© А.Г. Секисов, А.Ю. Лавров, Н.В. Зыков, Л.В. Шумилова, 2008

УДК 622.775

А.Г. Секисов, А.Ю. Лавров, Н.В. Зыков, Л.В. Шумилова

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИРЕАГЕНТНЫХ СХЕМ АКТИВАЦИОННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ДИСПЕРСНОГО ЗОЛОТА

Семинар № 25

Извлечение дисперсных форм благородных металлов и в частности золота, требует предварительного изменения микроструктуры их минералов-носителей (в первую очередь повышения пористости и формирования сети микротрещин) и агрегации атомов элементов-приме-сей.

Для этого могут быть использованы различные методы физического воздействия на кристаллическую решетку минералов, наиболее перспективными как с технологических так и экологических позиций из которых являются электроразрядные (системы Л.И. Юткина и его последователей) и электроимпульсный (разработка ИПКОН и ИРЭ РАН).

Учитывая тенденцию снижения среднего содержания благородных металлов в добываемых рудах, а также вовлечение во вторичную переработку содержащих их техногенных минеральных образований, решение задач сокращения энергозатрат при электрообработке пульп и расхода реагентов становится особенно актуальным.

Одним из путей решения этой задачи является использование стадийной электрообработки пульп.

На первой, предварительной стадии электрохимической или фотоэлектрохимической обработки пульп или растворов реагентов осуществляется электросинтез или фотоэлектросинтез вторичных реагентов. Последующим активирующим воздействием на пульпу и образованным в ней на предыдущей стадии комплекс реагентов переменным электрическим полем или слабыми многоканальными электроразрядами обеспечивают реализацию системы физико-химических про-цессов в жидкой и твердой фазах, приводящих в конечном итоге к переводу дисперсного золота в растворенное состояние.

Активные гидратированные окислители и комплексообразователи первой стадии обработки синтезируются при малом значении напряжения на электродах (в интервале 5-20 В, в зависимости от вида применяемых исходных реагентов).

Состав исходных реагентов, схема обработки и ее параметры определяются вещественным составом руд и формами дисперсного золота (кластерной моноэлементной, природных сплавов, органометаллической, теллуридной и т.д.).

В наиболее простом случае руды зоны окисления с дисперсным золотом,

концентрирующемся в скородите, гетите, гидрогетите преимущественно в кластерной форме, обрабатываются электроактивированным щелочным раствором, насыщенным растворенным кислородом. Таким путем образуют ион-радикальные гидроксидные комплексы и кислородные клатраты, часть которых переходит в метастабильную форму перекиси водорода. После чего в пульпу вводят цианиды и производят электрообработку путем переменного контакта ее с анодами и катодами.

При анодной поляризации продуцируется метастабильная синильная кислота, которая при последующей катодной поляризации в щелочной среде формирует активный CN-радикал, который совместно с метастабильной перекисью водорода формирует ион- радикальный комплекс, растворяющий золото. Таким образом, при образовании комплексного аниона Au (CN)2 - метастабильная перекись водорода выполняет роль временного «соединительного мостика». Появление перекиси водорода при растворении золота цианидами щелочных металлов теоретически обосновал и экспериментально доказал еще в конце 19 века G.Bodlander.

Предложенная активационная щелочно-цианидная схема была успешно испытана, в том числе и в производственных условиях.

Для выщелачивания более сложных форм дисперсного золота из упорных сульфидных и сульфидно-углистых руд и их концентратов эффективными являются полиреагентные хлоридно-кислородно-водород-ные комплексы, образующиеся поэтапно путем облучения прианодной зоны в ультрафиолетовом диапазоне. При этом после подкисления пульпы серной кислотой формируются перекись водорода и метастабильные комплексы активных ион-радикальных соединений кислорода и водорода.

После ввода хлорида натрия в анодной камере продуцируется метастабильная соляная кислота и хлорноватистая кислота, которые при последующей реакции с биэлектролитом, содержащим щелочной гипохлорит натрия, образуют метастабильные хлоридные комплексы с пероксидами водорода.

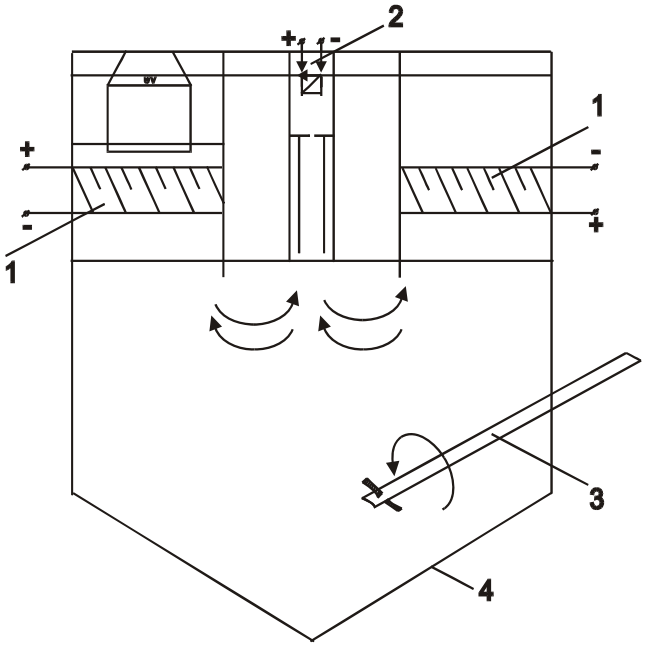
Для этого полученные на первой стадии реагенты вводят в пульпу и полученную смесь подвергают мягкому, тлеющему электроразряду в объемной (сочетающей вертикально и горизонтально ориентированные электроды) электролитической ячейке.

Между гипохлоритом натрия и соляной кислотой при электроразрядной обработке начнется интенсивная реакция с образованием высокоактивной хлорноватистой кислоты, которая в переходной радикальной форме соединения ClO* в сочетании с пероксидными комплексами будет осуществлять окисление минеральной матрицы золотосодержащих минералов и процесс комплексообразования с золотом.

Принципиальная схема реактора для активационного выщелачивания золота в полиреагентных средах представлена на рисунке.

Причем при разрядном электровоздействии на пульпу происходит сближение перемещающихся в сторону катода протонов (однонаправленно движущиеся заряженные частицы притягиваются). Также происходит и сближение движущихся встречно им (к аноду) гидроксил-ионов и несущих дополнительный отрицательный заряд (или как принято считать присоединенный электрон) молекул воды - H_2O-.

Таким образом возникают каналы повышенной проводимости, в которые под действием магнитного поля пере-



Принципиальная схема реактора для активационного выщелачивания золота в полиреагентных средах: *1* – блоки электролиза, *2* – блок электроразряда, *3* – механическая мешалка, *4* – корпус

мещаются образующиеся за счет электродиссоциации воды соответственно дополнительные протоны и гидроксил-ионы. Следовательно и плотность потоков заряженных частиц в каналах прогрессивно возрастает.

При достижении некоторой критической плотности в таких каналах формируются кластерные группы из заряженных частиц-плазмоны, перемещающиеся в сторону электродов по сложной спиральной (прецессионной) траектории. Образующиеся при этом локальные магнитные поля обладают высокой напряженностью и сложной динамической структурой силовых линий. Под действием этих полей и излучений от разрядных каналов, инициируется образование вторичных плазмонов, проникающих в итоге в поровые и микротрещинные воды в кристаллах минералов. В микротрещинных и поровых водах соответственно генерируются высокоэнергетичные упругие микроволны, обуславливающие в свою очередь в самой кристаллической среде рост микротрещин и направленные передислокации вакансий и структур вне-дрения, в том числе под действием внедряющихся в нее протонов и электронов. В минералах, содержащих дисперсное золото, локализованное преимущественно в междоузлиях кристаллической решетки, в этом случае происходит его направленная диффузия к поверхности кристалла и микроагрегация.

Интенсификация реакций окисления золота и образования связанных с ним комплексов обеспечивается локальными каналированными электрическими полями (с нитевидной структурой силовых линий), а также ультрафиолетовым излучением, исходящим от разрядных каналов. При этом за счет реакций в области разрядных каналов между газообразным водородом и кислородом образовавшимися на первой стадии обработки пульп или растворов, в жидкой фазе продуцируются гидроксил-радикалы, хлор-кислородные радикалы, перекись водорода и сопутствующие им ион-радикальные комплексы, являющиеся в совокупности активными окислителями и комплексообразователями.

Экспериментальное исследование предложенной 2-х стадийной схемы электроактивационного выщелачивания золота в полиреагентной хлоридной

среде осуществлялось в лабораторных реакторах и в экспериментальной траншее (кювете) непосредственно на месторождении.

Электроды монтировались на одном уровне горизонтально, таким образом, чтобы было обеспечено их облучение ультрафиолетовой лампой (ДРТ-230) через слой пульпы или раствора толщиной не более 4 мм. Блок электродов состоял из двух анодов и одного катода. Между одним из анодов и катодом пространство не разделялось мембраной. Во втором случае разделение анодного и катодного пространства осуществлялось полупроницаемой ионообменной анионитовой мембраной. Облучение ультрафиолетовой лампой осуществлялось в области анода, отделенного от катода мембраной. После завершения фотоэлектролитической обработки пульпы (или растворов - католита и анолита с приготовлением на их основе соответствующих пульп) мембрана убиралась и напряжение увеличивалось до появления в межэлектродном пространстве тлеющего разряда.

При использовании в качестве исходного реагента хлорида натрия в изолированной мембраной анодной камере продуцировался молекулярный хлор (соответственно метастабильный комплекс хлорноватистой и соляной кислот), пероксидно-гидро-ксониевые комплексы. В безмембранном отделении продуцируются преимущество гипохлорит натрия и гидроксид натрия.

При объединении анолита и биэлектролита осуществляется реакция между гипохлоритом натрия и метастабильной соляной кислотой с образованием относительно стабильной хлорноватистой кислоты, которая в сочетании с пероксидно-гидроксо-ниевым комплексом образует окисляющие минеральную матрицу ион-радикальные соединения.

Наличие интенсифирующего ультрафиолетового излучения от разрядных каналов не только повышает их локальную концентрацию но реакционную способность за счет продуцирования перекисных и хлор-кислородных радикальных соединений а также соляной кислоты (водород, находящийся в катодных микропузырьках под действием ультрафиолета будет реагировать с растворенным хлором, выделившимся на аноде).

Эксперименты проводились с различными упорными геолого-технологическими типами руд с наиболее сложными дисперсными формами нахождения в них благородных металлов.

При этом в каждом случае отмечался существенный прирост их извлечения как в жидкую фазу так и на смолу или уголь. Расчетные удельные эксплуатационные затраты процесса двухстадийного активационного выщелачивания не превышают 2 долл/г Au.

Для промышленной реализации активационного выщелачивания золота в полиреагентных средах тлеющий электроразряд может быть заменен электрокавитационной системой обработки пульпы, обепечивающей интенсификацию химических реакций между реагентами и генерацию микроволн в жидкой фазе за счет схлопывания микропузырьков водорода и кислорода, генерируемых на поверхности кольцевых электродов (в разработке конструкции электрокавитатора и его испытаниях принимали участие сотрудники РГГРУ М.В. Старков и Л.А. Есько).

Предложенный метод активационной обработки руд и концентратов был также апробирован в лабораторных условиях и для подготовки к бактериальному

(био) окислению пиритно-арсенопиритового золотосодержащего концентрата, в сернокислотно-кислородной среде, что позволило существенно (более чем на 10%) увеличить извлечение золота при последующем сорбционном цианировании.

Кроме того, такая технология активация растворов может быть эффективна при комбинировании кучного и кюветного выщелачивания, когда разделенный на фракции по крупности материал обрабатывается реагентами соответственно в инфильтрационном варианте и в составе пульпы, при этом после кюветного выщелачивания и отделения жидкой фазы декантацией и фильтрацией осуществляется его доукрепление и продуцирование двух видов растворов, смешиваемых непосредственно при орошении кучи.

Использование такого варианта реализации активационного выщелачивания планируется при вторичной разработке эфельных отвалов на одном из предприятий Забайкалья.

При цианидном выщелачивании золота в пачуках успешно апробирована активационная подготовка в полиреагентной среде ионообменной смолы (бифункционального анионита А-100) для новой 2-х стадийной схемы сорбции, когда сорбент первой стадии, содержащий активные реагентные комплексы, перемещаясь по ходу движения пульпы участвует и в процессе окисления и растворения металла.

Рассмотренное выше базовое техническое решение и другие варианты его реализации в технологических схемах выщелачивания и окисления были запатентованы в России и США. ГИАБ

Коротко об авторах

Секисов А.Г. – доктор технических наук, директор Читинского филиала ИГД СО РАН,
Лавров А.Ю. – кандидат технических наук, доцент, директор института, ЧитГУ,
Зыков Н.В.- кандидат технических наук, директор Забайкальского горного колледжа, г. Чита,
Шумилова Л.В. – кандидат технических наук, докторант ЧитГУ, зам директора ЗабГК.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.А. Абрамов.*