© Ю.И. Рубцов, Ю.Н. Резник, 2007

УДК 622.775

Ю.И. Рубцов, Ю.Н. Резник

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ КИНЕТИКИ СКОРОСТНОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ОКИСЛЕННЫХ КВАРЦИТОВЫХ РУД

Семинар № 19

Необходимость обобщений в теоретическом плане по кучному выщелачиванию золота актуальна. Механизм извлечения золота при его кучном выщелачивании зависит от многих факторов. Контролирующей стадией, как правило, является диффузия цианида натрия и растворенного в воде кислорода к поверхности золота. Этот процесс осложняется диффузией реагентов в микротрещинах кусков руды, через слои пленок на поверхности золота, сорбцией цианида золота на руде, а также физической и химической кольматацией.

Уравнение кинетики выщелачиванию золота, должно учитывать механизм внутридиффузионного торможения независимо от типа руд.

Цель данной работы – поиск эмпирического уравнения кинетики, которое можно в последующем использовать для описания динамики куч-ного выщелачивания золота.

В данной статье приводятся результаты обработки исследований по кучному окисленных, сульфидных и полукисленных кварцитовых руд Читинской области (месторождения Погромное, Ключи, Балей, Дельмачик).

Под одним исследованием понималось извлечение благородных металлов из дробленой и окомкованной руды до концентрации золота в продукционных растворах менее 0,1 мг/л. Кривая извлечения золота в зависимости от продолжительности ($\tau_к$) процесса при этом выполаживалась и практическая необходимость в дальнейшем выщелачивании золота отпадала. Степень извлечения золота в продукционный раствор за период $\tau_к$ обозначалась как $\varepsilon_{Au\ пр}$. Содержание золота в пробах колебалось от 1 до 3,36 г/т.

Исходными посылками для составления уравнения приняты два фактора, противоположные по изменению измеряемых величин. Это фактор вещества, в данном случае – золото в рудном материале, доля которого с течением времени уменьшалась и оставалась пропорциональной 1-ε_{Au}, где ε_{Au} – доля металла, перешедшего в продукционный раствор, и фактор времени, который увеличивался с продолжительностью выщелачивания. Зависимость между степенью извлечения золота ε_{Au} и продолжительностью выщелачивания τ получена методом подбора.

Найдено достаточно простое уравнение кинетики выщелачивания золота (1), согласно которому с приемлемой достоверностью уменьшение доли золота в рудном материале компенсировалось увеличением продолжительности выщелачивания.

$$\varepsilon'_{Au} = 1 - (k'/(\lg(\tau^{\alpha} + g)))^{\beta}, \qquad (1)$$

Таблица 1

Обработка экспериментальных данных по уравнениям 1 и 2

t, сутки	$lg(t^{0,16}+0,55)$	$t^{1/2}$	ε_{Au}, экспер.	$k' = (lg(t^{0,16}+g)/(1-\varepsilon)^{0,15}$	$\varepsilon_{Au}' = 1-(k'/(lg(^{0,16})+g))$ 6,667	$k''=\varepsilon/t^{1/2}$	$\varepsilon_{Au}''=k\cdot t^{1/2}$	ε_{Au}''' по уравнениям 1 и 2
1	0,204	1,000	0,217	0,197	-0,413	0,217	0,295	0,295
2	0,235	1,414	0,421	0,216	0,445	0,298	0,418	0,418
3	0,253	-	0,643	0,217	0,666	0,371		0,666
4	0,267	-	0,759	0,216	0,763			0,763
5	0,277	-	0,819	0,215	0,817			0,817
6	0,286	-	0,867	0,211	0,851			0,851
СРЗНАЧ				0,215		0,295		
СТАНДОТКЛОН				0,002		0,077		

где ε'_{Au} – вычисленная степень извлечения золота в продукционный раствор; $k' = \lg(\tau^{\alpha} + g)\cdot(1-\varepsilon'_{AU})^{\beta}$ – константа; τ_k - приемлемая продолжительность выщелачивания золота, сутки (принималась равной по данным исследований); α и β эмпирические постоянные (определены методом подбора); g – параметр внутридиффузионного торможения.

Постоянные k' и g, характеризовали процесс выщелачивания золота из руды данного типа при каких-то

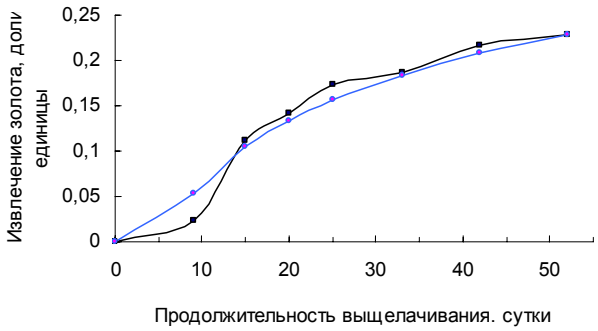


Рис. 1. Экспериментальные (■) и расчетные (○) данные по выщелачиванию золота из сульфидных хвостов цианирования (Балей). Содержание золота 1,03 г/т; навеска руды 20 кг; класс крупности -5 мм; расход цианида 2,19 кг/т; концентрация цианида натрия ворошающих растворх – 1 г/л; накислороживание растворов не проводилось

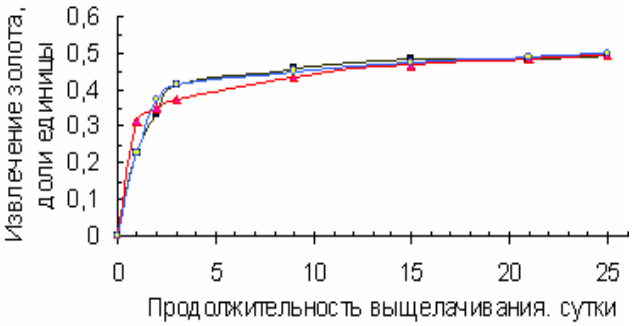


Рис. 2. Экспериментальные (▼) и расчетные (○) данные по выщелачиванию малосульфидной руды месторождения Ключи. Содержание золота в руде 1,73 г/т, навеска руды- 3 кг; класс крупности руды -10 мм; расход цианида 3 кг/т; концентрация кислорода в циркулирующих растворах -33-38 мг/л

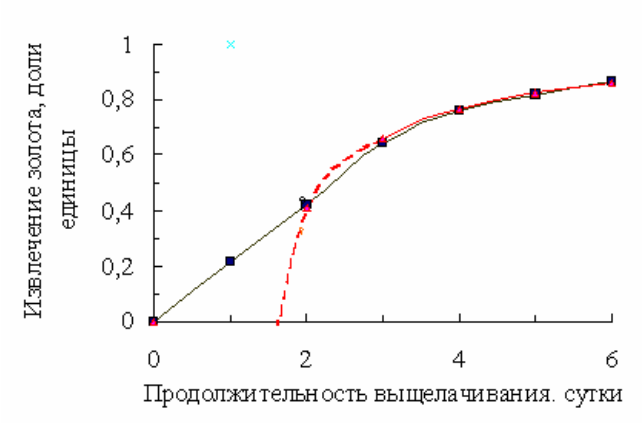


Рис. 3. Экспериментальные (■) и расчетные (◦) данные по скоростному выщелачиванию золота из окисленной руды месторождения Погромное. Содержание золота 3,12 г/т; навеска руды- 3 кг; глубина залегания руды 3 м; класс крупности руды -10 мм; высота слоя 1,8 м; расход цианида 0,5 кг/т; высота слоя 1,8 м; полный ввод цианида натрия при окомковании руды; выстаивание руды, окомкованной с цианидом натрия, 8 суток; концентрация кислорода в циркулирующих растворах -33-38 мг/л; расход растворов при затоплении поверхности - 0,14 $м^3/м^2$

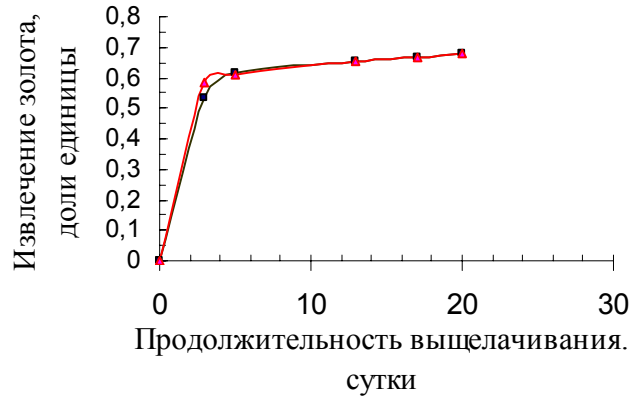


Рис. 4. Экспериментальные (▼) и расчетные (■) данные по скоростному выщелачиванию золота из окисленной кварцитовой руды ("Погромное"). Содержание золота 2 г/т; глубина залегания руды 5 м; навеска руды- 3 кг; класс крупности руды -20 мм; полный ввод цианида натрия при окомковании (0,5 кг/т); навеска ру-ды- 3 кг; высота слоя 1,8 м; выстаивание руды, окомкованной с цианидом натрия 8 суток; концентрация кислорода в циркулирующих растворах -33-38 мг/л; режим орошения "поршневой"; расход растворов при затоплении поверхности - 0,14 $м^3/м^2$

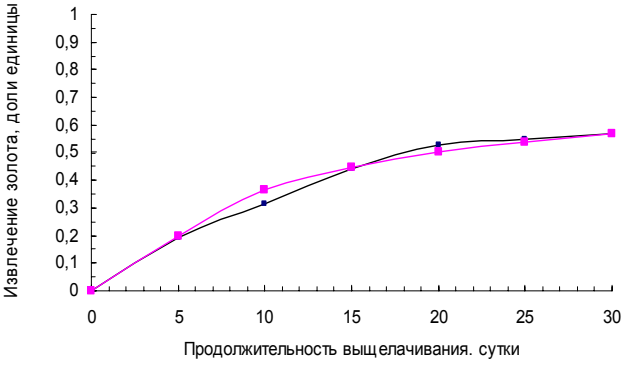


Рис. 5. Экспериментальные (◦) и расчетные (■) данные по выщелачивания золота из полуокисленной малосульфидной руды месторождения Дельмачик. Содержание золота 2,87 г/т, навеска руды 3,5 кг; класс руды-20 мм; расход цианида- 0,5 кг/т; высота слоя 1,8 м; выстаивание руды, окомкованной с цианидом натрия 4 суток; концентрация кислорода в циркулирующих растворах -33-38,3 мг/л

постоянных условиях. При изменении этих условий значения постоянных k' и g из-

менялась. Постоянные α и β в уравнении 1 оставались постоянными для всех исследований для разного типа руд и не зависели от условий выщелачивания золота и раны соответственно 0,16 и 6,667. Параметр g, подбирался по минимальному значению величины статистической величины СТАНДОТКЛОН для СРЗНАЧ k' в одном исследовании. Значение СТАНДОТКЛОН в одном исследовании не превышало 1 % (таблица).

Анализ теоретических кривых показал недостаточную надежность данных, полученных по уравнению 1, для извлечений золота в первые сутки в некоторых случаях (≈ 15 %), что объяснялось контролем внешней диффу-зии реагентов при извлечении свободного золота. Для корректировки данных в начальный период выщелачивания, контролируемый внешней диффузией, предложено простое диффузионное уравнение 2

$$\varepsilon'' = k'' \cdot \tau^{1/2}, \qquad (2)$$

где ε'' и $k''=\varepsilon / \tau^{1/2}$ – степень извлечения золота и константа скорости в уравнении 2.

Пример обработки экспериментальных данных для одного исследования (руда месторожения Погроное) представлен в таблице.

Согласно этому примеру величины k' и g равны соответственно 0,215 и 0,55 при значении СТАНДОТКЛОН = 0,002.

Уравнение 1 удовлетворительно опиисывало кинетику скоростного выщелачивания золота для окислен-ных, полуокисленных и сульфидных руд, что подтверждено проверкой более, чем 40 экспериментальными и опытно-полевыми исследованиями. Ниже приводятся некоторые примеры, подтверждающие удовлетвори-тельное соответствие теоретических и экспериментальных данных по выщелачиванию золота из руд разного типа (рис. 1-5).

Уравнение $\varepsilon'_{Au} = 1 - (k' / (\lg(\tau^{\alpha} + g)))^{\beta}$ может использоваться как основное для описания динамики для скоростного кучного выщелачивания золота из окисленных кварцитовых руд, как менее упорных. Для этого достаточно вскрыть зависимость константы скорости k' и параметра внутридиффузионного торможения g от факторов рудоподготовки и условий выщелачивания золота. ГИАБ

Коротко об авторах

Рубцов Ю.И., Резник Ю.Н – ЧитГУ.

© Ю.И. Рубцов, Ю.Н. Резник, 2007

УДК 622.775

Ю.И. Рубцов, Ю.Н. Резник

О ДИНАМИКЕ СКОРОСТНОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ОКИСЛЕННЫХ КВАРЦИТОВЫХ РУД

Семинар № 19

Целью работы являлось получение уравнения динамики кучного выщелачивания золота из окисленных кварцитовых руд. Для этого необходимо знать влияние факторов кучного выщелачивания золота на константу скорости k' и параметр g в ранее полученном уравнении кинетики:

$$\varepsilon'_{Au} = 1 - (k'/(\lg(\tau^{0,16} + g)))^{6,667} \quad (1)$$

где ε'_{Au} – вычисленная степень извлечения золота в продукционный раствор; $k' = (\lg(\tau + g)/((1 - \varepsilon'_{Au})^{0,15})$ – константа скорости; τ – продолжительность выщелачивания золота, сутки; g – параметр внутридиффузионного торможения.

В качестве факторов, определяющих степень извлечения золота, использовались: удельный расход растворов на орошение руды q_{H_2O} (0,1-0,36 л/м^2 сутки); крупность дробления руды d (2-20 мм); концентрация кислорода в орошающих растворах (8-38 мг/л); расход цианида натрия вводимого при окомковании руды q_{NaCN} (от 0 до 100 %); температура, при которой происходило выщелачивание золота t, ^oC (7-22 ^oC); приемлемая продолжительность выщелачивания τ_k (сутки); удельный расход цианида натрия q_{NaCN} (кг/т), содержание золота в руде $\underline{\varepsilon}_{o\ Au}$, глубину залегания руды, м. В качестве мероприятий, инициирующих кучное выщелачивание золота, рассматривались температура, накислороживание растворов, окомкование дробленой руды с цианидом натрия; концентрационное воздействие цианида натрия в окомкованном материале; криогенное воз-действие на руду и хвосты выщелачи-вания при выстаивании в холодные сезоны года на открытом воздухе.

Для определения значений k' и параметра g в уравнении 1 использовались результаты обработки данных лабораторных и опытно-полевых исследований по уравнению 1 (таблица).

Согласно данным таблица константа k' изменялась от 0,215 до 1,876. Большим извлечениям золота соответствовало меньшее значение k' и g. Значения параметра g изменялись в диапазоне от 0,55 до 75. Максимальное значение g (59 и 75) наблюдалось при довыщелачивании свежеполученных хвостов цианирования и соответствовало незначительной степени извлечения золота (0,027 и 0,054). Значениям g от 2 до 14 отвечали невысокие степени извлечения золота в пределах 0,29-0,61, характерные для случая выщелачивания руды на воздухе. В случае скоростного выщелачивания золота и инициирующего воздействия других факторов (продолжительность менее

30 суток), можно принять, что величина g принимала значения ниже 1,4. По отношению к факторам, определяющим внутридиффузионное торможение, параметр g оказался на порядок более чувствительным, чем k' . По этой причине параметр g охарактеризован как параметр внутридиффузионного торможения.

Корреляция между k' и g оказалась значимой (уравнение 2, рис. 1).

$$k' = 0{,}8087 \lg g + 0{,}2566;$$

$$R^2 = 0{,}9534 \qquad (2)$$

Частная зависимость k'_{H2O} от интенсивности орошения руды раствором цианида натрия (q_{H2O}) на воздухе в интервале 0,12-0.36 м^3/м^2·сутки и крупности дробления руды в “поршневом” режиме орошения удовлетворительно описывалась уравнением 3:

$$k'_{H_2O} = 1{,}0099((0{,}0894d^2 - 2{,}7417d + 20{,}93)q_{H_2O}{}^2 + (-0{,}0396d^2 + 1{,}2192d - 8{,}1639)q_{H_2O} + 0{,}0019d^2 + 0{,}0582d + 1{,}0171) - 0{,}0037;$$

$$(R^2 = 0{,}9995) \qquad (3)$$

Получены частные зависимости константы k'_d и от содержания золота в руде при “поршневом” режиме орошении руды цианидными растворами на воздухе (CO_2 = 8 мг/л; уравнение 5, R^2 = 0,9712; рис. 3 - верхние кривые) и для скоростного выщелачивания золота с использованием накислороживания с CO_2 = 38 мг/л (уравнения 4,5):

$$k'_{d(воздух)} = -0{,}0012 \cdot C_{O_2}{}^2 + 0{,}0485C_{O_2} + 0{,}3135; \; R^2 = 1. \qquad (4)$$

$$k'_{d(кислород)} = 0{,}0014C_{O_2}{}^2 - 0{,}0214C_{O_2} + 0{,}416; \; R^2 = 1. \qquad (5)$$

При дроблении руды до классов крупности 2 мм значение параметра g_d снижалось с 5,2 до 1,75, что соответствовало повышению степени извлечения золота на воздухе до 0,684.

При скоростном выщелачивании золота оптимальной крупностью дробления следует считать крупность 6-12 мм, при этом значения параметра g находились в интервале 0,55-1,25, а степень извлечения золота достигала 0,8.

Получена частная зависимость $k'_{C_{NaCN}}$ и $g_{C_{NaCN}}$ от концентрации цианида натрия в растворе при окомковании руды крупностью –10 мм и от содержания золота в исходной руде (уравнение 6), R^2 = 1; рис. 3:

$$k'_{C_{NaCN}} = (0{,}0052\varepsilon_{0Au} - 0{,}0069)C_{NaCN}{}^2 + (-0{,}1485\varepsilon_{0Au} + 0{,}1688) \cdot C_{NaCN} + 0{,}9966\varepsilon_{0Au} - 0{,}6252 \qquad (6)$$

При выщелачивании руды, добытой с глубины до 3 м и 5 м, циркулирующими накислороженными и обеззолоченными растворами и полном вводе цианида натрия в момент окомкования оптимальная концентрация NaCN в растворе, используемом при окомковании, составляла 15 и 17,5 г/л. При этом параметр g достигал минимальных значений 0,56-0,62.

Получена частная зависимость k' от абсолютной температуры

$$k' = 7{,}8338(1/T)^2 - 53{,}016(1/T) + 89{,}242$$

(7)

В результате обработки данных исследований получено 3 типа уравнений формализованной динамики скоростного кучного выщелачивания золота:

– для выщелачивания золота с использованием воздуха или накислороженных растворов в поршневом режиме орошения;

- для выщелачивания золота с использованием накислороженных растворов и поршневого режима орошения после полного ввода цианида натрия при окомковании и выстаивании дробленой руды;

- для довыщелачивания золота из руды из хвостов цианирования с использованием накислороженных растворов и поршневого режима орошения после криогенного воздействия на руду (хвосты цианирования) в течение 1-2 холодных сезонов.

Установлено, что динамика выщелачивания золота на воздухе или с использованием кислорода определяется параметром кучного выщелачивания золота $r_{дин}$ в соответствии с уравнениями 8 и 8′:

$$\varepsilon_{Au} = 1 - (k'(r_{дин})/\ \lg(\tau^{0,16} + g(k')))^{6,667} \quad (8)$$

и $$\varepsilon_{Au} = 1 - (k'(r_{дин})/\ \lg(\tau^{0,16} + g(r_{дин})))^{6,667} \quad (8')$$

Так, для описания динамики выщелачивания золота на воздухе или с использованием накислороженных растворов предлагается зависимость $r'_{дин}$, которая удовлетворительно коррелируется с частными зависимостями от k' по уравнению 9. Величины, k' *и* g удовлетворительно описываются функциями $k'(r_{дин})$ и $g(k')$ по уравнениям 10-11.

$$r'_{дин} = \tau_k \varepsilon_{0Au}(-0,0012d^2 + 0,0485d + +0,3135)((0,0894d^2 - 2,7417d + +20,93)q_{H_2O}{}^2 + (-0,0396d^2 + +1,2192d - -8,1639)q_{H_2O} + 0,0019d^2 - 0,0582d + +1,0171)/((7,8338(1000/T)^2 - -53,016(1000/T + 89,242)(C_{O_2}{}^{0,42})) \quad (9)$$

$$k'(r_{дин}) = 4,6477 \cdot r'_{дин} + 0,2827,$$
$$R^2 = 0,9906; \quad (10)$$

$$g(k') = 10^{1,4753 \cdot k' - 0,4442},\ R^2 = 0,9955). \quad (11)$$

При полном вводе цианида натрия при окомковании функции $r'_{дин}$ удовлетворительно описывалась уравнением 12, а в случае частичного окомкования руды с цианидом натрия уравнением 12':

$$r''_{дин} = (\tau_{выст} + \tau_k)((q_{NaCN})((0,0052\varepsilon_{Au} - -0,069)C_{NaCN}{}^2 + (-0,1485\varepsilon_{0Au} + +0,1688)C_{NaCN} + 0,9966\varepsilon_{0Au} - -0,6252)(0,0014d^2 - 0,0214d + 0,416)/ /(10^{7,8358 \cdot (1000/(273+t))^2 - 53,016(1000/(273+t))})C_{O_2}{}^{0,42} \quad (12)$$

$$r'''_{дин} = (\tau_{выст} + \tau_k)((q_{NaCN})((0,0052\varepsilon_{Au} - -0,069)C_{NaCN}{}^2 + (-0,1485\varepsilon_{0Au} + 0,1688)\times \times C_{NaCN} + 0,9966\varepsilon_{0Au} - 0,6252)\times \times(0,0014d^2 - 0,0214d + 0,416)q'_{NaCN}/ /(10^{7,8358 \cdot (1000/(273+t))^2 - 53,016(1000/(273+t))})C_{O_2}{}^{0,42} \quad (12')$$

В уравнениях 12 и 12' приемлемая продолжительность выщелачивания золота включала также продолжительность выстаивания руды, равную 6-8 суткам.

В случае скоростного выщелачивания золота значения коэффициентов регрессии для $k'(f\ (r_{дин}))$ и параметра внутридиффузионного торможения на уровне $g(f\ (r_{дин}))$ должны соответствовать уровню 0,98~1. С этой целью потребовалось определять указанные выше параметры по более стабильным условиям выщелачивания золота.

Для описания динамики скоростного выщелачивания золота по уравнению 8′ в случае полного ввода цианида натрия при окомковании руды, добытой с глубины 5 м функция $k'(f\ (r_{дин}))$ определялась по уравнению 13:

$$k' = 0,5292r' + 0,0577;\ R^2 = 0,9458;$$

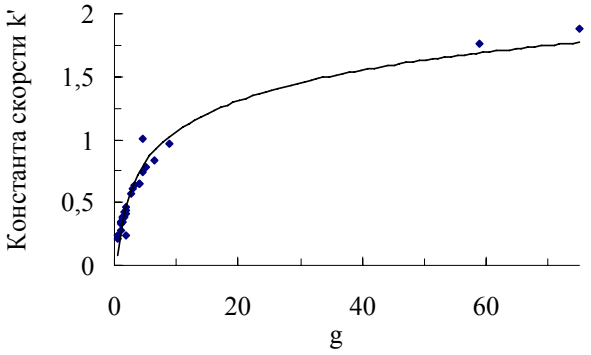


Рис. 1. Зависимость константы скорости k' т параметра фнутридиффузионного торможения g для разных исследований

(13)

- для руды, добытой с глубины 3 м по уравнению 14:

$k' = 2{,}2742r''^{2} - 2{,}76\,r'' + 1{,}1896;$

$R^2 = 0{,}9878;$ (14)

функция $g(f\,(r_{дин}))$, соответственно, по уравнениям 15-16:

$g = -0{,}5455r''^{2} + 3{,}8175r'' - 0{,}4581;$

$R^2 = 0{,}9993$ (15)

и $g = 18{,}337\,r''^{2} - 22{,}851\,r'' + 8{,}2865;$

$R^2 = 0{,}9957.$ (16)

Для описания динамики скоростного выщелачивания золота в случае частичного ввода цианида натрия при окомковании руды, добытой с глубины 5 м функции $k'(f\,(r_{дин}))$ и $g(f\,(r_{дин}))$, находят по уравнениям 17-18:

$k' = 2{,}2742r'''^{2} - 2{,}76\,r''' + 1{,}1896;$

$R^2 = 0{,}9878$ (17)

и g= 18,337r^2 - 22,851r + 8,2865;

$R^2 = 0{,}9993.$ (18)

Криогенное воздействие приводило к снижению значения параметра g в случае довыщелачивания хвостов цианирования на порядок. Как следствие, степень извлечения золота из хвостов цианирования увеличилась с 0,02-0,05 до 0,25. Введение забалансовой руды с меньшим содержанием золота в хвосты цианирования, способствовало большему извлечению труднодоступного золота после криогенного воздействия. За счет этого параметр внутридиффузионного торможения g снизился до 3, а степень извлечения золота повысилась до 0,36.

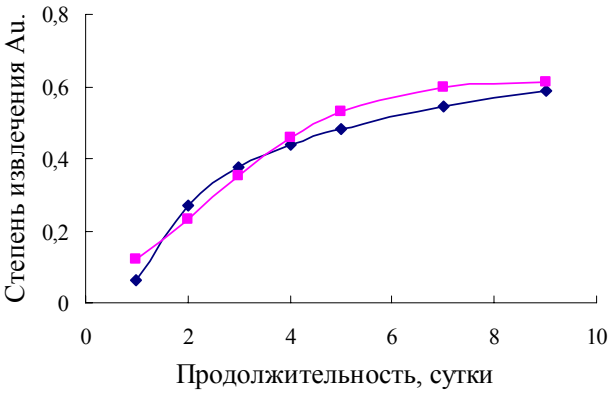
При скоростном выщелачивании золота из смеси хвостов цианирования и забалансовой руды до и после криогенной обработки (таблица; п/п 26-29) накислороженными растворами функции $r_{дин}$, $k'(f\,(r_{дин}))$ и $g(f\,(r_{дин})$ воспроизводятся уравнениями 19-21:

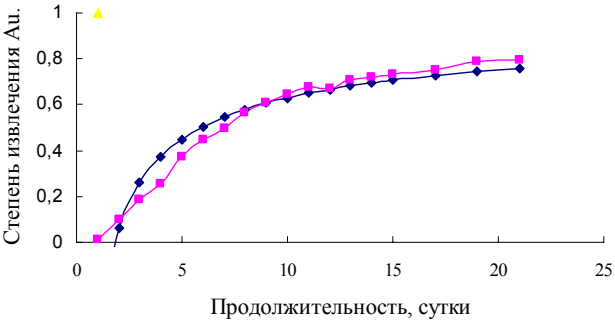
$$r_{дин} = 100t_k\varepsilon_{0Au}q_{NaCN}(-0{,}0012d^2 + +0{,}0485d + 0{,}3135)/(C_{O_2}(3{,}948\cdot 1/T + +0{,}1947)); \quad (19)$$

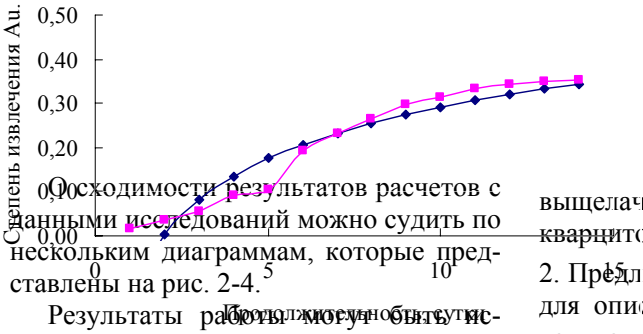
$k' = -0{,}0371\,r_{крио}^{2} + 1{,}218\,r_{крио} - -8{,}9498;\ R^2 = 1;$ (20)

g = -0,1544*(r)^2 + 4,5513*(r) – -26,506; $R^2 = 1.$ (21)

По сравнению с выщелачиванием золота из свежедробленой руды криогенное воздействие также имело место, но в меньшей степени, чем в случае переработки хвостов цианирования (таблица п/п 23 и 24). Тем не менее, предпочтительно выщелачивать золото из руды после ее выстаивания в течение холодного сезона, затраты на перегрузку при этом должны окупаться некоторым повышением извлечения золота.







Расходимости результатов расчетов с данными исследований можно судить по нескольким диаграммам, которые представлены на рис. 2-4.

Результаты работы могут быть использованы в сфере образования, при выполнении научно-исследова-тельских работ, в проектных изысканиях и управлении кучным выщелачиванием золота на практике.

Рис. 2. Данные опытно-полевых испытаний (■) и расчетов по уравнению динамики скоростного кучного выщелачивания золота по уравнению 8′ (♦) с использованием полного ввода цианида натрия при окомковании, накислороживания цианидных растворов из руды крупностью -10 мм

Рис. 3. Данные опытно-полевых испытаний (■) и расчетов по уравнению динамики скоростного кучного выщелачивания золота по уравнению 8′ (♦) с использованием частичного ввода цианида натрия при окомковании, накислороживания цианидных растворов из руды крупностью -10 мм

Рис. 4. Данные опытно-полевых испытаний (■) и расчетов по уравнению динамики скоростного кучного выщелачивания золота из смеси хвостов цианирования с забалансовой рудой по уравнению 8′ (♦) с использованием накислороживания цианидных растворов из руды крупностью -10 мм

Выводы

1. Получен пакет экспериментальных и опытно-полевых исследований для оценки динамики кучного выщелачивания золота из окисленных кварцитовых руд.

2. Предложены эмпирические уравнения для описания кинетики кучного выщелачивания золота из окисленных квар-

цитовых руд, опробованные на бедных золотосодержащих рудах месторождений Читинской области, на основе исходного уравнения: $\varepsilon_{Au} = 1 - k'(r_{дин}) / \lg(\tau_k^{0,16} + g(k'))^{6,667}$ и $\varepsilon_{Au} = 1 - k'(r_{дин}) / \lg(\tau_k^{0,16} + g(r_{дин}))^{6,667}$, где константа скорости k' *и* параметр внутридиффузионного торможения g –, характеризуют степень извлечения золота из руды и динамику выщелачивания.

3. Предложены частные решения для определения параметров внутридиффузионного торможения для константы скорости k'.

4. Получены уравнение динамики кучного выщелачивания золота из руды и промпродуктов (хвостов цианирования и забалансовой руды), для чего определены зависимости $r_{дин}$ от воздействующих факторов и функции $k'(r_{дин})$, $g(k')$, $g(r_{дин})$, позволяющие рассчитывать извлечение золота в условиях изменяющихся факторов - крупности дробления руды, содержания золота в руде, доли цианида натрия внесенного в руду, концентрации кислорода в циркуляционных растворах, глубины залегания руды и т. д.

5. Выявлено положительное воздействие криогенного фактора на степень извлечения золота в случае выщелачивания золота из хвостов цианирования совместно с забалансовой рудой и из дробленой руды.

6. Скоростное выщелачивание золота из кварцитовых руд реализуется при значениях параметра внутридиффузионного торможения $g \leq 1,4$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Левеншпиль О.* Инженерное оформление химических процессов. Издательство химия. М. 1969. С.329-380. УДК 66.011.

2. *Рубцов Ю.И.* Опытно-полевые испытания по выщелачиванию золота накислороженными цианидными растворами.// Изв. Вузов. Цветная металлургия. 2006. № 3. С. 7-10.

3. *Рубцов Ю.И.* К оценке эффективности скоростной технологии кучного выщелачивания золота из руды месторождения Погромное.// Цветные металлы. 2006. 6. С. 23-26. ГИАБ

Коротко об авторах

Рубцов Ю.И., Резник Ю.Н – ЧитГУ.