

УДК 622.234.42

Ю.И. Рубцов, К.А. Макаренко

**АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА СКОРОСТНОГО
КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА В УСЛОВИЯХ
ВВОДА ЦИАНИДА НАТРИЯ С РАСТВОРОМ
В РЕЖИМЕ ПОРШНЕВОГО ОРОШЕНИЯ**

Представлен алгоритм скоростного кучного выщелачивания золота из окисленных руд. В соответствии с алгоритмом разработана программа, выполненная с использованием среды разработки Borland Delphi 7.

Ключевые слова: кучное выщелачивание золота, крупности дробления руды, программирование скоростного кучного выщелачивания золота.

Семинар № 26

В настоящее время в Забайкалье существует порядка 10 крупных и мелких предприятий кучного выщелачивания золота. По разным причинам, в том числе из-за отставания в развитии теории динамики кучного выщелачивания золота из всех установок КВ золота рентабельной остается лишь одна. К сожалению, интересы представителей золотодобывающих компаний ограничиваются, в лучшем случае, на потребительском уровне. В условиях отсутствия интереса к капитальным вложениям в научно-практические разработки кучного выщелачивания золота перспектива вывода из кризисного состояния малых предприятий Забайкалья маловероятна. В ЧитГУ на уровне лабораторных исследований и укрупнено-промышленных испытаний получены десятки патентов по модернизации золотодобывающей отрасли, которые терпеливо ждут своего воплощения в жизнь. Это относится и к скоростному кучному выщелачиванию золота. Термин “скоростное выщелачивание золота” ввел выдающийся отечественный ученый – И.Н. Плаксин [1]. Сущность его может быть понятна из анализа кривой кучного выщелачивания золота, представленной на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что экспериментальная кривая включает в себя два участка. Первый характеризует скоростное (1 участок кривой в овале), а второй замедленное внутридиффузионное выщелачивание золота. Вторым участком кривой резко увеличивает продолжительность выщелачивания, не гарантируется достижение приемлемой величины X . Желательно, чтобы этот участок вообще отсутствовал. Это возможно, если за счет активации кинетических параметров и условий технологического процесса удастся повысить интенсивность выщелачивания на первом скоростном участке, как это отражено на гипотетической кривой 3. В последнем случае реализуется скоростной режим выщелачивания золота. Проблеме интенсификации цианидного выщелачивания золота посвящено достаточно много научных трудов [2], но основы формализованной кинетики и динамики скоростного кучного выщелачивания золота из окисленных и полуокисленных малосульфидных золотосодержащих руд решены в ЧитГУ [3].

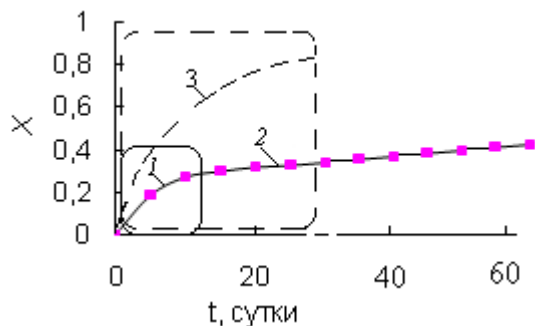


Рис. 1. Зависимость степени выщелачивания золота X из упорной окисленной кварцовой руды от продолжительности: 1 и 2 – экспериментальная кривая: крупность дробления – 20 мм, концентрация кислорода в растворе – 8 мг/л, содержание золота – 3,35 г/т, расход NaCN – 1 кг/т, температура 24 °С; 3 – гипотетическая кривая

ки, которое позволяет удовлетворительно описывать экспериментальные данные, как на первом, так и на втором участке зависимости X от t (сутки) –

$$X = 1 - \frac{k'}{(\lg(t^{0.16} + g))^{6.667}}, \quad (1)$$

где k' – условная константа скорости, сутки⁻¹; g – параметр внутридиффузионного торможения, сутки^{0.16}; t – продолжительность, сутки.

Уравнение (1) трансформировано в форму (2) [3], удобную для программного расчета прогнозной $X_{\text{дин}}$ –

$$X_{\text{дин}} = \left(1 - \frac{k_{\text{дин}}(r_{\text{дин}})}{\lg(t^{0.16} + g_{\text{дин}}(r_{\text{дин}}))^{6.667}} \right) \cdot (-22,158486 \cdot (1/t)^2 - 1,976673 \cdot (1/t) + 1,135631), \quad (2)$$

где $X_{\text{дин}}$, $k_{\text{дин}}$ и $g_{\text{дин}}$ – соответственно, прогнозные степень выщелачивания золота, условная динамическая константа выщелачивания и динамический параметр внутридиффузионного торможения; $r_{\text{дин}}$ – динамический критерий, рассчитанный на основе планируемых исходных данных и зависящий от частных условных констант.

На основе уравнения (2) отработан алгоритм (3), удовлетворительно описывающий прогнозные данные для зависимости X от t –

$$X_{\text{дин}} = \left(1 - \frac{(18,492 \cdot (-0,0012 \cdot d^2 + 0,0485 \cdot d + 0,3135) \cdot (1,00591 \cdot ((0,0517 \cdot d^2 - 1,65 \cdot d + 13,7915) \cdot q_{\text{H}_2\text{O}}^2 + (-0,0177 \cdot d^2 + 0,575 \cdot d - 3,9161) \cdot q_{\text{H}_2\text{O}} - 0,0011 \cdot d^2 + 0,0322 \cdot d + 0,4133)) / (C_{\text{O}_2}^{1,5}) + 0,3189) / (\lg(t^{0.16} + (4491,4 \cdot (-0,0012 \cdot d^2 + 0,0485 \cdot d + 0,3135) \cdot (1,00591 \cdot ((0,0517 \cdot d^2 - 1,65 \cdot d + 13,7915) \cdot q_{\text{H}_2\text{O}}^2 + (-0,0177 \cdot d^2 + 0,575 \cdot d - 3,9161) \cdot q_{\text{H}_2\text{O}} - 0,0011 \cdot d^2 + 0,0322 \cdot d + 0,4133)) / (C_{\text{O}_2}^{1,5})^2 + 46,468 \cdot (-0,0012 \cdot d^2 + 0,0485 \cdot d + 0,3135) \cdot (1,00591 \cdot ((0,0517 \cdot d^2 - 1,65 \cdot d + 13,7915) \cdot q_{\text{H}_2\text{O}}^2 + (-0,0177 \cdot d^2 + 0,575 \cdot d - 3,9161) \cdot q_{\text{H}_2\text{O}} - 0,0011 \cdot d^2 + 0,0322 \cdot d + 0,4133)) / (C_{\text{O}_2}^{1,5}) + 1,179))^{6.667} \cdot (-22,158486 / t^2 - 1,976673 / t + 1,135631)} \right), \quad (3)$$

где d – крупность дробления руды, мм; $q_{\text{H}_2\text{O}}$ – суточный расход раствора в режиме поршневого орошения; C_{O_2} – концентрация растворенного кислорода в орошаемом растворе; t – средняя температура, при которой происходит выщелачивание золота;

Основные процедуры программы по скоростному кучному выщелачиванию золота разработаны с использованием среды разработки Borland Delphi 7:

```
procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
```

```
var i : integer;
```

```
R, kd, O, X1, tk, k, g, k_usl, x_arr, t_arr, CO, d, q_H2O, t : array of real;
```

```
begin
```

```
for i := 0 to n-1 do
```

```
begin
```

```

with Form1.StringGrid1 do
begin
tk[i] := StrToFloat(Cells[1,i+1]);
CO[i] := StrToFloat(Cells[2,i+1]);
d[i] := StrToFloat(Cells[3,i+1]);
t[i] := StrToFloat(Cells[4,i+1]);
q_H2O[i] := StrToFloat(Cells[5,i+1]);
end;
end;
ListBox1.Visible := true;
ListBox1.Clear;
ListBox1.Items.Add('номер опыта X расчетное');
for i := 0 to n-1 do
begin
kd[i] := -0.0012*sqr(d[i]) + 0.0485*d[i] + 0.3135;
O[i] := 1.00591*((0.0517*sqr(d[i])-1.65*d[i]+13.7915)*sqr(q_H2O[i])+
+(-0.0177*sqr(d[i])+0.575*d[i]-3.9161)*q_H2O[i]-0.0011*sqr(d[i])+0.0322*d[i]+0.4133));
R[i] := kd[i] * O[i] / Power(CO[i],1.5);
k[i] := 18.492*R[i] + 0.3189;
g[i] := 4491.4*sqr(R[i]) + 46.468 * R[i] + 1.179;
k_usl[i] := -22.158486* sqr(1/t[i]) - 1.976673/t[i] + 1.135631;
X1[i] := (1- Power(k[i]/ (log10(Power(tk[i], 0.16) +g[i])),6.667)) * k_usl[i];
ListBox1.Items.Add('опыт № '+IntToStr(i+1)+ FloatToStrf(X1[i], ffixed, 4,4));
end;
end;
procedure TForm1.BitBtn6Click(Sender: TObject);
var i, i1 : integer;
begin
i1:=0;
with Form2.Chart1 do
begin
Series[0].Clear;
Series[1].Clear;
for i := 0 to round(t_arr[n1]) do
begin
if x1_arr[i] > 0 then
Series[0].AddXY(i,x1_arr[i]);
if t_arr[i1] = i then
begin
Series[1].AddXY(t_arr[i1],x_arr[i1]);
inc(i1);
end;
end;
end;
end;
Form2.Show;
end.

```

Примеры расчетов прогнозной степени выщелачивания золота из окисленной руды месторождения Погромное приведены на рис. 1 а-д.

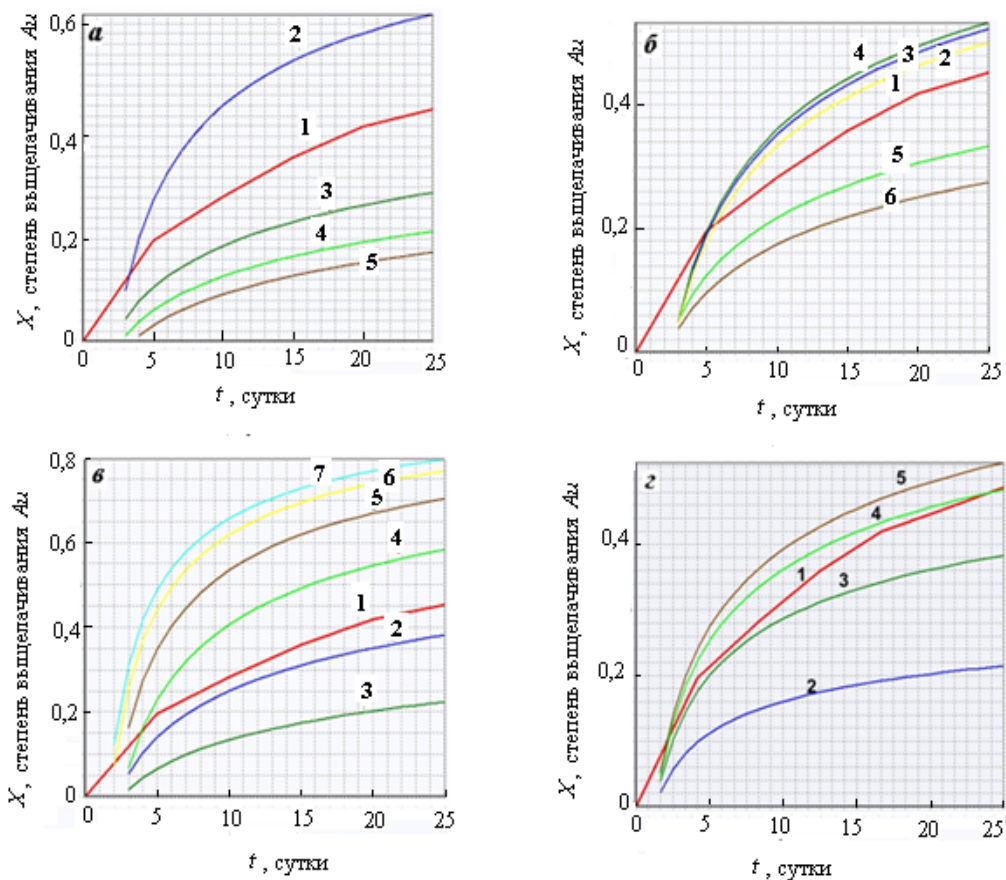


Рис. 1. Зависимости экспериментальной (1) и прогнозной (2,3,4...) степени выщелачивания золота X (2,3,4...) от продолжительности процесса, рассчитанные для разной крупности дробления (а), расхода раствора на орошение (б), концентрации растворенного кислорода (в), температуры (г).

Примечание: **а** – влияние крупности дробления руды: 1 - $d=5$ мм, 2 - 2, 3 - 1, 4 - 13 и 5 - 19 мм; **б**- влияние расхода раствора на орошение: 1 - $q_{H_2O} = 0,24$ м³/м², 2 - 0,20, 3 - 0,16, 4 - 0,12, 5 - 0,36 и 6 - $q_{H_2O} = 0,40$ м³/м²; **в** - влияние концентрации растворенного кислорода: 1 - $CO_2=8$ мг/л, 2 - 6, 3 - 4, 4 - 12, 5 - 20, 6 - 30 и 7 - $CO_2=38$ мг/л; **г** - влияние температуры: 1 - экспериментальные данные ($t = 22^\circ C$); 2, 3, 4 и 5 - расчетные данные при $7^\circ C$, $10^\circ C$, $15^\circ C$ и $20^\circ C$, соответственно

Данные расчеты ограничены интервалами экспериментальных исследований. Так, влияние крупности дробления руды на степень выщелачивания золота исследовано в интервале 3,5-20 мм; влияние расхода раствора (плотности орошения) – $0,12-0,36$ м³/м²; влияние концентрации растворенного кислорода – 8-38 мг/л.

На рис. **а** представлено влияние крупности дробления руды – это известная зависимость. Снижение крупности дробления весьма экономично, но сопровождается резким увеличением длительности процесса.

На рис. **б** - отражено влияние снижения расхода раствора на орошение q_{H_2O} при сохранении расхода цианида натрия. Снижение параметра q_{H_2O} позволяет одновременно повысить концентрацию реагента. Снижение q_{H_2O} менее 0,08 связано с риском зависания растворов в куче. Работа с q_{H_2O} , в интервале 0,1-0,14 м³/м² наиболее эффективна, так как исключает сооружение прудков. Расчеты, выполненные с помощью программы, наглядно указывают на незначительное увеличение X при $q_{H_2O} < 0,1$ м³/м².

На рис. **в** и **г** соответственно иллюстрируются расчетные данные X в зависимости от концентрации кислорода в растворе и температуры, которые находятся в соответствии с имеющимся банком экспериментальных данных.

Программа позволяет рассчитывать степень выщелачивания золота при разных параметрах крупности дробления руды, расхода раствора, концентрации кислорода в растворе и температуры, а, следовательно, более четко ориентироваться специалистам в технологической ситуации, контролировать и управлять процессом. Программу также предлагается использовать в учебном процессе с целью более глубокого понимания и усвоения сложного процесса скоростного кучного выщелачивания золота.

Вывод

В работе заложены основы программирования скоростного кучного выщелачивания золота. В код программы заложены зависимости от основных факторов, определяющих скоростное выщелачивание золота – крупности дробления, расхода раствора, концентрации кислорода в растворе, температуры. Обобщенная форма алгоритма скоростного кучного выщелачивания позволяет направленно изучить практически все возможные зависимости и вносить соответствующие изменения в код программы. Использование программы рекомендуется в учебном процессе, и для управления технологическим процессом скоростного и классического выщелачивания золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Плаксин И.Н.* Избранные труды. Гидрометаллургия. М. Наука. 1972– 279 с
2. *Кучное выщелачивание* благородных металлов / под ред. М.И. Фазлулина. – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – 648 с: ил. – ISBN 5-7892-0072-9.
3. *Рубцов Ю.И.* О формализованной динамике скоростного кучного выщелачивания золота из окисленных кварцитовых руд/ Ю.И Рубцов. // Цветные металлы. Вып. 5. –М. 2007. – С.26-30. **ГИАЗ**

Коротко об авторах

Рубцов Ю.И. – доцент, – ЧитГУ, vjkjn@list.ru
Макаренко К.А. – ЧитГУ.

