зерен представляют собой изометричные мономинеральные обособления. Часть зерен (10–15 %) – сростания пирита и халькопирита. Последний образует эмульсионные вроски в эти сростания размером 0,005 – 0,015 мм.

Минерографический анализ руды текущей переработки на Учалинской обогатительной фабрике показал, что свободные зёрна представлены, в основном, пиритом (59 %), сфалеритом (34,85 %) и халькопиритом (6,15 %). Среди одинарных зёрен преобладают пирит и сфалерит, как главные рудообразующие минералы. Реже встречается халькопирит. Минер-

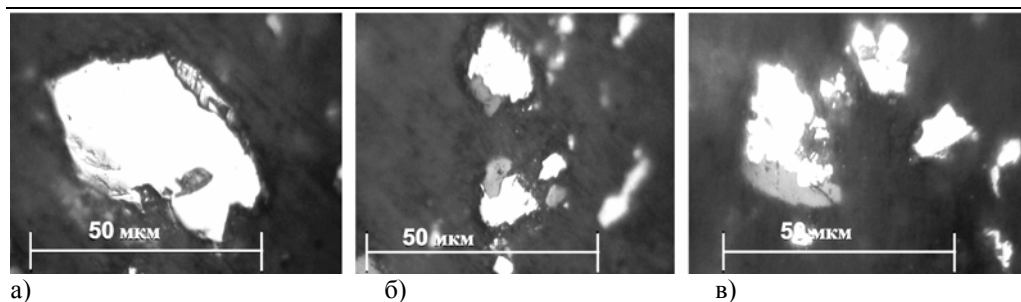


Рис. 2. Минеральное зерно пирита (а); сростки пирит – сфалерит (б) и пирит – халькопирит – сфалерит (в) в хвостах Учалинской обогатительной фабрики (ув. 500)

ральные сростки следующими агрегатами: пирит – сфалеритовые, пирит - халькопиритовые, пирит – сфалерит - халькопиритовые, халькопирит - сфалеритовые, пирротин – халькопирит - пиритовые. Наиболее распространёнными сростками являются пирит - сфалеритовые. Нерудная часть представлена кварцем, мейонитом ($3\text{CaO}\{\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8\}\text{CaO}\{\text{SO}_4, \text{CO}_3\}$), хлоритом, серецитом.

Рациональный анализ медно-цинковой руды Учалинского месторождения показал отсутствие свободного золота. Установлено, что золото находится в сростках и в тонкодисперсном состоянии в сульфидах. Опробование продуктов обогащения при переработке различных руд на УОФ позволили сделать вывод о том, что только часть пирита более золотоносна.

Основная часть рудных минералов в хвостах УГОКа представлена пиритными минеральными сростками (61,8 %). При этом преобладают сфалерит-пиритные (64,1 %) и халькопирит-пиритные (35,9 %) сростки. Из свободных зерен преобладают пирит (16,2 %); халькопирит (11,6 %) и сфалерит (10,4 %). Нерудная минералы на 0,20 части пробы представлены в основном кварцем и мейонитом. Свободного золота или покрытого пленками обнаружено не было (рис. 2). Это свидетельствует о том, что в результате флота-

ции сульфидной и окисленной руды минералы меди, цинка, мелкое золото и серебро перешло в концентрат. В хвостах благородные металлы находится в виде изоморфных включений в кристаллической решетке пирита и пирротина.

Оптико-геометрическим методом установлено, что круглый фактор формы для минеральных зерен хвостов БМСК составляет 0,78, фактор удлинения 0,69, для той же руды флотационной крупности круглый фактор формы зерна равен 0,63, фактор удлинения 0,80. Хвосты УГОКа имеют следующие морфологические параметры: круглый фактор формы 0,71; фактор удлинения 0,65, для материала, поступающего на обогащение соответственно 0,68 и 0,76, то есть форма зерен лежащих хвостов после обогащения ближе к овальной. Такой облик свидетельствует о растворении и сглаживании их контуров в результате хранения в хвостохранилище. Большому естественному выщелачиванию подвержены хвосты БМСК, имеющие более округлые волнистые очертания, нет резких переходов и ограничений. Микрофотографиями установлены структуры растворения, выражающиеся в изменении рельефа (рис. 2, 3). Эти изменения представлены ямками, кавернами и другими чередованиями положительных и отрицательных структур рельефа.

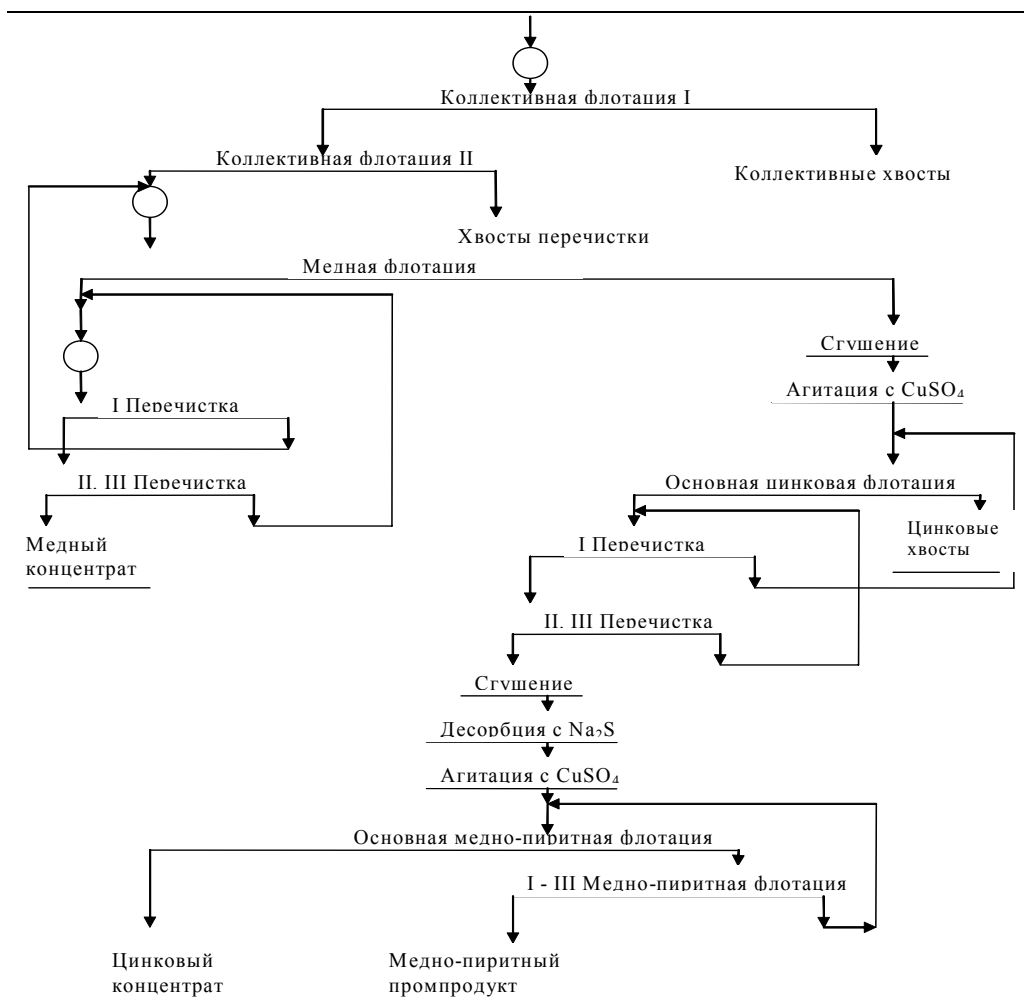


Рис. 3. Коллективно-селективная схема переработки медно-цинковых руд, действующая на Учалинской обогатительной фабрике

Таким образом, основная часть рудных минералов в сульфидных хвостах УГОКа и хвостах переработки железной «шляпы» БМСК находится в классе 0,040+0 мм с явными признаками естественного выщелачивания. Золото и серебро концентрируется в кристаллической решетке пирита и пирротина.

Для извлечения «упорного» золота и серебра из сульфидных хвостов возможна переработка гравитационным и флотационными методами. Для окисленных хвостов данные методы мало эффективны, это свя-

зано с низкой флотуемостью минеральных зерен и сростков; гравитационный метод определяет большой расход воды для отмывки материала от глинистых включений. Более приемлемым является метод низкотемпературного выщелачивания [1].

С целью определения условий эффективного применения гравитационного метода для извлечения металлов из сульфидных хвостов УГОКа провели опыты на центробежном концентраторе «Кнельсон» марки КС-МД7» канадской компании

“Knelson Concentrator”. Порог крупности золота, извлекаемого в концентрат, данного аппарата составляет 10 мкм.

Исходная пульпа, крупность материала 82,9 % класса 0,074+0 мм, 30 % твердого, загружали в приемную воронку в течение 1,5-2 мин. На манометре аппарата устанавливали центробежное ускорение соответствующее 20 g, 40 g, 50 g и 60 g. Опыты проводили по схеме основной сепарации (табл. 2).

Увеличение центробежного ускорения не приводит к концентрации меди и цинка. Невысокий уровень извлечения благородных металлов в концентрат основной сепарации свидетельствует о нецелесообразности применения гравитационного метода для извлечения из хвостов цветных и благородных металлов.

Для установления закономерностей поведения сульфидов меди, цинка, а также золота и серебра в процессе флотации и определения количественного распределения металлов по продуктам обогащения провели сравнительные опыты по флотации медно-цинковой руды и хвостов обогащения, идущих на закладку, по единой коллективно-селективной схеме, действующей в настоящее время на Учалинской обогатительной фабрике (рис. 3).

Для выбора необходимой крупности предварительного измельчения провели флотационные опыты на хвостах, идущих на закладку. Флотацию проводили при расходе бутилового ксантогената 80 г/т, СФК 10 г/т, св. СаО 700 г/м³ во флотокамере объемом 3 дм³, время флотации 13 мин. (табл. 3).

Увеличение продолжительности измельчения не приводит к улучшению селективности и качества коллективного концентрата, достаточное “освежение” минеральной поверхности сфалерита, золота, серебра и медных минералов происходит в течение 15 минут измельчения. Это обеспечивает крупность материала 83,5 % класса 0,044+0 мм.

Постановка опытов по флотации хвостов и руды происходила на материале

крупностью 83 % класса 0,044+0 мм. Расход реагентов соответствовал фабричному флотационному режиму. Общий расход бутилового ксантогената составил 143-150 г/т, СФК 10-15 г/т; гидросульфита натрия 300-310 г/т, цинкового купороса 555-560 г/т; медного купороса 220-230 г/т, общая продолжительность флотации 120 мин (табл. 4).

Продуктами флотации хвостов являются некондиционный цинковый и медный концентраты с низким уровнем извлечения меди (25,2 %), цинка (5,2 %), золота (4,3 %) и серебра (7,4 %). Содержание золота в медном и цинковом концентратах, как при флотации хвостов, так и руды имеют приблизительно одинаковые значения 2,7-3,3 г/т золота. Полученные значения подтверждают гипотезу о изоморфности золота в кристаллической решетке пирита и показывают неэффективность применения процесса флотации для извлечения из техногенного сырья цветных и благородных металлов.

Технологические свойства сульфидных хвостов обогащения медно-цинковой руды и руды кор выветривания близки. Высокое содержание благородных металлов в хвостах БМСК обеспечивает большую чистоту и позволит более точно установить закономерности извлечения золота и серебра гидromеталлургическим методом из сульфидных хвостов.

Эффективность использования раствора серной кислоты в качестве неорганического агента для вскрытия минеральной поверхности и перевода катионов металлов в жидкую фазу объясняется генетической связью с сульфидными минералами. В последние годы с целью повышения комплексности использования руд, находят применение органические комплексообразователи. При этом вскрытие материала осуществляет агрессивный неорганический агент,

а органический агент, проявляя селективные свойства, способствует более быстрому и полному извлечению металла в раствор за счет перевода простых ионов металла, образующихся при действии неорганического агента в комплексные ионы, способствующие сдвигу равновесия «твердая фаза - раствор» в сторону продуктивного раствора.

Для извлечения цветных и благородных металлов в кислых растворах Плаксиным И.Н. и Кожуховой М.А. доказана эффективность применения тиокарбамида [2]. Нами доказано, что добавки карбамида интенсифицируют процесс сернокислотного выщелачивания меди из медьсодержащих техногенных месторождений [3]. При этом поведение золота в присутствии карбамида не изучалось.

Для установления условий эффективного извлечения меди и золота провели выщелачивание окисленных хвостов специального хранилища БМСК сернокислотными растворами тиокарбамида и карбамида. Анализ продуктивных растворов выщелачивания на медь и золото производился потенциометрическим методом, а также пробирным и атомно-абсорбционным методами в ПАЛ ЗАО «Южуралзолото» (табл. 5).

При добавлении карбамида при выщелачивании хвостов после 60 суток, достигается увеличение извлечения меди

в раствор в 1,2 раза больше, золота в 23 раза, чем при выщелачивании в 2 % растворе серной кислоты без добавок.

При использовании тиокарбамида с расходом 4 кг/т, извлечение меди составляет 36,6 %, что меньше, чем при выщелачивании кислотой без добавки. Золото извлекается в раствор на 55,6 %, что намного выше, чем при выщелачивании карбамидом, то есть для выщелачивания меди и золота из окисленных хвостов можно рекомендовать органические азотсодержащие основания концентрацией 0,2 %.

Продуктивные растворы, содержащие 360 мг/дм³ меди и 0,57 мг/дм³ золота, могут быть переработаны по традиционным схемам извлечения меди цементацией и сорбцией золота на активированных углях.

Таким образом, установлены общие технологические свойства сульфидных и окисленных хвостов. Полученные данные гравитационного и флотационного обогащения хвостов УГОКа указывают на неэффективность использования этих методов для извлечения цветных и благородных металлов из лежалых сульфидных хвостов. Выщелачивание меди и золота из хвостов обогащения руд кор выветривания и сульфидных хвостов может быть осуществлено по схеме сернокислотного выщелачивания цветных и благородных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лодейщиков В.В.* Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: В 2-х томах – Иркутск ОАО «Иргиредмет», 1999. Т 1, – С. 37-38.
2. *Плаксин И.Н.* Металлургия благородных металлов. – М.: Металлургиздат, 1958.
3. *Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Емельяненко Е.А. и др.* Влияние гранулометрического состава и реагентного режима на процесс кучного выщелачивания окисленных медных руд. // Горный журнал. 2002. №3. – С. 48-51.

Коротко об авторах

Шадрунова И. В. – доцент, доктор технических наук, профессор кафедры геологии и геодезии МГТУ им. Г.И. Носова,
Малашита А.В. – аспирант, кафедра «ОПИ» МГТУ,
Павлова В.И. – начальник исследовательской лаборатории ОАО «Учалинский ГОК»,
Нуждина Н.А. – начальник лаборатории ЗАО «Южуралзолото».

