УДК 622.7

С.И.МЕЛЬНИКОВА
Московский государственный институт стали и сплавов

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННО-ФЛОТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ СУЛЬФИДНЫХ РУД

Показана необходимость стадиального измельчения и обогащения руды. Это позволит избежать переизмельчения сульфидных минералов, развальцовывания и расплющивания частиц свободного золота. Замена ксантогената на S-703G заметно повышает селективность собирателей и увеличивает извлечение золота.

Necessary of phasic grinding and enrichment of ores is shown in this work. This method is allow to avoid of sulfide minerals regrinding, flaring and flattening of particles of free gold. A substitution of xanthogenate for S-703G is increase of collector selectivity and gold recovery.

Основные направления развития экономики связаны с возрастающим производством благородных металлов, которые применяются во многих областях благодаря своим особым свойствам: химической стойкости, тугоплавкости, ковкости, тягучести, красивому внешнему виду.

В силу своей химической инертности почти все золото в земной коре находится в самородном состоянии, т.е. в виде металла с небольшим содержанием примесей (серебра, меди, железа, палладия и др.). Золото и его сплавы широко применяются в электротехнике, радиоэлектронике, медицине и других отраслях.

В сульфидных рудах золото может быть тонкодисперсным или содержать частицы до средней крупности, а содержание его редко превышает 1-3 г/т. Из этих руд золото извлекается попутно с медными, свинцовыми, цинковыми и пиритными концентратами.

Выполненные в последние годы исследования на различных типах руд Урала, в том числе и рудах Гайского месторождения, показали, что выбор схемы и аппаратов для извлечения золота определяется природой золота и рядом технологических факторов.

По результатам пробирного анализа, балансу по продуктам и фазовому анализу руда содержит 2 г/т золота и 14,2 г/т серебра.

Результаты фазового анализа золота и серебра представлены в табл.1. Необходимо отметить, что для руды, содержащей около 50 % сульфидных минералов, доля цианируемого золота около 70 % считается достаточно значительной.

Таблица 1

Результаты фазового анализа золота и серебра в руде

Связь минералов золота и серебра с другими минералами	Содержание металла, г/т руды	Массовая доля металла, %
Вскрытые (свободные и в сростках с другими минералами) растворимые в цианиде	1,38/4,80	70,4/33,8
Заключенные в кислоторастворимых (HCl) минералах	0,07/0,80	3,6/5,6
Заключенные в сульфидах	0,41/8,08	20,9/56,9
Заключенные в кварце	0,10/0,52	5,1/3,7
Итого	1,96/14,20	100,0/100,0

Примечание. В числителе и знаменателе – содержание золота и серебра соответственно

Эти данные свидетельствуют о необходимости стадиального измельчения и обогащения руды, что позволит избежать переизмельчения сульфидных минералов и потерь их со шламами, а также переизмельчения, развальцовывания и расплющивания

Таблица 2

Гранулометрический состав пробы и распределение золота по классам крупности

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание золота, г/т				Распределение золота, %				
		общего	сульфидного	свободного	породного	общего	сульфидного	свободного	породного	сульфидного от сульфидного в пробе
+0,25	5,29	1,45	0,21	1,24	0,129	5,19	0,80	3,93	0,46	3,58
–0,25 + 0,10	25,58	2,00	0,40	1,60	0,098	34,61	6,91	25,99	1,71	33,00
Σ + 0,10	30,87	1,91	0,28	1,43	0,104	39,80	7,71	29,92	2,17	36,58
–0,10 + 0,074	18,76	2,40	0,52	1,88	0,093	30,45	6,60	22,67	1,18	31,45
–0,074 + 0,044	13,98	2,00	0,52	1,48	0,094	18,92	4,91	13,12	0,89	23,45
–0,044 + 0	36,40	0,44	0,07	0,37	0,180	10,83	1,72	4,69	4,42	8,22
+0,044	63,60	2,08	0,45	1,53	0,098	89,17	19,22	65,71	4,23	91,48
Σ –0,25 + 0,044	58,31	2,13	0,47	1,57	0,096	83,98	18,42	61,78	3,78	87,90
Исходная проба	100,0	1,48	0,31	1,04	0,130	100,00	20,94	70,40	8,66	100,00

частиц свободного золота. Анализ гранулометрического состава пробы (табл.2) показал, что для выделения богатого коллективного сульфидного золотосодержащего продукта можно рекомендовать гравитацию с последующим доизмельчением его и флотационным получением из него селективных концентратов. Для гравитационного выделения свободного золота из материала класса +0,044 мм можно рекомендовать центробежные концентраторы, в том числе концентраторы «Knelson».

Некоторое обогащение исходной шихты по золоту может быть достигнуто классификацией (обесшламливанием) материала исходной руды по крупности –0,044 мм. Материал крупностью менее 0,044 мм может обогащаться в отдельном цикле по флотационной или гравитационно-флотационной схемам при использовании для гравитации специального шламового оборудования (концентрационные столы «Mouzli», «Gemeni» и т.п.). Гравитацией извлекается до 15-20 % всего золота.

Золото, связанное в пробе с породообразующими минералами, составляет 8,66 % от всего золота пробы. Это золото неизбежно теряется при обогащении.

Технология обработки золотосодержащих медно-цинковых руд должна обеспечивать извлечение наряду с золотом всех других ценных компонентов в товарные продукты. Задача усложняется тем, что условия обработки руд, оптимальные для извлечения ряда цветных металлов, не всегда благоприятны для извлечения золота. В связи с этим технологические исследования золотосодержащих руд сопровождаются значительными трудностями.

Мелкое золото, свободное и в сростках, извлекают флотацией или цианированием. Флотацией свободное золото стремятся перевести в такие концентраты, из которых оно будет эффективно извлечено при последующей обработке. Такому условию больше отвечает медный концентрат, получаемый при селективной флотации коллективного концентрата. Однако получение этого концентрата связано с применением таких вредных для флотации золота реагентов, как известь, цианид, сернистый натрий.

С целью повышения извлечения золота из продукта разгрузки II стадии измельчения была изучена возможность его дофлотации из хвостов гравитации. Гравитационно-флотационная схема включает в себя получение готового гравитационного концентрата и дальнейшее флотационное обогащение крупнозернистого продукта – объединенных хвостов гравитации с содержанием золота 1,9 г/т. Крупность продукта, направляемого на флотацию, составляет 41 % класса –74 мкм.

Исследование технологии флотации хвостов гравитации проводилось при следующих условиях:

• с разным временем флотации;

• с разными значениями pH среды (концентрация свободного CaO);

• с разным расходом ксантогената;

• с разным расходом реагента S-703G.

Общие условия опытов по основной флотации следующие: pH среды 8,5-9 (известковая среда); плотность пульпы 30 % твердого; расход ксантогената 50 г/т, расход пенообразователя Т-80 30 г/т; время флотации 7 мин; при перечистке pH = 9÷10, расход ксантогената 10 г/т.

Исследования продолжительности флотации хвостов гравитации проводились с целью определения оптимального времени при максимально возможном выделении золота в концентрат. Для флотации использовалась лабораторная флотационная машина с объемом камеры 1 л, время флотации 1, 5, 7, 10 мин.

Полученные данные свидетельствуют о том, что наилучшие показатели обогащения хвостов гравитации получены при продолжительности флотации 7 мин, при которой наблюдается максимальное извлечение золота во флотационный концентрат, равное 31,2 % (19,2 % по гравитационно-флотационной схеме) при содержании 7,0 г/т. Дальнейшее повышение времени флотации не приводит к улучшению качества концентрата.

Регулировка концентрации водородных (или гидроксильных) ионов в пульпе – одно из главных средств повышения селективности процесса флотационного извлечения золота из руды. Для определения оптимальных условий флотации золота и золотонесущих сульфидных минералов была поставлена серия опытов при pH пульпы 6, 7, 8, 9, 10 (рис.1). В качестве реагента-регулятора среды использовалась известь (CaO). Выяснилось, что извлечение золота в концентрат достигает максимума при pH среды 8,5-9 и составляет 31,2 % (19,2 % по гравитационно-флотационной схеме). При отклонении значения pH в кислую или щелочную сторону извлечение золота заметно падает.

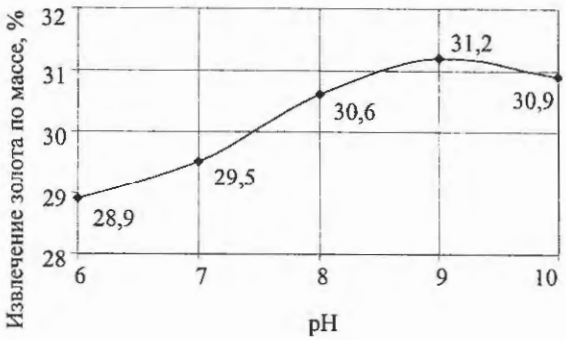


Рис.1. Зависимость извлечения золота в концентрат от pH среды при флотации хвостов гравитации

Исследование технологии флотации хвостов гравитации с разным расходом собирателя (ксантогената) показало, что золото и золотосодержащие сульфиды флотируются сульфгидрильными собирателями. Одним из основных сульфгидрильных собирателей являются ксантогенаты, которые образуют труднорастворимые ксантогенатные соединения на поверхности сульфидных минералов и самородных металлов.

С целью определения оптимальных расходов ксантогената при флотации хвостов гравитации были проведены исследования с получением максимально возможного извлечения золота в концентрат. В качестве собирателя использовался бутиловый ксантогенат калия, который подавался в процесс флотации в виде 1-процентного водного раствора. Как показал эксперимент, при малом расходе ксантогената максимальное извлечение золота, равное 31,2 % (19,2 % по гравитационно-флотационной схеме), при содержании Au 7,0 г/т было получено при расходе ксантогената, равном 50 г/т. При увеличении расхода собирателя до 60 г/т и более концентрацию золота можно несколько увеличить при некотором снижении извлечения, но существенного улучшения качества концентрата добиться не удается.

Реагент S-703G является высокоэффективным сульфгидрильным собирателем, состоящим из смеси двух собирателей (диалкилдитиофосфата и диалкилсульфида) и вспенивателя (алкилового эфира поли-

пропиленгликоля). Применение данного реагента в основной флотации эффективно для извлечения халькопирита, халькозина, борнита, сфалерита, благородных металлов как в свободном состоянии, так и в сростках; он селективен по отношению к свободному пириту. Реагент S-703G хорошо флотирует отмеченные сульфиды в достаточно высокощелочных средах и при этом улучшает флотацию благородных металлов.

По физическим свойствам реагент S-703G вполне удовлетворяет требованиям безопасных условий труда: температура вспышки данного собирателя более 96 °С, температура замерзания 36 °С, разложение при температуре кипения 110 °С, слабый запах, срок хранения не ограничен. Флотационные концентрации реагента S-703G при смешении его растворов с промышленными стоками (в хвостохранилище) не устойчивы: реагент в разбавленных растворах разлагается в течение 10 дней. Токсичность водного раствора реагента S-703G умеренна.

При постановке опытов по флотации хвостов гравитации с применением собирателя S-703G исследовалась возможность максимального выделения золота в пенный продукт. Применение в качестве собирателя реагента S-703G позволяет получить достаточно высокие показатели по сравнению с использованием ксантогената: при концентрации S-703G 40 г/т извлечение золота составляет 32,0 %, в то время как в опытах с ксантогенатом извлечение золота не более 30 %. Наилучшие показатели обогащения хвостов гравитации при использовании ксантогената были достигнуты при концентрации собирателя 50 г/т, в то время как с применением реагента S-703G качество концентрата повысилось уже при расходе 40,0 г/т, когда извлечение золота в пенный продукт достигло наибольшего значения (32 % от операции) при содержании золота 7,3 г/т. Таким образом, расход S-703G, равный 40 г/т, является оптимальным, поскольку дальнейшее его увеличение не приводит к улучшению показателей обогащения.

Проведенные исследования по гравитационному обогащению исследуемой пробы с последующей флотацией хвостов гравитации и чисто флотационной технологии выделения золота из исходного грубозернистого продукта позволяют определить наилучшие условия обогащения продукта разгрузки второй стадии измельчения.

Проведенные опыты показывают также преимущество гравитационно-флотационной схемы обогащения, применение которой позволяет получить суммарное извлечение золота в концентрат, равное 58,4 % при содержании 16,5 г/т.

Рекомендуемая схема выделения золота из сульфидной медно-цинковой руды Гайского месторождения показана на рис.2. Применение данной технологии в схеме обогащения сульфидных медно-цинковых руд Гайского месторождения может быть реализовано только по результатам промышленных испытаний на обогатительной фабрике.

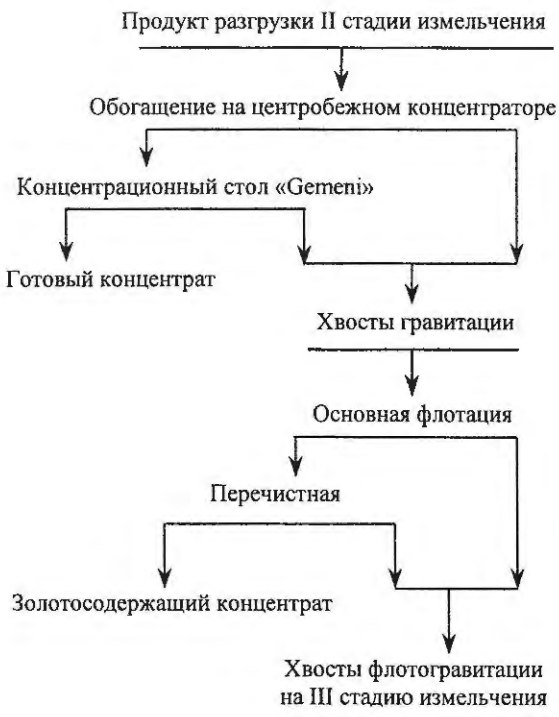


Рис.2. Рекомендуемая схема обогащения для выделения золота из сульфидной медно-цинковой руды Гайского месторождения

Выводы

1. Показана необходимость стадиального измельчения и обогащения руды, что позволит избежать переизмельчения сульфидных минералов, развальцовывания и расплющивания частиц свободного золота.

2. Выявлена перспективность использования новых собирателей. Замена ксантогената на S-703G заметно повышает селективность собирателей, снижая флотируемость пирита, и увеличивает извлечение золота.

Научный руководитель д.т.н. проф. *В.А.Бочаров*