

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИИ РУДНОЙ МАССЫ

*Кожиев Х.Х., Гарифулина И.Ю., Габараева А.О., Дедегкаева Н.Т.  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный  
технологический университет, г. Владикавказ*

**Ключевые слова:** моделирование, предконцентрация, рудная масса, полезное ископаемое, извлечение металла.

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы моделирование процесса предконцентрации рудной массы при добыче полезных ископаемых. Исследуются взаимосвязи между массовыми долями руды, имеющими разный уровень показателя качества. На основе проведенного исследования авторы получают методику моделирования процесса предконцентрации, который заключается в установлении множества изменяющихся характеристик рудной массы при последовательном отделении от неё долей с худшими показателями качества.

## MODELING OF THE ORE MASS PRE-CONCENTRATION PROCESS

*Kozhiev Kh.Kh., Garifulina I.Yu., Gabaraeva A.O., Dedegkaeva N.T.  
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological  
University, Vladikavkaz*

**Keywords:** modeling, pre-concentration, ore mass, minerals, metal recovery.

**Abstract.** The issues of modeling the process of preconcentration of ore mass during the extraction of mineral resources are considered. The relationship between the mass fractions of ore with different levels of quality index is investigated. On the basis of the study, the authors obtain a methodology for modeling the preconcentration process, which consists in establishing a variety of changing characteristics of the ore mass with the sequential separation of shares with the worst quality indicators from it.

Моделирование процесса предконцентрации состава рудной массы базируется на взаимосвязях между массовыми долями руды, имеющих разный уровень показателя качества. Примем следующие обозначения параметров рудной массы:

$Q$  - общее количество рудной массы, которую предполагается подвергнуть предконцентрации, т;

$\bar{\alpha}$  - среднее содержание в ней полезных компонентов, %;

$M$  - количество металла в руде, т;

$n$  - количество долей рудной массы с разным уровнем содержания металла, ед.;

$Q_1, Q_2, \dots, Q_i \dots Q_n$  - массовые доли руды разного качества, т;

$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_i \dots \gamma_n$  - процентный выход соответствующих долей рудной массы, %;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i \dots \alpha_n$  - средние значения содержания полезных компонентов в долях рудной массы, %;

$M_1, M_2 \dots M_i \dots M_n$  - количество полезных компонентов в долях руды, имеющих разное качество, %;

$\gamma_{M1}, \gamma_{M2}, \dots, \gamma_{Mi} \dots \gamma_{Mn}$  - выход металла в долях рудной массы разного качества, %.

Между этими показателями существуют следующие основные зависимости [1]:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (1)$$

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i / \sum_{i=1}^n Q_i, \% \text{ при } \alpha_i = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) / 2, \quad (2)$$

$$M = 0.01 \cdot \bar{\alpha} \cdot Q = 0.01 \sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i = \sum_{i=1}^n M_i, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 100\%, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_M = 100\%, \quad (5)$$

$$\gamma_{Mi} = 100 M_i / M. \quad (6)$$

Согласно этим зависимостям готовятся исходные данные для непосредственного моделирования. По результатам опробования рудной массы всё количество рудной массы классифицируется на несколько долей, различающихся по уровню показателя качества. Внутри каждой доли устанавливается среднее содержание полезного компонента  $\alpha_i$  и производится ранжирование долей по уровню среднего содержания. При этом первая доля состоит из наиболее низкокачественной руды, а последняя - из самой богатой.

Для моделирования, наряду с абсолютным количеством металла в рудной массе ( $M, M_i$ ), целесообразно использовать приведенные значения [2]:

$$M_{np} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \gamma_i \text{ и } M_{npi} = \alpha_i \cdot \gamma_i. \quad (7)$$

Конечные результаты моделирования при использовании в расчётах, как абсолютной массы металла, так и приведенного её значения должны быть идентичными и адекватными натуре. Между абсолютным и приведенным значениями массы металла имеется следующая взаимосвязь [1]:

$$\gamma_M = 100 \cdot M_I / M = 100 \cdot M_{npi} / M_{np} = 100 \cdot \alpha_i \cdot \gamma_i / \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \gamma_i,$$

откуда

$$M = 100 M_i / \gamma_i. \quad (8)$$

Исходные данные для моделирования оформляются в виде таблицы (таблица 1).

Табл. 1.

№№ п.п.	Показатель			Кол-во горной массы	Выход долей рудной массы	Кол-во полезного комп-та	Привед. масса полезного комп-та	Выход полезн. комп-та в долях
	Min.	Max.	Средн.					
<i>I</i>	$\alpha_{1\min}$	$\alpha_{1\max}$	$\alpha_1$	$Q_1$	$\gamma_1$	$M_1$	$\alpha_1 \gamma_1$	$\gamma_{M1}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<i>I</i>	$\alpha_{i\min}$	$\alpha_{i\max}$	$\alpha_i$	$Q_i$	$\gamma_i$	$M_i$	$\alpha_i \gamma_i$	$\gamma_{Mi}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<i>n</i>	$\alpha_{n\min}$	$\alpha_{n\max}$	$\alpha_n$	$Q_n$	$\gamma_n$	$M_n$	$\alpha_n \gamma_n$	$\gamma_{Mn}$

В целом модель представляет собой систему зависимостей, представленный в аналитическом виде, вместе с алгоритмом расчётов, реализуемых на компьютере. Всего моделируется (*1, 2, ...j...m*) этапов отделения от общего объёма рудной массы долей с более низким уровнем показателя качества. При этом номера этапов непосредственного моделирования процесса предконцентрации совпадают с номерами долей рудной массы, то есть  $i=j$ .

Основными результатами каждого *j*-го этапа моделирования являются следующие показатели: количество предконцентрата, получаемого на каждом этапе  $Q_{nk}^j$ ; выход предконцентрата  $\gamma_{nk}^j$ ; среднее содержание полезного компонента в предконцентрате  $\bar{\alpha}_{nk}^j$ ; количество полезного компонента в предконцентрате  $M_{nk}^j$ ; выход полезного компонента в концентрат  $\gamma_{Mnn}^j$ ; выход полезного компонента в отходы предконцентрации  $\gamma_{om}^j$ ; количество полезного компонента в отходах  $M_{om}^j$ ; среднее содержание полезного компонента в отходах  $\bar{\alpha}_{om}^j$ .

Расчёт показателей предконцентрации рудной массы выполняется согласно следующим зависимостям [3]:

$$Q_{nk}^i = \sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=1}^{i=j} Q_i, \quad (9)$$

$$\gamma_{нк}^j = 100 - \sum_{i=1}^{i=j} \gamma_i \quad (10)$$

$$\bar{\alpha}_{нк}^j = (\sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i - \sum_{i=1}^{i=j} \alpha_i Q_i) / Q - \sum_{i=1}^{i=j} Q, \quad (11)$$

где  $Q = \sum_{i=1}^n Q_i$ ,

$$M_{нк}^j = M - \sum_{i=1}^{i=j} M_i, \quad (12)$$

где  $M = \sum_{i=1}^n M_i$ ,

$$\gamma_{Mнк}^j = 100 - \sum_{i=1}^{i=j} \gamma_{Mнкi}, \quad (13)$$

$$M_{ом}^j M - M_{нк}^j = M + \sum_{i=1}^{i=j} M_i = \sum_{i=1}^{i=j} M_i, \quad (14)$$

$$\gamma_{Мом}^j = 100 - \gamma_{Mнк}^j = \sum_{i=1}^{i=j} \gamma_{Mнкi}, \quad (15)$$

$$\bar{\alpha}_{ом}^j = (\sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i - \sum_{i=j}^n \alpha_i Q_i) / (\sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=j}^n Q_i) \quad (16)$$

Моделирование процесса предконцентрации заключается в установлении множества изменяющихся характеристик рудной массы при последовательном отделении от неё долей с худшими показателями качества.

Порядок расчётов при моделировании – от  $j=1$  до  $j=m$ . При этом этап  $j=0$  соответствует исходным условиям моделирования. Результаты этих расчётов вносятся в таблицу отражающую данные по поэтапному изменению характеристик предконцентрата и его отходов (таблица 2).

Табл. 2.

№№ этапов	Предконцентрат							Отходы предконцентрации					
	$\gamma_{нк}$	$\bar{\alpha}_{нк}$	$M_{нк}$	$\gamma_{Mнк}$	$\Psi$	$\delta$	$\epsilon_{нк}$	$\gamma_{ом}$	$\bar{\alpha}_{ом}$	$M_{ом}$	$\gamma_{Мом}$	$\Omega$	$\Delta$
0	100	$\bar{\alpha}_{нк}^0$	$M_{нк}^0$	100	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1	$\gamma_{нк}^1$	$\bar{\alpha}_{нк}^1$	$M_{нк}^1$	$\gamma_{Mнк}^1$	$\Psi^1$	$\delta^1$	$\epsilon_{нк}^1$	$\gamma_{ом}^1$	$\bar{\alpha}_{нк}^1$	$M_{ом}^1$	$\gamma_{Мом}^1$	$\Omega^1$	$\Delta^1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
J	$\gamma_{нк}^j$	$\bar{\alpha}_{нк}^j$	$M_{нк}^j$	$\gamma_{Mнк}^j$	$\Psi^j$	$\delta^j$	$\epsilon_{нк}^j$	$\gamma_{ом}^j$	$\bar{\alpha}_{нк}^j$	$M_{ом}^j$	$\gamma_{Мом}^j$	$\Omega^j$	$\Delta^j$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
m	0	0	0	0	0	0	0	100	$\bar{\alpha}_{ом}^m$	$M_{ом}^m$	$\gamma_{Мом}^m$	1	1

В них, кроме значений показателей отмеченных выше, введены также: коэффициент концентрации рудной массы  $\Psi$ ; коэффициент прироста качества  $\delta$ ; извлечение полезного компонента в предконцентрат  $\epsilon_{нк}$ ; потери полезного компонента в отходах предконцентрации  $\Omega$ ; относительное содержание полезного компонента в отходах  $\Delta$ .

Использование показателей выход металла  $\gamma_{Мнк}$  и извлечение металла в предконцентрат  $\epsilon_{нк}$  в моделировании процесса предконцентрации оправдано тем, что рассчитываются эти характеристики по разным формулам и поэтому степень совпадения их величин позволяет обнаружить ошибки в расчётах.

### Список литературы

1. Кожиев Х.Х., Ломоносов Г.Г. Рудничные системы управления качеством минерального сырья. Учебное пособие. – М., 2008. – 262 с.
2. Туртыгина Н.А., Охрименко А.В. Показатели численного моделирования технологии внутрирудничной предконцентрации рудной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – №15. – С. 3-12.
3. Ломоносов Г.Г. Повышение качества продукции отечественного горнорудного производства как основа подъема его конкурентоспособности // Горный журнал. – 2004. – №10. – С. 6-9.

### References

1. Kozhiev Kh.Kh., Lomonosov G.G. Mineral quality management systems for mineral raw materials. Tutorial. – M., 2008. – 262 p.
2. Turtygina N.A., Okhrimenko A.V. Indicators of numerical modeling of the technology of intra-ore preconcentration of ore mass // Mining information-analytical bulletin. – 2018. – No. 15. – P.3-12.
3. Lomonosov G.G. Improving the product quality of domestic mining production as the basis for raising its competitiveness // Mining Journal. – 2004. – No. 10. – P. 6-9.

#### Сведения об авторах:

#### Information about authors:

<b>Кожиев Хамби Хаджимурзович</b> – профессор кафедры горного дела	<b>Kozhiev Khambi Khadzhimurzovich</b> – professor of Mining Department
<b>Гарифулина Ирина Юрьевна</b> – аспирант	<b>Garifulina Irina Yurevna</b> – post-graduate student
<b>Габараева Алана Олеговна</b> – аспирант	<b>Gabaraeva Alana Olegovna</b> – postgraduate student
<b>Дедегкаева Нина Таймуразовна</b> – аспирант	<b>Dedegkaeva Nina Taimurazovna</b> – postgraduate student
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия	North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

Получена 01.12.2020