

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ВОРОНЦОВСКОЕ»

Орлов С.Л., Мусаев В.В., Чинова Н.Б.  
ОАО «Уралмеханобр»,  
Пушной Е.А., Хрусталева А.С., Максимов Г.Л.  
ЗАО «Золото Северного Урала»

Объектом исследования является технологическая проба месторождения «Воронцовское», промышленный интерес представляет золото.

Цель работы: Определение эффективности центробежного концентрирования упорного золота совместно с пиритом и сверхтонкого измельчения концентрата в рамках технологической схемы переработки руд на золотоизвлекательной фабрике ЗАО «Золото Северного Урала».

Золотосодержащие руды месторождения «Воронцовское» характеризуются наличием сульфидных минералов, представленных в основном пиритом, распределенных в карбонатных и силикатных породах и ассоциированного с ними тонкодисперсного золота.

В результате изучения гранулометрического состава руды, дробленной до крупности  $-3,0+0$  мм, установлено неравномерное распределение золота по классам, что подтверждается данными исследований, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав и распределение золота и серы по классам крупности в исходной смешанной пробе руды Воронцовского месторождения

Класс крупности, мм	Выход		Массовая доля, %		Извлечение, %	
	г	%	Au	S	Au	S
$-3,0+2,5$	13,82	13,50	4,70	2,61	16,87	16,54
$-2,5+1,0$	34,40	33,59	4,50	2,34	40,19	36,90
$-1,0+0,63$	9,47	9,25	3,50	2,10	8,61	9,12
$-0,63+0,315$	10,67	10,42	2,90	1,74	8,03	8,51
$-0,315+0,16$	7,02	6,85	1,10	1,74	2,00	5,60
$-0,16+0,071$	8,54	8,34	4,80	1,51	10,64	5,91
$-0,071+0,045$	3,33	3,25	3,50	2,63	3,03	4,01
$-0,045+0,000$	15,16	14,80	2,70	1,93	10,63	13,41
Итого:	102,41	100,00	3,76	2,13	100,00	100,00

Из данных таблицы 1 следует, что наибольшее количество золота приходится на класс  $+1,0$  мм и составляет более 50 %. Данный класс является также более богатым по золоту с содержанием 4,5-4,7 г/т. Содержание золота в мелких классах близко к содержанию его в исходной руде, что свидетельствует о низкой степени раскрытия золота и наличии

тонкодисперсного золота. Распределение сульфидной серы в руде по классам носит более сглаженный характер.

В результате минералогических исследований было установлено, что рудная часть пробы представлена пиритом и гидроокислами железа в меньшей степени халькопиритом, сфалеритом, арсенопиритом, серебром и золотом. Нерудная часть пробы состоит в основном из кальцита, доломита и кварца, в меньшей степени из полевого шпата, мусковита, каолинита, амфибола и хлорита.

Редкими минералами руды являются халькопирит, сфалерит и арсенопирит. Крайне редкими минералами являются самородное серебро и золото.

При проведении рационального анализа проб руды технологической крупности (95 % минус 0,071 мм) установлено, что значительная часть тонкодисперсного золота до 15-20 % ассоциирована с пиритом и арсенопиритом и не извлекается при цианировании.

Изучение распределения серы, преимущественно входящей в состав пирита, по классам крупности при различной тонине помола показало, что более чем на 96 % она сосредоточена в классе минус 0,071 мм. Последнее обстоятельство указывает на мелкодисперсный характер сульфидных минералов в руде, что важно учитывать при исследовании на обогатимость руды гравитационными методами с использованием центробежных концентраторов.

По данным минералогического анализа, а также исследований по раскрытию минералов установлено, что размер частиц золота в основном не превышает 10 мкм. Основная часть пирита находится в классе крупности минус 0,071 мм и размер зерен составляет 5-50 мкм. На основании этого проводили исследования по влиянию крупности помола руды в питании концентратора на показатели обогащения. Исследование гравитационного метода обогащения производили на лабораторном центробежном концентраторе КС-MD3 с периодической разгрузкой тяжелой фракции.

В результате исследований было установлено, что извлечение золота в концентрат уменьшается с 26,1 до 19,7 % при увеличении доли класса крупности минус 0,071 мм в питании концентратора с 60 до 92 %. В дальнейшем наблюдается незначительное увеличение извлечения золота до 20,7 % по достижении в питании концентратора доли класса минус 0,071 мм до 97,5 %. При этом извлечение серы и мышьяка, ассоциированных с пиритом и арсенопиритом, в концентрат имеет выраженный максимум при доле класса минус 0,071 мм в питании концентратора на уровне 83 %.

Также было изучено влияние технологических параметров работы концентратора, в частности, расхода флюидизационной воды и величины центробежного ускорения, на показатели обогащения.

Анализ полученных данных показал, что извлечение серы в концентрат повышается с 23,88 % до 31,44 % с увеличением расхода флюидизационной воды с 2,0 до 4,5 л/мин, при этом извлечение золота в концентрат сначала снижается с 24,76 до 21,48 %, затем повышается до 25,47-26,79 %. При проведении контрольных операций обогащения удается извлечь в объединенный концентрат около 50 % серы при извлечении золота до 42 %.

Извлечение серы в концентрат и промпродукт постепенно возрастает до 33,3 и 48,9 % соответственно с увеличением величины центробежного ускорения до 120g, подобные зависимости характерны и для извлечения золота. При дальнейшем увеличении величины центробежного ускорения наблюдаются незначительные снижения серы и золота в концентрат и объединенный продукт, что очевидно связано с разубоживанием тяжелой фракции за счет увеличения извлечения пустой породы при больших гравитационных воздействиях.

На основании данных лабораторных исследований по гравитационному обогащению руды на концентрате периодического действия, были определены оптимальные технологические режимы для проведения укрупненных испытаний на концентрате Knelson KC-CVD6 с непрерывной разгрузкой концентрата тяжелой фракции.

В результате двухстадийного центробежного обогащения были получены концентрат и промпродукт с суммарным выходом 27,29 %, извлечением серы 54,35 %, золота 36,98 %, серебра 33,71 %.

В дальнейшем продукты гравитационного обогащения руды подвергались агитационному цианидному выщелачиванию. Часть объединенного гравитационного концентрата перед цианированием подвергалась сверхтонкому измельчению на бисерной мельнице «SUPERMILL» (модель EHP-20) до класса минус 5 мкм (> 95 %).

Условия проведения опытов по агитационному цианидному выщелачиванию были следующие: соотношение Ж:Т = 2:1, время выщелачивания 24 часа при комнатной температуре, начальная концентрация в растворе цианида натрия составляла 3,0 г/л. Раствор цианида натрия изначально подщелачивался едким натром для обеспечения начального значения pH=11,7-11,9. В процессе проведения выщелачивания каждые два часа контролировали pH раствора, а также отбирали пробы пульпы для определения в растворе содержания золота, серебра и свободного цианид-иона.

Кинетика процесса выщелачивания продуктов обогащения приведена на рисунках 1. Из данных рисунка 1 видно, что скорость выщелачивания золота для концентрата после ультратонкого измельчения значительно выше, чем для других продуктов обогащения руды. Кинетика выщелачивания золота из хвостов гравитации также высока, что отчетливо видно по зависимостям извлечения золота в раствор, изображенным на

рисунке 2. За первые два часа в раствор переходит более 95 % золота.

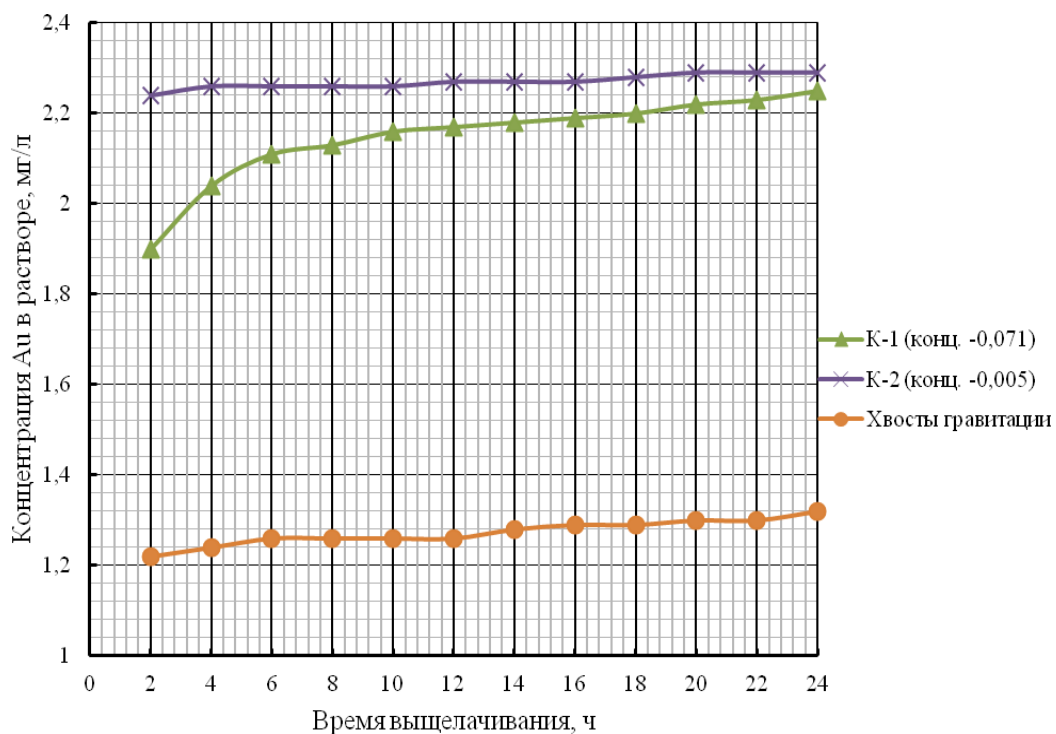


Рисунок 1 - Кинетика выщелачивания золота из продуктов обогащения руды месторождения «Воронцовское»

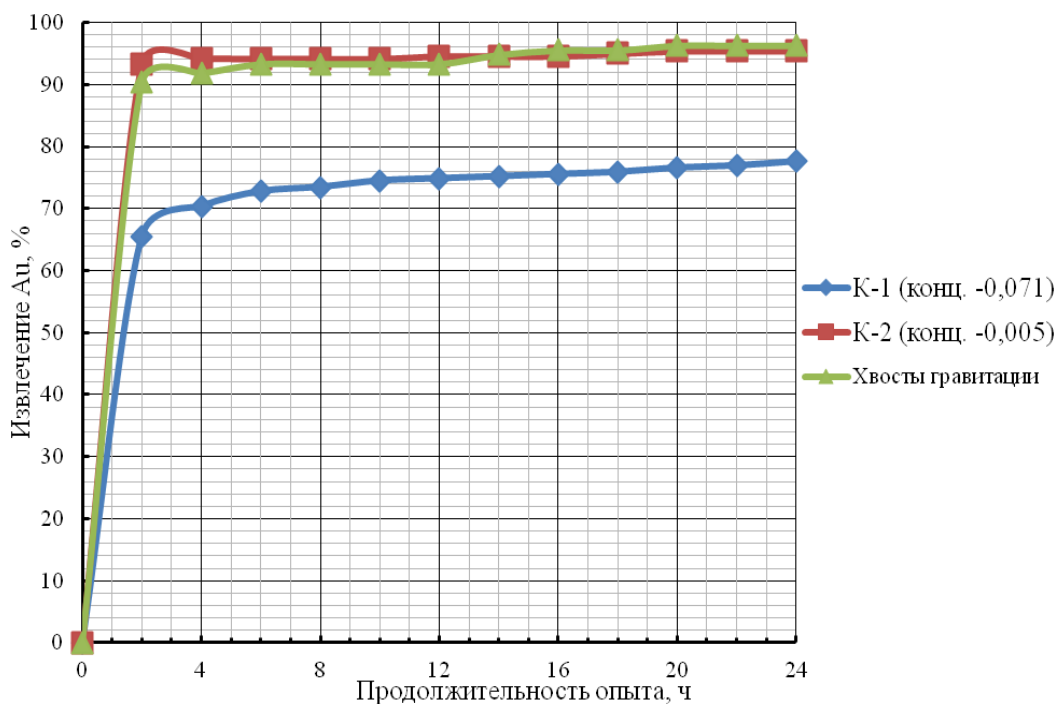


Рисунок 2 - Зависимость извлечения золота в раствор от времени выщелачивания,  $C_{NaCN} - 3$  г/л

На основании проведенных исследований по цианированию были сделаны следующие выводы:

- в результате ультратонкого измельчения до 5 мкм суммарного гравитационного концентрата и промпродукта и дальнейшего его цианирования удалось достичь извлечения золота в раствор на уровне 92-93%;

- извлечение золота в раствор из хвостов гравитационного обогащения руды на центробежном концентраторе составило порядка 90,0 %;

- среднее извлечение золота в раствор при цианировании руды можно увеличить до 90-92% (на 10-12 % выше существующих показателей) путём предварительного двухстадиального центробежного обогащения, измельчения тяжелой фракции до -5 мкм и совместного её цианирования с хвостами гравитационного обогащения;

- время цианидного выщелачивания золота из тонкоизмельченных продуктов обогащения сокращается в 4-8 раз.