

УДК 622.34.06 : 622.272(075.80)

Д.Н. Павлишина, С.В. Терещенко

## **Анализ систем управления качеством бедных апатит-нефелиновых руд в процессе их переработки**

D.N. Pavlishina, S.V. Tereshchenko

### **Analysis of systems of quality management of low-grade apatite-nepheline ores during their processing**

**Аннотация.** Рассмотрены системы формирования и стабилизации качества бедных апатит-нефелиновых руд (традиционная, основанная на усреднительном принципе управления качеством; использующая разделительный принцип; объединившая эти принципы). Установлены преимущества применения системы, основанной на комбинации разделительного (способного изменять вещественный состав перерабатываемых руд) и усреднительного (позволяющего сформировать заданное качество руды) принципов управления и предоставляющей возможность получить оптимальные параметры поступающей на обогащение рудной массы.

**Abstract.** The paper considers the systems of formation and quality regulation of low-grade apatite-nepheline ores (the traditional quality management system; system based on separation principle; system joining both principles). It has been established that optimum parameters of ore mass targeted for further beneficiation is possible to obtain combining two principles: separation – able to change the material composition of processed ores and averaged – allowing forming the required ore quality.

**Ключевые слова:** системы управления качеством руд, усреднение, сепарация, предконцентрация  
**Key words:** ore quality management systems, averaging, separation, pre-concentration

#### **1. Введение**

В современных горно-геологических условиях, характеризующихся значительным снижением содержания полезного компонента (ПК) в добываемых рудах, а также отсутствием достоверной оперативной информации о качестве минерального сырья на различных этапах технологической цепочки производства, обогатительному переделу становится сложно реагировать на возможные колебания содержания ПК. Поэтому получение товарных концентратов заданного качества без увеличения экономических затрат на их переработку и при минимальных потерях ПК в отходах обогащения весьма затруднено. Такая ситуация свойственна и для месторождений апатит-нефелиновых руд Хибинского массива, в процессе эксплуатации которых проблемы формирования и стабилизации качества рудной массы приобретают все большее значение.

Согласно результатам исследований (Мельник, 1999) технологические показатели обогащения (извлечение  $P_2O_5$  в концентрат, содержание  $P_2O_5$  в хвостах обогащения) изменяются в зависимости от колебаний содержания  $P_2O_5$  в подаваемой на обогащение руде, описываемых величиной среднеквадратичного отклонения (СКО): при уменьшении СКО с 6 до 1 % извлечение  $P_2O_5$  в концентрат увеличивается на 14 % (рис. 1), а увеличение СКО приводит к повышению содержания  $P_2O_5$  в тонкоизмельченных хвостах обогащения более чем в два раза (рис. 2).

В работе (Терещенко и др., 2005) представлены результаты получения апатитового концентрата из апатит-нефелиновой руды разного качества с использованием технологической схемы флотации АНОФ-2. Анализ этих данных свидетельствует о том, что из руды с содержанием  $P_2O_5$ , не отвечающим требованиям обогатительной фабрики (рудной массы регламентируемого качества), получение апатитового концентрата марки "Стандарт" возможно при включении в технологическую схему двух дополнительных перечисток, способствующих увеличению извлечения  $P_2O_5$  в концентрат (не менее 90 %) и уменьшению выхода концентрата в 1,5 раза (в сравнении с рудой регламентируемого качества).

#### **2. Выбор способа формирования и стабилизации бедных апатит-нефелиновых руд**

Рассмотрим различия процессов формирования и стабилизации качества добытой рудной массы, осуществляемых по традиционной системе управления качеством; системе, использующей разделительный принцип; системе, объединившей два принципа управления (усреднительный и разделительный), а также возможность получения заданного качества рудной массы, поступающей на обогащение, на примере проб рудопотоков апатит-нефелиновой руды.

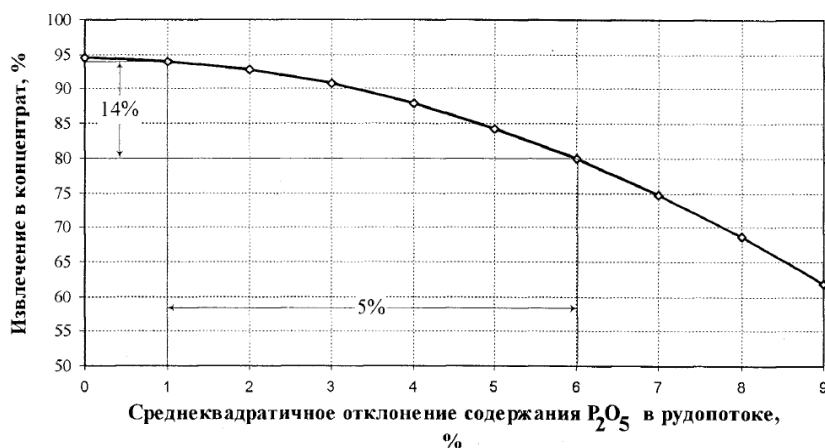


Рис. 1. Изменение извлечения в концентрат в зависимости от среднеквадратичного отклонения содержания  $P_2O_5$  в руде (Мельник, 1999)

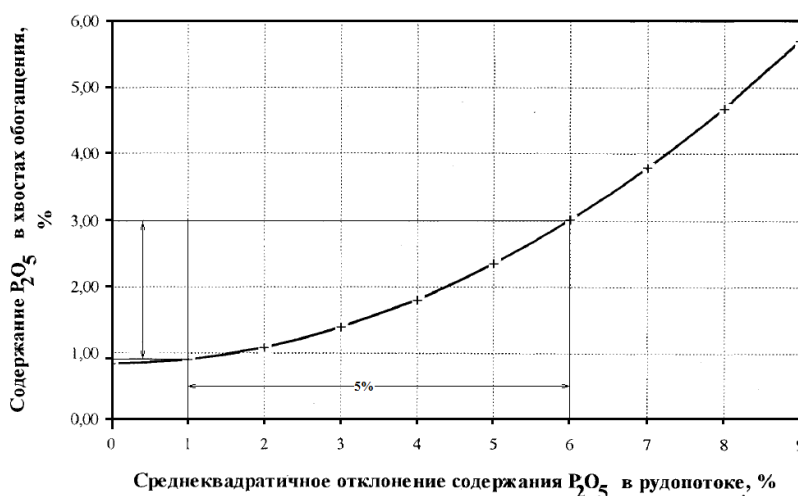


Рис. 2. Содержание  $P_2O_5$  в хвостах обогащения в зависимости от стабильности рудопотока, подаваемого на обогащение (Мельник, 1999)

Понятие "традиционная система" встречается в литературных источниках, где в основном описывается усреднительный принцип управления качеством руд. Традиционная система, основанная на усреднительном принципе, применяется на ОАО "Апатит", разрабатывающем апатит-нефелиновые месторождения Хибинского массива с 1929 г.

Анализ величины исходного содержания  $P_2O_5$  в изучаемых пробах рудопотоков 1 и 2 (рис. 3) позволил охарактеризовать их согласно классификации (Горная энциклопедия, 1984) как бедные руды: содержание  $P_2O_5$  в пробе рудопотока 1 равно 7,57 %, в пробе рудопотока 2 – 6,93 %.

Реализация процесса формирования и стабилизации качества рудопотока с использованием традиционной системы (посредством объединения массы двух проб такого типа руд в один рудопоток) не позволяет сформировать заданное его качество (12-13 %  $P_2O_5$ ); содержание  $P_2O_5$  в рудопотоке составляет 7,33 %.

Для формирования и стабилизации качества рудопотока используется система, в основе которой лежит разделительный (сепарационный) принцип управления, реализующийся посредством выполнения операции предварительной концентрации (предконцентрации).

Достижение максимального эффекта от предконцентрации возможно при неравномерном распределении полезного компонента в объеме рудной массы, т.е. при наличии в ней рудной массы с содержанием  $P_2O_5$  ниже бортового ( $\leq 2$  %) (пустой породы).

Неравномерность распределения ПК определяется величиной показателя контрастности  $M$ ; для рассматриваемых проб рудопотоков его значения составили  $M_1 = 0,81$  и  $M_2 = 0,57$ . Согласно принятой классификации Мокроусова (Мокроусов, Лилеев, 1979) полученные значения характеризуют

неравномерность распределения полезного компонента в пробах рудопотоков и не свидетельствуют о наличии в этих пробах кусков пустой породы. Именно поэтому для определения эффективности реализации процесса предконцентрации необходимо использовать дополнительный критерий, позволяющий определить их наличие в рудной массе.

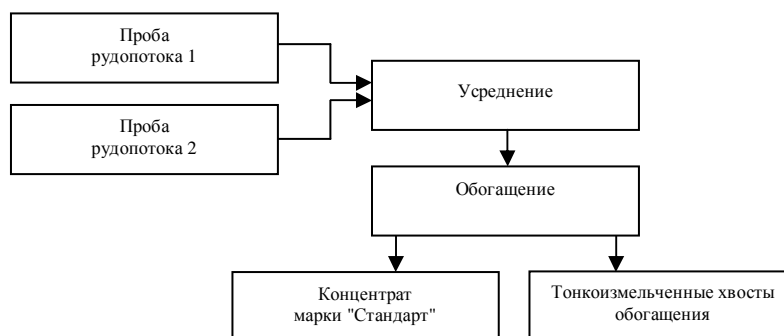


Рис. 3. Традиционная система формирования и стабилизации качества рудопотока

Для оценки присутствия в рудной массе кусков с содержанием  $P_2O_5$  ниже бортового используется разработанный критерий  $N$ :

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \theta)m_i}{|y_i - \theta|m_i},$$

где  $\theta$  – бортовое содержание ПК в изучаемом объекте (месторождении, горизонте, участке, пробе);  $y_i$  – содержание ПК в единичных объемах горной массы (кусках, порциях или интервалах опробования), входящих в состав изучаемого объекта;  $m_i$  – масса каждого отдельного единичного объема горной массы, входящего в состав изучаемого объекта с содержанием ПК в нем, равным  $y_i$ ;  $n$  – полное количество единичных объемов горной массы, входящих в состав изучаемого объекта.

Величина  $N$  представляет собой средневзвешенное относительное отклонение содержания полезного компонента в определенном объеме горной массы от бортового содержания этого компонента в изучаемом объеме к его абсолютному отклонению.

Сочетание критерия наличия в рудной массе кусков пустой породы  $N$  с показателем контрастности  $M$  позволяет с достаточной степенью вероятности оценить целесообразность включения в технологическую цепочку операции предконцентрации. Значение величины критерия  $N$ , отличное от единицы, говорит о наличии включений пустых пород ( $N_1 = 0,85$ ;  $N_2 = 0,91$ ).

Таким образом, для проб рудопотоков с такими характеристиками целесообразно применение разделительного принципа управления качеством руд (рис. 4).

Результаты реализации процесса предконцентрации для каждой из проб рудопотоков показали, что при пороге разделения, соответствующем содержанию  $P_2O_5 = 2\%$ , может быть выделено не менее 20% отходов предконцентрации. При этом содержание  $P_2O_5$  в обогащенном продукте (предконцентрате) повышается: в пробе рудопотока 1 – не менее чем в 1,6 раза (составляет 12,22%), в пробе 2 – в 1,3 раза (8,67%). Предконцентрат пробы рудопотока 1 соответствует регламентируемому уровню содержания ПК в руде, а пробы 2 – не соответствует. Простое смешивание продуктов предконцентрации (предконцентратов) также не приводит к желаемому результату, поскольку содержание  $P_2O_5$  в объединенном рудопотоке будет ниже регламентируемого уровня и составит лишь 10,66%.

Решить возникшую проблему можно посредством усреднения объемов предконцентратов  $Q_1$  и  $Q_2$  проб рудопотока 1 и 2 соответственно, определенных по методу линейных уравнений (рис. 5) (Ломоносов, 2007).

Применительно к условиям поставленной задачи система линейных уравнений имеет вид

$$\begin{cases} \alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2 = \alpha_p Q_p, \\ q_1 = Q_1, \\ Q_p = Q_1 + q_2, \end{cases}$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – содержания  $P_2O_5$  в пробах рудопотока 1 и 2 соответственно;  $\alpha_p$  – регламентируемое содержание  $P_2O_5$ ;  $Q_p$  – объем рудопотока;  $q_1$  и  $q_2$  – объемы проб рудопотока 1 и 2 соответственно, необходимые для формирования требуемого качества рудопотока.

Проведенный расчет показал, что на переработку направляется только часть руды (39,52 % с содержанием  $P_2O_5 = 12,00\%$ ), а разница объемов остается в накопителе (накопительный бункер, усреднительный склад и т.п.) для проведения дальнейших усреднительных мероприятий.

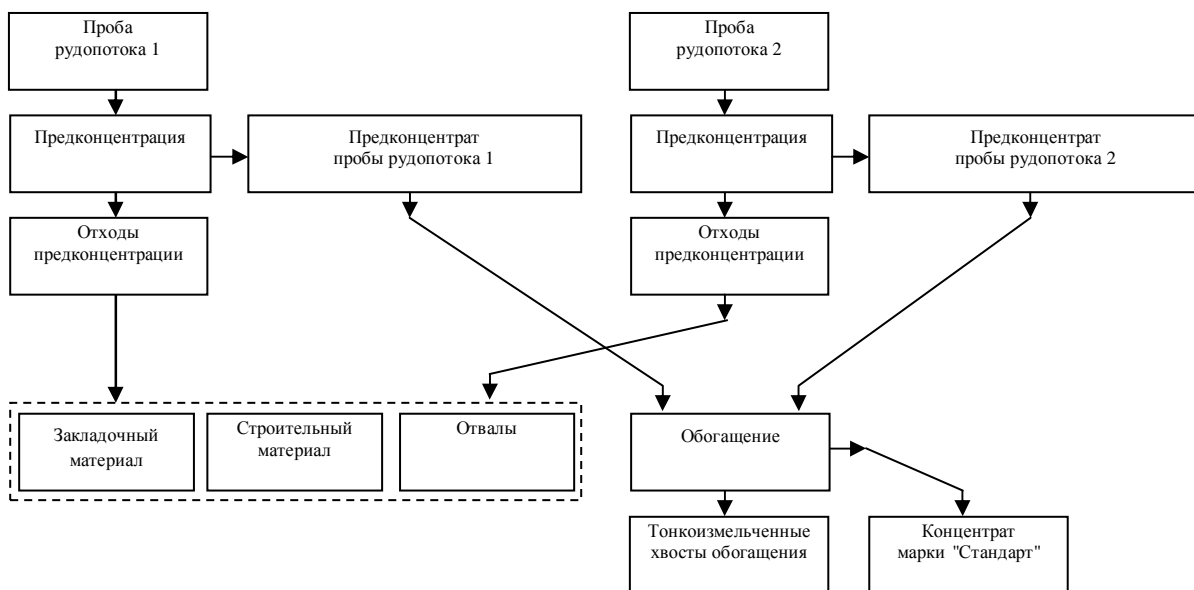


Рис. 4. Система формирования и стабилизации качества рудопотока, основанная на разделительном принципе

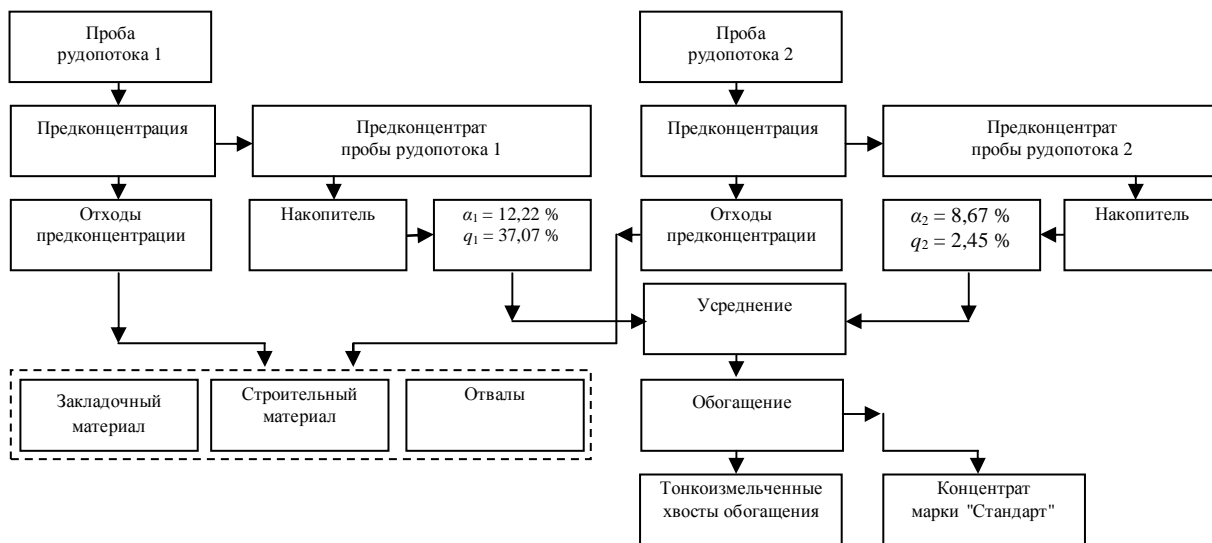


Рис. 5. Система формирования и стабилизации качества рудопотока, основанная на комбинации усреднительного и разделительного принципов

### 3. Заключение

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что формирование и стабилизация качества руды с использованием систем, основанных на усреднительном или сепарационном принципах, может не дать положительных результатов. При разумном сочетании этих принципов появляется возможность создать систему формирования и стабилизации качества руды, способную не только изменить вещественный состав перерабатываемых руд (чего нельзя добиться при реализации только усреднительного принципа), но и сформировать, а главное, стабилизировать качество рудной массы на регламентируемом уровне. При этом уменьшаются объемы переработки и количество тонкоизмельченных хвостов обогащения, а также снижается негативное влияние горного производства на экологию региона.

## Литература

- Горная энциклопедия. Под ред. Е.А. Козловского, т. 1. М., Советская энциклопедия, 560 с., 1984.
- Ломоносов Г.Г.** Горная квалиметрия. М., МГГУ, 201 с., 2007.
- Мельник В.Б.** Управление качеством апатит-нефелиновых руд за счет внутриблочной стабилизации содержания  $P_2O_5$  и усреднения руды при формировании общешахтного рудопотока. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 17 с., 1999.
- Мокроусов В.А., Лилеев В.А.** Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М., Недра, 192 с., 1979.
- Терещенко С.В., Денисов Г.А., Марчевская В.В.** Радиометрические методы опробования и сепарации минерального сырья. СПб., Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), 264 с., 2005.

## References

- Gornaya entsiklopediya [Mining encyclopedia]. Pod red. E.A. Kozlovskogo, t. 1. M., Sovetskaya entsiklopediya, 560 p., 1984.
- Lomonosov G.G.** Gornaya kvalimetriya [Mining qualimetry]. M., MGGU, 201 p., 2007.
- Melnik V.B.** Upravlenie kachestvom apatito-nefelinovyih rud za schet vnutriblochnoy stabilizatsii sodержaniya  $P_2O_5$  i usredneniya rudy pri formirovanii obschshahtnogo rudopotoka [Apatite-nepheline ore quality management through intrablock control of  $P_2O_5$  content and averaging of ore during general mine ore flow]. Avtoref. dis... kand. tehn. nauk. SPb., 17 p., 1999.
- Mokrousov V.A., Lileev V.A.** Radiometricheskoe obogaschenie neradioaktivnyih rud [Radiometric beneficiation of non-radioactive ores]. M., Nedra, 192 p., 1979.
- Tereshchenko S.V., Denisov G.A., Marchevskaya V.V.** Radiometricheskie metody oprobovaniya i separatsii mineralnogo syr'ya [Radiometric methods of raw material sampling and separation]. SPb., Mezhdunarodnaya akademiya nauk ekologii, bezopasnosti cheloveka i prirody (MANEB), 264 p., 2005.

## Информация об авторах

**Павлишина Дарья Николаевна** – Горный институт (ГоИ) КНЦ РАН, инженер,  
e-mail: Shibaeva\_goi@mail.ru

**Pavlishina D.N.** – Mining Institute KSC RAS, Engineer, e-mail: Shibaeva\_goi@mail.ru

**Терещенко Сергей Васильевич** – Горный институт (ГоИ) КНЦ РАН, д-р техн. наук,  
зав. лабораторией; горный факультет Кольского филиала Петрозаводского государственного  
университета, e-mail: tereshchenko@goi.kolasc.net.ru

**Tereshchenko S.V.** – Mining Institute KSC RAS, Dr of Tech. Sci., Head of Laboratory; Mining Faculty  
of Kola Branch Petrozavodsk State University, e-mail: tereshchenko@goi.kolasc.net.ru