© А.Н. Морев, 2006

УДК 622.34

А.Н. Морев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ВОЗМОЖНОСТЬ МАНЕВРИРОВАНИЯ

Неделя горняка-2005
Семинар № 6

Одной из причин, существенно ограничивающих эффективность управления содержанием полезного компонента в добываемом полезном ископаемом, является недостаточность информации о качестве полезного ископаемого в недрах. Чем полнее сведения о конфигурации залежи, о качестве содержащихся в ней руд и их распределении, тем более эффективно она может быть разработана. При этом очень важным является фактор времени: скорость поступления информации должна обеспечивать оперативность корректирования горных работ.

Источником информации о пространственном распределении и качестве полезного ископаемого, как известно, являются данные опробования. Традиционно, геологическое опробование отличается трудоемкостью и низкой производительностью. Результаты геологического опробования зачастую привлекаются лишь для констатации данных о рудах месторождения и почти не используются в целях оперативного управления процессом добычи [1]. Количественно оценить разнообразие можно с помощью различных показателей, которых более 20-ти. Многие показатели громоздки и требуют большого количества исходных данных, получение которых не всегда предоставляется возможным.

Достоверная информация о разнообразии содержания полезного компонента в рудах месторождения необходима предприятию, чтобы гибко и своевременно реагировать на изменчивость цен на минеральное сырье путем маневрирования содержанием полезного компонента в рудопотоке. Представление о распределении и изменчивости полезного компонента в рудах дает возможность горному предприятию определить возможный уровень «отклонения» содержания полезного компонента в рудопотоке от «среднего», если изменчивость содержания полезного компонента в рудах «достаточна».

Для достаточно большого числа рудных месторождений (или, по крайней мере, для их геостатически однородных частей) пространственная изменчивость содержаний может быть описана с помощью геостатистики, в частности схемы де Вейса (1):

$$\sigma^2(\nu / V) = \alpha \ln \frac{V}{\nu}, \qquad (1)$$

где $\sigma^2(\nu / V)$ - дисперсия содержания полезного компонента по пробам объемом ν, отобранных из объема запасов *V;* ν - объем пробы (аналог годового объема добычи руды); α - постоянная, называемая коэффициентом абсолютного рассеивания схемы де Вейса; *V* - объем

оцениваемого поля (аналог балансовых запасов месторождения).

Эта простая формула справедлива для подобных и гомотетично расположенных объёмов ν и *V,* и неприменима, если ν и *V* имеют произвольные формы, однако ее можно обобщить, если ввести понятие эквивалентноети двух проб. В работе под объемом пробы *V* понимается планируемая производительность карьера по полезному ископаемому за год, а под *V* - оцениваемые запасы месторождения. Эквивалентность не зависит от коэффициента абсолютного рассеивания и имеет чисто геометрический смысл. Преобразование пробы ν и ее геометрического поля *V* через линейные эквиваленты *l* и *L* позволяет получить следующую зависимость;

$$\sigma^2(\nu / V) = 3\alpha Ln\frac{L}{l}. \qquad (2)$$

В таком виде формула де Вейса позволяет быстро рассчитать дисперсию по известному коэффициенту абсолютного рассеивания 3α.

Простые приближенные формулы позволяют с удовлетворительной точностью рассчитать линейные эквиваленты *l* и *L* различных многоугольников и многогранников, с помощью которых, соответственно, можно описать пробы и оцениваемые запасы месторождения. Например, линейные эквиваленты *l* и *L* равны для прямоугольного параллелепипеда со сторонами $a \geq b \geq c$:

$$L = a + b + \frac{c}{2}. \qquad (3)$$

Коэффициент абсолютного рассеивания основан на допущении принципа подобия и выражается как:

$$\alpha = \frac{1}{4\ln 2}\left[\ln\frac{1-d}{1+d}\right]^2, \qquad (4)$$

где d - параметр де Вейса, основывается на допущении, при котором блок делится на две равные части и определяет относительные отклонения содержаний руды x_1 и x_2 этих блоках.

Параметр де Вейса *(d),* определяется из формулы:

$$d = \frac{x_2 - x_1}{x_2 + x_1}. \qquad (5)$$

В работе степень неоднородности содержания полезного компонента в запасах месторождения определена с помощью коэффициента вариации (kν), который определяется из формулы 4:

$$k\nu = \frac{\sigma}{cc}, \qquad (6)$$

где *cc* - среднее содержание полезного компонента в пробах.

Коэффициент вариации позволяет определить степень неоднородности оцениваемого объема запасов полезного ископаемого в месторождении.

Для цветной металлургии была предложена классификация рудных тел по степени неоднородности, приведенная в таблице [2]. Под неоднородностью в работе понимается степень изменчивости одного полезного компонента в рудопотоке при разработке месторождения. Наличие различных видов типо-сортов руд в месторождении определяет его разнообразие.

Геостатистика как совокупность математически обоснованных методов

Классификация рудных тел по степени неоднородности для цветной металлургии

Месторождения	Весьма однородные	Однородные	Средней однородности	Неоднородные	Весьма неоднородные
kν, %	<10	10-15	15-20	20-25	>25

появилась в связи с задачами оценки содержания и запасов руд. Основы теории заложены Ж. Матероном [3]. В частности, им разработана теория пространственной случайной функции и указаны ограничения на ее свойства, позволяющие обосновать применение разработанных расчетных методов. С использованием схемы де Вейса была разработана экономико-математическая модель, позволяющая определить минимально-необходимую степень неоднородности содержания полезного компонента в оцениваемых запасах месторождения для возможного маневрирования этим параметром в рудопотоке без изменения длины фронта горных работ.

В планировании добычных работ па карьерах можно условно выделить две стадии [4]. Первая стадия включает обоснование плана производства товарной продукции предприятия, исходя из производственной мощности обогатительной фабрики, возможности развертывания фронта горных работ на карьере. Вторая стадия содержит оперативное плани-рование и регулирование производственного процесса с целью обеспечения эффективного управления качеством и рационального извлечения полезных ископаемых из недр.

Исходя из горных возможностей, планируется объем добычи руды и длина добычного фронта горных работ. При относительно малом фронте горных работ среднее содержание полезного компонента в добываемой руде может существенно отличаться от заданного. С увеличением фронта добычных работ или числа блоков, характеризуемых различными средними значениями содержания полезного ископаемого и расположенных в различных частях карьера, в добычной процесс могут вовлекаться руды с максимальными и минимальными отклонениями от среднего уровня. Таким образом, увеличение длины фронта горных работ способствует возрастанию степени изменчивости полезного компонента на данном этапе развития горных работ, если на месторождении это возможно по горно-геологическим условиям.

Возможность увеличения длины фронта горных работ на карьере достигается увеличением размеров его рабочей зоны. Такие изменения элементов системы разработки влияют на главные параметры карьера и влекут за собой перераспределение объема вскрыши во времени.

В последнее время тенденция выполнения значительного объема вскрышных работ в начальный период освоения месторождения наблюдается при проектировании горных предприятий. В работе, выполненной институтом «УНИПРОМЕДЬ» [5], для месторождения меди «50 лет Октября» (Казахстан) представлены варианты календарных графиков вскрышных работ, предусмотренных проектами 1989. 1994 и 1998 гг. (рис. 1). Из рисунка видно, что более поздний вариант развития вскрышных работ обеспечивает возможность маневрировать количеством и качеством добываемого минерального сырья. Это достигается за счет значительного опережения вскрышных работ в карьере. Прежде всего, это связано с влиянием высокой изменчивости рынка минерального сырья. Как показали исследования, проведенные чл.-корр. РАН А.А. Пешковым в своей работе [6], опережение вскрышных работ (работа с углами наклона рабочих бортов 5-7°) «...позволяет реализовывать различные реакции предприятия не только на изменение горнотехнических

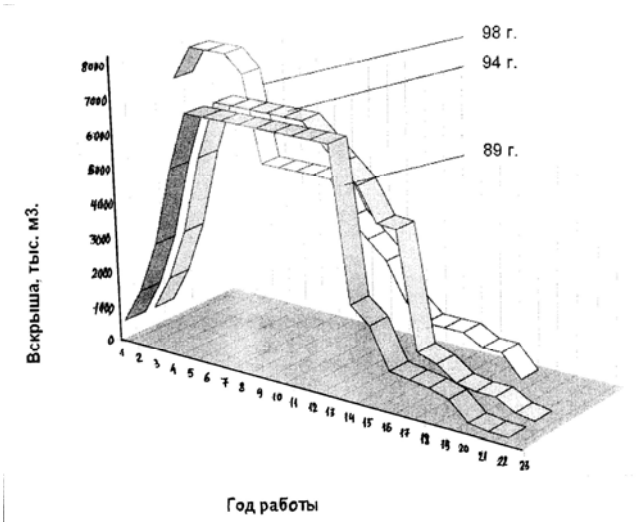

Рис. 1. Календарный график вскрышных работ для месторождения меди «50 лет Октября» (Казахстан)

-х- неоднородные руды
-о- однородные руды

Рис. 2. Зависимости: а) внутренней ставки дохода; б) длины добычного фронта горных работ от степени варьирования содержанием полезного компонента в рудопотоке

условий разработки, но и конъюнктуры рынка».

Влияние опережения вскрышных работ учитывалось в разработанной экономико-математической модели при определении экономической эффективности освоения условного мед-ного месторождения за счет маневрирования содержанием полезного компонента в рудопотоке. В разработанный модели использовался метод оценки эффективности освоения месторождения в пределах вероятною срока функционирования горного предприятия [6]. Полученные зависимости внутренней ставки дохода от степени варьирования содержанием полезного компонента в рудопотоке при различной изменчивости в рудах однородного (степень неоднородности 10-15 %) и неоднородного (степень неоднородности 20-25 %) месторождений (рис. 2, *а*) показывают что, на неоднородных рудных телах можно повысить степень варьирования за счет увеличения длины

фронта горных работ (рис. 2, *б*). Это достигается за счет меньшего объема горно-подго-товительных работ, необходимых для увеличения степени изменчивости при разработке таких руд. Из рис. 2, *б* видно, что длина фронта горных работ для достижения степени варьирования содержанием полезного компонента в рудопотоке 30 % для неоднородных руд существенно меньше, чем для однородных.

Для однородных запасов месторождения увеличить степень изменчивости полезного компонента в рабочей зоне карьера можно за счет сильного увеличения объема вскрышных работ. Стоимость этих работ поглощает экономический эффект от маневрирования содержанием полезного компонента в рудопотоке. Из рис. 2 видно, что длина фронта горных работ при степени изменчивости полезного компонента в рудопотоке 30 % возрастает в два раза. Для однородных руд с ростом степени варьирования содержанием полезного компонента в рудопотоке необходимая для маневрирования длина фронта горных работ увеличивается значительно быстрее, чем для неоднородных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адигамов Я.М., Оводенко Б.К.* Основы экономической оценки потерь руды при открытом способе разработки. - Ленинград; Наука, 1971.
2. *Каплунов Д.Р., Манилов И.А.* Стабилизация качества руды при подземной добыче. - М., Недра, 1983, - 236 с.
3. *Матерон Ж.* Основы прикладной геостатистики. - М.; Мир, 1971, - 192 с.
4. *Исследование* основных направлений повышения полноты использования полезных ископаемых при разработке месторождений открытым способом./ Отчет о НИР (промежуточ.) / ИПКОН АН СССР. Шитарев В.Г. и др – М.: ИПКОН АН СССР, 1977.
5. *Технико-экономическая* оценка освоения месторождения «50 лет Октября» (Республика Казахстан). - Нкатеринбург.: ОАО «УНИПРОМЕДЬ», 2001 г.
6. *Пешков А.А.* Управление развитием горных работ на глубоких карьерах. - М.: ИПКОН РАН, 1999. - 321 с.

Коротко об авторах

Морев А.Н. – ИПКОН РАН.