

Ногаева К.А

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ПРИ ФЛОТАЦИОННОМ ОБОГАЩЕНИИ ЧЕРНОСЛАНЦЕВОЙ РУДЫ

K.A. Nogaeva

MATHEMATICAL MODELING OF GOLD RECOVERY TO FLOTATION BENEFICIATION OF BLACK SHALE ORES

УДК: 303.7:622.7-03242

В статье дана методика построения математической модели статистическим методом на основании экспериментальных данных, полученных при исследовании флотационного обогащения руды месторождения Кумтор, подтверждена сходимость математических результатов с экспериментальными данными.

The article provides a method of mathematical model development by using a statistical method based on the experimental data obtained in the course of research of ore flotation of Kumtor deposit. The convergence of mathematical results with experimental data is confirmed.

Для построения математических моделей в целях максимизации эффективности флотационного процесса извлечения золота (Y) была использована стратегия от общего к частному. Зависимая переменная Y и была репрессирована с использованием четырех независимых переменных X₁, X₂, X₃, X₄ как показано в следующей модели:

$$Y = v + m \cdot X_1 + h \cdot X_2 + d \cdot X_3 + q \cdot X_4 \quad (1)$$

Уравнение 1 – модель множественной линейной регрессии

Случайность характера входных параметров и сложность математического описания всего многообразия механизмов флотации приводит к необходимости построения математической модели с помощью статистических методов на основании экспериментальных данных [1]

Математическая модель оптимального извлечения золота построена на полученных в работе [2] экспериментальных данных флотационного обогащения черносланцевой руды месторождения Кумтор. Данные состоят из четырех подгрупп переменных, влияющих на извлечение золота во флото концентрат. В каждой подгруппе только одна переменная менялась, остальные являлись постоянными

Приняты следующие обозначения:

X₁ – Влияние крупности измельчения руды на извлечение золота в флото концентрат

X₂ – Влияние соотношения двух собирателей (РАХ и LET) на флотацию руды и извлечение золота из руды

X₃ – Влияние расхода дизельного топлива (ДТ) на извлечение золота

X₄ – Влияние содержания общего углерода в концентрате на извлечение Au

Y – извлечение золота.

Влияние крупности измельчения руды на извлечение золота в (X₁)

Первый эксперимент проводился с целью определения оптимальной крупности измельчения руды для максимального извлечения золотосодержащих сульфидов в концентрат. Для исследования была взята проба – сильно метасоматически измененные филлиты с прожилками пирит– кварц–полевошпат – карбонатного состава, в которой темноватый первоначальный цвет и слоистость пород сохраняется. Состав руды – 4,3г/т Au, 3,4S_{общ} и 4,2C_{общ}. Условия флотационных опытов следующие: РАХ 150г/т, МИБК 20г/т, ДТ добавлялся в измельчение руды из расчета 50-100 г/т. Влияние крупности измельчения руды на извлечение золота в концентрат приведено на рисунке 1.

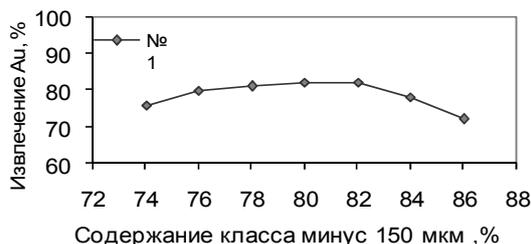


Рис. 1. Влияние крупности измельчения руды на извлечение золота во флото концентрат

Влияние соотношения двух собирателей (РАХ и LET) на извлечение золота из руды (X₂)

В следующем эксперименте было изучено влияние собирателей на извлечение золота. Для улучшения селективности флотации, повышения извлечения золота в флото концентрат было исследовано влияние двух коллекторов – амилового ксантогената (РАХ) и диэтилдифосфата (LET) с общим расходом 200 г/т (рисунок 2)

Влияние расхода ДТ на флотационное извлечение золота (X₃)

Влияние расхода дизельного топлива ДТ на флотационное извлечение золота исследовано при следующих условиях опыта: степень измельчения пробы равна 82% класса минус 150 мкм, РАХ -150 г/т; ДТ добавляется в измельчение из расчета от 0г/т до 300г/т. Результаты представлены в таблице 1

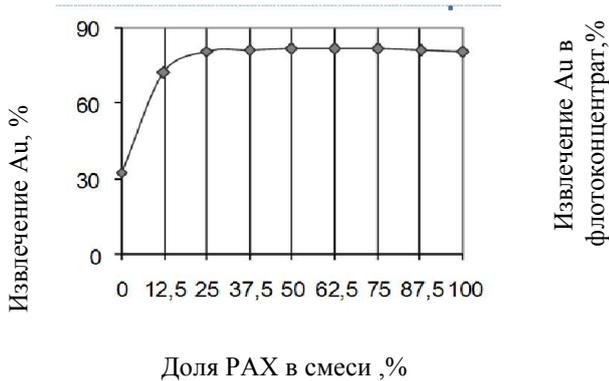


Рис 2. Влияние соотношения двух собирателей (ПАХ и LET) на флотацию руды и извлечение золота из руды

Таблица 1

Влияние расхода дизельного топлива на извлечение золота

Проба	Извлечение в концентрат, %	Расход ДТ в измельчение, г/т					
		0	50	100	150	200	300
1	Au	68,3	74	80,4	85,6	88	88,2

Влияние содержания общего углерода в концентрате на извлечение золота (X4)

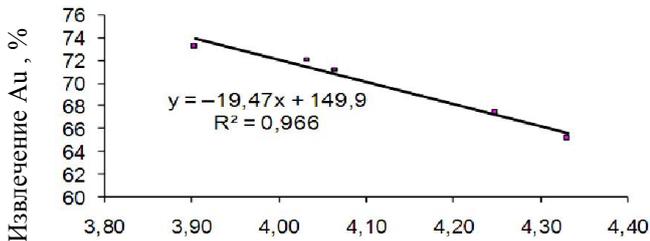


Рис.3 Влияние содержание углерода в концентрате на извлечение золота

Применяя многомерную регрессию, необходимо построить математическую модель следующего вида:

$$Y = v + m \cdot X_1 + h \cdot X_2 + d \cdot X_3 + q \cdot X_4 \quad (1)$$

Важной задачей регрессионного анализа является оценка неизвестных параметров v, m, h, d, q . Данные экспериментов, описанные выше, приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Экспериментальные данные по извлечению (Y) золота под воздействием четырех переменных процесса флотации (от X1 до X4)

x1	x2	x3	x4	y
74	75	52	3.4	75
76	75	60	3.4	77
78	75	80	3.4	79
80	75	100	3.4	80
82	75	120	3.4	82
84	75	55	3.4	70

82	12.5	47	3.4	70
82	25	47	3.4	70
82	37.5	60	3.4	77
82	50	70	3.4	78
82	62.5	80	3.4	79
82	75	100	3.4	80
82	87.5	150	3.4	76
82	75	0	3.4	68,3
82	75	50	3.4	74
82	75	100	3.4	80,4
82	75	150	3.4	85,6
82	75	200	3.4	88
82	75	300	3.4	88,2
82	75	50	3.9	74
82	75	49	4.0	72
82	75	48	4.08	71
82	75	0	4.25	67
82	75	0	4.34	65

Используя общее число данных из таблицы – 23, уравнение модели (1) можно переписать в следующем виде

$$\sum_{j=1}^{23} y_j = \sum_{j=1}^{23} [v + m \cdot (x1)_j + h \cdot (x2)_j + d \cdot (x3)_j + q \cdot (x4)_j]$$

Для определения неизвестных коэффициентов применим метод наименьших квадратов. Тогда запишется следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{23} [y_j - [v + m \cdot (x1)_j + h \cdot (x2)_j + d \cdot (x3)_j + q \cdot (x4)_j]] &= 0 \\ \sum_{j=1}^{23} (x1)_j \cdot [y_j - [v + m \cdot (x1)_j + h \cdot (x2)_j + d \cdot (x3)_j + q \cdot (x4)_j]] &= 0 \\ \sum_{j=1}^{23} (x2)_j \cdot [y_j - [v + m \cdot (x1)_j + h \cdot (x2)_j + d \cdot (x3)_j + q \cdot (x4)_j]] &= 0 \\ \sum_{j=1}^{23} (x3)_j \cdot [y_j - [v + m \cdot (x1)_j + h \cdot (x2)_j + d \cdot (x3)_j + q \cdot (x4)_j]] &= 0 \\ \sum_{j=1}^{23} (x4)_j \cdot [y_j - [v + m \cdot (x1)_j + h \cdot (x2)_j + d \cdot (x3)_j + q \cdot (x4)_j]] &= 0 \end{aligned}$$

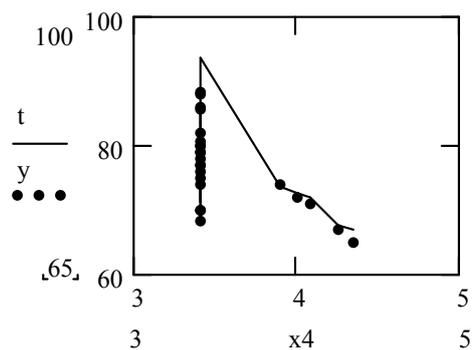
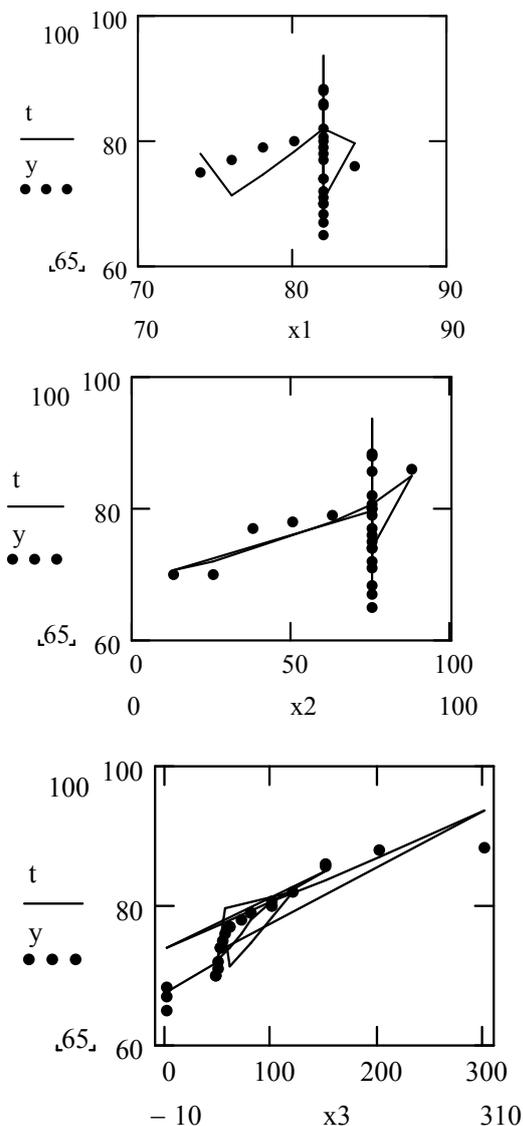
При решении системы пяти алгебраических уравнений с пятью неизвестными определены неизвестные параметры v, m, h, d, q следующим образом:

$$\begin{aligned} v &= -0.035, \quad m = 1.326, \quad h = 0.17, \\ d &= 0.065, \quad q = -14.006 \end{aligned}$$

Таким образом, уравнение для определения флотации по четырем переменным определится так:

$$y = -0.035 + 1.326x1 + 0.17x2 + 0.065x3 - 14.006x4 \quad (2)$$

Коэффициент корреляции вычисленный по данным в таблице и выражению (2) равен 0.906, что говорит о хорошей зависимости переменных X_1, X_2, X_3, X_4 и Y . Ниже приводятся результаты расчетов по модели (2) и сравнение с экспериментальными данными. По оси абсцисс отложены переменные X_1, X_2, X_3, X_4 , по оси ординат – параметр t – результаты расчетов по модели (2), Y – экспериментальные данные.



Выводы: В результате сравнения расчетов и экспериментальных данных получено хорошее согласие математических результатов и данных испытаний. Таким образом, с использованием построенного уравнения можно сделать прогноз с использованием различных вариаций используемых переменных и выполнить математическое моделирование флотационного процесса.

Литература:

1. Sardar Ali, M.MKhan, Mir Asadullan and other. Analyzing statistically the flotation of copper recovery by regression lines.-Sarhad J. Agric.Vol 26 №1 201
2. Мамырбаев Н.А. Разработка технологии извлечения золота из черносланцевой руды. Кандидатская диссертация. Алматы 2003 г.

Рецензент: д.т.н. Тусупбаев Н.К.