

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622.7.001.76 © Б.К.Михайлов, Г.В.Седельникова, Б.И.Беневольский, А.И.Романчук, 2014

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УПОРНЫХ И БЕДНЫХ РУД ЗОЛОТА КАК ОСНОВА РАЦИОНАЛЬНОГО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Б.К.Михайлов, Г.В.Седельникова, Б.И.Беневольский, А.И.Романчук (ФГУП «ЦНИГРИ»)

Выполнен анализ состояния минерально-сырьевой базы золота, показана возрастающая роль большеобъемных месторождений с бедными, убогими и упорными рудами в запасах коренного золота. Рекомендовано применение и приведены примеры инновационных технологий переработки руд золота с использованием методов фотометрической сепарации, биогидрометаллургии и энергетических воздействий, обеспечивающих рентабельное извлечение золота.

Ключевые слова: бедные, убогие руды, золото, фотометрическая сепарация, биогидрометаллургия, энергетические воздействия.

Михайлов Борис Константинович, mikhailov@tsnigri.ru, Седельникова Галина Васильевна, gsedelnikova@mail.ru, Беневольский Борис Игоревич, benbor@tsnigri.ru, Романчук Александр Ильич, romantchouk@yandex.ru

INNOVATION TECHNOLOGIES OF GOLD REFRACTORY AND LOW GRADE ORES PROCESSING AS BASIS OF RATIONAL MINERAL RESOURCES USING

B.K.Mikhailov, G.V.Sedelnikova, B.I.Benevolsky, A.I.Romanchuk

Gold mineral resources were analyzed and the main role of large deposits with refractory and low grade ores was shown. The using of innovation technologies in gold ore processing such as photometric separation, biohydrometallurgy and energy impacts and treatment are recommended for cost effective gold extraction.

Key words: gold resources, low grade ore, photometric separation, biohydrometallurgy, energy impacts and treatment.

В России, как и во всем мире, качество минерального сырья в разрабатываемых и подготовляемых к освоению месторождениях постоянно снижается. Все больший удельный вес приобретают руды с низкими содержаниями полезных компонентов (бедные, убогие, забалансовые) и сложным вещественным составом (труднообогатимые, или «упорные»). Использование традиционных технологий для переработки таких руд малоэффективно, что снижает инвестиционную привлекательность объектов и сдерживает их освоение.

Проблема может быть наглядно проиллюстрирована на примере золота. В период с 1991 по 2012 гг. производство золота в России осуществлялось в основном за счет богатых коренных и россыпных месторождений, подготовленных еще в советское время. Если в начале этого периода доля добываемого золота из собственно коренных месторождений не превышала 16–18%, то к настоящему времени она закономерно возросла до 70% и в дальнейшем, в силу исчерпания запасов россыпного золота, сохранит этот рост. Средние содержания Au в руде превышали среднемировые в 2–2,5 раза, коэффициент сквозного извлечения золота составлял 85–95%. За указанный период из недр добыто 4088 т (погашение в недрах за счет добычи с учетом потерь составило 4179 т), а произведено 3567 т золота. Таким образом, общие потери при производстве золота из лучших собственно золото-рудных месторождений составили 612 т, в том числе за счет применения несовершенных технологий — 521 т, или 13%. Еще большие потери золота (60–85%) связаны с рудами комплексных месторождений. Причина та же — несовершенство технологий обогащения и извлечения.

В период с 1995 по 2006 гг. динамика изменения балансовых запасов золота в стране (с учетом погашения в недрах и полученных приростов) характеризуется существенной их убылью до 946 т. В то же время, в период с 2007 по 2012 гг. наблюдается значительный прирост запасов до 2420 т. Несложно подсчитать, что в результате планомерных геолого-разведочных работ (ГРП) с учетом переоценки отдельных месторождений суммарный прирост запасов золота в стране за весь постсоветский период составил

1970 т и достиг параметров расширенного воспроизводства. Основной объем приращиваемых запасов обеспечен в Дальневосточном и Сибирском регионах за счет сложных в технологическом отношении бедных и убогих руд

Рис. 1. Принципиальная технологическая схема фотометрической сепарации (ФМС) золотосодержащей руды

(средние содержания Au 1,8–2,6 г/т) так называемых большеобъемных месторождений золота в углеродисто-терригенных комплексах. Их вовлечение в разработку с использованием традиционных технологий несет высокие риски увеличения потерь до 25–35% и более и, соответственно, существенного снижения экономических показателей производства. За рубежом основным источником золота являются руды с низким содержанием золота (1,06–1,6 г/т), также сложные в технологическом отношении. Тем не менее, коэффициент сквозного извлечения за счет применения современных технологий в среднем составляет 85–95% (статистические данные по 125 месторождениям).

В доказанных запасах (в недрах) РФ среднее содержание Au за 1991–2012 гг. снизилось с 4,3 до 2,4 г/т (в 1,8 раза), при этом руды большеобъемных месторождений углеродисто-терригенных комплексов составляют немногим менее 70% со средним содержанием Au 1,7–2,4 г/т, т.е. сопоставимы со среднемировым уровнем (и даже выше). Общее количество учтенных месторождений коренного золота в рассматриваемый период возросло со 175 до 325 т.

В последние годы отраслевыми институтами Роснедра и Минприроды разработаны основные принципы и инновационные методы переработки труднообогатимых руд, позволяющие не только минимизировать потери, но и существенно сократить затраты на производство, а также использовать новые принципы оценки большеобъемных месторождений золота со значительным увеличением запасов в их пределах. Так, переоценка запасов золота месторождения Сухой Лог в Иркутской области, выполненная в ФГУП «ЦНИГРИ», позволила не только практически вдвое увеличить его масштабы, но и существенно сократить сроки окупаемости проекта (И.А.Карпенко, Н.Г.Петраш, А.А.Черемисин, Д.А.Куликов, 2008).

Это стало возможным благодаря применению технологии предварительной **крупнокусковой фотометрической сепарации рядовых, бедных и убогих золотосодержащих руд** (рис. 1). Сепарация позволяет выделить в отвал до 80% пустой породы еще на борту карьера, сократить объем руды, поступающей на фабрику и повысить содержание Au в обогащенном продукте. При этом снижаются капитальные затраты и эксплуатационные расходы, повышается рентабельность переработки руды.

В результате крупнокусковой сепарации убогих руд повышается содержание Au в обогащенном

Рис. 2. Показатели фотометрической сепарации убогой золотосодержащей руды:

1 — исходная руда; 2 — концентрат ФМС; 3 — хвосты ФМС

Рис. 3. Степень окисления сульфидов в процессе бактериального выщелачивания концентрата месторождения Хатыннах:

Ультразвуковая обработка (УЗО) руды Мутновского месторождения перед цианированием:

продукте с 0,64 до 1,57 г/т. При этом сокращается объем перерабатываемой руды со 100 до 30% (рис. 2). Использование предварительной фотометрической сепарации позволит в перспективе вовлечь в эксплуатацию убогие руды.

Следующий важный момент — совершенствование технологии переработки добытой руды. На примере разведываемого месторождения Хатыннах в Магаданской области показано, что применение *биогидрометаллургической технологии* для извлечения благородных металлов *из упорных высокомышьяковистых золото-сульфидных концентратов* дает возможность в корне поменять экономику проекта с убыточной на высокорентабельную. Флотационный концентрат (18,4 г/т Au), получаемый при обогащении золотосодержащей руды этого месторождения, обладает двойной упорностью: содержит золото, тонко вкрапленное в сульфиды (арсенопирит и пирит), и сорбционно-активный органический

углерод (2,7% C_{org}). Применение традиционного метода цианирования концентрата малоэффективно. Предварительное бактериальное выщелачивание концентрата с использованием специально подобранной ассоциации бактерий позволяет окислить сульфиды и вскрыть золото (рис. 3).

За 120 часов бактериального выщелачивания концентрата достигается высокая степень окисления золотосодержащих сульфидов: арсенопирита 97,4%, пирита 74,3%. Извлечение золота цианированием остатка биоокисления составляет 90% против 11% без применения биотехнологии.

В последние годы в ФГУП «ЦНИГРИ» разработана инновационная **технология, позволяющая увеличить извлечение золота из руд, на основе применения электрофизических воздействий**. Суть ее сводится к энергетическим воздействиям на минеральное сырье (ультразвуковая и магнитно-импульсная обработка, облучение мощными элект-

1 — цианирование без УЗО, 2 — цианирование с УЗО

ромагнитными импульсами) в процессах его флотационного обогащения и гидрометаллургической переработки. В результате достигаются дезинтеграция и разупрочнение минеральных комплексов, вскрытие упорного золота и повышение его извлечения. Преимущество использования энергетических методов состоит в низком расходе электроэнергии 0,1–0,5 кВт·ч/т. На примере руд ряда разведываемых месторождений экспериментально установлено, что предварительная электрофизическая обработка повышает извлечение золота и других металлов. Так, извлечение золота в процессе цианирования обработанной ультразвуком руды Мутновского месторождения (Камчатка) повышается с 63,7 до 87,3% (рис. 4).

Достигнутое с применением ультразвука достаточно высокое извлечение золота 87,3% при цианировании мелкодробленой руды крупностью -2 мм сопоставимо с результатами цианирования данной руды при тонком помоле (98% класс -0,074), что свидетельствует об эффективности применения энергетической обработки и возможности сокращения энергетических затрат на переработку руды. Изучение кинетики растворения золота показало, что извлечение золота возрастает не за счет увеличения продолжительности цианирования, а за счет дополнительного вскрытия золота и повышения скорости его растворения при использовании ультразвука. Применительно к процессу кучного выщелачивания (КВ) золота из окисленных руд месторождения Кутын предварительная электрофизическая обработка выщелачивающего цианидного раствора позволяет практически в два раза (с 22 до 10 сут.) сократить продолжительность процесса растворения золота при извлечении его в раствор 91% (рис. 5). Положительный эффект от применения

Рис. 5. Кинетика извлечения золота при кучном выщелачивании окисленной руды месторождения Кутын с предварительной энергетической обработкой цианистого раствора:

1 — без УЗО, 2 — с УЗО

энергетической обработки, по-видимому, достигается в результате активации цианистого раствора, а также за счет разупрочнения минеральных комплексов и вскрытия тонковкрапленного золота.

Разработка и применение новых более совершенных технологий является основой для высокопроизводительного производства золота в стране из руд большеобъемных месторождений с относительно низким

содержанием Au, занимающих главные позиции в государственном балансе запасов. Исходя из проектной производительности будущих предприятий, годовая добыча золота из недр в среднесрочной перспективе до 2020–2025 гг. должна увеличиться, как минимум, на 100–120 т и составить в целом 300–350 т. Это выше годовой добычи золота в Австралии (259 т) и близко к таковой в Китае (369 т).

Таким образом, только расширение и централизация технологических исследований под особым контролем государства способны обеспечить рациональное и комплексное использование недр на основе применения новейших достижений отечественной и академической науки и мотивировать геологоразведочные работы по развитию минерально-сырьевой базы страны.

Используемая за рубежом и существовавшая ранее в бывшем СССР практика разведки месторождений в части изучения технологии переработки руд предусматривает следующие три основных этапа работ:

лабораторные исследования проб массой 50–100 кг (реже 200 кг) в целях изучения вещественного состава и технологической оценки обогатимости руд с испытанием процессов гравитации, флотации, гидрометаллургии и других методов для обоснования рекомендуемой технологической схемы (вариантов технологических схем) и определением ее основных показателей;

лабораторные исследования проб массой 200–500 кг в целях проверки рекомендуемой технологии на укрупненной технологической пробе, определения режимных параметров и показателей обогащения руды с получением конечных товарных продуктов;

полупромышленные или опытно-промышленные испытания технологии на пробах массой от 3–5 до нескольких десятков или сотен тонн с получением всех необходимых данных для составления технологического регламента по рекомендуемой схеме переработки руды для последующего проектирования и ТЭО строительства предприятия.

В настоящее время при ГРП по программам Роснедра в очень ограниченном объеме выполняется только первый этап исследований, по двум другим работы не проводятся. Такая организация работ не позволяет в полной мере оценить качество минерального сырья и истинную ценность месторождений.

Для устранения этого недостатка целесообразно организовать выполнение лабораторных работ 1-го и 2-го этапов в профильных НИИ отрасли (ФГУП «ЦНИГРИ», «ВИМС», «ЦНИИгеолнеруд», «ИМГРЭ» и др.), где накоплен огромный опыт соответствующих исследований и сохранились высококвалифицированные специалисты. Следует отметить, что техническая база ведущих институтов, осуществляющих аналитическое и технологическое сопровождение ГРП на твердые полезные ископаемые, не в полной мере отвечает современным требованиям научно-технического прогресса и нуждается в техническом перевооружении, которое, по нашему мнению, необходимо провести за счет средств из централизованных источников.

Для более масштабных полупромышленных испытаний по программам, разработанным институтами, целесообразно создание современного испытательного технологического центра (возможно, нескольких по видам сырья), включающего аналитические лаборатории и мобильные технологические линии с новейшим оборудованием, необходимым инженерный и технический персонал, способный обеспечить качественное проведение полупромышленных испытаний технологических схем извлечения полезных компонентов из всех видов твердых полезных ископаемых.