

Внедрение технологии гравитационного обогащения на Березитовой ЗИФ

В.В.Барченков, гл. обогатитель — ООО «Березитовый рудник»

Давно известно, что если в руде имеется свободное золото, его надо извлекать в голове процесса методом гравитационного обогащения, которое обеспечивает снижение себестоимости и облегчение извлечения металла в последующих процессах обогащения или гидрометаллургии.

О наличии свободного гравитационного золота в руде Березитового месторождения известно с первых исследований руды, которые проводились в различных научно-исследовательских организациях с 70-х гг. прошлого века. Исследования проб руд Березитового месторождения проводились в институтах «ЦНИГРИ», «Иргиредмет», а также компанией «Intertech Maining» и др.

Последние исследования руды были проведены Иргиредметом и канадской фирмой «SGS Lakefield Research Limited» в 2003–2004 гг. после доразведки месторождения по предложению компании «HRG». Во всех этих (как и в предыдущих) исследованиях, было показано, что в руде содержится до 46,5% золота в свободном состоянии, в том числе 28,1% золота ассоциировано с кварцем, 24,1% — с сульфидами, причем более половины этого металла приходится на галенит.

Рациональный анализ золота, проведенный при изучении вещественного состава Березитовой руды в разных НИИ, также подтвердил, что 46,8% свободного золота находится в свободном состоянии и может быть извлечено гравитационными методами обогащения.

Исходя из полученных данных, в Иргиредмете в 2003 г. и в Intertech Mining в 2001 г. были проведены полупромышленные испытания извлечения золота гравитацией. Иргиредмет проводил тесты по схеме: отсадка — 2-х стадийная перечистка на столах с выделением золотой головки, в результате чего было извлечено от 25 до 56% золота в объединенный концентрат стола.

Intertech Mining проводил тесты и полупромышленные испытания на аппарате «KNELSON-3» на нескольких пробах после измельчения до крупности минус 1,0 мм. При этом в концентраты Нельсона извлекалось от 20 до 45% золота с содержанием в концентрате от 60 до 240 г/т.

Компания «Lakefield Research Limited», исследовав технологическую пробу руды Березитового месторождения на гравитационное обогащение, получило извлечение золота в концентрат гравитационной сепарацией от 33% до 40%.

На стадии проектирования Березитовой ЗИФ в 2005 г. заказчиком (компания HRG) было принято решение не включать гравитацию в технологическую схему фабрики, что, на наш взгляд, явилось серьезной ошибкой.

Гравитационное золото в руде заявило о себе в конце 2008 г. — начале 2009 г., когда был вскрыт Южный фланг месторождения, и руда поступила в переработку на фабрику. Стали наблюдаться необъяснимые случаи

повышенных потерь золота в твердой фазе хвостов от 0,5 до 1,0 г/т. В декабре-январе 2009 г. геологическая служба рудника предприняла промывку песков, скопившихся на нулевой отметке фабрики, на деревянном шлюзе с последующей перемывкой шлюзового концентрата на столе СКО-05. При этом был получен концентрат, в котором были обнаружены крупные зерна частиц золота размером до 1,5 мм.

Цианирование хвостов фабрики, содержащих 0,46 г/т золота в твердой фазе, в бутылочном агитаторе показало, что через 4 часа в хвостах оставалось 0,26 г/т. Этот факт означает, что для цианирования гравитационного золота недостаточно времени растворения в аппаратуре фабрики.

В марте 2009 г. на фабрике были проведены первые промышленные испытания центробежного концентратора ИТОМАК-КГ-40ДКА, техническая характеристика которого приведена в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики центробежного концентратора ИТОМАК-КГ-40ДКА

п/п	Параметры	Значение	
1	Мощность электродвигателя, кВт	11	
2	Частота вращения ротора, об/мин	450	
3	Производительность по твердому осадку (макс.) т/ч	40	
4	Производительность по пульпе, макс. м ³ /ч	80	
5	Максимальный расход промывочной воды, м ³ /ч	60	
6	Крупность материала в питании, мм, не более:	для аллювия	3,0
		для руды	1,0
7	Плотность питания, % тв	0–75	
8	Объем концентрата, л, не более	40	
9	Масса концентрата, кг, не более	40	
10	Масса аппарата, кг	1700	
11	Габариты, мм:	длина	2760
		ширина	1500
		высота	1780

В качестве питания в концентрат подавали циркуляционные пески гидроциклонов в количестве 5–7% от массы песков непосредственно из песковой ванны кластера гидроциклонов. Опробованием установлено, что в циркуляционных песках гидроциклонов содержится от 11 до 42 г/т золота, что в несколько раз больше, чем в текущей руде, т.е. степень обогащения золота в циркуляционных песках достигает 8–10. В гидроциклонах обогащение происходит в центробежном поле, причем золото концентрируется в нижнем продукте гидроциклона — песках.

Проведенные в марте 2009 г. промышленные испытания по извлечению гравитационного золота из руды Березитового месторождения показали принципиальную возможность извлечения свободного золота центробежным концентратором «Итомак».

В этих испытаниях из-за отсутствия учета переработки песков гидроциклонов, учета массы концентрата Итомака не были определены такие показатели процесса, как выход концентрата, производительность

Итомака по твердому, баланс золота по схеме, извлечение металла в золотую головку. Кроме того, отсутствие классификации питания концентратора приводило к попаданию в концентратор крупного рудного материала и железного скрапа, что существенно осложняло работу концентратора и последующую перемычку концентрата на столе. Одним словом, испытанная схема гравитационного обогащения руды оказалась неработоспособной.

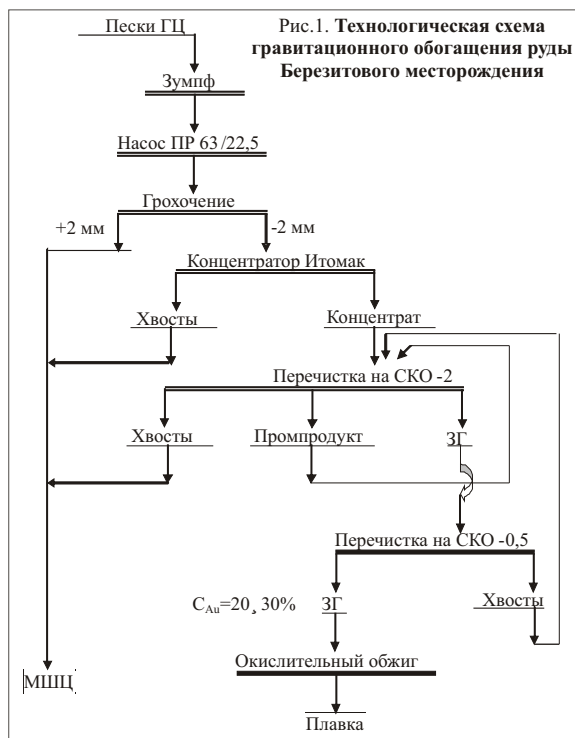
С учетом выявленных недостатков была переделана схема цепи аппаратов, а именно:

- подача песков гидроциклонов из песковой ванны кластера выполнена с разрывом струи в зумпф, откуда насосом ПР-63/22 пульпа перекачивалась с разбавлением водой на грохот;
- установлен виброгрохот с просеивающей поверхностью 1000×1200 мм в виде полиуретановых сит с ячейкой 2 мм;
- вместо чана КЧР-1,6 для концентрата установлен зумпф с коническим днищем и запорным краном для регулирования подачи концентрата на концентрационный стол;
- концентрационный стол СКО-2 переделан для перемычки концентрата и получения трех продуктов — хвостов, золотой головки и промежуточного продукта.

Целью проведения новых промышленных испытаний являлось определение основных параметров процесса гравитационного обогащения руды:

производительность концентратора ИТОМАК по твердой фазе, выход и качество получаемого концентрата; показатели перемычки концентрата на концентрационном столе СКО-2; извлечение золота в концентрат и в золотую головку после перемычки на столе.

Технологическая схема гравитационного обогащения руды Березитового месторождения приведена на рис.1. Согласно схеме, материал для обогащения отбирают из песковой ванны кластера гидроциклонов непосредственно на выходе песков из нижней зоны потока, где постоянно проходит наиболее тяжелый и обогащенный материал. Через патрубок и регулирующий шланговый затвор



Ду50 пески самотеком направляются в зумпф с коническим днищем. Поскольку плотность песковой пульпы очень высокая (70–75% твердого), в зумпф подают обратную воду для разжижения плотности до 60–62% твердого. Из зумпфа пульпу насосом ПР-63/22 перекачивают на классификацию по классу минус 2 мм на виброгрохот. Надрешетный продукт крупностью плюс 2 мм разгружается в течку и в сопровождении обратной воды поступает самотеком по трубопроводу Ду100 в мельницу МШЦ.

Подрешетный продукт крупностью минус 2 мм самотеком направляется в концентратор ИТОМАК. Для флюидизации постели в рабочий конус под давлением 0,03–0,05 МПа подают свежую воду.

Хвосты концентратора самотеком направляются в мельницу МШЦ, а концентрат периодически споласкивают в приемную емкость с коническим днищем перед столом СКО-2.

По мере накопления концентрата производят перечистку на концентрационном столе СКО-2. Хвосты стола самотеком поступают в мельницу МШЦ, промпродукт стола после основной перечистки снова перечищают на этом же столе. Золотую головку после окончания перечистки доводят на маленьком столе СКО-05 до содержания золота 20–30%.

Полученную после перечистки на столе золотую головку обжигают при температуре 450–650°С и плавят на слиток лигатурного золота.

В ходе испытаний определяли объем переработки песков, массу полученного концентрата Итомака, содержание класса +2 мм перед классификацией на грохоте; отбирали пробы питания и хвостов концентратора, определяли содержания золота в продуктах обогащения. Массу питания концентратора определяли, исходя из производительности насоса, плотности пульпы, поступающей на грохот, и содержания класса минус 2 мм в %. Производительность насоса — 63 м³/ч. Плотность питания грохота составляла 60–65% твердого. Объем и массу концентрата Итомака определяли по занимаемому объему приемника концентрата. Массу концентрата подсчитывали произведением объема на насыпной вес 1 л концентрата, который был определен в первом и составил 1,7 кг/л.

Опробование питания и хвостов концентратора проводили путем пересечения мерной кружкой потока пульпы перед ситом грохота и в хвостовом желобе Итомака через 10–15 минут. Пробы разделявали в ОТК и сдавали на анализ в пробирную лабораторию на содержание золота. Там же в ОТК определяли содержание класса плюс 2 мм в пробе питания грохота.

Испытания проводили циклами. Циклом работы Итомака считалось время его работы под нагрузкой до сполоска или время работы концентратора с несколькими сполосками. Первые 4 цикла проводили с одним сполоском концентрата, последующие 5-й, 6-й и 7-й циклы — с 3-мя и 4-мя сполосками.

Сполоск концентратора производили водой при отключении питания аппарата и остановки вращения рабочего конуса аппарата путем открытия клапана в хвостовом желобе на выпуск в приемную емкость в течение 30–60 с. После сполоска снова включали вращение рабочего конуса и подачу питания. Со всеми операциями сполоск занимает 1,52 минуты.

При перемалывании концентрата на столе СКО-2 во всех циклах визуально наблюдали в веере стола 5 фракций: крайняя соломенно-желтая полоска — свободное золото, сиреневая — галенит и сфалерит, серебристо-белесая полоска — арсенопирит, зеленовато-желтая — пиритная и кварцевая полоса.

В золотую головку отсекалась только желтая полоска золота с частью галенита. Основная часть галенита в контакте с арсенопиритом и пиритом отсекались в промежуточный продукт, кварц смывался со стола в хвосты. При перемалывании промпродукта в золотую головку отбирали только полосу свободного золота, а сульфиды направляли в хвосты на доизмельчение и в процесс гидрометаллургии.

Из минералогии Березитовой руды известно, что золото в сульфидах ассоциировано большей частью с галенитом и сфалеритом. В пирите золота значительно меньше. Временами в желтой полоске наблюдали крупные частицы свободного золота размером более 0,5 мм, но, в основном, желтая полоска состояла из мелкого и тонкого пылевидного золота.

Результаты испытаний, баланс золота и показатели гравитационного обогащения представлены в табл.2.

За время испытаний было переработано 599,6 т песков, общее время работы Итомака под нагрузкой составило 11 ч. Общее содержание золота составило: в питании концентратора — 30,2 г/т, в концентрате Итомака — 1439 г/т. Средняя степень обогащения концентрата — 47,7, выход концентрата Итомака — 0,148%.

При среднем содержании золота в руде 2,72 г/т степень обогащения золота в циркуляционных песках гидроциклонов составила $30,2 \cdot 2,72 = 11,1$. Снижения содержания золота в песках при проведении циклов не наблюдалось.

Таблица 2. Баланс золота и показатели гравитационного обогащения руды на концентраторе ИТОМАК и концентраторном столе СКО-2

№ цикла и дата	Питание Итомака		Концентрат Итомака		Степень обогащ.		ЗГ после перемалывания		Извлечение питания, %		Время цикла, ч	Кол-во сплоскусов
	т	Ац, г/т	Ац, г	Ац, г/т	Ац, г	Ац, г/т	Ац, г/т	Ац, г	Ац, г/т	Ац, г		
Цикл №1 15.10.09	57,6	17,4	1002,24	0,1	696	40,23	40,0	2,141	13,8	29,55	1,08	1
Цикл №2 19.10.09	35,7	69	2463,3	0,20	5 343	384,7	77,4	1,849	70,562	130,47	1,61	1
Цикл №3 19.10.09	37,4	16,3	609,6	0,16	4 016	233,3	246,4	0,753	84,646	63,74	1,16	1
Цикл №4 23.10.09	88,7	34,7	3077,9	0,08	3 039	206,7	87,6	1,755	26,778	47,00	1,5	1
Цикл №5 25.10.09	100,7	16,8	1691,8	0,17	426	73,10	25,36	6,555	5,112	33,51	1,5	3
Цикл №6 27.10.09	134,4	13,8	1854,7	0,17	669,0	154,14	48,48	2,025	41,459	63,95	2	3
Цикл №7 28.10.09	145,1	43,8	6355,4	0,16	816	187,68	18,63	3,373	31,81	107,30	2,16	4
ИТОГО	599,6	28,44	17 054,9	0,1483	1439,5	1279,8	50,6	18,451	26,86	495,5	11,01	14

Как видно из табл.2, извлечение золота в золотую головку в среднем составило 2,91%; за время испытаний на концентратор Итомак поступало в среднем 7% общей массы песков гидроциклонов.

Положительные результаты проведенных испытаний схемы гравитации послужили основанием для ввода этой схемы в постоянную эксплуатацию с 1 декабря 2009 г. В декабре на Итомаке переработано 12605 т песков гидроциклонов, получено золота в головку 4,2 кг.

В процессе работы гравитационной схемы были исследованы две золотые головки — №19 и №31, выполнен их рассев по классам крупности. Результаты приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Ситовая характеристика золотой головки № 19

Класс крупности, мм	Масса класса, г	Выход класса, %	Массовая доля, %		Распределение, %	
			Au	Ag	Au	Ag
плюс 2,0	22,9	1,009	0,29	0,00	0,023	0,000
-2,0 +1,0	62,3	2,745	4,09	1,20	0,858	0,989
-1,0 +0,8	31,5	1,388	7,79	2,40	0,827	1,000
-0,8 +0,4	68,9	3,036	19,56	6,10	4,541	5,561
-0,4 +0,2	195,4	8,610	29,16	8,40	19,197	21,719
-0,2 +0,1	1072,0	47,235	10,84	2,70	39,151	38,300
-0,1 +0,071	147,3	6,490	8,10	2,10	4,020	4,093
минус 0,071	669,2	29,487	13,92	3,20	31,384	28,336
Итого:	2269,5	100,0	13,08	3,33	100,0	100,0

Таблица 4. Ситовая характеристика золотой головки № 31

Класс крупности, мм	Масса класса, г	Выход класса, %	Массовая доля, %		Распределение, %	
			Au	Ag	Au	Ag
плюс 2,0	2,8	0,115	0,00	0,00	0,000	0,000
-2,0 +1,0	7,8	0,321	7,01	2,00	0,079	0,086
-1,0 +0,8	6,6	0,272	24,70	4,80	0,235	0,174
-0,8 +0,4	43,4	1,788	68,38	19,90	4,282	4,746
-0,4 +0,2	214,5	8,838	66,49	18,10	20,576	21,336
-0,2 +0,1	905,0	37,289	28,64	7,30	37,394	36,306
-0,1 +0,071	477,6	19,679	13,35	3,60	9,199	9,449
минус 0,071	769,3	31,698	25,44	6,60	28,235	27,903
Итого:	2427,0	100,0	28,56	7,50	100,0	100,0

Рассев обеих головок показал, что в классах от +0,2 до +2,0 мм содержится 25,17% и 25,4% золота, которое можно отнести к категории крупного. В классе минус 0,2 +0,071 мм содержится 46,59% и 43,1% мелкого и среднего по крупности свободного золота. В классе минус 0,071 мм находится 28,23 и 31,38% золота, которое можно отнести к тонкому и тонкодисперсному золоту. В обеих головках распределение золота по классам крупности примерно одинаковое, хотя головки получены от переработки руды с разных участков месторождения.

Более 30% тонкого золота извлекается концентратором и, скорее всего, это не предел. Этот факт свидетельствует о том, что центробежный концентратор «Итомак» достаточно эффективно извлекает частицы мелкого и тонкого свободного золота, а также золото, заключенное в сульфиды цветных металлов.

Были проанализированы пробы мономинеральных фракций, отобранные от галенитовой и арсенопиритной полос веера при доводке концентрата Итомака на концентрационном столе. Анализ показал, что в галените содержится 2,12% золота и 0,7% серебра, в арсенопиритной фракции соответственно, — 0,26% Au и 0% серебра. Таким образом, золотая головка в большей своей части содержит свободные частицы самородного золота, не связанного с сульфидами. Это значит, что в золотую головку необходимо отбирать преимущественно свободные частицы золота и часть галенита, а большую часть галенита и весь арсенопирит отправлять в мельницу на довскрытие золота в этих минералах и далее в процесс цианирования и сорбции.

В декабре 2009 г. при постоянной работе гравитационной схемы и извлечении золота в концентрат выявился второй эффект внедрения процесса гравитации: потери золота в хвостах фабрики снизились, а извлечение золота в гидрометаллургической схеме повысилось в среднем на 1,2%.

Поскольку золотая головка после перечистки концентрата Итомака на столе СКО-2 в среднем содержит 12% золота и 3% серебра, а остальная часть ее состоит из сульфидов свинца и цинка, то переработка ее по схеме «окислительный обжиг-плавка огарка на железо-натриевый шлак» с получением золота лигатурного в слитках не должна представлять существенных технических трудностей.

Выводы:

1. В результате проведенных промышленных испытаний гравитационной схемы установлено, что во всех типах руд Березитового месторождения имеется крупное, среднее и мелкое золото, которое легко извлекается центробежным концентратом «Итомак».

2. В ходе промышленных испытаний гравитационной схемы определены основные технологические параметры процесса гравитационного обогащения на базе центробежного концентратора «Итомак», схема цепи аппаратов гравитации доведена до работоспособного состояния.

3. Показано, что работа гравитационной схемы в эксплуатационном режиме на базе концентратора «Итомак-40 ДКА» позволяет извлечь в золотую головку не менее 2% золота от исходного содержания в перерабатываемой руде, обеспечивает полное улавливание частиц крупного и мелкого золота, находящихся в руде, что сказывается на уменьшении потерь недоцианированного золота с хвостами фабрики.

При установке более производительного концентратора типа «KNELSON KC- XD40» (производительностью по твердому до 250 т/ч) есть возможность в перспективе перерабатывать до 30% песков гидrocиклонов, получать концентрат и перерабатывать его по технологии интенсивного цианирования на установке типа «Акация». В этом случае возможно существенное повышение сквозного извлечения золота из руд Березитового месторождения. ■