

Селективное выщелачивание драгметаллов

Казакова Ю.В., Новиков О.Н.

o22n04nov62@rambler.ru

Статья посвящена следующим вопросам: безцианистое выщелачивание, золото, золотоизвлекательные фабрики, ЗИФ, гидрометаллургия золота

Технология извлечение **золота** цианистым способом, предусматривает использование вредного для человека и окружающей среды реагента, цианистого калия, который является ядом 2-го класса опасности кумулятивного действия. Т.о. даже ограниченные выбросы существенно сказываются на состоянии окружающей среды. Для нейтрализации цианистого калия используется гипохлорит кальция. Это решает проблему основных выбросов цианистого калия, но не решает проблему капельного уноса и выброса в атмосферу. Известно применение гипохлорита натрия и хлора для извлечения **золота**. Эти работы находятся в стадии экспериментов и укрупненных лабораторных испытаний. Проблема глубоко исследована, имеются монографии [1, 2]. Перейти к промышленному применению новой технологии поможет использование универсального комплекса «Альфа». Оборудование этого комплекса может использоваться для решения всех технических задач в технологии хлорного извлечения золота. Одним из перспективных способов выделения **золота** может оказаться **кучное выщелачивание**, с использованием комплекса «Альфа». Электролиз осуществляется на инертных катодах (например, графитовых) и протекает в условиях: плотность тока 50 – 100 А/м², удельная поверхность катода 10 – 20 м²/м³, продолжительность электролиза до 4 – 12 ч, крупность твердой фазы пульпы 0,15 мм. Степень восстановления золота при электролизе составляет 98 – 99,3 %, ориентировочный выход по току 0,5 – 1,4 %, удельный расход электроэнергии от 40 до 170 кВт*ч на 1 кг восстановленного **золота**. Изучено электролитическое выделение **золота** из пульп гипохлорирования золотосодержащих концентратов различного состава. Извлечение **золота** и **серебра** комплексом «Альфа» осуществляется по технологии, предусматривающей исключение вредных выбросов в окружающую среду, а также воздух рабочей зоны.

Целью данной работы является разработка термодинамической, кинетической модели перехода свободного **золота** в растворимую форму в хлоридных растворах для применения ее в проектировании золотоизвлекательных фабрик.

В данной статье рассматриваются теоретические обоснования перехода технологического процесса извлечения золота из золотосодержащих руд на хлорную технологию. Раствор гипохлорита натрия образуется в результате электролиза насыщенного раствора хлорида натрия. Раствор солей натрия растворяет золото, содержащееся в породе по уравнению химической реакции 1. Реакция 1.



Из уравнения реакции видно, что мольное соотношение количеств свободного золота и золота, перешедшего в комплексную форму в раствор равно стехиометрическому. Поскольку концентрации солей исходных реагентов находится в избытке, равновесие реакции будет сдвигаться в сторону образования продуктов. Таким образом, все **золото**, содержащееся в породе должно переходить в раствор. Далее необходимо рассчитать параметры процесса хлорирования золотосодержащего сырья, в том числе концентрацию растворенного **золота**. Математические расчеты выполнены в электронной форме с помощью компьютерной программы *Mathcad*. Результаты расчетов сведены в таблицу 1. На первом этапе расчетов была рассчитана электропроводность κ_i насыщенного раствора хлорида натрия с концентрацией $C_i^{(\text{NaCl})}$ по уравнению (1). $\kappa_i = (z_k * \lambda_k + z_a * \lambda_a) * \alpha * C_i^{(\text{NaCl})}$ (1), где λ_k и λ_a –

подвижности катионов и анионов соответственно, Z_k и Z_a – заряды катионов и анионов соответственно,

$$\Lambda_k = 50,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{См/моль}$$

$$\Lambda_a = 76,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{См/моль}$$

$$z_k = +1$$

$$z_a = -1$$

$$\alpha = 0,52$$

$$C_1(\text{NaCl}) = 10 \text{ г/л,}$$

$$C_2(\text{NaCl}) = 50 \text{ г/л,}$$

$$C_3(\text{NaCl}) = 100 \text{ г/л,}$$

$$C_4(\text{NaCl}) = 150 \text{ г/л,}$$

$$C_5(\text{NaCl}) = 200 \text{ г/л,}$$

$$C_6(\text{NaCl}) = 250 \text{ г/л,}$$

α – степень диссоциации насыщенного раствора хлорида натрия. В качестве исходных данных использована опубликованная в научной литературе информация [3], а также заданы исходные концентрации хлорида натрия. Затем рассчитано количество, образуемого гипохлорита натрия $C_i(\text{NaClO})$ в зависимости от напряжения U_i по уравнению (1,2). $C_i(\text{NaClO}) = U_i \cdot S \cdot \alpha \cdot \eta / (W^{(\text{H}_2\text{O})} \cdot r_0 \cdot M_r(\text{NaClO}))$ (2), где S – площадь электрода, $S = 2 \text{ м}^2$ – эмпирический коэффициент, $\alpha = 1,386 \text{ г/(А} \cdot \text{ч)}$ – выход по току, $\eta = 0,7$ – водооборот, $W^{(\text{H}_2\text{O})} = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$ – удельное сопротивление, $r_0 = 0,044 \text{ кг} \cdot \text{м}^3/(\text{с}^3 \cdot \text{А}^2)$ – молекулярная масса гипохлорита натрия, $M_r(\text{NaClO}) = 74,5 \text{ г/моль}$. Время пребывания раствора хлорида натрия в электролизере t_i , рассчитано по уравнению (3) [1]. $t_i = 1/U_i \cdot u_i^0$ (3), где u_i^0 – абсолютная скорость движения хлорид-ионов для различных концентраций хлорида натрия. Уравнения (2, 3) предназначены для расчета параметров электролизера. Таким образом, при $W^{(\text{H}_2\text{O})} = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$, аппарат должен быть вместимостью 4 м^3 . Скорость образования гипохлорита рассчитана по уравнению (4), $G_i = \alpha \cdot \eta \cdot I_i$ (4). Константа равновесия реакции растворения золота гипохлоритом натрия рассчитывается по формуле (5) $K_e = k \cdot e^{n \cdot F \cdot (E_{\text{NaClO}} + E_{\text{Au}})/R \cdot T}$ (5), где k – коэффициент пропорциональности константы равновесия, $k = 1 \text{ (моль/м}^3)^{-5}$ – число электронов, участвующих в реакции, $n = 6F$ – число Фарадея, $F = 96500 \text{ Кл/моль}$ [3]. E_{NaClO} – электродный потенциал $E_{\text{ClO}^-/\text{Cl}^-} = 1,494 \text{ В}$ [3]. E_{Au} – электродный потенциал $E_{\text{Au}^0/\text{Au}^{+3}} = -1,498 \text{ В}$ [3]. R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,314 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ [3]. T – абсолютная температура, $T = 293 \text{ К}$. Константа равновесия увеличивается по мере роста температуры. Диапазон изменения константы равновесия в рамках интервала изменения температуры относительно не велик, следовательно, нет необходимости в подогреве рабочего раствора. Формула для расчета концентрации растворенного золота (6) выведена путем не сложных алгебраических преобразований выведена из уравнения константы равновесия. $C(\text{Na[AuCl}_4]) = \{K_e [C(\text{NaClO})]^3 [C(\text{H}_2\text{O})]^3 [C(\text{NaCl})]^5 [C(\text{Au}^0)]^2 / [C(\text{NaOH})]^6\}^{0,5}$ (6) $C(\text{Na[AuCl}_4]) = 1 \text{ моль/м}^3$. Эта концентрация равна заложенной в расчет концентрации металлического золота в руде. Расчет подтверждает возможность полного извлечения золота. Энергозатраты W_i рассчитаны по формуле $W_i = I_i \cdot U_i$ (7) Таблица 1.

i	$C_i(\text{NaCl})_{\text{Г/моль}}$	$\kappa_i, \text{ с}^3 \cdot \text{А}^2/(\text{кг} \cdot \text{м}^3)$	$C_i(\text{NaClO})_{\text{Г/моль}}$	$U_i, \text{ В}$	$I_i, \text{ А}$	$G_i, \text{ кг/с}$	$W_i, \text{ Ватт}$	$t_i, \text{ с}$
1	10	1,124	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0,001	0,281	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^5$
2	50	5,62	0,183	0,01	14,049	$3,8 \cdot 10^{-6}$	0,14	$8,1 \cdot 10^4$
3	100	11,239	3,659	0,1	280,978	$7,6 \cdot 10^{-5}$	28,1	$8,1 \cdot 10^3$
4	150	16,859	54,89	1				809,3

					$4,2 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^3$	
5	200	22,478	731,8	10	$5,6 \cdot 10^4$	0,015	$5,6 \cdot 10^5$	80,9
6	250	28,098	$1,8 \cdot 10^5$	20	$1,4 \cdot 10^5$	0,038	$2,8 \cdot 10^6$	40,5

Расчет энергетических затрат в соответствии с таблицей 1 показал, что время пребывания в электролизаторе тем больше, чем меньше энергозатраты. Оптимальные затраты энергии в 3-5 кВт обеспечивают заведомо достаточное количество гипохлорита для извлечения золота из руды. Учитывая удельную скорость растворения золота, см. выше, время растворения (которое в соответствии с кинетическими ограничениями и экспериментальными данными составляет не более 2 часов), можно полагать, что модель адекватно отражает процесс выщелачивания и может применяться на практике. Модель показала, что равновесное значение концентрации растворенного золота находится в диапазоне максимальных значений во всем интервале шкалы кислотности. Учитывая это обстоятельство процесс можно вести в щелочной области. Ранее в литературе предполагалось, что процесс идет в кислой среде [1]. Модель показала, что реакция протекает и в других условиях. Щелочная среда является предпочтительней, поскольку балластные металлы остаются в породе в нерастворимой гидроксидной форме. Экспериментальные данные, полученные при испытании модуля Альфа-7ВС (электролизера) первой модификации показали, что в щелочной области может быть использована хлорная технология, извлечение золота, находящегося в песке в виде поверхностной пленки составило $95,1 \pm 4,1$ %. Разработанная модель может быть основой для дальнейших работ по моделированию скважинных методов добычи других металлов методом кучного выщелачивания, а также для утилизации различных отходов, содержащих металлы в связанном виде. Переход на хлорную технологию с применением стандартного оборудования комплекса Альфа способствует значительному сокращению материальных, трудовых, энергетических затрат и времени на проектирование и поставку золотоизвлекательных заводов. Естественно при этом предусмотрен сбор стоков и очистка сточных вод. Кроме того решена задача предотвращения попадания активного хлора в окружающую среду наиболее эффективным способом.

Выводы:

1. Разработана термодинамическая модель перехода свободного золота в растворимую форму в хлоридных растворах в щелочной среде.
2. Проведены расчеты влияния различных факторов на процесс растворения золота обработкой электрохимически активированного раствора хлорида натрия.
3. Содержание гипохлорита натрия в растворе и содержание комплекса натрия хлоридного золота, растворенного гипохлоритом, равны следовательно золото из твердых сред согласно термодинамическим расчетам извлекается полностью.
4. Исходя из опубликованных в литературе данных, термодинамические расчеты не противоречат экспериментальным данным по растворению золота.

Литература:

1. Хлоридная металлургия золота. Зырянов М. Н., Леонов С. Б. – М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1997. – 288 с.
2. Электрохимическая очистка сточных вод. Краснобородько И. Г., Светашкова Е. С. – Ленинград, 1978. – 90с.
3. Краткий справочник физико-химических величин. Изд. 8-е, перераб./Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983. – 232с

Материалы, опубликованные на сайте защищены согласно закону об авторских правах Закон

РФ от 9 июля 1993 г. N 5351-1 "Об авторском праве и смежных правах" (с изменениями от 19 июля 1995 г., 20 июля 2004 г.) и не могут быть использованы без разрешения автора.