© В.Н. Лыгач, Г.В. Ладыгина,
В.Д. Саморукова,
А.В. Шубодеров, 2007

УДК 622.7

В.Н. Лыгач, Г.В. Ладыгина, В.Д. Саморукова,
А.В. Шубодеров

ДОИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ БЕДНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД ЮЖНОГО УРАЛА

Семинар № 24

Разработка и освоение технологии извлечения золота из накопленных техногенных минеральных объектов, в первую очередь, из отвалов, хвостов и воды золотоизвлекательных фабрик и производств, приобретает актуальность для многих золотодобывающих предприятий, на которых сырьевые запасы кондиционных руд близки к истощению.

Ниже представляются результаты технологических разработок, выполненных ИКИМСО, по извлечению золота из бедных золотосодержащих руд Светлинского месторождения, отвальных продуктов Кочкарской ЗИФ и из эфелей хвостохранилища «Мусин Лог» (Южный Урал). Переработка руды Светлинского месторождения на золотоизвлекательной фабрике «Южуралзолото» включает рудоподготовку с последующим извлечением золота гидрометаллургическим способом из всего объема руды. Была исследована возможность предварительного обогащения исходной руды перед гидрометаллургией с целью повышения содержания золота в питании, направляемом на цианирование.

Руда Светлинского месторождения в минералогическом отношении характеризуется рядом особенностей, в связи с широким развитием в ней процессов окисления.

Выполненные исследования по изучению вещественного состава и технологических свойств проб исходной руды текущей добычи, сливов мельниц и гидроциклона, показали, что:

- в пробах золото, в основном, связано с сульфидами и продуктами их окисления и, в меньшей степени, с кварцем, но присутствует золото и в свободной форме;
- из-за равномерного распределения драгоценных металлов по классам крупности и плотности, невозможно эффективно провести предварительное обогащение руды путем классификации и гравитации;
- использование метода магнитной сепарации в сильном поле не обеспечивало избирательно извлечение золота в магнитную фракцию (извлечение золота было на уровне – 78,4 %, серебра – 87,9 %). Выход магнитной фракции составил 54,4 % от исходной руды.
- флотация в изученных условиях также не обеспечивала достаточно высокого извлечения золота во флотационный концентрат, содержащий 3-4 г/т золота.

С целью изучения основных потерь золота с отвальными продуктами обогащения и гидрометаллургии на Кочкар-

ской ЗИФ проводилось изучение вещественного состава и технологических свойств отобранных на фабрике отвальных продуктов: слива сгустителя и хвостов сорбции.

Пробы слива сгустителя и хвостов сорбции характеризовались преобладанием кварца и полевых шпатов (66,8 и 70,6 %), высоким содержанием (14,7 и 12,1 %) гидроокислов железа и наличием глинистых минералов (6,9 и 6,3 %). Основная часть золота была связана с сульфидами и продуктами их окисления и, в меньшей степени, с кварцем. Присутствовало золото и в свободной форме.

Проведенные исследования показали, что в случае гравитационного обогащения изучаемой пробы слива сгустителя раздельно по классам крупности, можно выделить объединенную тяжелую фракцию при выходе ее 13,48 % от слива сгустителя, что обеспечит извлечение из этой пробы золота на уровне 55,52 %.

Была исследована также возможность извлечения золота из слива сгустителя флотационным способом. Флотация осуществлялась на классе – 0,05, выделенном из слива сгустителя мокрой классификацией. При использовании в качестве основного собирателя, амфотерного реагента (АРФ-1) – 50 г/т, получено извлечение в одну основную операцию 47,6 % золота и 56,8 % серебра.

В исходных хвостах сорбции, по данным спектрального анализа, содержатся благородные металлы: золото менее 1 г/т и серебра 2 г/т, а также целый ряд ценных редких металлов и редкоземельных элементов.

При гравитационном обогащении пробы хвостов сорбции на концентрационном столе с последующей классификацией тяжелой фракции, удалось выделить из нее продукт (кл.-0,1+0,05 мм), в котором концентрация золота повышена до 2 г/т. Выход этого продукта составил 6,12 % от исходных хвостов, а извлечение золота в него составило 12-13 %.

В случае магнитного обогащения в сильном поле на лабораторном сепараторе английской фирмы «Бокс Маг Рапид» из пробы хвостов сорбции выделена магнитная фракция, в которой содержание золота составило 3 г/т, а серебра 10 г/т, при выходе магнитной фракции 10 % от хвостов сорбции. Извлечение благородных металлов в магнитную фракцию составило: золота - 32,26 %, серебра – 42,55 %.

При дальнейшей переработке немагнитной фракции химическим способом получен кварц-полевошпато-вый продукт, содержащий 77,5-94,5 % SiO_2 и 0,6-1,2 % Fe_2O_3. Такой продукт можно использовать в керамической, строительной и металлургической промышленности.

Выполненные исследования открывают перспективу использования сливов сгустителей и хвостов сорбции для снижения потерь благородных металлов и повышения комплексности использования сырья.

Таким образом, выполненные исследования свидетельствуют, что из-за нахождения золота в рудах Светлинского месторождения в различных формах, для повышения эффективности их обогащения, необходимо использовать несколько методов обогащения. При этом снижение потерь благородных металлов на Кочкарской ЗИФ с отвальными продуктами может быть обеспечено:

а) доизвлечением золота из слива гидроциклона гравитацией или флотацией (извлечение золота на уровне 55,5 % и 47,6 % соответственно от исходного слива гидроциклона);

б) доизвлечением золота из хвостов сорбции (отвальный продукт гидроме-

таллургии, содержащей золота менее 1 г/т и серебра – 2 г/т) с использованием метода магнитной сепарации в сильном поле, из него получена магнитная фракция с содержанием золота 3 г/т и 10 г/т серебра при выходе ее 10 % от хвостов сорбции. Извлечение золота и серебра в эту фракцию составило 32,6 % и 42,55 % соответственно.

При дальнейшей переработке отвальных продуктов (хвостов сорбции, в частности) возможно выделение весьма ценного кварцевого продукта с невысоким содержанием оксидов железа, что позволит не только повысить комплексность использования сырья, но и улучшить качественно-количественные показатели работы фабрики.

Хвосты переработки золотосодержащих руд (эфелей), находящиеся в хвостохранилищах, существенно отличаются по своему составу и качеству от золотосодержащих руд, т.к. они в значительной степени измельчены и окислены. Вследствие этого присутствующее в них свободное золото обычно имеет покрытия из гидроокислов железа, а часть цветных металлов представлена минералами в окисленной форме. При этом материал хвостов содержит много водорастворимых солей, флотационные реагенты и смазочные масла. По своему вещественному составу хвосты (эфеля) близки к окисленным рудам различных типов, но они всегда характеризуются технологической «упористостью» золота, серебра и цветных металлов. Отличными особенностями характеризуются и отходы золотоизвлекательных фабрик ОАО «Южуралзолото» и, в частности, лежалые хвосты хвостохранилища «Мусин Лог».

За период отработки и обогащения руд Светлинского и других месторождений скопились значительные объемы отходов обогащения с содержанием золота 1-2 г/т. По данным геологических разведочных скважин запасы эфелей составляют 6 млн.т при содержании золота от 0,7 до 1,4 г/т.

В ИКИМСО проведены геолого-технологические исследования 2-х проб золотосодержащих эфелей (песчано-алевритистая фракция) хвостохранилища «Мусин Лог». Целью работы явилась разработка технологии обогащения данных эфелей с получением концентрата, содержащего не менее 3 г/т золота.

Проба эфелей 2Э включала ~ 79 % кварца с полевым шпатом, 6,4 % слюд, 5,8 % хлорита, 3,9 % сульфидов, 1,8 % амфибол и т.д. В пробе отсутствовали глинистые минералы, гидроокислы железа составили всего 0.3 %.

Проба содержала 0,86 г/т золота, которое было связано, в основном, с пиритом, гидроокислами железа и кварцем, встречалось оно и в свободном виде.

Распределение золота по классам крупности показало некоторую концентрацию его в мелких классах (до 1,5 г/т). Присутствие золота в крупных классах связано, в основном, с кварцем и гидроокислами железа, а в мелких классах – с пиритом и его свободной формой.

Особенности вещественного состава пробы эфелей и необходимость извлечения золота, связанного с различными минералами, а также находящегося и в свободном виде, потребовали проведения целого комплекса технологических исследований с привлечением методов гравитации, магнитной сепарации и флотации, обеспечивающих в каждом конкретном случае эффективное извлечение из эфелей различных форм золота.

При этом переработка флотацией лежалых старых отвалов эфелей предусматривают необходимость извлечения в пенный продукт как самородного золота, так и сульфидов, содержащих бла-

городные металлы, которые, находясь в известково-цианистой среде, сильно задепрессированы. В этом случае ксантогенат малоэффективен и нужны более эффективные собиратели.

Выполненные лабораторные исследования по гравитации, магнитной сепарации и флотации позволили разработать несколько рациональных вариантов технологии извлечения из эфелей золота:

1. Гравитационная схема обогащения, предусматривающая получение чернового концентрата на винтовых сепараторах с перечисткой его на концентрационных столах, обеспечила получение золотосодержащего концентрата с содержанием золота 4,73 г/т и 4,6 г/т серебра, при извлечении 51 % золота и 5,7 % серебра. Выход такого продукта составил 9,29 %. При этом имеется реальная возможность улучшения качественно-количественных показателей за счет использования промпродукта и, в первую очередь, повышения извлечения золота.

2. Наиболее высокие результаты обогащения были достигнуты по гравитационной технологии переработки необесшламленных исходных эфелей с использованием концентратора Кнельсона. Получен гравитационный концентрат с содержанием около 13 г/т золота и 18 г/т серебра. При этом извлечение золота в концентрат достигло 83,7 %. Высокая эффективность гравитационного обогащения эфелей на концентраторе Кнельсона обусловлена специфическими особенностями этого аппарата, одной из которых является обеспечение высокого значения центробежной силы.

3. Разработанная флотационная технология переработки эфелей предусматривает флотацию золота и серебра в присутствии шламов, т.е. исходных эфелей. По этой технологии получены концентраты с содержанием 3,5 г/т Au и 9 г/т Ag при извлечении в них золота от 71,6 до 82,3 % и серебра на уровне 24,5 %. Выход флотационного концентрата составил порядка 17,6 %. В случае необходимости качество флотационного концентрата может быть повышена за счет корректировки процесса флотации.

4. Магнитно-флотационная технологическая схема предусматривает предварительное обесшламливание исходных эфелей (по классу 20 мкм), магнитную сепарацию песков с выделением золотосодержащего продукта (магнитную фракцию) (7 г/т Au и 8,4 г/т Ag) и последующую флотацию благородных металлов из немагнитной фракции песков с получением дополнительного золотосодержащего продукта (5,0 г/т Au и 7 г/т Ag). Суммарный выход золотосодержащего концентрата составил 11,74 % при содержании золота в объединенном продукте 5,69 г/т и 7,57 г/т серебра. Извлечение золота в концентрат по магнитно-флотационной технологии обогащения составило 77,65 % и серебра 13,68 %. Общее извлечение золота по этой технологии может быть повышено до порядка 83 % за счет использования шламистой части эфелей, но при этом качество концентрата будет ниже.

Выполненные исследования показали, что при обогащении исходных эфелей пробы 2Э наиболее высокие технологические показатели обогащения могут быть получены по разработанным схемам: чисто гравитационной технологии обогащения с использованием концентраторов Кнельсона, чисто флотационной и магнитно-флотационной технологиям.

До проектирования промышленного комплекса по переработке лежальных отходов хвостохранилища «Мусин Лог» необходимо провести геолого-

технологическое опробование хвостохранилища и опытно-промышлен-ные испытания по разработанным схемам, которые позволят получить дополнительные данные по характеристике сырья и продуктов, наработать укрупненные партии золотосодержащих концентратов и отработать на них процессы цианирования с последующей сорбцией. Полученные дополнительные данные по параметрам изученных процессов будут весьма ценными для последующего проектирования и переработки эфелей. ГИАБ

Коротко об авторах

Лыгач В.Н., Ладыгина Г.В., Саморукова В.Д., Шубодеров А.В. – ГИГХС, ИКИМСО.

© Г.В. Ладыгина, В.Н. Лыгач, А.В. Шубодеров, Г.И. Богатырева, Н.Н. Архангельская, 2007

УДК 622.7

Г.В. Ладыгина, В.Н. Лыгач, А.В. Шубодеров, Г.И. Богатырева, Н.Н. Архангельская

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ ПОРОД НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Семинар № 24

В институте ГИГХС проводились работы по оценке эффективности существующей технологии первичного и гравитационного обогащения золотоносных пород при опытно-промышленной эксплуатации одного из участков месторождений Полярного Урала, а также изучалась возможность доизвлечения золота из отобранных на участке отвальных продуктов. Технология обогащения золотоносных пород на опытном участке осуществлялась на установке УОММ (производства Тульской горно-промышленной компании) и включала в себя следующие операции:

- I стадию мокрого грохочения по классу 100 мм с выделением класса +100 мм (Галя), направляемом в отвал и класса –100 мм, поступающего на II стадию мокрого грохочения;

- II стадия мокрого грохочения по классу 15 мм с выделением класса –100+15 мм (эфеля) в отвал и класса –15+0 мм, направляемого на дальнейшее обогащение;

- гравитационное обогащение на вибро-центробежном сепараторе СЦВ-6 с выделением концентрата и хвостов сепаратора, которые направляются на контрольный шлюз для доизвлечения тонкодисперсного золота;

- доизвлечение тонкодисперсного золота на шлюзе с получением концентрата контрольного шлюза и хвостов, направляемых в отвал.

Для оценки эффективности существующей технологии обогащения были отобраны и переданы для исследований технологические пробы ТО (продукт галеэфельного отвала) и частичные пробы отстойников «мутьевых сливов» (ТС).

Существующие жесткие требования по экологической безопасности ведения процессов обогащения золотосодержащих пород на Приполярном Урале, вблизи рыбохозяйственных водоемов, обусловили проведение исследований по доизвлечению золота из отходов технологических проб (ТО) и (ТС) только экологически чистыми методами обогащения – гравитационными.

Изучение химического, гранулометрического и минерального состава указанных проб, а также распределение связанного и свободного Au по классам крупности показало, что:

- проба галеэфельного отвала содержала 0,72 г/т Au, причем оно было неоднородно распределено по классам крупности (от 0,2 до 2 г/т).

- основные потери золота по извлечению (54,8 %) в пробе галеэфельного отвала приходились на долю классов –5+0 мм, потери в крупных классах –100+40 мм и –40+15 мм составляли 34,4 %. При этом золото присутствовало как в связанном виде (в крупных классах, в основном, с кварцем, а в мелких (-2+0 мм) - с гидроокислами железа и сульфидами), а также и в свободном виде, начиная с кл. –0,25+0,1 и мельче. Наиболее богатыми по содержанию свободного Au оказались классы -0,25+0,1 мм и –0,1+0,05 мм (1,592 г/т), которые имели очень высокий процент свободного Au, по отношению к общему (79,6-80 %). По данным минералогического анализа содержание свободного золота в классе –15+0мм составило –0,213 г/т.

- по данным гранулометрического анализа установлено, что проба ТО содержала в своем составе класса +15 мм всего 35,9 %, в то время, как класс –-15+0 мм, по которому проводилась основная классификация и промывка на участке – 64,12 %. Из приведенных данных видно, что данная операция классификации осуществлялась на опытном участке неэффективно.

В связи с тем, что свободное неуловленное Au в галеэфельном продукте находилось в тонких классах, начиная с класса –0,25+0,1 мм и меньше, были проведены исследования по его извлечению с применением высокоинтенсивного гравитационного концентратора Кнельсона.

Осуществление гравитационного обогащения галеэфельного продукта крупностью –5+0 мм в концентраторе Кнельсона показало возможность дополнительного получения из него концентрата с содержанием 4-10 г/т золота при извлечении 85,4 % от операции или 41,8 % от исходного питания. Выход гравитационного концентрата составил 0,013 % от исходного материала. По гранулометрическому составу концентрат концентратора Кнельсона являлся достаточно крупнозернистым, он содержал 51,6 % кл. +0,5 мм. Как показали исследования, в концентраторе

Результаты обогащения технологической пробы ТС на различных гравитационных аппаратах

Концентрат гравитационный			Примечания
Выход	Золото		
	содержание, г/т	извлечение, %	
0,11	136,4*	41,18**	Обогащение проведено на концентрационных столах, (кл.-0,25 мм) по развернутой схеме.
0,437	105***	53,54	Обогащение (кл. –1,7+0 мм) прове-дено на концентраторе Кнельсона в одну стадию.
24,8	1,82	54,59	Обогащение (кл. –1+0 мм) проведе-но на концентраторе «Фалькон» стадиально (3 стадии).

*) по данным минералогического анализа (свободное золото).
**) извлечение от операции.
***) по данным нейтронно-активационного анализа.

Кнельсона наиболее эффективно выделяется тонкое и тонкодисперсное золото.

Изучение вещественного состава частных проб ТС показало, что они богаты, но неоднородны по своему химическому (0,8-0,4 г/т Au) и гранулометрическому составу (выход класса –0,05 мм изменялся от 46 до 95 %). В исходной объединенной пробе «мутьевых сливов» содержание свободного золота составило 0,58 г/т.

Изучалась эффективность гравитационного обогащения объединенной пробы ТС на концентрационном столе, а также на концентраторах Кнельсона и Фалькона (таблица).

Перед гравитационным обогащением, для повышения эффективности разделения на концентрационном столе, проводилась предварительная мокрая классификация исходного материала пробы. Класс +0,25 мм анализировался на содержание Au спектрозолотометрическим методом, а класс –0,25+0 мм направлялся на концентрационный стол. Обогащение класса –0,25+0 мм на столе осуществлялась по схеме, предусматривающей основную концентрацию, контрольную очистку хвостов, две доводочные операции по перечистке промпродуктов и доводочную (перечистную) операцию тяжелой фракции (головки) стола. В результате обогащения этого класса, содержащего 0,36 г/т свободного Au получен концентрат (головка стола) с содержанием свободного золота 136,4 г/т при извлечении 41,8 % от операции и выходе 0,11%. Установлено, что: концентрат стола является довольно однородным по крупности, а содержание свободного Au увеличивается от крупных классов к наиболее мелким (от 40,74 г/т до 284,78 г/т).

Перед гравитационным обогащением на концентраторе Кнельсона для обеспечения оптимальной крупности исходного питания в лабораторном аппарате проводилась предварительная классификация исходного материала объединенной пробы ТС по классу 1,7 мм. Класс +1,7 мм анализировался на содержание Au спектрозолотометрическим методом, а класс -1,7+0 мм направлялся на концентратор Кнельсона, обогащение в котором проводилось в одну стадию. Исследования показали, что из пробы ТС (класс -1,7+0 мм), содержащей 0,86 г/т Au, в одну операцию при производи-

тельности 17 кг/час, получен гравитационный концентрат с содержанием 105 г/т Au при извлечении 53,54 % Au от операции. Выход концентрата составил 0,437 %. Содержание свободного Au в концентраторе обнаружено в классе –0,5 мм и менее. Размер зерен золота колебался от 0,2 мм до –0,05 мм. Золотины имели ярко-золотой цвет, блеск яркий, металлический, преобладают зерна с «рубашками» гидроокислов в углублениях. Встречалось также комковатое и мелкое золото практически все дендритовидное. В самом тонком классе –0,05+0 мм золото тонкодисперсное, размером от 0,01 до 0,02 мм. Форма, в основном, дендритовидная и комковатая.

Далее были выполнены исследования по обогащению класс –1+0 мм объединенной пробы «мутьевые сливы» отстойников на новом лабораторном центробежном гравитационном концентраторе для извлечения тонких частиц золота «Фалькон» фирмы «Скотт-Юропиен Корпорейшн».

Эксперименты показали, что из класса –1+0 мм при трехстадиальном обогащении пробы ТС получен концентрат с содержанием в нем золота 1.82 г/т, при суммарном извлечении золота в гравитационный концентрат – 54,59 %. Выход объединенного концентрата составил 24,8 %.

Анализируя результаты обогащения объединенной пробы «мутьевых сливов» на различных гравитационных аппаратах видно, что, используя гравитационные методы разделения возможно из «мутьевых сливов» дополнительно извлечь как свободное, так и связанное золото.

Наиболее высокие показатели получены с использованием концентраторов Кнельсона по извлечению связанного золота, а обогащение на концентрационных столах по развернутой схеме обеспечило более высокие показатели по извлечению свободного золота.

Таким образом, выполненные исследования показали, что:

- существующая технология обогащения на опытном участке является недостаточно эффективной;
- используя экологически чистые гравитационные методы обогащения, возможно дополнительно выделить (по извлечению от 41,8 до 54,6 %), связанное, но, в основном, свободное тонкодисперсное золото как из отходов первичного обогащения (продукта галеэфельного отвала), так и из объединенной пробы «мутьевых сливов» отстойников при переработке исходной руды на опытном участке одного из месторождения Полярный Урал. ГИАБ

Коротко об авторах

Ладыгина Г.В., Лыгач В.Н., Шубодеров А.В. – ГИГХС, ИКИМСО,
Богатырева Г.И., Архангельская Н.Н. – Центргеология.