

**А.А. ТРАЧУК**, канд. техн. наук

(Украина, Кривой Рог, Государственное ВУЗ "Криворожский национальный университет")

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО АТОМНОГО НОМЕРА ГОРНЫХ ПОРОД НА ОБОГАТИМОСТЬ ГЕМАТИТОВЫХ РУД**

Как известно, горные породы имеют сложный анизотропный (гетерогенный) химический состав.

Факторы, влияющие на обогатимость гематитовых руд, можно разделить на следующие группы:

- полный вещественный состав горных пород и руд;
- плотность горных пород;
- пористость горных пород;
- текстура горных пород;
- расстояние от датчика-источника ионизирующего излучения до поверхности пробы;
- массовая доля влаги горных пород.

Для оценки поглощающих (рассеивающих) свойств подобных гетерогенных сред вводится специальный параметр – "эффективный атомный номер". По сути, это атомный номер некоторого фиктивного химического элемента, который обладает таким же эффектом фотопоглощения на единицу электронной плотности, как и исследуемое вещество сложного химического состава.

В отличие от других физико-химических параметров горных пород, эффективный атомный номер однозначно определяется элементным составом минерального сырья и не зависит от различия химических связей или же физического состояния среды.

Формула вычисления эффективного атомного номера среды:

$$Z_{эфф} = \sqrt[m]{\frac{1}{\beta_{cp}} \cdot \sum_{i=1}^n q_i \cdot \beta_i \cdot Z_i^m}, \quad (1)$$

где  $q_i$  – массовая доля  $i$ -го элемента исследуемой горной породы;  $\beta_i$  – электронная плотность  $i$ -го элемента исследуемой горной породы;  $Z_i$  – атомный номер  $i$ -го элемента исследуемой горной породы.

Электронная плотность компонентов, входящих в состав исследуемой горной массы, определяется из выражения

$$\beta_i = Z_i / A_i, \quad (2)$$

где  $A_i$  – атомный вес  $i$ -го элемента.

## **Загальні питання технології збагачення**

Для горных пород "среднего" атомного состава постоянная  $\beta_i = 0,5$  [1]. Для этих же горных пород ( $15 \leq Z_i < 40$ ), где энергия К-скачка фотопоглощения лежит ниже регистрируемой энергии рассеянного гамма-излучения, коэффициент  $m=3,0$  [2]. С увеличением регистрируемой энергии гамма-квантов до 1 МэВ коэффициент  $m=3,5$  [3].

Практическое значение  $Z_{эфф}$  заключается, прежде всего, в том, что с его помощью можно оценить влияние вещественного состава исследуемой среды, как на эффекты поглощения, так и на рассеивание гамма-квантов.

Таким образом, значение  $Z_{эфф}$  позволяет анализировать вещественный состав исследуемой горной массы во всем диапазоне массовой доли полезного компонента и установить пригодность селективного гамма-гамма метода для оперативного контроля массовой доли полезного компонента.

При помощи  $Z_{эфф}$  можно систематизировать (классифицировать) горные породы с различным вещественным составом с точки зрения применимости того или иного гамма-метода для оперативного контроля массовой доли полезного компонента.

Кроме того,  $Z_{эфф}$  позволяет многокомпонентную горную массу рассматривать как двухкомпонентную (бинарную), состоящую из полезного компонента и наполнителя.

Эффективный атомный номер пробы можно вычислить по следующей формуле:

$$Z_{эфф} = Z_A \cdot \sqrt[3]{\sum q_i \cdot (Z_i/Z_A)^3}, \quad (3)$$

где  $Z_A$  – атомный номер определяемого элемента, а подкоренное выражение характеризует эквивалентную массовую долю (например, по железу)  $i$ -го элемента, то есть

$$q_i^{экв} = (Z_i/Z_A)^3 \cdot q_i. \quad (4)$$

Если в исследуемой среде один из элементов наполнителя с атомным номером  $Z_1$  замещается в равных весовых качествах другим элементом с атомным номером  $Z_2$ , то эквивалентное приращение массовой доли определяемого элемента вычисляется по формуле:

$$\Delta q_{экв} = q \cdot (Z_2^3 - Z_1^3) / Z_A^3, \quad (5)$$

где  $q$  – массовая доля определяемого элемента.

В качестве примера рассмотрим вещественный состав железных руд Кривбасса, приведенный в табл. 1, где  $\Delta q_{экв}$  вычислены для  $q=10\%$ . Поскольку основным мешающим компонентом является кремнезем, то данный химический элемент выбран в качестве опорного.

## Загальні питання технології збагачення

Таблиця 1

Вещественный состав железных руд Кривбасса

Химический элемент	Na	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Ti	Cr	Mn
$Z_i$	11	12	13	14	15	16	20	22	24	25
$\Delta q_{\text{экв}}, \%$	-0,86	-0,5	-0,31	0	0,36	0,77	2,99	4,5	6,3	7,3

Зависимость эффективного атомного номера от эквивалентной массовой доли приведена на рис. 1. Аналитически эта зависимость имеет следующий вид:

$$Z_i = 13,921 + 3,062\Delta q_{\text{экв}} - 0,48\Delta q_{\text{экв}}^2 + 0,051\Delta q_{\text{экв}}^3 - 0,001\Delta q_{\text{экв}}^4 - 1,028e^{-4}\Delta q_{\text{экв}}^5 \quad (6)$$

Из рис. 1 видно, что при наличии в составе горной массы (наполнителя) химических элементов с  $Z < 14$  эквивалентная массовая доля железа снижается, а наличие более тяжелых элементов, наоборот увеличивает эквивалентную массовую долю  $\Delta q_{\text{экв}}$ .

В табл. 2 приведены разновидности железных руд Кривбасса, их полный вещественный состав и эффективный атомный номер рассчитан по формуле:

$$Z_{\text{эфф}} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n q_i \cdot Z_i^3}, \quad (7)$$

где  $q_i$ ,  $Z_i$  – весовая массовая доля и порядковый номер  $i$ -го элемента соответственно;  $n$  – количество химических элементов в исследуемой горной массе.

Таблиця 2

Разновидности железных руд Кривбасса,  
их полный вещественный состав (%) и эффективный атомный номер

Разновидности руд	Мартит	Гидрогематит	Гидрогематитовый роговик	Гидрогематитовый сланец
$\text{Al}_2\text{O}_3$	–	4,96...9,9	15,5	23,4
$\text{SiO}_2$	0,8	4,4...12,7	17,8	33,5
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	97,8	67,57...87,2	54,5	20,2
$\text{FeO}$	0,5	0,9...0,97	0,75	5,5
$\text{CaO}$	–	-0,2	0,3	5,5
$\text{MgO}$	–	0,04...2,21	–	0,2
P	–	0,05	0,07	0,014
$\text{TiO}_2$	0,04	–	–	0,02
$\text{Fe}_{\text{общ}}$	69,9	48,0...61,7	40,9	0,46
$Q_{\text{эфф}}$	23,9	21,0...22,3	19,6	18,31

Из графика зависимости эффективного атомного номера от массовой доли железа (рис. 1) видно, что с увеличением массовой доли полезного компонента атомный номер растет пропорционально.

## Загальні питання технології збагачення

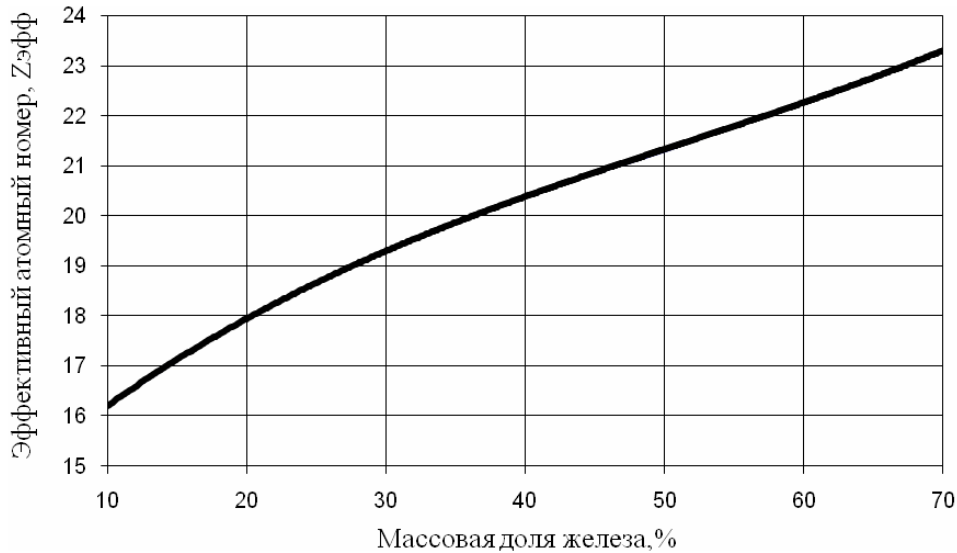


Рис. 1. Графік залежності ефективного атомного номера від масової частки заліза для гематитових руд

Получена аналітична залежність

$$Z_{эфф} = f(q),$$

де  $q$  – масова частка гематитових залізних руд, %.

$$Z_{эфф} = 1,25q^3 + 0,01q^2 + 0,26q + 13,94 \quad (8)$$

Надіймовість апроксимації при цьому  $R^2 = 0,96$

В якості опорного елемента приймаємо кремнезем ( $Z = 14$ ) і вичисляємо ефективний атомний номер залізної руди, де масова частка гематитових залізних руд змінюється від 10 до 70%. В якості компоненти приймаємо кремнезем, масова частка якого змінюється від 90 до 30% відповідно (табл. 3).

Таблиця 3

Ефективний атомний номер залізорудного сиров'язя Кривбасса							
Fe	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Si	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
$Z_{эфф}$	16,16	17,87	19,3	20,54	21,65	22,65	23,6

Из табл. 3 видно, что приращение  $Z_{эфф}$ , в диапазоне изменения массовой доли железа в рудах Кривбасса от 10 до 70%, составит 0,124 единиц на один процент. Или же  $\Delta Z_{эфф}/\Delta q = 0,744$  при  $\Delta q = 10\%$ .

Для обработки результатов экспериментальных исследований применены математические методы статистики: оценка дисперсии параметров, надёжность апроксимации.

### *Выводы*

1. При наличии в составе горной массы (наполнителя) химических элементов с атомным номером меньше 14 эквивалентная массовая доля железа снижается, а наличие более тяжелых элементов, наоборот увеличивает эквивалентную массовую долю  $\Delta q_{\text{экв}}$ .

2. Анализ вещественного состава гематитовых железных руд Кривбасса показал, что между массовой долей железа, эквивалентным (эффективным) атомным номером и объемным весом имеется тесная корреляционная связь.

3. Значение эффективного атомного номера позволяет анализировать вещественный состав исследуемой горной массы во всем диапазоне изменения массовой доли полезного компонента и установить пригодность селективного гамма-гамма метода для оперативного контроля массовой доли полезного компонента.

### **Список литературы**

1. Герасимчук В.Г. Розвиток підприємства : діагностика, стратегія, ефективність. – К.: Вища школа, 1995. – 265 с.

2. Губин Г.В. Резервы повышения эффективности и качества рудоподготовки // Обогащение руд черных металлов. – М.: Недра, 1978. – С. 3-9.

3. Азарян А.А. Выбор параметров блока регистрации рассеянного гамма – излучения // Качество минерального сырья. – К.: Минерал, 2000. – С. 173-176.

© Трачук А.А., 2014

*Надійшла до редколегії 11.02.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*