

УДК 622.775

А.Ю. Лавров, А.Г. Секисов

**ФОТОХИМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ
АКТИВАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
И СОРБЦИИ ДИСПЕРСНЫХ ФОРМ БЛАГОРОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ**

Рассмотрены фотохимические и электрохимические процессы синтеза активных реагентных комплексов, обеспечивающих интенсивное выщелачивание металлов из упорных руд и подготовку сорбентов.

Ключевые слова: фотохимическая и электрохимическая активация, выщелачивание, сорбция, благородные металлы

**A.Y. Lavrov, A.G. Sekisov
THE PHOTOCHEMICAL AND
ELECTROCHEMICAL ACTIVATION OF
THE LEACHING AND SORPTION
PROCESSES OF DISPERSED FORMS
OF NOBLE METALS**

The article is devoted to the question of the photochemical and electrochemical active processes in leaching and sorption

Key words: photochemical and electrochemical active processes, leaching, sorption, noble metals

В последние годы в России и за рубежом интенсивно разрабатываются новые перспективные технологии переработки руд, содержащих дисперсные формы золота и других благородных металлов. В основе этих технологий лежит использование биохимической (бактериальной), электрохимической, электроимпульсной и плазмохимической активации процессов окисления минеральной матрицы, выщелачивания и сорбции.

Наряду с этими процессами эффективными и практически реализуемыми могут быть фотохимические и фотоэлектрохимические процессы активации выщелачивающих, регенера-

ционных растворов, а также рудных пульп.

В сравнении с электрохимическими процессами в этом случае в водной фазе формируются не только метастабильные пероксидные соединения, включая перекись водорода и гидроксил-радикал, но и относительно устойчивые ион-радикальные комплексы, в состав которых входит активный кислород и водород.

Эти же соединения образуются и при использовании плазмохимических процессов, но при этом удельные энергозатраты на извлечение золота и других драгоценных металлов могут быть существенно выше, чем в фотохимических и комбинированных - фотоэлектрохимических процессах.

Кроме того, комбинированные фотоэлектрохимические процессы позволяют синтезировать из сравнительно простых первичных реагентов (в первую очередь NaCl) и воды ряд соединений, из которых могут быть сформированы системы окислителей и комплексообразователей, наиболее приемлемых для соответствующих дисперсных форм нахождения благо-

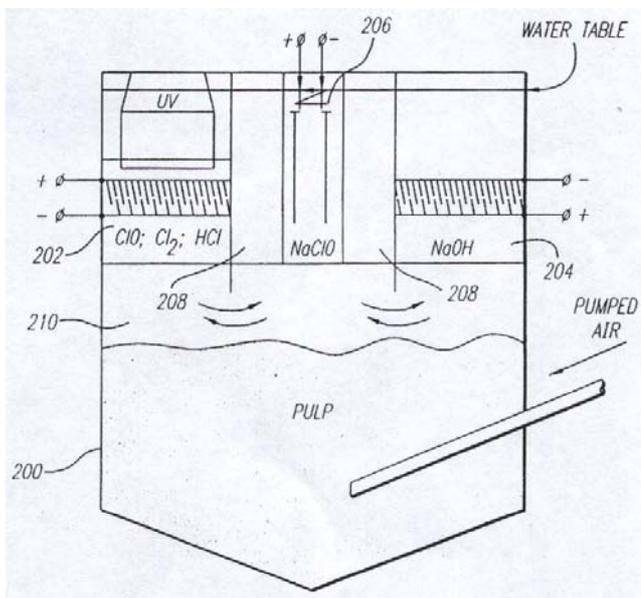


Рис. 1. Принципиальная схема фотоэлектрохимического реактора

при воздействии ультрафиолетовых лучей. Для каждой реакции существует граница частоты света, ниже которой она не реализуется:

$$\nu > \nu_0 = \frac{E_c}{h},$$

где ν , ν_0 – соответственно требуемая и граничная частота; h – постоянная Планка; E_c – энергия, необходимая для разрушения или образования межатомной связи.

родных металлов в рудах (природных сплавов, металлосульфидной, металлосульфо-металлоидной и т.д.).

В техническом плане установки, для реализации фотохимического синтеза реагентов, используемых в процессе выщелачивания этих металлов, сравнительно просты и представляют собой трехкамерные реакторы, оснащенные системами коррозионностойких электродов, соответствующих ионообменных мембран (с керамическим или оксидно-циркониевым защитным пористым покрытием) и ламп ультрафиолетового излучения.

Известно, что многие химические реакции, как простые (разложение бромистого серебра в фотопленке, двухатомного кислорода на атомарный), так и сложные (фотосинтез в клетках растений, цепные реакции образования хлористого водорода, некоторые реакции полимеризации) протекают под воздействием света. Причем большинство фотохимических реакций осуществляется только

При поглощении кванта электромагнитного излучения, соответствующей этой части спектра энергии, двухатомные молекулы кислорода, водорода, хлора, переходят в возбужденное состояние и распадаются на активные атомы-радикалы.

Такие активные атомы кислорода могут взаимодействовать с его нераспавшимися двухатомными молекулами, образуя трехатомарную активную молекулу озона (O_3^*).

Вероятно, что на определенное время могут возникать также и трехатомарные, значительно менее устойчивые активные кластеры хлора и водорода ($Cl_3=Cl_2^*Cl$, $H_3=H_2^*H$).

Многоатомные активные комплексы в водной среде образуют соответствующие гидратные комплексы, состоящие из еще большего числа энергетически и структурно взаимосвязанных атомов, которые проявляют склонность к образованию комплексных метастабильных радикалов, формирующих связи с атомами золота.

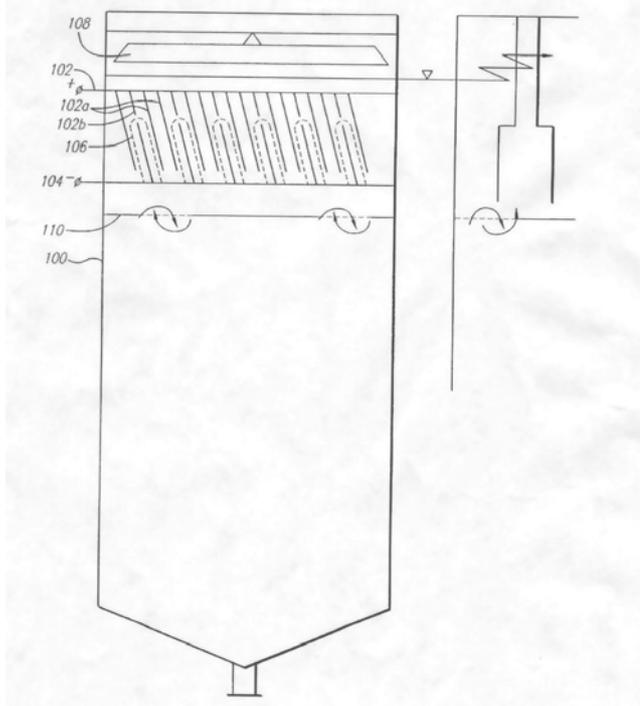


Рис. 2. Принципиальная схема анодной камеры и электролизно-разрядного блока фотоэлектрохимического реактора

дикалы гидроксида (ОН) и другие, более сложные соединения водорода и кислорода, формирующиеся при воздействии на воздух ультрафиолетового излучения, выполняют функцию высокоэнергетичных затравочных центров образования многоатомных кислородоводородных комплексов в водной среде.

Данное предположение подтверждается установленным спектральным анализом, появлением димеров и тримеров перекиси водорода в облученном ультрафиолетовым светом влажном воздухе. Кроме того, его подтверждают

проведенные нами эксперименты по прямому облучению пульпы ультрафиолетовой лампой, позволившие получить увеличение содержания золота в жидкой фазе до 2,5-3 раз (по сравнению с контрольным процессом).

Растворение золота в любом случае происходит при наличии двух процессов – окисления и комплексообразования, но при этом нельзя считать, что какой-либо компонент раствора выполняет функцию окислителя (например, кислород), а другой – не взаимодействующий с атомами водорода и кислорода, т.е. не гидратированный, комплексообразующего лиганда (например, анион цианида).

Доказательством участия в процессе растворения золота промежуточных многоатомных соединений атомов кислорода и водорода является образование при цианировании перекиси водорода, как сопутствующего вещества.

Молекулы озона (трехатомного кислорода), перекиси водорода, ра-

при ультрафиолетовом облучении водного раствора в приэлектродной зоне, где образуются продукты электрохимических реакций (атомарный и активный двухатомарный кислород, метастабильная перекись водорода, атомарный и активный двухатомарный хлор, водород и т.д.) происходят вторичные фотохимические реакции, в результате которых синтезируются такие активные соединения, как полимерные водородокислородные комплексы (пероксиды), хлористый водород и т.д.

181

Полимерные кислородоводородные комплексы в сочетании с другими лигандами (цианидами, хлоридами и т.д.) не формируют общей молекулярной орбитали с атомами золота, а вероятней всего, воздействуют на них на основе принципа резонанса (изменения зарядовых состояний при взаимных превращениях протонов и нейтронов приводят к соответствующим изменениям зарядового состояния околядерного пространства и, следовательно, распределения плотности электронных оболочек).

В соответствии с этими представлениями, элементы-комплексобразователи могут формировать связи с системой элементов, суммарный заряд ядра атомов которых кратен зарядовому числу ядерных кластерных золота (1).

Для экспериментальных исследований процессов выщелачивания дисперсного золота хлоридными растворами в сочетании с перекисными соединениями была разработана лабораторная установка, состоящая из трехкамерного электролизера, над катодной и анодной камерами которого поочередно устанавливалась ультрафиолетовая лампа (рис. 1).

Анодная и катодная камеры отделялись от центральной (биэлектродной, безмембранной) камеры соответственно анионитовой и катионитовой мембранами.

В центральной камере осуществлялся комбинированный режим электрообработки раствора (электролиз-электроразряд, сопровождающийся ультрафиолетовым излучением).

Увеличенное расстояние между нижними частями электродов обеспечивало режим обычного электролиза для продуцирования гипохлорита натрия (NaClO) в межэлектродном пространстве, растворенный хлор и гид-

роксид натрия соответственно в прианодной и прикатодной областях. Сближенное расстояние между верхними частями обеспечивало режим мягкого электроразряда с образованием пероксидов водорода вторичных активных ион-радикальных комплексов (рис. 2).

В анодной камере в зависимости от состава и концентрации исходного реагента могла образовываться перекись водорода (H_2O_2), гидроксил-радикал (OH^*) или растворенный молекулярный хлор (Cl_2), формирующий в режиме рекомбинации метастабильную пару соляная кислота – хлорноватистая кислота ($\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCl} + \text{HClO}$).

На первом этапе продуцируют раствор перекиси водорода путем облучения ультрафиолетовой лампой поверхности анода, на которой выделяется двухатомарный кислород с переводом его в трехатомарную форму – озон (при реакции с водой озон формирует перекись водорода).

В катодной камере продуцировалась щелочь (NaOH) и плохо растворимый газообразный водород (H_2), накапливаемый в ее верхней части.

При сливе через определенное время католита, насыщенного водородом, в верхнюю часть анодной камеры и включения ультрафиолетовой лампы за счет активации водорода ($\text{H}_2=2\text{H}^*$) и хлора ($\text{Cl}_2=2\text{Cl}^*$) с образованием их реакционно-активных радикалов начинает образовываться стабильная соляная кислота (HCl^*).

Остаточное количество щелочи сравнительно быстро нейтрализуется, и в анодной камере восстанавливается кислая среда.

В центральной (безмембранной) камере при электролизе соляного раствора продуцируется гипохлорит натрия ($\text{Cl}_2+2\text{NaOH}=\text{NaClO}+\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}$).

Образовавшийся активный анолит объединяют через трубку с биэлектродом. При объединении формируется необходимая реакционная смесь ($\text{HClO} + \text{HCl} + \text{HCl}^* + \text{NaClO} + \text{H}_2\text{O}_2$), которая на время, достаточное для взаимодействия с золотом, образует предполагаемые реакционно-активные комплексы типа $\text{H}_4\text{Cl}_3\text{O}$, $\text{H}_4\text{Cl}_2\text{O}_3$ и т.д.

При проведении (совместно с f.d. В.С.Королевым и научными сотруд-

никами кафедры гидравлики РГГРУ А.Е. Вихманом и М.В. Старковым) серии предварительных опытов с обработкой руд месторождения Yellow Jacket в лабораторном реакторе был отмечен высокий прирост выхода золота и серебра в раствор и на сорбент (ионообменная смола А-100). Ионит был подготовлен в комбинированной форме с использованием растворов, полученных в фотоэлектрохимическом реакторе. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Лавров А.Ю., Секисов А.Г. – ЧитГУ, Читинский филиал ИГД СО РАН, sekisovag@mail.ru



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
МИНИХАНОВ Ринат Фагилевич	Повышение эффективности буровой установки с верхним приводом	05.05.06	к.т.н.
ПОДДУБНЫЙ Владимир Владимирович	Обоснование инженерных решений по эффективному освоению подземного пространства крупнейших и крупных городов	25.00.22	к.т.н.