© Ю.А. Мамаев, Т.Н. Александрова, Н.Г. Ятлукова, Н.М. Литвинова, 2007

УДК 622.7

Ю.А. Мамаев, Т.Н. Александрова, Н.Г. Ятлукова, Н.М. Литвинова

К ИССЛЕДОВАНИЮ ОБОГАТИМОСТИ РУД, СОДЕРЖАЩИХ ХАЛЬКОГЕНИДНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Семинар № 25

Целью исследования является разработка безобжиговой технологии переработки золотомышьяковых руд, основанной на активации измельчением и дающая возможность извлечения ценных компонентов при оставлении мышьяка в твердом остатке в труднорастворимой форме.

Для оценки влияния приложенных воздействий при измельчении руд на технологические показатели, проводили обогащение подготовленного материала методом флотации.

Объект исследования - руда Албазинского месторождения. Общим признаком данного типа руд является тонкая прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация (пирит, арсенопирит). Вещественный состав исследуемой пробы представлен следующими породообразующими минералами (95%): кварц, полевые шпаты, карбонаты, амфиболы, хлориты, слюды, установлено наличие углистого вещества. Среди рудных минералов наиболее распространены пирит, арсенопирит, присутствует пирротин, магнетит, ильменит. Циркон, апатит, анатаз, лейкоксен, галенит, хромит – акцессории. Золото тесно ассоциирует с пиритом, арсенопиритом (на 75-85 %) и блеклой рудой. При минералогическом анализе установлено наличие свободного (размер частиц менее 0,1 мм, крайне редко – 0,3-0,4 мм) и тонковкрапленного золота в пирите и арсенопирите, золота в сростках (цианируемое), покрытое оксидными пленками и заключенное в карбонатах, в кварце и пустой породе (размер частиц менее 0,001 мм). Характерно преобладание доли тонкого и тонкодисперсного золота над относительно крупным.

Раскрываемые при измельчении частицы золота представлены пластинчатыми, лепешковидными, столбчатопластинчатыми, иногда изометричными формами. Цвет золотин - от серовато до ярко – желтого, редко с красным налетом. Микропримеси в золоте: Sb, As, Cu, Fe, Hg.

Упорность исследуемой руды обусловлена несколькими факторами: наличием золотоносных сульфидов и арсенидов; углисто-глинистых алевролитов, крайней неравномерностью сульфидной минерализации, что переводит руду в категорию чрезвычайно упорных, требующих особых условий рудоподготовки. Рациональный анализ на золото исходной руды Албазинского месторождения показывает, что всего цианируемого золота в руде только 18,5 %, а остальное количество золота находится в весьма упорной форме. Вредной примесью в руде является мышьяк, другие

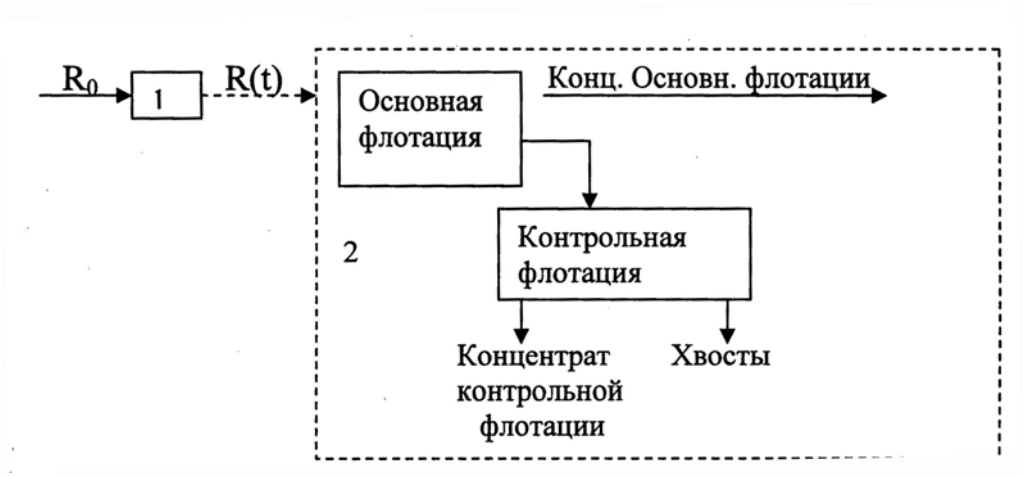

Рис. 1. Схема исследования: 1 - измельчение на стержневой мельнице; 2 – флотация

экологически вредные элементы в заметных количествах не обнаружены.

Для априорной оценки процесса обогащения руды примем последовательную модель процесса

Обозначения:

Q, C, T - вес соответственно исходного материала, концентрата, хвостов; α, β, θ - содержание ценного компонента в исходной руде, концентрате, хвостах; $\gamma_к$, $\gamma_х$ – выход концентрата и хвостов; ξ - извлечение в концентрат, в хвосты.

С использованием методов математической статистики проведена интерпретация экспериментальных данных, которая позволила получить априорные зависимости для оценки содержание золота в концентрате и хвостах:

$$\beta_к = 0{,}033 \cdot x^2 - 4{,}173 \cdot x + 193{,}29$$

$$\beta_х = 0{,}0018 \cdot x^2 - 0{,}295 \cdot x + 15{,}7$$

где $x = 19{,}5 \cdot 1^{0{,}029 \cdot t}$; t - время измельчения.

При α = const = 13 г/т (содержание золота в руде по данным химического анализа), для $\gamma_к$ и $\gamma_х$ получим расчетные зависимости:

$$\gamma_к = \frac{13 - \beta_х}{\beta_к - \beta_х} \cdot 100\%$$

$$\gamma_х = \frac{\beta_к - 13}{\beta_к - \beta_х} \cdot 100\%$$

Учитывая, что $\gamma_к + \gamma_х = 1$, решение системы уравнений дает x = 91.9, откуда получаем оптимальное время измельчения с позиции максимального извлечения золота:

t = ((ln 81.9) – (ln19.5))/0.029 = 49.4 мин.

Ранее установлена возможность интенсификации процесса измельчения путем применения химических добавок [2, 3]. Применение трехкомпонентной щелочной добавки, как показано в табл. 1, позволяет повысить содержание золота в черновом концентрате с 72,25 г/т до 103,76 г/т.

Анализ результатов экспериментальных исследований, приведенных на рис. 2, показывает высокую сходимость расчетных и экспериментальных данных.

Механизм воздействия комплексной добавки можно представить следующим образом: на первой стадии

Таблица 1

Результаты флотации после измельчения на стержневой мельнице (мест. Албазино, 1 кг)

Способ интенсификации измельчения	Выход класса -0,1 мм при измельчении, %	Выход продуктов флотации, %	Содержание Fe,%/Au, г/т (данные хим. ан.)	Извлечение Fe/Au, %	Содержание Au, г/т/ Fe,%,	
					в черновом концентрате	в хвостах
1.Измельчение без добавок, время измельчения-15 мин	46					
Основной концентрат		1,41	6,83/117,5	0,93/12,80	72,25/26,94	5,9/14,2
Контрольный концентрат		9,2	30,03/65,3	26,74/46,4		
Хвосты		89,39	8,36/5,9	72,33/40,7		
2.Измельчение с добавкой смеси реагентов: NaOH – 50 г/т; Na_2S – 50 г/т; I_2 – 10 г/т, время измельчения-15 мин	90,17				103,76/41,3	3,45/12
Основной концентрат		6,06	25,2/120	19,00/56,089,		
Контрольный концентрат		3,43	22,77/75	72/19,84		
Хвосты		90,15	6,33/3,45	71,28/24,0		

происходит адсорбция гидроксил-ионов на поверхности частиц серы. Есть основания полагать, что активация каждого атома серы требует одного гидроксил-иона. Далее в растворе присоединяется еще один гидроксил-ион, и весь комплекс (OH-S –OH) претерпевает превращения, включающие перераспределение кислорода:

$$3(OH\text{-}S - OH) = SO_3^{2-} + 2S^{2-} + 3H_2O$$

С повышением концентрации сульфид- и сульфит-ионов возрастает их роль в непосредственной активации поверхности с образованием тиосульфат- и полисульфид-ионов.

Измельчение материала, содержащего золотонесущие пирит и арсенопирит, при введении в мельницу смеси реагентов: гидроксида натрия (50 г/т), сернистого натрия (50 г/т) и йода (10 г/т), сопровождается локальным нагреванием поверхности минеральных частиц, интенсифицирующим развитие окислительных процессов, что в условиях постоянного обновляющейся поверхности, характерных для процесса измельчения, позволяет получать более однородный гранулометрический состав по готовому классу, способствует снижению доли «трудных классов». Присутствие сернистого натрия в количестве 10 г/т позволяет более эффективно подготовить поверхность халькогенидов к последующей флотации.

Были проведены также экспериментальные исследования по интенсификации флотационных процессов с введе-

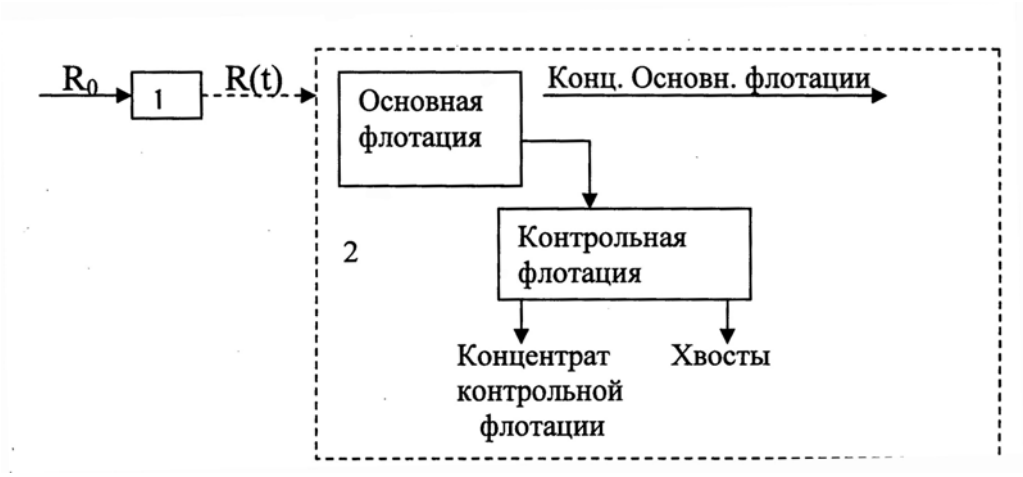

Рис. 1. Схема исследования: 1 - измельчение на стержневой мельнице; 2 – флотация

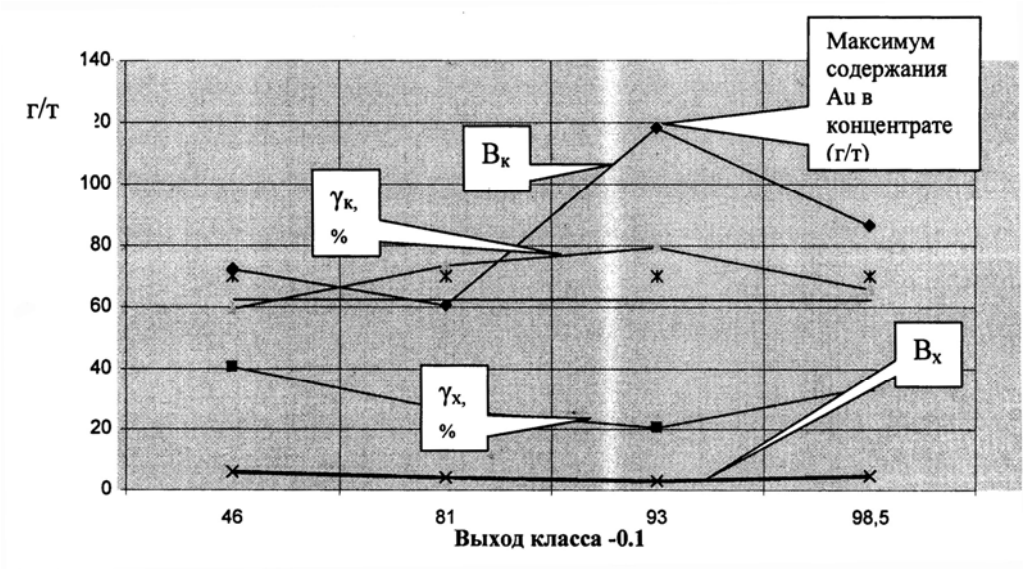

Рис. 2. Графическая интерпретация экспериментальных данных

нием новых реагентов в процесс флотации.

Наиболее показательные результаты были получены при использовании отходов масложирового производства, а именно реагента «ФУЗ».

В табл. 2 представлены результаты флотации с применением нового реагента.

Анализ данных показывает, что замена классического бутилового ксантогената названным выше реагентом не дает положительных результатов, а в комплексе эти реагенты дают прирост

Таблица 2

Результаты флотации с применением «ФУЗ»

Режим флотации	Выход продуктов флотации, %	Содержание в черновом концентрате	
		Fe, %	Au, г/т
Флотация: бутиловый ксантогенат 100 г/т Т-80 40 г/т Концентрат Хвосты	 3,27 96,73	29,63	72,86
Флотация: «ФУЗ» 100 г/т Т-80 40 г/т Концентрат Хвосты	 3,82 96,18	23,06	31,2
Флотация: бутиловый ксантогенат 100г/т «ФУЗ» 20 г/т Т-80 40 г/т Концентрат Хвосты	 3,12 96,88	29,32	128,9

извлечения золота в черновой концентрат (при соотношении 1:5 соответственно «ФУЗ» и бутилового ксантогената). Следует предположить, что реагент «ФУЗ» обладает определенной селективностью по отношению к золоту. Необходимо продолжить исследования в плане поиска оптимальной концентрации реагентов.

Таким образом, предложена методика априорной оценки технологических свойств рудных золотосодержащих материалов. Выявлено, что наиболее интенсивное воздействие на процессы рудоподготовки и обогащения оказывают реагенты на основе гидроксидов металлов и галогенидов. Показано, что добавка некоторых отходов МЖК к основному собирателю обеспечивает повышение качественно-количественных показателей обогащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Букетов Е.А., Угорец М.З.* Гидрохимическое окисление халькогенов и халькогенидов. Алма-Ата, «Наука» КазССР, 1975, 326 с.

2. *Литвинова Н.М., Ятлукова Н.Г., Мельникова Т.Н., Данилов Е.И.* Интенсификация процессов измельчения труднообогатимой золотосодержащей руды Албазинского месторождения. Горный информационно-аналитический бюллютень. Региональное приложение Дальний Восток. 2005, с. 300-306.

3. *Мельникова Т.Н., Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М.* К вопросу оптимизации процесса измельчения руд. «Обогащение руд», №4, 2006, с. 5-8.

Коротко об авторах

Мамаев Ю.А. – профессор, доктор технических наук, директор,

Александрова Т.Н. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории ПИПКРР,

Ятлукова Н.Г. – старший научный сотрудник лаборатории ПИПКРР,

Литвинова Н.М. – научный сотрудник лаборатории ПИПКРР,

Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск.