

УДК 622.772.725

## Экономическая оценка целесообразности отработки месторождения бедных руд с использованием различных принципов управления их качеством

Д.Н. Шибаета<sup>1</sup>, С.В. Терещенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Горный институт КНЦ РАН

<sup>2</sup> Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

**Аннотация.** В условиях снижения качества минерального сырья, вовлекаемого в эксплуатацию, в сочетании с увеличением его разубоживания при внедрении высокопроизводительных систем отработки месторождений предлагаются подходы к управлению качеством формирования оптимального рудопотока, поступающего на обогащение, с использованием методов радиометрической предконцентрации рудной массы непосредственно после отбойки полезного ископаемого. В статье, на примере экономической оценки вариантов отработки бедных апатитовых руд одного из месторождений, показано, что при сочетании принципов управления качеством, применяя в горнотехнологическом цикле радиометрическую предконцентрацию, основанную на крупнопорционной сортировке и покусковой сепарации, возможно формировать руду заданного качества, обеспечивая прирост прибыли за счет снижения себестоимости получения товарной продукции.

**Abstract.** In conditions of decreasing mineral raw quality coupled with increasing of its impoverishment while applying high-quality system of deposits developing there have been proposed approaches to management of ore quality by formation of ore flow on its way to separation using radiometric preconcentration of ore mass directly after its extraction. The paper using examples of economic evaluation of development of one of the poor apatite ores fields shows that it is possible to form the ore of certain quality providing an increase of profit at the expense of decreasing the commodity output price. This is possible due to principles of ore quality management and applying radiometric pre-separation based on large-portion sorting and scrap separation in the technological cycle.

**Ключевые слова:** снижение качества минерального сырья, управление качеством руд, радиометрическая сепарация

**Key words:** decreasing of mineral raw quality, management of ore quality, radiometric separation

### 1. Введение

В развитии минерально-сырьевого комплекса определились негативные тенденции, которые очевидны уже не только специалистам, но и признаны на уровне государственного управления и стратегического планирования. Так, разработанная Правительством РФ "Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года" (ноябрь 2008 г.) утверждает, что "... многие месторождения стратегически важных полезных ископаемых вступили в стадию падающей добычи, и добыча ряда полезных ископаемых не компенсируется приростом запасов; при значительных запасах относительно низкокачественных и сложных для обогащения руд некоторые полезные ископаемые добываются в ограниченных масштабах, а внутреннее потребление обеспечивается в основном импортом (свинец, тантал, ниобий, вольфрам, барит, хром, марганец и т.д.); в нераспределенном фонде велика доля запасов, освоение которых экономически нецелесообразно при используемых технологиях добычи, обогащения и переработки минерального сырья...". Можно определенно констатировать, что в обозримом будущем придется иметь дело с принципиально новой реальностью: минерально-сырьевой базой, сформированной в основном низкокачественными типами рудных полезных ископаемых, характеризующимися низким содержанием полезных компонентов, комплексным составом и сложной обогатимостью (Ануфриева и др., 2011).

Выход из сложившегося положения – модернизация горных предприятий в соответствии с новыми реалиями: создание и внедрение современных прогрессивных технологий переработки руд, обеспечивающих полноту и комплексность извлечения главных и сопутствующих компонентов, рентабельное получение высококачественной ликвидной товарной продукции, минимизацию потерь и экологических последствий производства.

В отечественной практике обычно недооценивают возможности рудников и карьеров в повышении качества добываемого сырья. Традиционно считается, что эти возможности весьма ограничены, а поэтому функция доведения разубоженной рудной массы до товарного вида – полностью

прерогатива обогатительных фабрик (ОФ). Вместе с тем и карьеры, и подземные рудники, в принципе способны существенно улучшить качество своей продукции. Их возможности увеличиваются с развитием технических средств. Безусловно, что в основном повышение качества минерального сырья достигается при обогащении, но и в ходе горных работ возможно, и часто необходимо, осуществлять комплекс мер по первичному формированию его качества. Подчеркнем, что формирование качества необходимо начинать на самых ранних этапах горного производства, поскольку по мере удаления рудопотоков от забоев сложность этих процессов и трудоемкость существенно возрастает (Терещенко и др., 1998).

Можно выделить две группы методов управления качеством руды при добыче – разделительные (сепарационные) и смесительные (усреднительные) (Ломоносов, 2004).

Докажем возможность рудников и карьеров повышения качества добываемого сырья с использованием современных прогрессивных технологий переработки руд. Рассмотрим реализацию применения этих принципов на примере отработки одного из блоков месторождения апатитовых руд. Среднее содержание ( $\alpha$ ) полезного компонента (ПК –  $P_2O_5$ ) в блоке апатит месторождения равно 3,8 %, руда этого блока считается бедной. Если регламентируемое содержание полезного компонента (основного элемента, определяющего качество руды) в добываемой руде на уровне 7 %, то отработка данного блока будет нецелесообразна. Покажем ошибочность такого вывода.

## 2. Технологическая и экономическая оценки эффективности операции предконцентрации

На рис. 1 представлен схематический образ блока месторождения, который разбит на 10 участков. Для каждого из этих участков определены среднее содержание  $\alpha_i$  и показатель контрастности  $M_i$ , характеризующий неравномерность распределения содержания ПК по участку.

9	$\alpha_9 = 2,9 \%$ $M_9 = 0,5$	10	$\alpha_{10} = 3,5 \%$ $M_{10} = 0,99$
7	$\alpha_7 = 0,8 \%$ $M_7 = 0,26$	8	$\alpha_8 = 7,1 \%$ $M_8 = 0,98$
5	$\alpha_5 = 3,9 \%$ $M_5 = 0,14$	6	$\alpha_6 = 10,1 \%$ $M_6 = 0,40$
3	$\alpha_3 = 1,6 \%$ $M_3 = 0,30$	4	$\alpha_4 = 1,8 \%$ $M_4 = 0,32$
1	$\alpha_1 = 1,8 \%$ $M_1 = 0,44$	2	$\alpha_2 = 8,7 \%$ $M_2 = 0,73$

Рис. 1. Схематический образ блока месторождения

Анализ данных, исходя из уровня бортового содержания ПК равного 2 %, свидетельствует о том, что участки 1, 3, 4 и 7 представлены породой с незначительным равномерно распределенным ( $M = 0,26 \div 0,44$ ) содержанием ПК, которая в ходе отработки может быть направлена непосредственно в отвал (рис. 2). Содержание ПК в оставшейся части, тем не менее, не дотягивает до регламентируемого уровня –  $\alpha = 5,8 \%$ .

Повысить качество добытой руды можно путем использования на участках 2, 8 и 10 сепарационного принципа управления качеством, то есть реализовать процесс предконцентрации, поскольку значение показателя  $M$  характеризует высокую неравномерность распределения ПК

( $M = 0,73 \div 0,99$ ). Однако детальное изучение участка 2 показало, что в его границах отсутствуют области с содержанием ниже бортового, и среднее содержание ПК превышает регламентируемый уровень – 7 %. Поэтому при отработке этого участка применять сепарационный принцип нежелательно, поскольку такое действие приведет к неоправданным потерям ПК. Реализация этого принципа на участках 8 и 10 позволит повысить содержание ПК до 10,3 % и 8,9 %, соответственно.

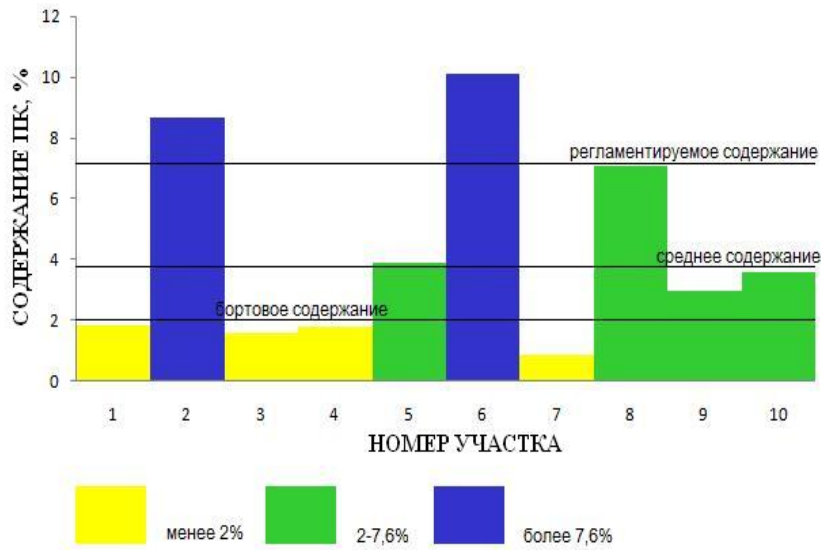


Рис. 2. Распределение среднего содержания ПК по участкам

Анализ данных участка 9 свидетельствует о среднем значении показателя  $M = 0,5$ , однако, при его отработке применение сепарационного принципа позволит удалить часть породы с содержанием ПК в диапазоне от 0,7 до 1,4 %, повысив содержание в руде с 2,95 % до 3,96 %.

Показатель контрастности участков 5 и 6 –  $M_5 = 0,14$  и  $M_6 = 0,4$  показывает, что содержание ПК на этих участках распределено равномерно, и применение сепарационного принципа управления качеством при их отработке не даст положительного результата.

Таким образом, комбинация усреднительного и сепарационного принципов управления качеством руд позволяет достичь требуемого содержания ПК (табл. 1, рис. 3). Применение селективной отработки блока месторождения с использованием операции предконцентрации позволило повысить содержание руды, поступающей на ОФ, в 2 раза, достигнув при этом регламентируемого значения.

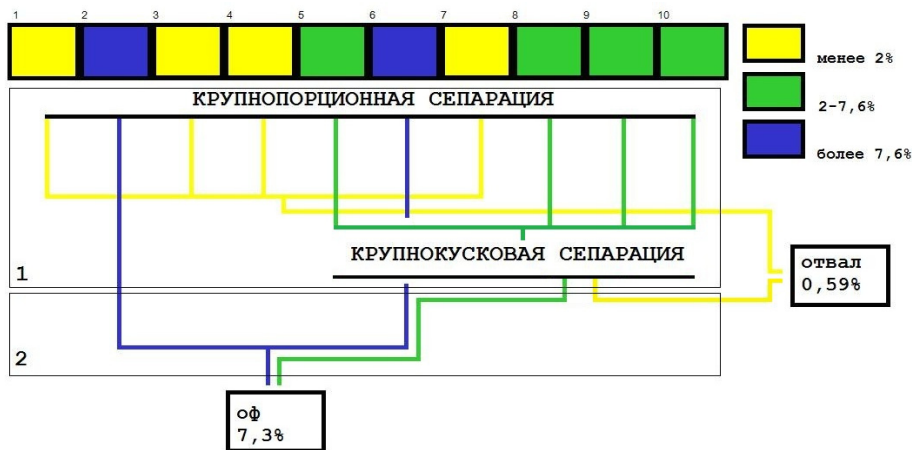


Рис. 3. Применение принципов управления качеством руд:

- 1 – сепарационный принцип управления качеством;
- 2 – усреднительный принцип управления качеством

Таблица 1. Выбор принципа управления качеством руд

№ участка	Среднее содержание ПК в блоке (исходное), %	Среднее содержание ПК (исходное), %	Значение показателя контрастности	Результат анализа		Среднее содержание ПК в блоке (после удаления породы с содержанием ПК ниже бортового для участков 1,3,4,7), %	Среднее содержание ПК, %	Результат анализа	Среднее содержание ПК в блоке (после управления и стабилизации качества ПК), %
1	3,81	1,8	0,44	Сепарационный принцип	Крупнопорционная сепарация – в отвал ( $\alpha < 2\%$ )	6,03	–	Усреднительный принцип	7,6
2		8,7	0,73		–		8,7		
3		1,6	0,30		Крупнопорционная сепарация – в отвал ( $\alpha < 2\%$ )		–		
4		1,8	0,32		Крупнопорционная сепарация – в отвал ( $\alpha < 2\%$ )		–		
5		3,9	0,14		–		3,9		
6		10,1	0,40		–		10,1		
7		0,8	0,26		Крупнопорционная сепарация – в отвал ( $\alpha < 2\%$ )		–		
8		7,1	0,98		Крупнокусовая сепарация		10,3		
9		2,95	0,50		Крупнокусовая сепарация		3,96		
10		3,5	0,99		Крупнокусовая сепарация		8,9		

Однако целесообразность внедрения новых технологий и операций должна определяться двумя факторами – качеством продукции и уровнем материально-финансовых затрат на ее получение. Покажем экономическую целесообразность представленной технологии отработки месторождения, используя сравнительную аналитическую оценку эффективности, основанную на методике (Агошков и др., 1974) (табл. 2,3). Таким образом, задача сводится к сравнению нескольких вариантов разработки, отличающихся уровнем полноты извлечения, используемыми принципами управления качеством и технико-экономическими показателями по вариантам.

Показатели экономических последствий потерь в расчете на 1 т балансовых запасов имеют отрицательное значение, что свидетельствует о полном возмещении теряемой в 1 т запасов ценности за счет снижения затрат на добычу и переработку 1 т балансовой руды.

Аналитический расчет показывает, что оптимальные показатели извлечения (коэффициент изменения качества  $K_k$  и коэффициент извлечения  $K_n$ ) при принятых исходных данных наблюдаются у вариантов 2, 3 и 5 ( $K_n = 0,95$  и  $K_k = 1,9$ ;  $K_n = 0,93$  и  $K_k = 1,6$ ;  $K_n = 0,85$  и  $K_k = 1,9$  соответственно). При отработке блока по вариантам 1 и 4 прирост извлечения запасов при добыче не дает должного экономического эффекта вследствие значительного разубоживания руды, которое вызывает дополнительные потери при обогащении и удорожание себестоимости добычи и переработки 1 т балансовой руды, например, по сравнению с вариантом 2 в 1,6 раза (табл. 3).

Применение операции предварительной концентрации (применение крупнопорционной и крупнокусовой сепараций) при валовой отработке (вариант 2) позволило повысить содержание в руде, поставляемой на ОФ, до регламентируемого уровня и получить максимальную прибыль, при минимальной себестоимости реализации технологического процесса (табл. 3). Ввод операции предконцентрации позволяет снизить затраты на операции дробления и измельчения, переработку за счет вывода рудной массы с содержанием ПК ниже бортового.

Таблица 2. Исходные данные для расчета экономических показателей по двум вариантам разработки

Показатели	Варианты разработки блока				
	Валовая добыча	Валовая добыча с КПС <sup>1</sup> и ККС	Валовая добыча с ККС <sup>2</sup>	Селективная добыча	Селективная добыча ККС
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Балансовые запасы	100				
Содержание ПК в балансовых запасах	3,8				
Добыто рудной массы	100	100	100	60	60
Содержание ПК в добытой рудной массе	3,8	3,8	3,8	5,8	5,8
Количество обогащенной в процессе сепарации рудной массы	–	48	59	–	48
Содержание ПК в обогащенной в процессе сепарации руде	–	7,3	6,3	–	7,3
Коэффициент изменения качества	1	1,9	1,6	1,5	1,9
Коэффициент извлечения из недр	1	0,96	0,98	0,91	0,96
Коэффициент извлечения при сепарации	–	0,98	0,96	–	0,96
Коэффициент извлечения ПК при обогащении	0,957	0,95	0,93	0,88	0,85
Сквозной коэффициент извлечения при переработке ПИ	0,957	0,971	0,968	0,963	0,971
Валовая ценность	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Себестоимость добычи 1 т рудной массы	12,0	12,0	12,0	32,0	32,0
Себестоимость сепарации 1 т добытой руды	–	5,0	4,0	4,0	4,0
Себестоимость переработки 1 т рудной массы	32	20	24	25	20
Полная себестоимость добычи и переработки 1 т рудной массы	44	37	40	57	56

### 3. Заключение

Проведенные исследования оценки возможности добычи руд на примере отработки блока месторождения бедных апатитовых руд показали, что процесс формирования руды повышенного качества из добытой рудной массы непосредственно после добычи является необходимым условием повышения извлечения полезного компонента в товарный продукт и снижения себестоимости его получения. Результаты технологических и экономических укрупненных расчетов (табл. 4) доказали целесообразность включения операции предварительной концентрации в технологическую схему переработки. Реализация такого подхода способна обеспечить вывод из дальнейшего технологического цикла пустых пород (с содержанием  $P_2O_5$  ниже бортового) и формирование руды, поступающей на ОФ, повышенного более чем 1,5 раза качества, по сравнению с исходной рудой.

### Литература

- Агошков М.И., Никаноров В.И., Панфилов Е.И. Технично-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр. *М., Недра*, с.14-20, 75-92, 111, 138-146, 1974.  
 Ануфриева С.И., Броницкая Е.С., Литвинцев Э.Г., Ожогина Е.Г., Петрова Н.В., Рогожин А.А.,

<sup>1</sup> КПС – крупнопорционная сепарация

<sup>2</sup> ККС – крупнокусковая сепарация

**Соколова В.Н.** Опыт и перспективы применения современных технологий переработки бедных труднообогатимых руд. *Разведка и охрана недр*, № 3, с.70-75, 2011.

**Ломоносов Г.Г.** Повышение качества продукции отечественного горнорудного производства как основа подъема его конкурентоспособности. *Горный журнал*, № 10, с.6-9, 2004.

**Терещенко С.В., Марчевская В.В., Маслов А.Д., Голованов В.Г., Погребняк О.С.** Формирование руды повышенного качества из добытой рудной массы – одно из условий рациональной технологии ее переработки. *Вестник МГТУ*, т.1, № 3, с.111-118, 1998.

Таблица 3. Результаты расчета экономических показателей по двум вариантам разработки

Показатели	Варианты разработки блока				
	Валовая добыча (1)	Валовая добыча с КПС и ККС (2)	Валовая добыча с ККС (3)	Селективная добыча (4)	Селективная добыча ККС (5)
Недоизвлечение ПИ	–	4	2	9	4
Полная себестоимость добычи и переработки 1 т балансовой руды	44,0	19,5	25,0	38,0	29,5
Ценность 1 т потерянных запасов	51,7	75,5	68,0	50,0	55,5
Возмещение за потери на снижение полной себестоимости 1 т балансовой руды	–	24,5	19,0	6,0	14,5
Экономические последствия потерь в расчете на 1 т потерянных запасов	–	140,9	107,9	68,0	85,9
Экономические последствия потерь в расчете на 1 т балансовых запасов	–	-84,6	-97,1	-34,0	-77,4
Экономические последствия потерь при отработке всех запасов	–	56,4	10,8	34,0	8,6
Прибыль на 1 т балансовых запасов	48,7	77,6	70,4	53,1	64,9

Таблица 4. Сводные результаты технико-экономического расчета вариантов разработки блоков

Показатели	Варианты разработки блока				
	Валовая добыча (1)	Валовая добыча с КПС и ККС (2)	Валовая добыча с ККС (3)	Селективная добыча (4)	Селективная добыча ККС (5)
Содержание ПК в исходной руде, %	3,8				
Содержание ПК в руде, поставляемой на ОФ, %	3,8	7,3	6,3	3,8	7,3
Количество пустой породы ( $\alpha < 2\%$ ), %	–	41,0	40,0	52,0	52,0
Коэффициент извлечения ПК	0,957	0,95	0,93	0,88	0,85
Полная себестоимость добычи и переработки 1 т балансовой руды	44,0	19,5	25,0	38,0	29,5
Прибыль на 1 т балансовых запасов	48,7	77,6	70,4	53,1	64,9