

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

**Ц**елью 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 экологически вредные элементы в заметных количествах не обнаружены.

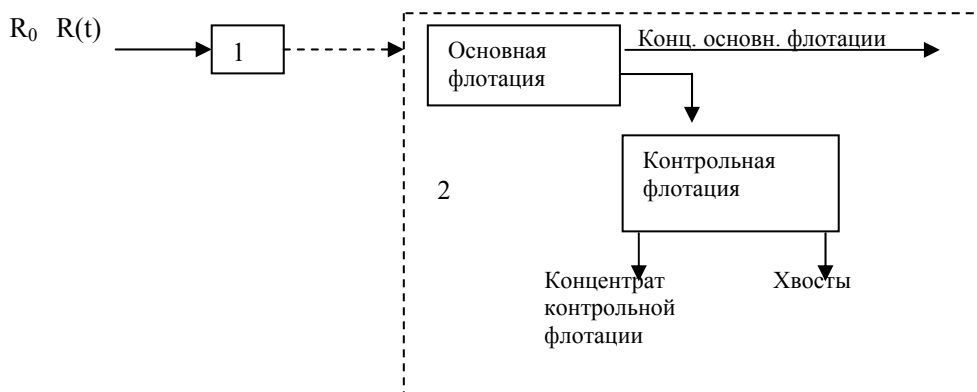


Рис. 1. Схема исследования: 1 - измельчение на стержневой мельнице; 2 – флотация

Для априорной оценки процесса обогащения руды примем последовательную модель процесса (рис. 1).

Обозначения: Q, С, Т- вес соответственно исходного материала, концентрата, хвостов;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  - содержание ценного компонента в исходной руде, концентрате, хвостах;  $\gamma_k$ ,  $\gamma_x$  – выход концентрата и хвостов;  $\xi$  - извлечение в концентрат, в хвосты.

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

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

$$\beta_x = 0,0018 \cdot x^2 - 0,295 \cdot x + 15,7$$

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

При  $\alpha = \text{const} = 13$  г/т (содержание золота в руде по данным химического анализа), для  $\gamma_k$  и  $\gamma_x$  получим расчетные зависимости:

$$\gamma_k = \frac{13 - \beta_x}{\beta_k - \beta_x} \cdot 100\%$$

$$\gamma_x = \frac{\beta_k - 13}{\beta_k - \beta_x} \cdot 100\%$$

Учитывая, что  $\gamma_k + \gamma_x = 1$ , решение системы уравнений дает  $x = 91,9$ , откуда получаем оптимальное время измельчения с позиции максимального извлечения золота:  $t = ((\ln 81,9) - (\ln 19,5)) / 0,029 = 49,4$  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 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 (ОН-S – ОН) претерпевает превращения, включающие перераспределение кислорода:

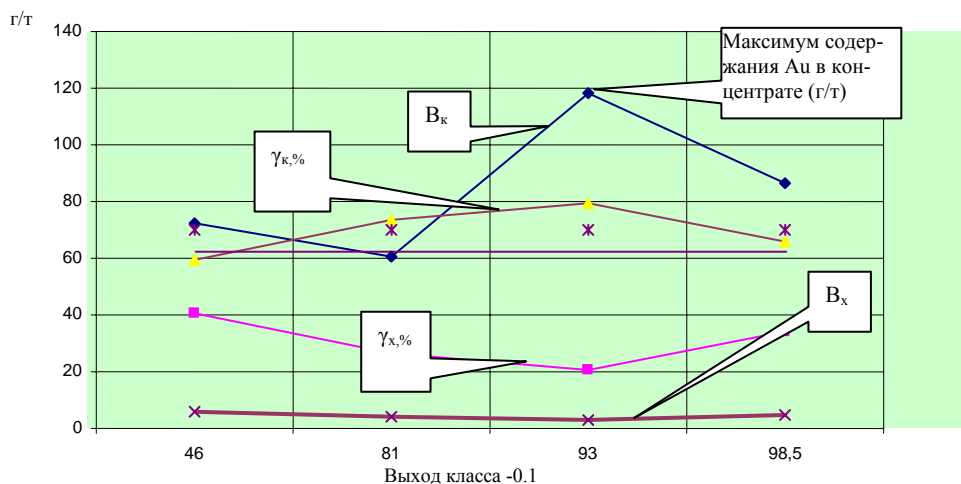


Рис. 2. Графическая интерпретация экспериментальных данных



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-

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 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

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 <sub>2</sub> S – 50 г/т; I <sub>2</sub> – 10 г/т, время измельчения-15 мин	90,17					
Основной концентрат		6,06	25,2/120	19,00/56,08	103,76/41,3	3,45/12
Контрольный концентрат		3,43	22,77/75	9,72/19,84		
Хвосты		90,15	6,33/3,45	71,28/24,0		

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 100 г/т «ФУЗ» 20 г/т Т-80 40 г/т Концентрат Хвосты	3,12 96,88	29,32	128,9

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 месторо-

ждения. Горный информационно-аналитический бюллетень. 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. **ГИАН**

**Коротко об авторах**

Мамаев Ю.А. – доктор технических наук, профессор, директор ИГД ДВО РАН;  
Александрова Т.Н. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник ПИПКРР ИГД ДВО РАН;  
Ятлукова Н.Г. – ст. научный сотрудник, и.о. зав. лабораторией «Процессы извлечения полезных компонентов из руд и россыпей (ПИПКРР)»;  
Литвинова Н.М. – научный сотрудник, лаб. ПИПКРР ИГД ДВО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007».  
Рецензент д-р техн. наук, проф. В.М. Авдохин.

