

*Р. ПЯЗОК*

## **О РАЦИОНАЛЬНОМ ОКОНТУРИВАНИИ БАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ ФОСФОРИТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭСТОНСКОЙ ССР ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ИХ РАЗРАБОТКЕ**

Оконтуривание промышленных запасов месторождений полезных ископаемых, как известно, осуществляется на основе кондиций, основными из которых являются взаимосвязанные между собой бортовое и минимальное среднее содержания полезного компонента в руде. По рекомендуемой ГКЗ СССР методике (Экономическая оценка..., 1965) эти показатели рассчитываются путем сопоставления ценности 1 т руды (по действующим оптовым ценам) и затрат на добычу и переработку. Содержание полезного компонента считается промышленным до тех пор, пока затраты на добычу и переработку не превысят сумму, получаемую от реализации конечного продукта.

Недостатком существующего порядка оконтуривания является невозможность установления оптимального уровня общих потерь полезного ископаемого в недрах. Потери за контуром балансовых запасов устанавливаются без учета возможного уровня потерь внутри его, т. е. проектных общешахтных и эксплуатационных. Между тем эти две категории потерь в определенной мере взаимосвязаны между собой. Наибольшая технологическая взаимосвязь наблюдается при подземном способе разработки месторождения, когда контур балансовых запасов определяет вынимаемую мощность пласта. Это обстоятельство полностью игнорируется в практике оконтуривания и эксплуатации месторождений. Определение уровня потерь различных категорий разобщено даже ведомственно. Законтурные потери фактически устанавливает ГКЗ СССР в виде акта утверждения балансовых запасов месторождения, а нормирование эксплуатационных потерь и контроль за ними являются прерогативой Госгортехнадзора СССР.

Оптимизация извлечения запасов месторождения возможна лишь в том случае, если контур балансовых запасов будет установлен с учетом соответствующего ему уровня внутриконтурных потерь при разработке. Для этого требуется изучение закономерностей изменения технико-экономических показателей эксплуатации месторождения в зависимости от общих потерь полезного ископаемого. Целью наших исследований является установление отмеченных закономерностей при подземной разработке фосфоритов. Исследования выполнены по материалам месторождения Тоолсе, однако методика и полученные результаты пригодны также для других месторождений фосфоритов Эстонской ССР.

Обширное по площади месторождение Тоолсе представлено почти горизонтальной пластообразной залежью выдержанной мощности. Характерной особенностью его является изменчивость содержания полезного компонента —  $P_2O_5$  — по мощности пласта, которое снижается от максимума в нижней части практически до нуля в верхней части. Промышленный пласт постепенно замещается непромышленной толщей песчаников. Верхняя граница выемки определяется путем эксплуата-



ционного опробования исходя из принятого бортового содержания  $P_2O_5$ . Таким образом, изменение контура балансовых запасов по существу сводится к варьированию вынимаемой мощности пласта. В соответствии с этим потери руды по мощности мы будем ниже рассматривать как законтурные, а по площади выемки — как внутриконтурные (общешахтные и эксплуатационные).

Основываясь на установленных ранее количественных закономерностях распределения содержания  $P_2O_5$  по мощности пласта и зависимостях показателей обогащения от качества добываемой руды (Пязок, 1981), рассмотрим взаимосвязь между потерями руды и  $P_2O_5$  по мощности. За верхнюю границу выемки примем условную отметку, соответствующую предельно извлекаемому бортовому содержанию полезного компонента (Померанцев, 1958; Гатов, 1967), равному содержанию его в хвостах обогащения. По нашим расчетам оно составляет 1,6% и соответствует вынимаемой мощности 4,6 м (средневзвешенная по месторождению) и среднему содержанию  $P_2O_5$  в добываемой руде 6,9%. Таким образом, принятая за начало отсчета мощность 4,6 м будет численно характеризовать геологический линейный запас месторождения ( $m^3/m^2$ ).

По мере уменьшения вынимаемой мощности с обратной пропорциональной зависимостью будут расти потери руды за контуром балансовых запасов и среднее содержание  $P_2O_5$  в добываемой руде, последнее улучшает технологические показатели обогащения и в результате интенсивности роста потерь  $P_2O_5$  будет меньшей по сравнению с интенсивностью потерь руды. Зависимость между потерями руды ( $P_B$ ) и  $P_2O_5$  ( $P_K$ ) (в процентах) описывается уравнением параболы

$$P_K = 0,064P_B + 0,007P_B^2,$$

график которого показан на рис. 1. Из графика видно, что потери  $P_2O_5$  возрастают прогрессивно. Если, к примеру, при потерях руды 20% они составляют всего 4%, то при 40% возрастают до 14%, т. е. более чем втрое. При утвержденных для месторождения кондициях (бортвое содержание  $P_2O_5$  4% и вынимаемая мощность 2,9 м) потери руды и  $P_2O_5$  по мощности пласта составляют соответственно 38,5 и 14,5%.

Потери по мощности и площади неравнозначны по качеству теряемой руды, поэтому привести их в сопоставимый вид и рассмотреть совместно можно лишь после пересчета на потери полезного компонента в соответствии с изменением выхода и извлечения его при обогащении. В результате соответствующих расчетов была составлена матрица потерь  $P_2O_5$  в координатах потерь руды по вертикали и горизонтали, на основе которой построены изолинии с интервалом 5% (рис. 2). С помощью полученной номограммы несложно оценить влияние изменения технологических параметров горных работ на потери полезного компонента. Допустим, месторождение намечено разрабатывать при вынимаемой мощности 2,9 м и потерях в целиках 26%. В таком случае общие потери  $P_2O_5$  составят 35%. Сокращение потерь по площади до 10% позволит сохранить ту же продуктивность пласта по концентрату при вынимаемой мощности 1,85 м, несмотря на рост потерь руды за контуром выемки в 1,6 раза. Если при этом вынимаемая мощность останется на прежнем уровне, то потери  $P_2O_5$  уменьшатся до 20%. По ординате  $P_r = 0$  графика видно, что в принятом диапазоне изменения вынимаемой мощности снижение потерь руды за контуром на 1% эквивалентно снижению потерь  $P_2O_5$  в среднем на 0,5%. Снижение потерь руды по площади дает больший эффект, поскольку оно равнозначно такому же снижению потерь  $P_2O_5$  (абсцисса  $P_r = 0$ ). Таким образом, устанавливается соответствующий эквивалент между различными категориями потерь руды.

Оптимальное извлечение запасов является экономической категорией



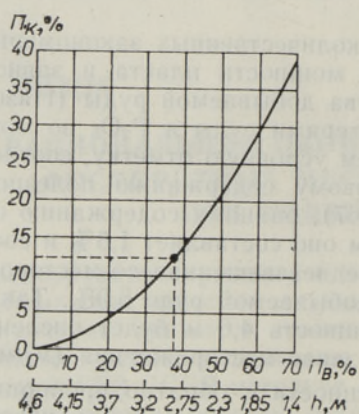


Рис. 1. Зависимость между потерями  $P_2O_5$  ( $\Pi_k$ ) и потерями руды по мощности ( $\Pi_v$ );  $h$  — вынимаемая мощность пласта.

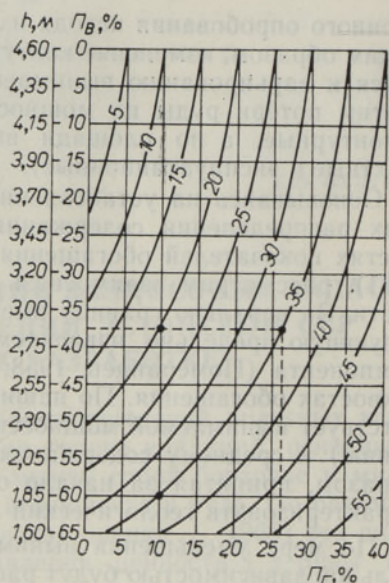


Рис. 2. Изолинии потерь  $P_2O_5$  (%) в зависимости от потерь руды по мощности ( $\Pi_v$ ) и площади пласта ( $\Pi_r$ );  $h$  — вынимаемая мощность пласта с округлением до 0,05 м.

и определяется исходя из народнохозяйственной эффективности эксплуатации месторождения. Совершенно очевидно, что оно должно устанавливаться с учетом не только хозрасчетных экономических показателей предприятия, но и общего количества добытого из месторождения полезного ископаемого. Новейшая методика экономической оценки месторождений предписывает использование в качестве критерия эффективности при оконтуривании балансовых запасов общего дохода, полученного за весь период эксплуатации месторождения (Временная типовая методика ..., 1980). Для пластовых месторождений фосфоритов равноценным критерием может служить доход (прибыль) с единицы площади пласта, определяемый из выражения  $R = (\Pi - C_k - K_y) \gamma_r \cdot \gamma_k$ , руб/м<sup>2</sup>,

где  $\Pi$  — действующая оптовая цена конечного продукта (концентрата);

$C_k$  — полная себестоимость концентрата;

$K_y$  — капиталовложения на единицу извлекаемых запасов полезного компонента (в расчете на концентрат);

$\gamma_r$  — выход руды с 1 м<sup>2</sup> площади месторождения;

$\gamma_k$  — выход концентрата из руды при обогащении.

Поскольку прибыль с 1 м<sup>2</sup> площади зависит не только от затрат на добычу и переработку руды, но и от продуктивности пласта по полезному компоненту, определяемой, в свою очередь, уровнем потерь руды по мощности и площади, то она будет справедливо отражать общую эффективность разработки месторождения с учетом извлечения его запасов.

Практическая реализация критерия эффективности требует установления взаимосвязей между определяющими по переменными величинами. В первую очередь нужно установить, как влияют общие потери руды на себестоимость концентрата и величину капитальных вложений при конкретной технологии горных работ,



Анализ структуры проектных показателей по элементам затрат и статьям расходов позволил вывести математические модели себестоимости и капитальных вложений в зависимости от уровня потерь руды по мощности пласта и площади выемки (Пязок, 1982). С помощью их была синтезирована общая модель прибыли с 1 м<sup>2</sup> площади месторождения в зависимости от уровня потерь:

$$R = (2,12\Pi - 20)\gamma_p\gamma_k - 9,8\gamma_p - \frac{0,63}{\gamma_k} - 18, \text{ руб/м}^2.$$

Модель справедлива для системы разработки с закладкой при условии постоянства производственной мощности предприятия по концентрату. Все переменные параметры в ней являются зависимыми от уровня потерь руды и определяются следующим образом.

Выход руды с 1 м<sup>2</sup> площади:

$$\gamma_p = 4,6(1 - 0,01\Pi_B)(1 - 0,01\Pi_r), \text{ м}^3,$$

где  $\Pi_B$  и  $\Pi_r$  — потери руды соответственно по мощности и площади, %.

Выход концентрата из руды:

$$\gamma_k = \frac{\alpha(71,7 + 1,052\alpha)}{2800},$$

где  $\alpha$  — среднее содержание  $P_2O_5$  в добываемой руде, %.

$$\alpha(h) = \frac{16,99}{h} \int_0^h e^{\frac{-h+0,5}{2}} dh,$$

где  $h$  — вынимаемая мощность, соответствующая потерям  $\Pi_B$ , м.

Реализация модели после подстановки в нее оптовой цены на 28%-ный концентрат 43 руб/т позволила получить матрицу значений показателя в координатах потерь руды по мощности и площади. Интерполированием значений показателя в матрице построена номограмма (рис. 3), иллюстрирующая количественно характер зависимости между исследуемыми величинами. Номограмма образована изолиниями прибыли, построенными с интервалом 2 руб/м<sup>2</sup>, отрицательные изолинии отмечены пунктиром, нулевая ограничивает предел допустимых потерь руды, при котором эксплуатация месторождения является рентабельной.

Как видно из рис. 3, прибыль с 1 м<sup>2</sup> площади изменяется под влиянием потерь по площади монотонно, а под влиянием потерь по мощности экстремально, достигая максимума при вынимаемой мощности около 2,3 м независимо от уровня потерь в целых процентах.

Отклонения в большую или меньшую сторону вызывают снижение прибыли, прогрессирующее по мере удаления от оптимальной зоны.

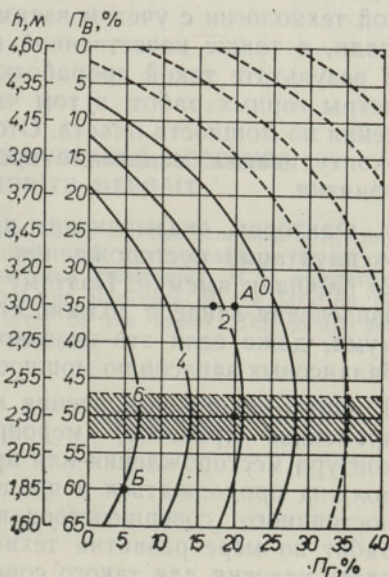


Рис. 3. Изолинии прибыли с 1 м<sup>2</sup> площади месторождения (руб.) в зависимости от потерь руды по мощности и площади пласта. А и Б — сравниваемые варианты горных работ.



Пользуясь рис. 3, можно провести сопоставление по эффективности различных вариантов горных работ и установить эквиваленты между потерями разных категорий. Допустим, к внедрению намечен вариант А с соответствующей ему прибылью 1,5 руб/м<sup>2</sup>. Из рис. 3 видно, что при данном уровне потерь в целиках вынимаемая мощность не является оптимальной. Уменьшив мощность до 2,3 м и увеличив потери за контуром выемки на 15%, прибыль можно повысить до 2,3 руб. Отсюда градиент роста прибыли составляет  $(2,3 - 1,5) : 15 = 0,05$  руб. на 1% изменения потерь. Аналогичный рост прибыли можно получить при сохранении вынимаемой мощности на прежнем уровне, но снижении потерь в целиках с 20 до 17%, или на 3%. Градиент роста прибыли составит в таком случае  $(2,3 - 1,5) : 3 = 0,27$ . Таким образом, по своему экономическому значению снижение потерь руды по площади на 1% эквивалентно росту потерь по мощности на 5%. Допустим также, что у намеченного к внедрению варианта имеется альтернативный вариант Б, обеспечивающий снижение потерь по площади до 5% при условии уменьшения вынимаемой мощности до 1,85 м. При заданном контуре балансовых запасов по мощности реализация варианта немыслима, хотя он в 4 раза эффективнее по сравнению с базисным вариантом и увеличивает прибыль с 1 м<sup>2</sup> площади месторождения от 1,5 до 6 руб. Таким образом, при жестко заданном контуре выемки по мощности пласта возможности маневра в поисках оптимальных технологических параметров горных работ резко ограничены.

Установленная область оптимальных значений вынимаемой мощности пласта соответствует заложенной в модель оптовой цене концентрата. С повышением уровня цен она, естественно, будет смещаться в сторону увеличения мощности. Соответственно этому, как показали специальные расчеты, еще более преобладающим по своему влиянию на прибыль становится фактор изменения уровня потерь по площади пласта.

Обобщая результаты исследований, попытаемся сформулировать некоторые выводы, отражающие общие принципы оптимизации извлечения запасов фосфоритных месторождений.

1. Существующий порядок оконтуривания месторождений не способствует оптимизации извлечения запасов и требует пересмотра. Установление оптимального уровня извлечения запасов возможно лишь путем детальной технико-экономической проработки различных вариантов горной технологии с учетом взаимосвязей потерь руды по мощности и площади, а также качественной неравнозначности этих категорий потерь. В результате такой проработки будут установлены оптимальные параметры горных работ, в том числе и промышленный контур месторождения по мощности пласта. Отсюда вытекает необходимость совмещения оконтуривания запасов с проектированием горнодобывающего предприятия.

2. Фактором, оказывающим преобладающее влияние на эффективность эксплуатации месторождения, является изменение уровня потерь руды по площади выемки. Поэтому главным направлением при оптимизации извлечения запасов должно стать снижение потерь в целиках до минимума, даже если это связано с необходимостью уменьшения контура балансовых запасов по мощности пласта.

3. Оптимизацию извлечения запасов нельзя рассматривать как единовременное (разовое) мероприятие, оканчивающееся установлением контура месторождения или проектного уровня потерь по площади. Она должна продолжаться в процессе эксплуатации месторождения в виде постоянного совершенствования технологических паспортов горных работ по мере развития технического уровня производства. Чтобы создать условия для такого совершенствования и подчинить их критерию



оптимальности извлечения запасов необходимо иметь варьируемый контур выемки по мощности, устанавливаемый самим предприятием с учетом технологически возможного уровня внутриконтурных потерь. Одновременно с этим необходимо разработать более обобщенные нормативные показатели, стимулирующие оптимальное извлечение запасов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Временная типовая методика экономической оценки месторождений полезных ископаемых. М., 1980.
- Гатов Т. А. Техничко-экономическое обоснование уровня минимального содержания цветных металлов в руде. М., 1967.
- Померанцев В. В. Критический обзор литературы о кондициях для оценки и подсчета запасов месторождений цветных металлов. — Бюро техн. информации, ноябрь, 1958.
- Пязок Р. Взаимосвязь закономерностей распределения компонентов в фосфоритах месторождения Тоолсе с извлечением запасов. — Изв. АН ЭССР. Геол., 1981, 30, 156—160.
- Пязок Р. Зависимость эффективности подземной разработки фосфоритных месторождений Эстонии от уровня потерь полезного ископаемого в недрах. — Изв. АН ЭстССР. Обществ. н., 1982, 31, 197—208.
- Экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. М., 1965.

Институт экономики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
9/II 1982

R. PÄSOK

### EESTI FOSFORIIDILEIUKOHTADE BILANSILISTE VARUDE KONTUURIDE RATSIONAALSEST MÄÄRAMISEST ALLMAAKAEVANDAMISE PUHUL

Artikkel käsitleb kasuliku komponendi saagist ja kasumit leiukoha pindalaühiku kohta maagikadude suurusest lähtudes. On näidatud, et bilansiliste varude kontuuride määramine kihi paksuse järgi enne ettevõtte projekteerimist (arvestamata kontuurisiseid maagikadusid) ei soodusta maavarade ratsionaalset kasutamist. Väljamispaksus on otstarbekas määrata projekteerimistööde ajal tehnoloogiavariantide kaalumise tulemusena. Optimaalsuskriteeriumina soovitatakse käsitada kasumit leiukoha pindalaühiku kohta.

R. PÄSOK

### ON RATIONAL CONTOURING OF RECOVERABLE RESERVES OF THE ESTONIAN PHOSPHORITE DEPOSIT

The impact of extracontoural and intracontoural ore losses on the economic efficiency of the exploitation of the deposit has been studied and the prevailing impact of intracontoural losses on the profit per deposit unit area ascertained. It is suggested that the contours of recoverable reserves throughout the thickness of the stratum be determined as dependent upon the technological level of the losses. The profit per deposit unit area is considered to be the optimality criterion.