

УДК 622.234.42

Ю.И. Рубцов

**К ОБОСНОВАНИЮ НОВОГО ЭМПИРИЧЕСКОГО
УРАВНЕНИЯ КИНЕТИКИ СКОРОСТНОГО КУЧНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА И ПАРАМЕТРА
ВНУТРИДИФФУЗИОННОГО ТОРМОЖЕНИЯ**

Проведена оценка экспериментальных данных разными уравнениями гетерогенной кинетики, и выявлены преимущества нового эмпирического уравнения, описывающего скоростное выщелачивание золота из руды более точно. Обосновано введение параметра внутридиффузионного торможения g в новом эмпирическом уравнении кинетики.

Ключевые слова: выщелачивание золота, внутридиффузионное торможение, эмпирическое уравнение.

Семинар № 20

**J.I. Rubtsov
TO A SUBSTANTIATION OF THE
NEW EMPIRICAL EQUATION OF
KINETIC HIGH-SPEED ORE
DISSOLUTION OF GOLD AND
PARAMETER INTERNAL DIFFUSION
OF BRAKING.**

In work the estimation of experimental data by the different equations heterogeneous kinetic is lead, and advantages of the new empirical equation describing high-speed dissolution of gold from ore more precisely are revealed. Introduction of parameter internal diffusion of braking g in new empirical the equation kinetic is proved.

Key words: gold leaching, pore-diffusion resistance, observed equation.

Разработка уравнений кинетики выщелачивания полезных компонентов из кускового рудного материала представляет серьезную научную проблему. Как правило, известные уравнения кинетики гетерогенных процессов завышают степень выщелачивания ценного компонента в заключительный период процесса, что на практике приводит к дополнительным затратам на технологическое обслуживание. В работе [1] теоретические представления

процесса выщелачивания авторы связывали с приведенным эффективным коэффициентом диффузии $K^{эф}$, что позволило рассчитать извлечение ценного компонента в продукционный раствор из руды с известной крупностью дробления. При переходе к реальным условиям выщелачивания ценного компонента вводили поправку на извлечение ценного компонента (до 10 %), учитывающую степень отклонения формы кусков от идеальной или другие неучтенные факторы, поправку увязывали с экспериментальным извлечением и получали расчетную степень выщелачивания ценного компонента близкое к реальному [2-3].

Необходимо указать на вторичные процессы имеющие место при кучном выщелачивании бедных золотосодержащих руд с содержанием золота порядка 1-3 г/т, так расход цианида натрия превышает стехиометрически необходимое для перехода золота в форму цианида золота в раствор на 2-3 порядка и описание реальной кинетики проблематично. Влияние вторичных процессов наиболее заметно при скоростном кучном выщелачивании золота. Ниже приводятся примеры обработки

экспериментальных данных по известным уравнениям гетерогенной кинетики

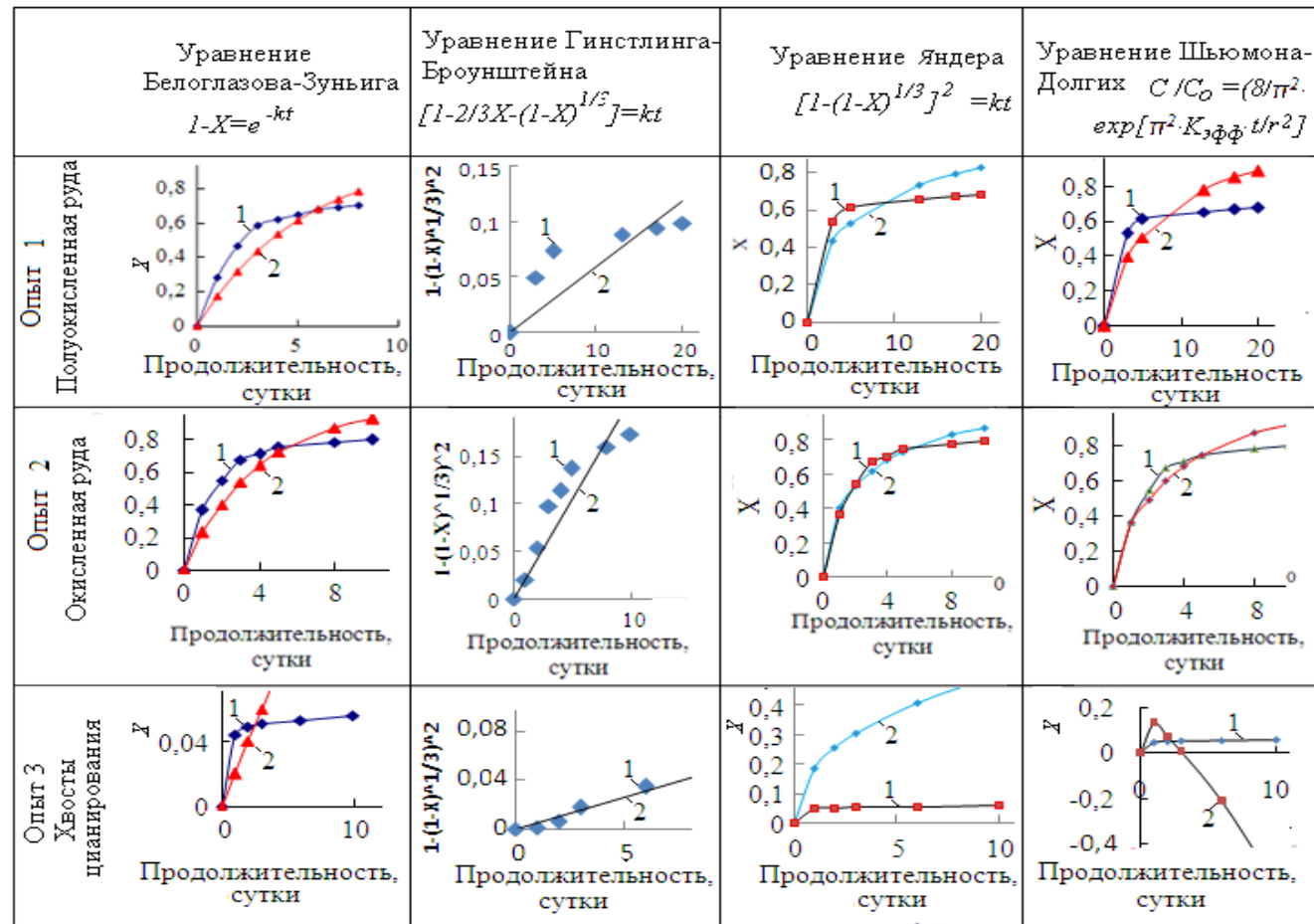


Рис. 1. Сравнение экспериментальной и расчетной степени выщелачивания золота X , вычисленной по известным уравнениям кинетики: 1- экспериментальные данные, 2- расчетные данные

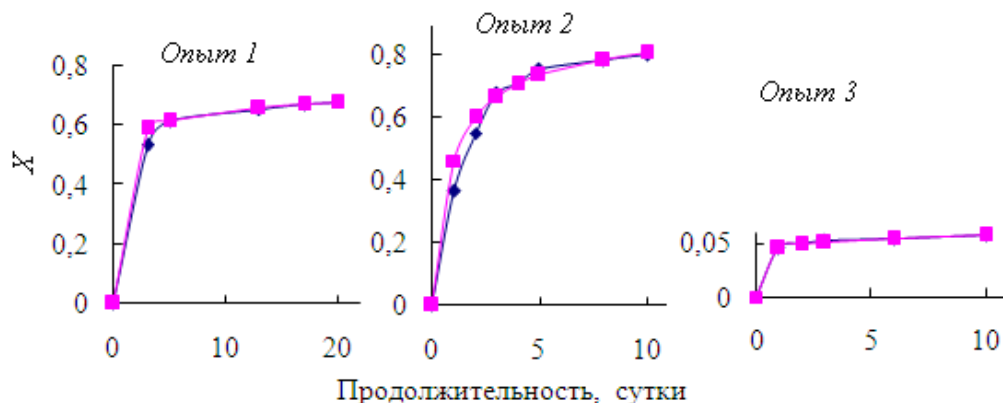


Рис.2. Оценка экспериментальной и расчетной степени выщелачивания золота X по эмпирическому уравнению кинетики (1); Опыт 1 – полуокисленная руда, опыт 2 – окисленная руда, опыт 3 – хвосты цианирования (♦ – экспериментальные и ■ – расчетные данные)

(в том числе по уравнению с приведенным эффективным коэффициентом диффузии $K_{эфф}^{пр}$), согласно которых становится очевидным недостаточная точность при расчете степени выщелачивания золота (рис. 1). В связи с чем разработано новое эмпирическое уравнение кинетики (1), позволяющего удовлетворительно описывать скоростное кучное выщелачивания золота для разных условий:

$$X=1- (k'/(lg(t^{0,16}+g)))^{6,667} \quad (1)$$

где k - условная константа скорости выщелачивания золота, сутки; a и β – эмпирические коэффициенты, равные, соответственно: 0,16 и 6,667; g - параметр внутридиффузионного торможения, сутки; τ - продолжительность выщелачивания, сутки.

Согласно экспериментальным данным параметр внутридиффузионного торможения g изменялся в пределах 0,5 до 75, в частности, для скоростного выщелачивания золота из окисленных кварцитовых руд – от 0,5 до 1,4; для скоростного выщелачивания золота из полуокисленных малосульфидных кварцитовых руд - от 1,5 до 15, в случае скоростного довыщелачивания золота

из свежеполученных хвостов цианирования от 69 до 75 и более.

Для объяснения введения нового параметра внутридиффузионного торможения g в уравнение (1) выполнен анализ размерности. Постоянная g должна иметь размерность [сутки], в связи с чем уравнение (1) при классическом подходе необходимо представлять как:

$$X=1- (k'/(lg(t^{0,16}+ t_{@}^{0,16})))^{6,667} \quad (2)$$

где $t_{@}$ - поправка к текущей продолжительности выщелачивания золота, учитывающая фактор внутридиффузионного торможения [сутки].

Оценим количественно величину $t_{@}$ в случае использования ее в уравнении (2):

$$g_1 = t_{@1}^{0,16} = 0,5; (t_{@1}) = (0,5)^{6,25};$$

$$t_{@1} = 0,013$$

$$g_2 = t_{@2}^{0,16} = 1,5; (t_{@2}) = (1,5)^{6,25};$$

$$t_{@2} = 12,6$$

$$g_3 = t_{@3}^{0,16} = 15; (t_{@3}) = (15)^{6,25};$$

$$t_{@3} = 22\ 416\ 632$$

$$g_4 = t_{@4}^{0,16} = 75; (t_{@4}) = (75)^{6,25};$$

$$t_{@4} = 523\ 760\ 685\ 352$$

Очевидно, что при вычислении X обращаться к параметру g более просто,

чем к поправке в виде абсолютной продолжительности t_0 в сутках.

Степень выщелачивания золота X в уравнении (1) оценивается относительной величиной и безразмерна, следовательно, условная константа выщелачивания k' должна иметь размерность [сутки].

К достоинствам эмпирического уравнения (1) следует отнести стабильные и приемлемые оценки достоверности расчетов условной константы выщелачивания k по статистическим функциям СРЗНАЧ, СТАНДОТКЛОН и КОРРЕЛ. Представилась возможность более точно оценивать степень выщелачивания золота - это видно при сопоставлении результатов обработки экспериментальных данных по известным

уравнениям кинетики (рис. 1) и по разработанному эмпирическому уравнению (рис. 2).

Ранее выполненная обработка экспериментальных исследований [4] и дополнения, приведенные в данной работе, позволяют сделать вывод о применимости разработанного эмпирического уравнения (1) для оценки кинетики классического и скоростного кучного выщелачивания золота при разных условиях ввода цианида натрия и кислорода в руду, для разной крупности дробления, для окисленных, полуокисленных и неокисленных золотосодержащих кварцитовых руд а также из отвалов и хвостов обогатительных ЗИФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аренс В.Ж.* Физико-химическая геотехнология. – М.: МГУ – 2001. – 656 с.
2. *Долгих П.Ф., Остроумова И.Д., Бубнов В.К., Катков Ю.А., Тыныбеков М.И.* О пучении основных технологических параметров выщелачивания полезных компонентов из кускового рудного материала. В сб. «Комплексное использование минерального сырья», *Металлургия*. 1981, № 6. С 19-22.
3. *Долгих П.Ф., Остроумова И.Д., Бубнов В.К., Катков Ю.А., Тыныбеков М.И.* Математическое моделирование процесса выщелачивания полезных компонентов из кускового рудного материала. Комплексное использование минерального сырья, 1981, № 5. С 36-38.
4. *Рубцов Ю.И., Резник Ю.Н.* Основное уравнение кинетики скоростного кучного выщелачивания золота из окисленных кварцитовых руд// Горный информационно-аналитический бюллетень. Т5. –М. 2007. – С. 153-156. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Рубцов Ю.И. – доцент кафедры БЖД Читинского государственного технического университета, root@chitgu.ru.



УДК 622.234.42

Ю.И. Рубцов

О ЧАСТНЫХ КОНСТАНТАХ, ДИНАМИЧЕСКОМ КРИТЕРИИ И ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИ СКОРОСТНОМ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ЗОЛОТА

Критерии и константы, с помощью которых описывается динамика кучного выщелачивания золота, отражают результирующий процесс цианирования рудного золота и вторичных процессов цианида золота с компонентами руды. Анализ размерности для условных частных констант является дополнительным подтверждением нового представления о динамике кучного выщелачивания золота.

Ключевые слова: динамический критерий, математическое моделирование.

Семинар № 20

**J.I. Rubtsov
ABOUT DYNAMIC CRITERION AND PRIVATE CONDITIONAL CONSTANTS IN MODELS OF DYNAMICS ORE DISSOLUTION OF GOLD AND THEIR DIMENSION**

Criteria and constants by means of which dynamics of ore dissolution of gold is described, reflect result of process and secondary processes cyanid of gold with components of ore. The analysis of dimension for conditional private constants is additional acknowledgement of new representation on dynamics of ore dissolution of gold.

Key words: dynamic criterion, mathematical modelling.

Разработка теоретических основ динамики для прогноза технологических параметров кучного выщелачивания золота из кускового рудного материала на базе экспериментальных данных представляет серьезную научную задачу. Решение проблемы достигнуто путем освобождения процесса от излишних ограничений, когда вероятностная природа процесса проявляется более четко и может применяться комплекс детерминированных и случайно-поисковых приемов [1]. Для получения обобщенной модели можно использо-

вать уравнение М.М. Протодьяконова, где частные функции объединяются в произведение. Среднее число частных взаимосвязанных функций известных систем, входящих в модель, обычно не превышает 6-8, что соответствует максимуму стохастической составляющей обнаруженной взаимосвязи, равной 5-7. Вместе с тем, известные зависимости имеют общий недостаток – в заключительный период процесса выщелачивания полезного компонента расчеты приводят к завышенным результатам [2]. По-видимому, имеет место недооценка обратного процесса - снижения степени выщелачивания полезного компонента вследствие вторичных процессов, например, с сорбцией. Если содержание полезного компонента относительно высокое, а продолжительность исчисляется месяцами или десятками месяцев, то влияние вторичных процессов незначительно и разработанные математические модели оправдывают себя на практике. Руды, вовлекающиеся в кучное выщелачивание золота, содержат порядка 0,5- 3 г/т. В связи с этим даже незначительные по интенсивности вторичные процессы влияют на содержание золота в продукционном растворе.

При исследовании кучного выщелачивания золота до 30 % экспериментальных данных не описывались наиболее известными моделями. Для определения степени скоростного выщелачивания золота в зависимости от продолжительности предложено эмпирическое уравнение

$$X = 1 - (k' / (lg(t^{0,16} + g)))^{6,667} \quad (1)$$

где k - условная константа скорости выщелачивания золота, сутки⁻¹; α и β - эмпирические коэффициенты, равные, соответственно: 0,16 и 6,667; g - показатель внутридиффузионного торможения, сутки^{0,16}; τ - продолжительность выщелачивания, сутки.

Доказана функциональная зависимость между расчетными значениями k и g и с динамическим показателем-критерием $r_{дин}$, зависящим от геотехнологических параметров и определяемым через частные константы по линиям тренда типа $k_1 = f(q_{H_2O})$, $k_2 = f(d)$, $k_3 = f(T)$, $k_4 = f(q_{NaCN_{оконч}})$... (рис. 1) [6]. Получены математические операторы для $r_{дин}$, $k_{дин}$ и $g_{дин}$, используемые в уравнении динамики, что позволило прогнозировать степень выщелачивания золота с точностью до 10-15% (табл. 1): $X_{дин} = 1 - (k_{дин}(r_{дин}) / (lg(t^{0,16} + g_{дин}(r_{дин})))^{6,667}$ (2) где $X_{дин}$, $k_{дин}$ и $g_{дин}$ - соответственно, прогнозные степень выщелачивания золота, расчетная условная динамическая константа выщелачивания и расчетный динамический параметр внутридиффузионного торможения; $r_{дин}$ - динамический критерий.

Критика имела место на предмет необходимости введения индексов динамический в $r_{дин}$, $k_{дин}$ и $g_{дин}$ и неопределенности, связанной с размерностью при использовании частных констант в $r_{дин}$. На эти вопросы автор дает ответ с позиций физико-химической геотехнологии [3] и вероятностной природы вторичных процессов, имеющих место при кучном выщелачивании золота [1,2,4-5].

Наличие вторичных процессов подтверждено многими фактами. Так, хи-

мической дезинтеграцией золота на фоне устойчивых цианидов железа можно объяснить повышенное содержание золота в придонном слое в обезвреженных хвостах цианирования Балейской ЗИФ. Сорбцией цианида золота автор объясняет повышенную концентрацию золота в нижнем слое руды, снижение концентрации золота в продукционном растворе с 25 мг/л до 16 мг/л за 1 сутки в опытно-полевых испытаниях по скоростному выщелачиванию золота из окисленной руды месторождения "Погромное", некоторое снижение степени выщелачивания золота из руды крупностью -5 мм и менее. Исследование сорбции цианида золота на свежесдробленной кварцитовой руде месторождения "Погромное" (табл. 2, рис. 2) подтвердило значимость этого вторичного процесса при кучном выщелачивании золота из руды крупностью -10 мм и менее. Учитывая отрицательное воздействие вторичных процессов разработаны мероприятия для эффективного скоростного выщелачивания золота из окисленных кварцитовых руд месторождения "Погромное", согласно которым достигнута приемлемая степень выщелачивания золота на уровне 75-80 % за 15-27 суток.

Управляя вторичными процессами, возможно, не только снизить их негативное влияние, но и достигнуть существенного повышения степени выщелачивания золота. Так, из малосульфидной порфиригранитоидной руды месторождения Ключи степень выщелачивания золота в лабораторных условиях на навесках 100 кг повышена с 32 до 69-74 %.

Одним из основных доказательств необходимости учета вторичных процессов в динамике кучного выщелачивания золота автор считает анализ размерности при расчете частных констант выщелачивания. Проблема решается, если рассматривать, в идеальном случае, два противоположных процесса.

Процесс 1 - цианирование рудного золота:

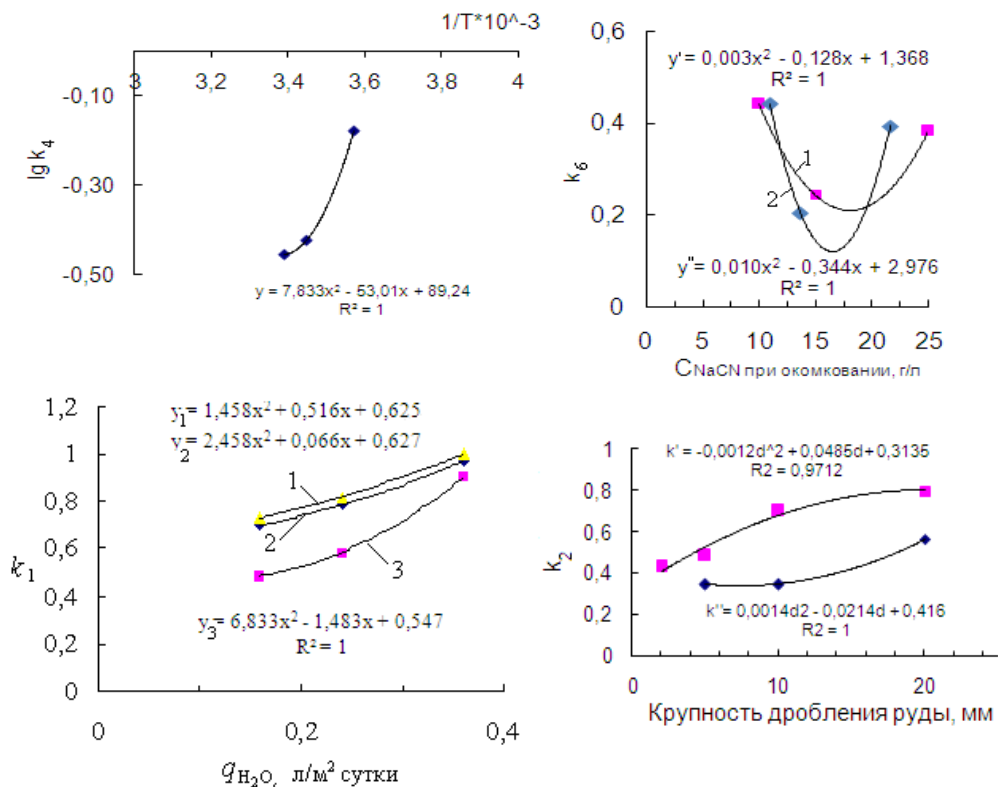
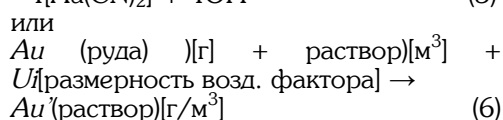
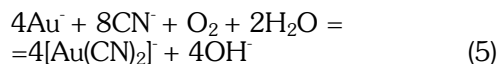


Рис. 1. Примеры зависимостей для определения частных констант (по линиям тренда) от интенсивных параметров



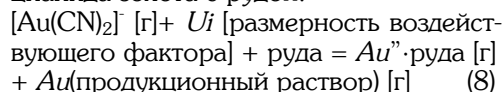
где Au – золото в руде, г; Au' – золото, перешедшее в раствор в 1-м процессе, г.

Переходя к выражению для количественного отображения зависимости степени выщелачивания золота в 1-ом процессе от действующего фактора при постоянных концентрациях C_{CN} , C_{O_2} в растворе и исключая твердую фазу, имеем: $X' = k' \cdot f'(U_i)$, (7)

где X' – золото (относительная величина), которое переходит в раствор в 1-ом процессе, k' – условная константа 1-го процесса, учитывающая размерность действующего фактора, $f'(U_i)$ – математическое выражение, отражающее

влияние действующего фактора, на 1-й процесс (число).

Процесс 2 – вторичный процесс цианида золота с рудой:



где $Au'' \cdot \text{руда}$ – золото, связанное рудой во 2-м процессе, г; Au – золото в продукционном растворе, г.

Для 2-го процесса имеем:

$$X = X' - k'' \cdot f''(U_i), \text{ или } X' - X = k'' \cdot f''(U_i), \quad (9)$$

где X – золото (относительная величина) определяемое в продукционном растворе, г; X' – золото (относительная величина), которое переходит в раствор в 1-ом процессе; $k'' \cdot f''(U_i)$ – золото (относительная величина), которое вступило во 2-й процесс, г; k'' – условная константа 2-го

204 Таблица 1
Сводная таблица математических операторов
для $r_{дин}$, $k_{дин}$ и $g_{дин}$

Область применения	Оператор	Математическое модель оператора
1. Кучное выщелачивание окисленной кварцитовой руды без ввода цианида натрия при окомковании, поршневом режиме орошения растворами на воздухе и при их накисло-роживании ("Погромное")	$r_{дин1}$	$tk \cdot \varepsilon_{оАu} \cdot (-0,0012d^2 + 0,0485d + 0,3135) \cdot ((0,0544d^2 + 0,3757d + 13,931) \cdot q_{H2O}^2 - 0,0396 \cdot d^2 + 1,2192 \cdot d - 8,1639) \cdot q_{H2O} + 0,0014d^2 - 0,0507d + 0,9922) / (100 \cdot (10^{(7,8338 \cdot (1000/T)^2 - 53,016 \cdot (1000/T) + 89,242)})(C_{O2}))$
	$k_{дин1}$	$2,282r_{дин1} + 0,318$
	$g_{дин1}$	$68,16r_{дин1}^2 + 6,209r_{дин1} + 1,099$
2. Скоростное кучное выщелачивание окисленной кварцитовой руды в условиях частичного ввода цианида натрия в стадии окомкования руды и накисло-роживания циркулирующих растворов ("Погромное")	$r_{дин2}$	$((t_k + t_{выст}) \cdot q_{NaCN} \cdot \text{окомк} \cdot ((0,0052 \cdot \varepsilon_{оАu} - 0,0069) \cdot (C_{NaCN} \cdot \text{окомк}^2) + (-0,1485 \cdot \varepsilon_{оАu} + 0,1688) \cdot C_{NaCN} \cdot \text{окомк} + 0,9966 \cdot \varepsilon_{оАu} - 0,6252) \times (0,0014 \cdot d^2 - 0,0214 \cdot d + 0,416)) \cdot q'_{NaCN} / (10^{(7,8338 \cdot (1000/T)^2 - 53,016 \cdot (1000/T) + 89,242)} \cdot C_{O2}^{0,42})$
	$k_{дин2}$	$2,9172r_{дин2}^2 - 3,6934r_{дин2} + 1,5062$
	$g_{дин2}$	$18,337r_{дин2}^2 - 22,851r_{дин2} + 8,2865$
3. Скоростное кучное выщелачивание окисленной кварцитовой руды в условиях полного ввода цианида натрия при окомковании, поршневом режиме орошения растворами и их накисло-роживании ("Погромное")	$r_{дин3-4}$	$((t_k + t_{выст}) \cdot q_{NaCN} \cdot \text{окомк} \cdot ((0,0052 \cdot \varepsilon_{оАu} - 0,0069) \cdot (C_{NaCN} \cdot \text{окомк}^2) + (-0,1485 \cdot \varepsilon_{оАu} + 0,1688) \cdot C_{NaCN} \cdot \text{окомк} + 0,9966 \cdot \varepsilon_{оАu} - 0,6252) \times (0,0014 \cdot d^2 - 0,0214 \cdot d + 0,416)) / (10^{(7,8338 \cdot (1000/T)^2 - 53,016 \cdot (1000/T) + 89,242)} \cdot C_{O2}^{0,42})$
	$k_{дин3(3M)}$	$-0,8205r_{дин3}^2 + 1,5007r_{дин3} - 0,2189$
	$g_{дин3(3M)}$	$-5,916r_{дин3}^2 + 9,996r_{дин3} - 2,349$
	$k_{дин4(5M)}$	$-0,144r_{дин4}^2 + 0,699r_{дин4} + 0,036$
	$g_{дин4(5M)}$	$2,125r_{дин4} + 1,097r_{дин4} + 0,182$
4. Скоростное совместное выщелачивание золота из хвостов цианирования и окисленной кварцитовой руды после криогенного воздействия ("Погромное")	$r_{дин5}$	$100 \cdot tk \cdot \varepsilon_{оАu} \cdot q_{NaCN} \cdot (-0,0012 \cdot (d^2) + 0,0485 \cdot d + 0,3135) / (C_{O2})$
	$k_{дин5}$	$(139,16(1/r_{дин5})^2 - 5,412(1/r_{дин5}) + 0,4323)$
	$g_{дин5}$	$(139,16(1/r_{дин5})^2 - 5,412(1/r_{дин5}) + 0,4323)$
5. Скоростное кучное выщелачивание окисленной руды до и после криогенного воздействия ("Погромное"),	$r_{дин6}$	$q_{NaCN} \cdot C_{O2} / ((\varepsilon_{оАu})^2 \cdot (t_{пр} + t_{выст})^{0,75})$
	$k_{дин6}$	$0,0476r_{дин6}^2 - 0,3398r_{дин6} + 0,6938$
	$g_{дин6}$	$8,2747k_{дин6} - 1,4516$

6. Скоростное кучное выщелачивание золота из негалоритов (7), “лежалой” (8) и свежесдробленной (9) полуокисленной малосульфидной кварцитовой руды месторождения “Дельмачик”.	$r_{дин7-8}$	$C_{CO2}^{0,25} d^{0,25} (t_k + t_{выст})^{0,25} \epsilon_{Au} / (q_{NaCN}^{2*} C_{NaCN}^2)$
	$k_{дин7}$	$-20,03 * r_{дин7}^2 + 8,0535 * r_{дин7}$
	$g_{дин7}$	$8,8617 * (k_{дин7})^2 + 1,1214 * k_{дин7}$
	$k_{дин8}$	$-16,127 * r_{дин8}^2 + 8,7436 * r_{дин8} - 0,2535$
	$g_{дин8}$	$12,261 * k_{дин8}^2 - 1,1728 * k_{дин8}$
	$k_{дин9}$	$0,5423 * r_{дин9}^2 + 1,2522 * r_{дин9}$
	$g_{дин9}$	$13,349 * k_{дин9}^2 - 3,103 * k_{дин9}$

Примечание: t_k – продолжительность орошения руды циркулирующими растворами, сутки; $t_{выст}$ – продолжительность выстаивания руды, окомкованной с раствором цианида натрия, сутки; ϵ_{Au} – содержание золота в руде, г/т; d – крупность дробления руды, мм; q_{H2O} – расход раствора, м³/м² сутки; T – температура, °К; C_{O2} – концентрация кислорода в орошаемом растворе, мг/л; C_{NaCN} – концентрация цианида натрия в орошаемом растворе, г/л; $C_{NaCN\text{ окомк}}$ – концентрация цианида натрия в растворе, используемом при окомковании, г/л.

Таблица 2

**Данные по сорбции золота рудой из раствора цианида золота $C_{Au} = 5$ мг/л;
V р-ра на орошение 200 мл; навеска руды 0,5 кг; крупность руды 3,75 мм;
продолжительность одного цикла орошения -1 сутки**

Число циклов просачивания	CAu в истекающем растворе, мг/л	V р-ра, вытекшего из колонки, мл	pH	ΔCAu в истекающем растворе, мг/л	ΔqAu сорбировавшееся навеской, мг	ΔqAu сорбировавшееся рудой, г/т	qAu сорбировавшееся рудой, г/т
1	4,13	138	8	0,87	0,120	0,24	0,24
2	4,27	146	8	0,73	0,105	0,21	0,45
3	4,60	161	8	0,40	0,065	0,13	0,58
4	4,84	184	8	0,16	0,030	0,06	0,64
5	4,89	180	7	0,11	0,020	0,04	0,68
6	4,95	193	7	0,05	0,010	0,02	0,70
7	4,95	190	7	0,05	0,010	0,02	0,72
8-10	5,00	180	7	0,05	0,010	0,02	0,74

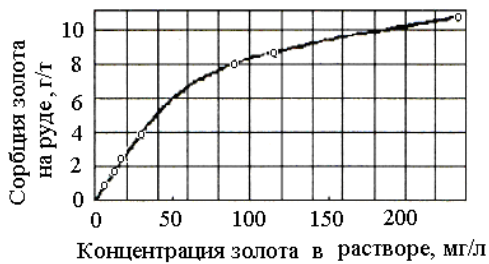


Рис. 2. Изотерма сорбции цианида золота на руде крупностью -10 мм

процесса, учитывающая размерность воздействующего фактора.

Далее, деля выражение (9) на (7) получим эмпирическое уравнение

$$X' - X/X' = k' \cdot f'(U_i) / k'' \cdot f''(U_i) =$$

$$= k'' / k' \cdot f''(U_i) / f'(U_i) \quad \text{или} \quad (10)$$

$$(X' - X) / X' [\text{число}] =$$

$$= k [\text{число}] f'(U_i) / f''(U_i) [\text{число}] \quad (10')$$

$$X = X' \cdot (X' [\text{число}] \cdot k [\text{число}] f'(U_i) / f''(U_i)) [\text{число}] \quad (10'')$$

Таким образом, частные условные константы $k_i = k_i'' / k_i'$, характеризующие влияние интенсифицирующих факторов в выражениях математических операторов для $r_{\text{дин}}$, $k_{\text{дин}}$ и $g_{\text{дин}}$ (1) являются безразмерными. Это положение является общим для процесса кучного выщелачивания золота и вытекает как следствие при учете вторичных процессов.

Размерность динамического критерия $r_{\text{дин}}$ определяется экстенсивным фактором – общей продолжительностью

скоростного выщелачивания золота и имеет размерность [сутки]. Следовательно, динамическая условная константа выщелачивания $k_{\text{дин}}$ и динамический параметр кучного выщелачивания $g_{\text{дин}}$ также имеют размерность [сутки] и, как следствие, $X_{\text{дин}}$ – выражается в безразмерных долях единицы.

Вывод о безразмерности констант в эмпирическом уравнении (1), отражающем учет частных констант, проведен с учетом статистического подхода и является общим, косвенно подтверждает роль вторичных процессы в динамике кучного выщелачивания золота и необходимость использования терминов: динамический критерий выщелачивания, динамическая условная константа выщелачивания, динамический параметр кучного выщелачивания золота и их аббревиатуры – $r_{\text{дин}}$, $k_{\text{дин}}$ и $g_{\text{дин}}$.

Вывод

Математические модели динамики кучного выщелачивания золота, получаемые с помощью частных констант и динамического критерия, учитывают вторичные процессы и позволяют удовлетворительно прогнозировать степень выщелачивания золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальшев В.П., Шкодин В.Г. Равновесно-кинетический анализ химических процессов. А-Ата.Гылым. 1990.С-111.
2. Долгих П.Ф., Остроумова И.Д., Бубнов В.К., Катков Ю.А., Тыныбеков М.И. О получении основных технологических параметров выщелачивания полезных компонентов из кускового рудного материала. В сб. Комплексное использование минерального сырья», Металлургия. 1981, № 6. С 19-22.
3. Аренс В.Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. М., 1975.
4. Бухаров В.Г., Вечеркин С.Г., Луценко И.К. Подземное выщелачивание урановых руд. Атомиздат. Москва. 1969. С. 151.
5. Шьюмон П. Диффузия в твердых телах. М. 1968.
6. Рубцов Ю.И., Резник Ю.Н. О динамике скоростного кучного выщелачивания золота из окисленных кварцитовых руд// Горный информационно аналитический бюллетень. Т.5.– М. 2007. – С.157-164. **ПИАБ**

Коротко об авторе

Рубцов Ю.И. – доцент кафедры БЖД Читинского государственного технического университета, root@chitgu.ru.