© Б.В. Комогорцев, А.А. Вареничев, 2016

УДК 622.772

Б.В. Комогорцев, А.А. Вареничев

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ БЕДНЫХ И УПОРНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Рассмотрены технологии переработки бедных и упорных золотосодержащих руд. Более 1/3 всех запасов таких руд отвечает критерию труднообогащаемых (упорных). Для их переработки рекомендуется применять эффективные технологии: методы предварительной сепарации, кучного выщелачивания, тонкого и сверхтонкого измельчения, гидрохимического вскрытия, бактериального окисления, окислительного обжига, а также методы безцианидного выщелачивания, в зависимости от их физико-механических свойств и минерального состава.

Ключевые слова: руды золотосодержащие, бедные, упорные руды, методы физического, гидрохимического, термохимического вскрытия, бактериальное окисление, кучное цианидное и безцианидное вышелачивание.

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

Эта проблема наглядно иллюстрируется 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 не превышала 16–18%, то к настоящему времени она возросла до 70%. За указанный период из недр добыто 4088 т, а произведено 3567 т золота, потери золота за счет применения несовершенных технологий составили 521 т, или 13%. Еще большие потери золота (60–85%) связаны с рудами комплексных месторождений. Причина одна несовершенство технологий обогащения и извлечения.

В доказанных запасах РФ среднее содержание Au за 1991–2012 гг. снизилось с 4,3 до 2,4 г/т (в 1,8 раза), при этом руды крупных месторождений составляют около 70% со средним содержанием Au 1,7–2,4 г/т [1].

Адекватным техническим ответом на истощение минерального сырья явились разработки и применение автоматически управляемых методов предварительного обогащения. Одним из этих методов является крупнокусковая сепарация, позволяющая предварительно отделить породу с отвальным содержанием полезных компонентов от объема руды, поступающей на последующие операции обогащения. Наиболее эффективно применение крупнокусковой сепарации для вовлечения в промышленную эксплуатацию бедных и забалансовых руд крупных месторождений.

Таким методом является метод фотометрической сепарации (ФМС). Промышленное применение ФМС стало возможным с появлением техники нового поколения полихромных фотометрических сепараторов, основанных на использовании высокоскоростных цифровых оптических систем с компьютерной обработкой изображения. Это позволило создать типоразмерный ряд высокопроизводительного оборудования для горнодобывающей промышленности, в частности, фотометрические сепараторы группы компаний «OrtoSort» с производительностью до 300 т/ч.

Согласно проведенным исследованиям в ЦНИГРИ по крупнокусковой ФМС руд месторождения «Сухой Лог» для рядовой руды с содержанием Au 3 г/т, выделен концентрат и отвальные хвосты с содержанием Au 0,43% при выходе 46,6%. Для убогой руды с содержанием Au 0,64 г/т выход отвальных хвостов с содержанием Au 0,22 г/т составил 69,2%. Содержание золота в руде, поступающей на глубокое обогащение увеличили в 2,4 раза при извлечении 76,12%. Применение ФМС позволит вовлечь в эксплуатацию убогие руды, прямое обогащение которых неэффективно [2].

Для крупнокусковой сепарации различного минерального сырья в России разработаны высокоэффективные рентгенофлуоресцентные сепараторы, производство которых осуществляется в ОАО «РАДОС» [3]. За последние 20 лет на ряде предприятий России созданы опытные образцы рентгенорадиометрических сепараторов, которые прошли успешные испытания на многих месторождениях стран СНГ.

В мировой золотодобывающей промышленности наиболее динамично развивающимся процессом в последние два деся-

тилетия стало кучное выщелачивание (КВ). Появление метода кучного выщелачивания было вызвано тем, что на многих золотодобывающих предприятиях мира были накоплены и хранились в отвалах миллионы тонн забалансовых руд, вскрышных пород, старых отвалов ЗИФ, лежалых хвостов и т.д., количество золота в которых исчислялось десятками и сотнями тонн. Поэтому технология кучного выщелачивания золота получила за короткое время широкое распространение в мировой золотодобывающей промышленности. В настоящее время в мире работает более 150 предприятий кучного выщелачивания.

Обычно КВ подвергают руду после дробления до крупности 5–50 мм. Присутствие в руде глинистых частиц снижает проницаемость кучи, замедляет выщелачивание. В таких случаях руду предварительно окомковывают с небольшой добавкой цемента, воды или цианистого раствора и щелочи. Кучное выщелачивание проводят на открытом воздухе на специальных водонепроницаемых площадках. Наиболее распространенная форма кучи четырехугольная усеченная пирамида. Высота куч может быть от 3 до 80 м, а вместимость по руде может достигать одного и более миллиона тонн. Процесс кучного выщелачивания отличается простотой технологии, низкими капитальными затратами. С учетом всех этих факторов КВ применяют для переработки бедного сырья, с содержанием золота от 0,8 до 3,0 г/т. Извлечение золота при КВ обычно не превышает 50–70%.

Прогрессивная технология КВ применяется с 90-х годов прошлого столетия в 11 регионах России от Урала до Дальнего востока. За последние 25 лет введено в эксплуатацию более 30 промышленных (опытно-промышленных) установок КВ золота. Производительность установок от 25–50 тыс. т в год для выщелачивания богатых руд с содержанием золота 9–35 г/т руд до 0,8–1,0 млн т для более бедных руд с содержанием золота 0,9–1,5 г/т. Добыча золота по технологии КВ достигает 8–10 кг на одного работающего. Срок окупаемости капитальных вложений в среднем составляет 1,5 года. Объемы добычи золота возрастают. Они увеличились от 0,3 т в 1994 г. до 18,5 т в 2012 г. Доля золота, добытого КВ в общей добыче его по России возросла за эти годы от 0,2 до 9,2% [4].

В ЗабГУ разработана поточная линия для круглогодичного КВ металлов в условиях криолитозоны Забайкалья. Эффективность разработанной поточной линии подтверждается укрупненной технико-экономической оценкой. Годовая производи-

тельность по руде установок КВ при этом возрастает в 1,43 раза по сравнению с сезонным способом от работки [5].

Для доизвлечения золота из лежалых хвостов цианистого КВ одного из месторождений Кызылкумов использовали метод гидрохлорирования. При кучном гидрохлорировании (КГ) первичных хвостов оксихлоридными растворами процесс вскрытия золота из упорных минералов-носителей протекает одновременно только с применением одного раствора. Такая постановка технологии КГ золота из упорных руд значительно упрощает технологические операцию. Процесс является компактным и бессточным, так как все используемые для КГ золота из первичных хвостов оксихлоридные растворы после извлечения золота регенерируются на месте использования и вновь возвращаются на КГ и, таким образом, процесс КГ золота является замкнутым. Извлечение золота из первичных хвостов КВ составило 86,1%, в то время как в контрольном опыте в системе NaCN этот показатель был равен только 32,6%.

Используемый оксихлоридный раствор (окислитель и растворитель металлов) раствор принципиально нового типа, экологический чистый, окислительно-восстановительный потенциал которого выше, чем у традиционного растворителя цианистого раствора, не замерзает при низких температурных условиях и обеспечивает проведение процессов кучного гидрохлорирования при любых погодных условиях.

По результатам исследований КГ золота из первичных хвостов установлено, что разработанная технология приемлема для промышленного внедрения на месте залегания лежалых хвостов с отдельным технологическим мини-заводом по переработке продуктивных оксихлоридных золотосодержащих растворов без изменения технологической цепочки цианистого выщелачивания золота из текущих руд месторождений Кызылкумов [6].

Поскольку метод цианирования для технологии извлечения золота является базовым переделом, то золотые руды или концентраты, которые по тем или иным причинам трудно поддаются обработке цианированием, относят к категории упорных. В.В. Лодейщиков [7] упорные руды классифицирует по главному разделительному критерию коэффициенту извлечения золота и серебра на стадии цианистого выщелачивания, выражаемому через коэффициенты физической, химической депрессии и сорбционной активности руды. Указанные коэффициенты в совокупности характеризуют степень технологической упорности руды в цианистом процессе, а каждый из

них в отдельности причину упорности руды, связанную с особенностями вещественного состава исходного сырья и определяющую, в конечном счете, выбор рациональной схемы извлечения золота.

Простые, легкоцианируемые руды относятся к технологическому типу А.

Упорные трудноцианируемые руды выделены в три технологические типа, которые в свою очередь включают три технологических подтипа:

Б – руды с тонковкрапленным золотом и серебром (физическая депрессия в цианистом процессе);

В – руды, цианирование которых сопровождается химической депрессией золота минеральными компонентами-примесями, проявляющими восстановительные или цианисидные свойства;

Г – руды, характеризующиеся повышенной сорбционной активностью по отношению к растворенным в цианиде благородным металлам.

Руды в зависимости от преобладания в них соответствующих минералов-носителей разделяются на три основные технологические разновидности: кварцевые, сульфидные и окисленные.

Руды технологического типа «В» содержат химические депрессоры золота цианисиды, медистые минералы, способные хорошо растворяться и образовывать вторичные пленки на поверхности золотин, а также минералы сурьмы и минералы, содержащие теллуриды золота, которые очень плохо растворяются в цианистых растворах.

К рудам технологического типа «Г» обычно относят глинистые и углеродсодержащие руды, которые в цианистом процессе активно проявляют сорбционные свойства к растворенному золоту.

Основными носителями тонковкрапленного золота в рудах являются сульфидные минералы: пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит, антимонит и многие другие, в том числе и кварц. По данным зарубежных исследователей доля упорных руд, в которых золото находится в виде тонких вкраплений в сульфидах, составляет 30% мировых запасов золоторудного сырья. Вот поэтому разработка эффективных технологий выщелачивания из упорных руд имеет большое практическое значение.

Для вскрытия тонковкрапленного золота применяются следующие способы: методы тонкого и сверхтонкого измельчения; методы гидрохимического вскрытия; бактериально-химиче-

ское вскрытие золотосодержащих сульфидов; окислительный обжиг и способы термохимического вскрытия.

Методы тонкого и сверхтонкого измельчения

Существующие в практике работы фабрик схемы с 3- и 4-стадиальным измельчением руды на базе современного измельчительного и классифицирующего оборудования позволяют получать материал крупностью 90–95% класса минус 0,04 мм. Такая степень измельчения позволяет методом цианирования перерабатывать упорные руды и концентраты с тонкодисперсным золотом и добиваться более или менее приемлемых результатов по извлечению золота. Однако применительно к сульфидным рудам с тонким золотом размером 3–5 мкм и менее, проблема механического вскрытия золота на базе существующего измельчительного оборудования остается нерешенной.

Измельчение в шаровых мельницах в диапазоне тонкого измельчения является неэффективным: только 0,6% всей подводимой энергии расходуется собственно на дезинтеграцию, остальное на потери в приводе и главным образом на образование тепла 85% [8].

В циклах доизмельчения в диапазоне крупности 100–40 мкм за рубежом доминирующее положение занимают вертикальные мельницы. По сравнению с обычными барабанными мельницами, Vertimill имеет более низкие капитальные и эксплуатационные затраты, в частности, расход энергии меньше на 35–40%. В настоящее время уже применяются укрупненные типоразмеры VTM-1500 и VTM-3000 с производительностью до 500 т/ч. В России мельница VTM установлена в цикле доизмельчения на Учалинской фабрике.

Для сверхтонкого измельчения– вне конкуренции горизонтальные мельницы интенсивного истирания IsaMill. В России первая мельница была установлена в 2007 г. на ЗИФ компании Cetco в Магаданской области. Еще одна мельница эксплуатируется с 2005 г. на ЗИФ Кумтор компании Centerra Gold в Киргизии. Проектируется и заказана установка IsaMill на Михеевской фабрики Русской медной компании и ЗИФ компании GeoProMining Gold Ltd в Армении.

Удельная установочная мощность мельницы IsaMill доходит до 300 кВт/куб м, при 40 и 20 кВт/куб м у шаровой мельницы. В качестве измельчающей среды используются специальные керамические шарики диаметром 1,5–3 мм, гранулированный шлак или галька. Максимальная крупность питания 250 мкм,

минимальная крупность готового продукта минус 7 мкм. Изготовитель предлагает линейку типоразмеров мельниц с приводом мощностью 75, 200, 500, 1120, 1500 и 8000 кВт.

Применение мельниц тонкого и сверхтонкого измельчения позволяет существенным образом повысить эффективность технологии обработки упорного золотосодержащего сырья. Установлена возможность использования мягкого атмосферного окисления вместо дорогостоящего автоклавного окисления. Достоинствами атмосферного окисления является низкий расход реагентов (кислорода, извести), что достигается за счет окисления только поверхности сульфидных минералов, а не всего их объема как в химических способах вскрытия, при этом не требуется применения специальной дорогостоящей коррозионностойкой аппаратуры. Технико-экономическое сравнение технологии ультратонкого измельчения и атмосферного окисления показало, что предложенная технология по капитальным затратам до 4-х раз дешевле автоклавного окисления и до 2-х раз бактериального, а по эксплуатационным расходам соответственно в 8, 9, 5 раз экономически более выгодна. Разработанная технология опробована на целом ряде продуктов. В частности, на золотомышъяковом флотационном концентрате месторождения «Васильковское». Исследования показали, что данный продукт проявляет значительную упорность. Извлечение золота в раствор при его прямом цианировании в течение 24 часов составило 72%. Применение ультратонкого измельчения концентрата до крупности 90% минус 5 мкм и последующее его атмосферное окисление позволило извлечь золото в раствор до 93–94%. При сокращении продолжительности выщелачивания до 5–7 часов [9].

Среди процессов гидрохимического вскрытия упорных золотосодержащих концентратов, нашедших применение в промышленной практике, следует назвать кислотнокислородное выщелачивание (процесс ККВ), автоклавное окисление сульфидных руд и концентратов.

На территории Центрального Таджикистана сосредоточены значительные рудные месторождения, которые представляют промышленную ценность, но значительная часть руд этих месторождений относится к мышьяксодержащим и рассматривается как очень упорными: прямым цианированием удается извлечь только 39%.

Одним из перспективных способов вскрытия золотосодержащих концентратов является гидросульфатизация в растворе

азотной кислоты. Азотнокислотный способ позволяет переводить мышьяк, серу и железо в раствор в форме мышьяковистой и серной кислот, а железо в форме нитрата и сульфата железа.

Установлены следующие оптимальные азотнокислотного вскрытия концентратов: температура 89 °С, продолжительность процесса 120 мин, концентрация азотной кислоты 300–315 г/куб. м. При последующем цианидном выщелачивании в раствор извлекалось 93–95% золота. В результате кислотной обработки в раствор извлекается 80–87% меди, что создает предпосылки для селективного выделения меди из руды [10].

Процессы ККВ испытаны за рубежом на большом количестве золотосодержащих руд Северной Америки, Австралии и Китая. Результаты испытаний и выполненные на их основе технико-экономические расчеты указывают на определенную перспективность процесса.

Автоклавное окисление сульфидных руд и концентратов протекают в условиях повышенных давлений и температур (120–200 °С в атмосфере воздуха или кислорода при давлении, превосходящем упругость пара раствора). В условиях автоклавного процесса окисляются пирит, арсенопирит и пирротин основные носители депрессии золота.

В России промышленных автоклавных установок по переработке упорных руд и концентратов пока еще нет. Однако компания «Петропаловск» с 2008 г. практически решает этот вопрос. Компания запустила в г. Благовещенске единственную в России пилотную автоклавную установку на опытно-промышленном заводе. Изыскательская работа позволила уточнить все необходимые параметры будущего производства. С включением автоклавного окисления в технологическую схему планируется достичь в среднем 95% извлечения золота из руд месторождений «Маломыр» и «Пионер». Первичные сульфидные руды этих месторождений относятся к высокоупорным: содержат тонкодисперсное золото, ассоциированное с пиритом, пирротином, арсенопиритом и др. Золото в этих рудах плохо вскрывается даже сверхтонким измельчением, поэтому прямым цианистым процессом извлекается не более 50% золота. После выхода на полную мощность комбинат сможет перерабатывать около 600 т концентрата ежегодно. Весь комплекс рассчитан на переработку до 12 млн т/год.

Метод бактериально-химического окисления сульфидов основан на использовании микроорганизмов автотрофных бактерий типа Thiobacillus ferroxidans T.f.) в присутствии которых

золотосодержащие сульфиды железа окисляются до конечных химических соединений без применения высоких температур и давлений. Освобождающее при этом золото становится доступным для выщелачивания цианистыми растворами. Бактериальное выщелачивание (БВ) является одним из эффективных способов переработки упорного золотосодержащего сырья типов Б и В. К настоящему времени технология БВ за рубежом внедрена на более 10 золотодобывающих предприятиях. В России технология БВ в промышленном масштабе внедрена с 2001 г. на Олимпиадинском ГОКе ЗАО «Полюс». Золотоизвлекательная фабрика перерабатывает первичные упорные золотомышьяковые руды с применением бактериального окисления флотоконцентрата и имеет производительность по переработке руды в год 3 млн.т с выпуском 10 т золота.

Однако накопленный опыт к настоящему времени выявил, что пирротин и арсенопирит окисляются с образованием элементарной серы, которая активно взаимодействует с цианидом с образованием роданид ионов. В результате этого не только возрастает расход цианида, но и снижается извлечение золота при сорбционном цианировании.

С 2006 г. на Олимпиадинском ГОКе проводятся исследования по применению автоклавной технологии для доокисления продуктов биовыщелачивания. В результате проведенных испытаний для технико-экономического сопоставления было предложено 9 вариантов технологии переработки Олимпиадинского сырья, из которых был выбран чисто автоклавный процесс (при полном отказе от технологии биовыщелачивания) при выходе флотоконцентрата 6%. Максимальное влияние на снижение эксплуатационных затрат оказывает уменьшение расхода цианида в 8–10 раз в схемах с автоклавным окислением [11].

Одним из основных преимуществ биотехнологии является ее экологичность. Применяемые автотрофные микроорганизмы T.F. безопасны для окружающей среды и проявляют достаточно высокую устойчивость в технологическом процессе. В отличие от окислительного обжига процесс БВ не связан с выделением значительного количества токсичных газов и поэтому не требует развитых пыле- и газоочистных установок. В итоге биогидрометаллургическая технология со временем может занять ведущее место среди других методов переработки упорного золоторудного сырья.

К широко распространенным в промышленной практике методам термохимического вскрытия золота в упорных рудах

и концентратах относится окислительный обжиг, который осуществляется в атмосфере воздуха или кислорода. Окислительный обжиг пользуется широким распространением в золотодобывающей промышленности. За рубежом в Канаде, ЮАР, США, Австралии по технологии обжиг-цианирование работает около двух десятков предприятий.

Анализ существующих технологий, использующих обжиг при переработке золотомышьяковых руд показывает, что они страдают существенными недостатками, в том числе необходимостью процесса доокисления остаточной серы на выходе огарка из печи; недостаточное вскрытие арсенопирита и выделение из него мелкого и тонкого золота и неполное удаление мышьяка. Получаемые отвальные материалы, содержат арсенаты кальция и железа, которые при хранении растворяются и загрязняют окружающую среду. Одним из путей создания рациональной технологии данного сырья является обжиг арсенопирита в атмосфере перегретого пара. Обжиг в атмосфере перегретого пара позволяет перевести мышьяк в малотоксичную сульфидную форму и утилизировать его с минимальным отрицательным воздействием на окружающую среду. При обжиге сульфиды железа окисляются до магнетита, мышьяк возгоняется в виде сульфида As_2S_3 и конденсируется в твердую фазу с парами воды. Из полученного огарка извлекали железо в магнетитовый концентрат. Степень извлечения золота из огарка 94%, что почти на 50% больше, чем при прямом цианировании [12].

Особый случай представляет цианирование руд и концентратов, в состав которых входят природные сорбенты углистые вещества. Эти руды относятся к технологическому типу «Г», они характеризуются различной степенью коэффициента сорбционной активности (СА). Согласно статистике на долю таких руд приходится 2% мировых запасов золота. Наиболее типичным представителем золотых руд типа «Г» является Наталкинское золоторудное месторождение в Магаданской области, руды которого перерабатываются на ЗИФ им. Матросова. Трудность цианирования углистых руд заключается в том, что углистые вещества сорбируют растворенное золото, которое очень трудно снять с природного угля, в большинстве случаев эта операция экономически нецелесообразна. Вследствие этого потери золота с отвальными хвостами достигают значительных величин. Самым эффективным способом извлечения золота из углистых пульп можно рассматривать метод сорбционного цианирования с применением ионообменных смол.

Введение в пульпу более активных искусственных сорбентов создает конкуренцию сорбционной активности природных углистых веществ, в результате чего степень сорбции золота рудными углистыми веществами резко снижается.

Заслуживают внимания исследования, которые показали принципиальную возможность использования технологии кучного бактериального окисления (КБО) для извлечения золота из сульфидных углистых руд месторождения «Маломыр». Технология КБО позволила повысить извлечение золото с 13 до 65%. Отмечено, что в процессе бактериального окисления изменяются свойства углистого вещества, вероятно, происходит пассивация сорбционно-активной поверхности углерода [13].

Тиокарбамидное выщелачивание (ТКВ) золота из упорных руд

Исследованиями Иргиредмета установлено, что в случае использования тиокарбамида, присутствие в исходных рудных материалах сульфидов сурьмы и мышьяка, некоторых других минеральных примесей не оказывает заметного депрессирующего влияния на золото при выщелачивании.

Процесс ТКВ должен проводиться при нормальной температуре в кислой среде при pH 2–4 в присутствии окислителя $Fe_2(SO4)_2$ при концентрации 3 г/л. Концентрацию тиокарбамида в растворах экономически целесообразно поддерживать 1 г/л, которая обеспечивает достаточно высокую скорость растворения золота при минимальном расходе растворителя. В Иргиредмете более чем на 10 рудных объектах с упорным золотом проведены испытания процесса ТКВ в сравнении с результатами цианирования эти же продуктов. При этом были выявлены следующие преимущества тиокарбамидной технологии по сравнению с цианированием:

1. Из технологической схемы исключаются цианистые соли, жидкий хлор и его производные, относящиеся к категории сильно ядовитых веществ.

2. Относительно простая система регенерации растворителя и очистки растворов от примесей (известкование) обеспечивает возможность бессточной гидрометаллургической технологии.

3. Более высокое, как правило, извлечение серебра, что особенно четко проявляется при наличии в рудах сульфидных форм серебра.

4. Возможность дополнительного вскрытия при выщелачивании золота и серебра, ассоциированных с окисленными минералами железа, мышьяка и марганца.

5. Более эффективное сочетание операций тиокарбамидного выщелачивания с предварительной кислотной обработкой, когда применение таковой вызывается технологической необходимостью, например, выщелачивание меди, химическое вскрытие некоторых золото- и серебросодержащих минералов и т.д. [14].

Процесс тиакарбамидного выщелачивания может рассматриваться в качестве эффективного способа гидрометаллургического производства золота и серебра из отдельных категорий руд сложного вещественного состава, переработка которых не может быть осуществлена цианированием с приемлемыми экономическими показателями [15].

Заключение

Анализ современного состояния минерально-сырьевой базы золотосодержащих руд показал снижение содержаний золота с 4,3 до 2,4 г/т, при этом третья часть всех запасов представлена упорными (тонкодисперсными) рудами, которые с большим трудом вовлекаются в промышленное производство. Также накоплены большие объемы забалансовых руд, вскрышных пород, лежалых хвостов ЗИФ.

В этих условиях современный научно-технический потенциал создал основу для активного вовлечения в промышленную практику методы предварительного обогащения, используя фотометрические и радиометрические сепараторы.

Для переработки накопленных в отвалах большие объемы убогих, забалансовых руд, вскрышных пород, лежалых хвостов ЗИФ, необходимо шире внедрять в производство технологию кучного выщелачивания, которая не требует больших капитальных затрат, конструктивно проста и эффективна для бедного сырья.

Для эффективного вовлечения в промышленное производство руды упорного золота необходимо совершенствовать и активно применять методы вскрытия упорного сырья не только с использованием цианида но и других растворителей. Это методы тонкого и сверхтонкого измельчения, методы гидрохимического вскрытия, бактериальное окисление золотосодержащих сульфидов, окислительный обжиг.

Необходимо помнить, что каждый из этих методов имеет свои преимущества и технологам надо уметь этим пользоваться. Например, тонкое измельчение это первооснова дальнейших технологических разработок. Исключительными каче-

ствами обладают бактериальное окисление, а также в ряде случаев достаточно универсальны технологии тиокарбамидного и оксихлоридного выщелачивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михайлов Б. К., Седельникова Г. В., Беневольский Б. И., Романчук А. И.* Инновационные технологии переработки упорных и бедных руд золота как основа рационального недропользования // Руды и металлы. – 2014. – № 1. – С. 5–8.

2. *Седельникова Г. В., Романчук А. И., Ким Д. Х., Савари Е. Е.* Новые технологии извлечения благородных и цветных металлов из рудного и технологического сырья. Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения 2011) / Материалы международного совещания Верхняя Пышма, 19–24 сентября, 2011. – Екатеринбург: Форт-Диалог – Исеть. – 2011. – С. 12–16.

3. *Потылицын В. А., Тарасов А. В.* Повышение извлечения инка на горно-металлургических предприятиях Урала // Цветная Металлургия. – 2013. – № 1. – С. 7–13.

4. *Яшкин И. А., Овешников Ю. М., Авдеев П. Б.* Повышение эффективности технологии кучного выщелачивания золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 162–168.

5. *Мязин В. П., Шестернев Д. М.* Техническое решение для реализации технологии круглогодичного кучного выщелачивания в условиях криолитозоны Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 5. – С. 101–108.

6. *Раимжанов Б. Р., Намазбаев Н. Н., Назамбаев Ш. Н.* Технология кучного выщелачивания золота с применением оксихлоридных растворов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 3. – С. 144–147.

7. *Лодейщиков В. В.* Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. Т. 1, 2. – Иркутск: Иргиредмет, 1999.

8. *Баранов В. Ф.* // Обогащение руд. – 2010. – № 5. – С. 41–45.

9. *Сенченко А. Е., Аксенов А. В., Васильев А. А.* Атмосферное окисление упорных золотосодержащих концентратов и руд / 8 Конгресс обогащения стран СНГ, Москва, 28 февраля-02 марта, 2011. Сборник Материалов, Т. 1. – М.: МИСиС, 2011. – С. 291–296.

10. *Зинченко З. А., Самихов Ш.* Р. Переработка упорных золотосодержащих руд Таджикистана // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 97–98.

11. *Захаров Б. А., Шнеерсон Я. М., Чугаев А. В. и др.* Разработка технологии автоклавной переработки концентратов и промпродуктов Олимпиадненского ГОКа ЗАО «Полюс» // Золото и технологии. – № 3. – С. 24–28.

12. *Палеев П. Л., Гуляшинов А. Н. Андронова И. Г., Гуляшинов П. А.* Извлечение золота из упорных арсенопиритных руд и концентратов // Золото и технологии. – 2013. – № 2. – С. 36–38.

13. *Шкетова Л. Е., Селезнев А. Н.* Применение биотехнологии при извлечении золота из сульфидных углистых руд // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2014. – № 1. – С. 34–42.

14. Барченков В. В. Основные технологические процессы переработки золотосодержащих руд. СПб.: изд-во Центр «Интермедия», 2013.
15. *Радомская В. И., Радомский С. М. Павлова Л. М.* Условия применения технологи тиокарбамидного выщелачивания золота и серебра // Георесурсы. – 2013. – № 5. – С. 22–27. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Комогорцев Борис Владимирович кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Вареничев Анатолий Алексеевич кандидат технических наук,
заведующий Отделением наук о Земле
Всероссийский институт научной и технической информации
РАН (ВИНИТИ РАН), e-mail: avar@viniti.ru.

UDC 622.772

B.V. Komogortsev, A.A. Varenichev

THE PROBLEMS OF PROCESSING POOR AND INSISTENT GOLD-BEARING ORES

The technologies of processing poor and insistent gold-bearing ores is introduced. More then 1/3 of all such ore reserves are considered to be insistent. For its processing the following effective technologies are recommended: methods of preliminary separation, heap leaching,fine and ultrafine comminution, hydrochemical stripping, bacterial oxidation, oxidative roasting and methods of non-cyanide leaching in accordance with the physical and chemical properties and mineral composition of such ores.

Key words: gold-bearing ores, poor, insistent ores, methods of physical hydrochemical and thermochemical strippings, bacterial oxidation, heap cyanide and non-cyanide leaching.

AUTHORS

Komogortsev B.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Varenichev A.A.[1], Candidate of Technical Sciences,
Head of Department of Earth Sciences,
[1] All-Russian Institute for Scientific and Technical Information of Russian Academy of Sciences (VINITI), 125190, Moscow, Russia,
e-mail: avar@viniti.ru.

REFERENCES

1. Mikhaylov B. K., Sedel'nikova G.V., Benevol'skiy B.I., Romanchuk A. I. *Rudy i metally*. 2014, no 1, pp. 5–8.
2. Sedel'nikova G.V., Romanchuk A. I., Kim D.Kh., Savari E. E. Materialy mezhdunarodnogo soveshchaniya Verkhnyaya Pyshma, 19–24 sentyabrya, 2011 (Plaksinskie chteniya 2011) (Plaksin's Lectures–2011, Verkhnyaya Pyshma), Ekaterinburg, Fort-Dialog – Iset'. 2011, pp. 12–16.
3. Potylitsyn V. A., Tarasov A. V. *Tsvetnaya Metallurgiya*. 2013, no 1, pp. 7–13.
4. Yashkin I. A., Oveshnikov Yu.M., Avdeev P. B. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 162–168.
5. Myazin V. P., Shesternev D. M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 5, pp. 101–108.
6. Raimzhanov B. R.,Namazbaev N. N., Nazambaev Sh.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 3, pp. 144–147.

7. Lodeyshchikov V.V. *Tekhnologiya izvlecheniya zolota i serebra iz upornykh rud*. T. 1, 2 (Technology of gold and silver recovery from rebellious ores, vol. 1, 2), Irkutsk, Irgiredmet, 1999.

8. Baranov V. F. *Obogashchenie rud*. 2010, no 5, pp. 41–45.

9. Senchenko A. E., Aksenov A. V., Vasil'ev A.A. 8 *Kongress obogashcheniya stran SNG. Sbornik Materialov, Moskva, 28 fevralya – 02 marta, 2011*, T. 1. (The 8th Congress of Dressers from the CIS Countries, Collection of materials, 28 February – 02 March, 2011, vol. 1), Moscow, MISiS, 2011, pp. 291–296.

10. Zinchenko Z. A., Samikhov Sh.R. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 4, pp. 97–98.

11. Zakharov B. A., Shneerson Ya.M., Chugaev A. V. *Zoloto i tekhnologii*, no 3, pp. 24–28.

12. Paleev P. L., Gulyashinov A. N. Andronova I. G., Gulyashinov P. A. *Zoloto i tekhnologii*, 2013, no 2, pp. 36–38.

13. Shketova L. E., Seleznev A. N. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*. 2014, no 1, pp. 34–42.

14. Barchenkov V. V. *Osnovnye tekhnologicheskie protsessy pererabotki zolotosoderzhashchikh rud* (Basic procedures in gold-bearing ore processing), Saint-Petersburg, izd-vo Tsentr «Intermediya», 2013.

15. Radomskaya V. I., Radomskiy S. M. Pavlova L. M. *Georesursy*. 2013, no 5, pp. 22–27.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Тонких А.И., Андреев А.В., Белов А.В., Чернышов О.И., Чернышов Д.О., Шепета Е.Д., Саматова Л.А., Чайкина Е.Л., Кинаев Н.Н.

Представлены результаты исследований по разработке перспективных технологий освоения углеводородного и минерального сырья Дальневосточного Региона Востока. Представленные научные работы посвящены вопросам повышения конкурентоспособности угольной продукции, эффективности переработки минерального сырья, а также перспективных технологий комплексной переработки не топливного использования углеводородного сырья с целью получения продукции для обеспечения экологической безопасности.

Ключевые слова: конкурентоспособность угольной продукции, издержки производства, жизненный цикл угольной продукции, конкурентоспособность предприятия, эффективность предприятия.

TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF HYDROCARBON AND MINERAL RESOURCES

Tonkih A.I., Andreev V.A., Belov A.V., Chernyshov O.I., Chernyshov D.O., Shepeta E.D., Samatova L.A., Chaikina, E.L., Kanaev N.N.

The results of studies on the development of promising technologies for developing hydrocarbon and mineral resources of the far Eastern Region East. Presented scientific work is devoted to improving the competitiveness of coal production, the efficiency of processing of mineral raw materials and advanced technologies of complex processing of nonfuel use of hydrocarbons for the purpose of receiving products to ensure environmental safety.

Key words: competitiveness of coal production, costs of production, the life cycle of coal production, the competitiveness, the efficiency of the company.