

<https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1982.3.01>

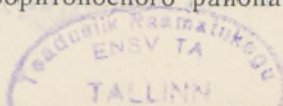
*Р. ПЯЗОК*

## ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ФОСФОРИТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭСТОНИИ ОТ УРОВНЯ ПОТЕРЬ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО В НЕДРАХ

Полнота извлечения полезного ископаемого при разработке месторождений оказывает существенное влияние на экономические показатели горнодобывающего предприятия и народнохозяйственную эффективность использования недр. Разработанная академиком М. И. Агошковым и утвержденная Госгортехнадзором СССР методика [1] дает оценку экономическим последствиям потерь в границах утвержденных балансовых запасов месторождения. Однако балансовые запасы, оконтуренные исходя из кондиций на минеральное сырье, сами являются экономической категорией и уже обуславливают определенный уровень потерь полезного ископаемого за контуром запасов, что не учитывается данной методикой. Потери за контуром балансовых запасов и внутриконтурные — общешахтные и эксплуатационные по сути вызывают качественно одинаковые экономические последствия и имеют некоторые технологические взаимосвязи. Это требует их совместного учета при обосновании способа выемки и технологических параметров горных работ. Именно с таких позиций попытаемся рассмотреть зависимости между экономическими показателями и полнотой извлечения запасов фосфоритных месторождений.

Характерной особенностью фосфоритных месторождений Эстонии является изменчивость содержания полезного компонента —  $P_2O_5$  в зависимости от мощности пласта, который постепенно замещается в кровле непромышленной толщей песчаников. Верхняя граница выемки определяется на основе принятого бортового содержания  $P_2O_5$ , по данным опробования, зависящие от нее параметры — величина балансовых запасов месторождения и среднее содержание  $P_2O_5$  в добываемой руде. При разработке месторождений имеют место две категории потерь руды: по мощности пласта (законтурные потери в кровле выработки) и по площади выемки (внутриконтурные потери в различных рода целиках). Вместе они определяют полноту извлечения общих (геологических) запасов месторождений и кроме того от уровня потерь руды по мощности зависит ее качество, влияющее на показатели обогащения. Совокупное влияние потерь на эффективность разработки месторождений можно установить, исследовав зависимости между экономическими показателями и соответствующими параметрами горных работ.

Исследования выполнены по материалам месторождения Тоолсе, с учетом аналогии можно предположить, что выявленные закономерности и полученные результаты в определенной мере пригодны также для других месторождений Раквереского фосфоритноносного района.



## Влияние уровня потерь на хозрасчетные показатели горнодобывающего предприятия

Исследования проводились в условиях системы разработки с закладкой и буро-взрывным способом отбойки руды, принятой техническим проектом рудника Тоолсе. Такая технология представляется единственно реальной для фосфоритных месторождений на современном этапе развития горного дела и с учетом требований в области охраны окружающей среды. Она позволяет сохранить земную поверхность в границах шахтного поля и предотвратить опасность самовозгорания залегающего над фосфоритами диктинемового сланца. Применение искусственных целиков из твердеющей закладки вместо естественных создает реальные условия для сокращения потерь руды по площади до минимума. Использование в качестве закладочного материала флотационных хвостов обогащения руды позволит создать безотходную технологию при разработке месторождения и исключит необходимость изъятия под хвостохранилище больших земельных площадей.

Исходными данными послужили материалы технического проекта рудника Тоолсе. Дифференциация и анализ проектных затрат по калькуляционным статьям и элементам позволили синтезировать математические модели главных хозрасчетных показателей, отображающие их зависимость от уровня потерь руды. Для удобства пользования моделями (учитывая разницу в плотностях сырой руды и концентрата) все показатели приведены в расчете на  $1 \text{ м}^3$ . Модели показателей имеют нижеследующий вид.

1. Себестоимость добычи руды:

$$C_p = 6 + \frac{10,05}{\gamma_p} + 7,83\gamma_k;$$

2. Себестоимость обогащения в расчете на  $1 \text{ м}^3$  концентрата:

$$C_{об} = \frac{3,35}{\gamma_k} + \frac{0,45(1 - \gamma_k)}{\gamma_k} + 9,15;$$

3. Полная себестоимость концентрата, включая общезаводские и внепроизводственные расходы:

$$C_k = \frac{9,8}{\gamma_k} + \frac{10,05}{\gamma_p \cdot \gamma_k} + 20;$$

4. Удельные капиталовложения на  $1 \text{ м}^3$  производственной мощности предприятия по концентрату:

$$K_y = 400 + \frac{31,88}{\gamma_k};$$

5. Приведенные затраты на  $1 \text{ м}^3$  концентрата при нормативном коэффициенте эффективности капиталовложений  $0,15$ :

$$S = \frac{14,58}{\gamma_k} + \frac{10,05}{\gamma_p \cdot \gamma_k} + 80.$$

Модели имеют два варьируемых параметра: выход руды с  $1 \text{ м}^2$  площади пласта ( $\gamma_p$ ) и выход из нее концентрата при обогащении ( $\gamma_k$ ). Первый из них зависит от уровня потерь руды как по мощности, так

и площади, второй является функцией среднего содержания  $P_2O_5$  в добываемой руде, которое зависит от высоты выемки, т. е. в конечном счете от потерь руды по мощности. Таким образом модели учитывают не только изменение общего уровня потерь, но и связанное с ним изменение качества добываемой руды. Цифровые коэффициенты представляют собой базисные (проектные) значения различных категорий затрат (постоянных на единицу продукции, единицу запасов и постоянных годовых). Модели справедливы при условии постоянства производственной мощности предприятия по конечному продукту — концентрату независимо от уровня потерь, — такая стратегия управления запасами была принята нами за основу.

Варьируемые параметры — выход руды с 1 м<sup>2</sup> площади пласта и выход концентрата из руды определяются на основе установленных ранее количественных закономерностей распределения содержания полезного компонента по мощности пласта и зависимостей показателей обогащения от качества добываемой руды [2].

Выход руды с 1 м<sup>2</sup> площади пласта:

$$\gamma_p = 4,6(1 - 0,01 P_B) \cdot (1 - 0,01 P_r), \text{ м}^3,$$

где 4,6 — средневзвешенные по месторождению начальный линейный запас (м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>) или высота выемки, ограниченные предельно извлекаемым бортовым содержанием полезного компонента [3]. Данная величина, принятая за начальную точку отсчета потерь по мощности, соответствует бортовому содержанию  $P_2O_5$  1,6% и среднему содержанию в добываемой руде 6,9%.

$P_B$  и  $P_r$  — потери руды соответственно по мощности и площади, %.

Выход концентрата с содержанием  $P_2O_5$  28% 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  $h$  — высота выемки, соответствующая потерям,  $P_B$ , м.

Реализация математических моделей позволила составить матрицы показателей в координатах потерь по мощности и площади, диапазоны варьирования которых были приняты соответственно 0...65 и 0...40%. Большинство показателей испытывает одновременное и совокупное влияние двух категорий потерь, ориентированных в различных направлениях — по вертикали и горизонтали. Поэтому для детального изучения этого влияния целесообразно использование элементов векторного анализа. Представим изменение показателей в виде векторов-градиентов, ориентированных в двумерном пространстве (вертикальной плоскости) и численно равных приросту показателя в процентах на один процент изменения уровня потерь руды. Соединив концы векторов-градиентов, получим кривую в координатной сетке потерь по мощности и площади или годограф векторной функции. Рассчитанные по данным матриц показателей годографы представлены на рис. 1, где первая шкала координат служит масштабом для векторов-градиентов (% на %), вторая шкала показывает направленность и масштаб потерь руды по мощности ( $P_B$ ) и площади ( $P_r$ ).

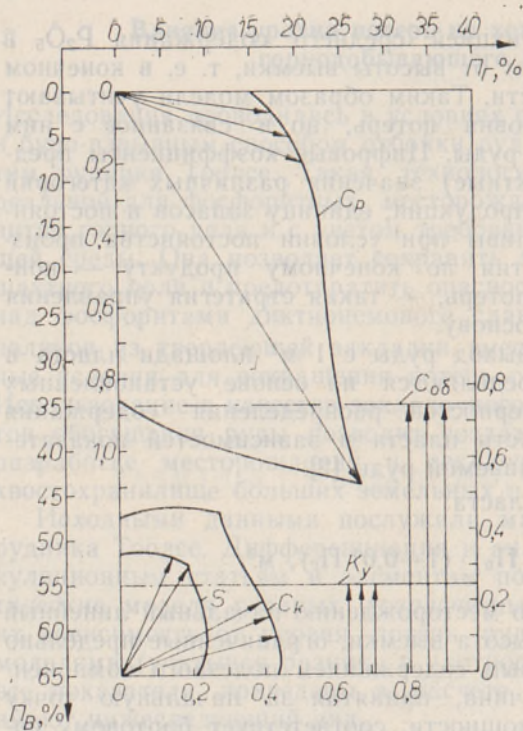


Рис. 1. Векторные диаграммы градиентов показателей в координатах потерь руды по мощности  $P_v$  и площади  $P_r$ .  $C_p$  — себестоимость добычи руды;  $C_{об}$  — себестоимость обогащения в расчете на концентрат;  $C_k$  — полная себестоимость концентрата;  $K_y$  — удельные капиталовложения;  $S$  — приведенные затраты.

Рассмотрим закономерности изменения показателей по их векторным диаграммам. Начало векторов-градиентов себестоимости добычи руды — точка с нулевыми потерями по мощности и площади, значит минимальная себестоимость соответствует максимуму извлечения руды с  $1 \text{ м}^2$  площади пласта. Это закономерно и объясняется наибольшей производительностью предприятия по

руде, расход которой на единицу концентрата возрастает пропорционально увеличению высоты выемки пласта. Кроме того повышение извлечения руды с единицы площади дает экономию по затратам, постоянным на единицу запасов. По мере роста обеих категорий потерь себестоимость добычи прогрессивно повышается, что свидетельствует о взаимно усугубляющемся влиянии отмеченных факторов. Преобладающий по влиянию фактор — рост потерь по мощности. Эти закономерности объясняют вытянутый по вертикали остроугольный вид диаграммы. Можно заметить, что с хозяйственных позиций горного цеха предприятия увеличение высоты выемки предпочтительнее снижения уровня потерь по площади, поскольку это дает большую экономию по себестоимости, чем, например, уменьшение размеров целиков.

Себестоимость обогащения при постоянной мощности предприятия по концентрату подвержена влиянию единственного фактора — изменения уровня потерь по мощности, поскольку это связано с изменением качества обогащаемой руды. Поэтому диаграмма ее представляется горизонтальной линией, ограничивающей множество равнонаправленных коллинеарных векторов с модулем 0,75. Это значит, что в принятом диапазоне потерь руды по мощности снижение их на 1% вызывает рост затрат на 0,75%. Аналогична векторная диаграмма удельных капиталовложений (модуль вектора-градиента 0,25). Это отнюдь не означает, что капиталовложения вообще не зависят от изменения уровня потерь руды по площади. С ростом потерь будут увеличиваться капиталовложения на единицу извлекаемых запасов руды и  $P_2O_5$ , но поскольку мощность предприятия по концентрату постоянна, то неизменными остаются и капиталовложения на единицу годовой мощности. Таким образом, зависимость показателя только от одного фактора — частный случай, соответствующий принятой нами производственной стратегии.

На себестоимость концентрата и приведенные затраты факторы изменения уровня потерь влияют разнонаправленно: рост потерь руды по мощности — благоприятно, а рост потерь по площади — неблагоприятно. В результате началом векторов-градиентов служит точка с нулевыми потерями по площади и максимальными потерями по мощности. Последнее, однако, не означает, что зависимости между уровнем потерь по мощности и показателями — бесконечно убывающие функции. Очевидно, минимум функций находится за пределами диапазона варьирования аргумента (т. е. при потерях выше 65%) и соответствующей этому высоте выемки менее 1,6 м.

Факторы изменения уровня потерь влияют на показатели взаимосвязанно. Рост потерь по мощности вызывает снижение себестоимости концентрата и приведенных затрат и одновременно усиливает влияние на них потерь руды по площади. Рост последних, наоборот, вызывает увеличение показателей и ослабляет влияние на них потерь руды по мощности. Практическая интерпретация отмеченной взаимосвязи между данными факторами наводит на мысль, что наибольшая экономия от уменьшения высоты выемки достигается при минимальных потерях в целиках, с другой стороны, экономия за счет снижения потерь в целиках начинает все больше проявляться по мере уменьшения высоты выемки. Диаграмма приведенных затрат в целом похожа на диаграмму себестоимости концентрата, но имеет меньшие значения модулей образующих ее векторов-градиентов и более вытянута по вертикали. Последнее объясняется влиянием на показатель составляющей капиталовложений (зависящих только от потерь руды по мощности) в модели приведенных затрат.

Сравнительная оценка влияния уровней потерь на показатели может быть произведена путем разложения векторов-градиентов на составляющие по осям координат. Сопоставив полученные средние значения составляющих по осям ординат и абсцисс, установим удельное влияние на показатели изменения уровней потерь руды соответственно по мощности и площади. Результаты таких расчетов приведены в таблице, где для каждого фактора даны средние значения составляющих градиентов (в процентах на один процент изменения уровня потерь) и их удельный вес. Знаки «+» и «—» означают соответственно рост и снижение показателя.

Сравнительная оценка влияния потерь на показатели

Показатели	Факторы			
	Рост потерь руды по мощности		Рост потерь руды по площади	
	градиент показателя	уд. вес фактора, %	градиент показателя	уд. вес фактора, %
Себестоимость добычи руды	+0,98	66	+0,50	34
Себестоимость обогащения	-0,75	100	0	0
Себестоимость концентрата	-0,38	55	+0,31	45
Удельные капиталовложения	-0,25	100	0	0
Приведенные затраты	-0,31	67	+0,15	33

Приведенные цифры показывают, что наибольшее относительное изменение характерно для себестоимостей добычи руды и обогащения, меньше всего изменяются приведенные затраты. Об этом, впрочем, можно было уже судить по размерам векторов-градиентов на рис. 1.

Себестоимость обогащения и удельные капиталовложения зависят, как уже упоминалось, только от изменения уровня потерь руды по мощности, поэтому удельный вес данного фактора равен 100%. На себестоимость концентрата оба фактора влияют примерно одинаково (55 и 45%). Одна треть общего влияния на себестоимость добычи руды и приведенные затраты приходится на рост потерь руды по площади и две трети на рост потерь по мощности. Таким образом последний фактор — рост потерь по мощности — можно считать доминирующим.

Выявленная структура влияния позволяет установить определенный экономический эквивалент между различными категориями потерь руды. Можно, например, утверждать, что по влиянию на приведенные затраты снижение потерь по площади на 1% эквивалентно росту потерь руды по мощности на 0,5%, поскольку вызывает одинаковое изменение затрат. С другой стороны, рост потерь руды по площади на 1% можно компенсировать увеличением потерь по мощности на 0,5%, тогда не произойдет повышения затрат. По влиянию на себестоимость концентрата снижение потерь по площади на 1% эквивалентно росту потерь по мощности на 0,8%.

Хозрасчетные экономические показатели предприятия формируются под влиянием различных производственных факторов, связанных с изменением уровня потерь. Рост общих потерь, с одной стороны, вызывает увеличение ряда категорий производственных затрат на единицу продукции, а с другой стороны, рост потерь по мощности приводит к улучшению качества добываемой руды, уменьшению расхода ее на единицу концентрата и соответствующей экономии по производственным затратам. Выявленные закономерности изменения показателей в зависимости от уровня потерь свидетельствуют о том, что доминирующий фактор — улучшение качества добываемой руды. Именно этим объясняется обратная связь между показателями (кроме себестоимости добычи руды) и уровнем потерь по мощности, а также преобладающее влияние последних на показатели.

По результатам проведенного анализа влияния потерь на экономику предприятия можно сделать вывод, что хозрасчетные показатели в целом не стимулируют снижения уровня потерь и на основе их невозможно установить оптимальную степень извлечения запасов месторождения. Минимизация главного показателя — приведенных затрат — требует сокращения потерь руды по площади до нуля при одновременном росте потерь по мощности до максимума. Если исходить из экономических эквивалентов различных категорий потерь, то предприятию в конкретных условиях выгоднее вместо снижения потерь в целях пойти на уменьшение высоты выемки и таким образом еще большее увеличение общего уровня потерь. Налицо принципиальное расхождение хозрасчетных интересов предприятия с народнохозяйственным требованием рационального использования недр.

### Критерий оптимального извлечения запасов

Оптимальное извлечение запасов должно определяться с позиций народнохозяйственной эффективности эксплуатации месторождения, которая зависит помимо экономических показателей горнодобывающего предприятия от общего количества добытого из месторождения полезного ископаемого и уровня цен на него. Утвержденная типовая методика экономической оценки месторождений при оконтуривании балансовых запасов предлагает использовать в качестве критерия эффективности общий доход, полученный за весь период эксплуатации месторождения [4]. Доход определяется исходя из действующих оптовых цен

на реализуемый предприятием продукт. Для пластовых месторождений фосфоритов более удобным в обращении и равноценным по содержанию критерием может служить доход (прибыль) с 1 м<sup>2</sup> площади месторождения, определяемый из следующего выражения:

$$R = (\Pi - C_k - K'_y) \gamma_p \cdot \gamma_k, \text{ руб./м}^2,$$

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

$K'_y$  — капиталовложения на единицу извлекаемых из месторождения запасов полезного компонента (концентрата);

$C_k$  — полная себестоимость концентрата;

$\gamma_p$  и  $\gamma_k$  — соответственно выход руды с 1 м<sup>2</sup> площади пласта и выход концентрата из руды.

Рассчитанная таким образом прибыль предусматривает покрытие эксплуатационных и капитальных затрат за счет реализации концентрата. Величина капиталовложений на единицу извлекаемых запасов концентрата по месторождению определялась путем анализа структуры сметной стоимости строительства по проекту рудника. В результате синтезировано выражение, характеризующее зависимость показателя от тех же варьируемых параметров, которые были использованы в моделях хозяйственных показателей предприятия:

$$K'_y = \frac{10,32}{\gamma_p \cdot \gamma_k} \left( 0,77 + \frac{0,061}{\gamma_k} \right), \text{ руб./м}^3.$$

Подставив в выражение прибыли значения себестоимости концентрата и капиталовложений на единицу извлекаемых запасов концентрата, получим после соответствующих преобразований математическую модель зависимости прибыли от продуктивности пласта, т. е. по существу от уровня потерь руды:

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

Модель справедлива, как и все вышерассмотренные модели, при условии постоянства производственной мощности предприятия по концентрату независимо от уровня потерь.

В результате расчетов по модели после подстановки в нее оптовой цены на 28%-ный фосфоритный концентрат 43 руб./т, введенной в действие с 1 января 1982 г., была получена матрица значений показателя в координатах потерь руды по мощности пласта и площади выемки. Интерполированием значений величин матрицы построена номограмма (рис. 2), отражающая количественную взаимосвязь между показателем и величиной различных категорий потерь. Номограмма образована поверхностями уровней прибыли (изолиниями), построенными с шагом квантования 2 руб./м<sup>2</sup>, отрицательные изолинии проведены пунктиром, нулевая ограничивает предел допустимых потерь руды по площади и мощности в их сочетании, при котором эксплуатация месторождения рентабельна.

Как видно по рис. 2, прибыль с 1 м<sup>2</sup> площади месторождения изменяется под влиянием потерь руды по площади монотонно, а под влиянием потерь руды по мощности — экстремально, достигая максимума при высоте выемки 2,3 м, независимо от уровня потерь в целиках. Область максимума довольно расплывчата, если задаться погрешностью расчета показателя 0,2 руб./м<sup>2</sup>, то получится область оптимальных значений высоты выемки 2,15...2,45 м, заштрихованная на рис. 2. Откло-

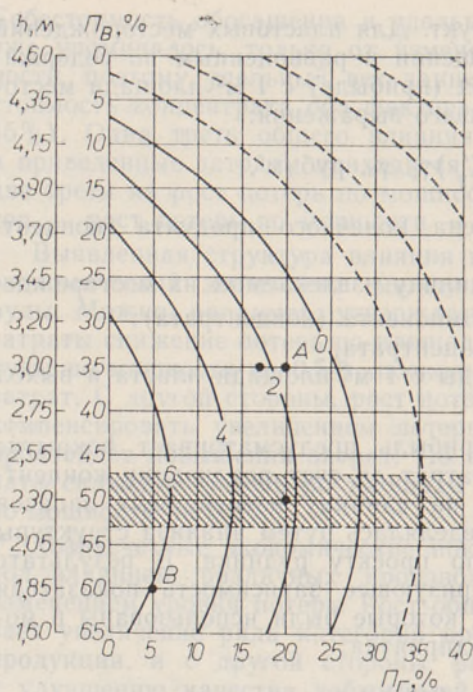


Рис. 2. Изолинии прибыли (руб.) с 1 м<sup>2</sup> площади погашаемых запасов в координатах потерь руды по мощности  $P_v$  и площади  $P_r$ .  $h$  — высота выемки (с округлением до 0,05 м); A, B — сравниваемые варианты.

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

С помощью рис. 2 можно наглядно сравнить варианты горных работ с различными технологическими параметрами по их экономической эффективности. Обратимся к конкретным примерам. Допустим, к внедрению намечен вариант A с потерями в целиках 20% при высоте выемки 3 м, соответствующая ему прибыль с 1 м<sup>2</sup> площади пласта составляет 1,5 руб. Из рисунка вид-

но, что при данном уровне потерь в целиках мощность выемки завышена по сравнению с оптимальной. Уменьшив ее до оптимума (2,3 м) и тем самым увеличив потери руды за контуром выемки от 35 до 50% (на 15%), повышаем прибыль до 2,3 руб. на м<sup>2</sup>. Таким образом градиент роста прибыли составит  $(2,3 - 1,5) : 15 = 0,053$  руб. на 1% изменения уровня потерь. Такого же роста прибыли можно добиться при сохранении вынимаемой мощности на прежнем уровне и снижении потерь руды в целиках до 17% или на 3%. В этом случае градиент роста прибыли будет  $(2,3 - 1,5) : 3 = 0,27$ . Отсюда следует, что по влиянию на эффективность разработки месторождения снижение потерь руды в целиках на 1% эквивалентно отклонению уровня потерь по мощности пласта от оптимума на 5%. Таким образом, доминирующим фактором становится изменение уровня потерь руды в целиках. Вспомним, что по влиянию на хозяйственные показатели предприятия преобладающим был фактор изменения уровня потерь руды по мощности пласта.

Установленная область оптимальных значений высоты выемки соответствует заложенной в модель действующей оптовой цене на концентрат. С повышением уровня цен она, естественно, будет смещаться в сторону увеличения. Как показали специально выполненные расчеты, оптимум повышается по затухающей кривой, стабилизуясь при двукратном росте цен на уровне 3,5—3,7 м. Одновременно с этим большее значение по влиянию на прибыль приобретает фактор изменения уровня потерь руды по площади.

Между потерями руды по площади и мощности наблюдается определенная технологическая взаимосвязь. Известно, например, что зона влияния опорного давления, определяющая размеры охранных целиков, возрастает пропорционально высоте выемки. Горизонтальные размеры целиков при одинаковой несущей способности последних имеют обратную связь с высотой горных выработок. Известно, наконец, что размеры целиков зависят в некоторой степени от интенсивности горных работ, которая также связана с высотой выемки. С учетом всего ска-



занного уровень потерь по площади должен стать первичным и основным минимизируемым параметром при выборе технологии выемки полезного ископаемого. Высота выемки и потери руды в кровле выработки имеют подчиненное значение и должны определяться как возможные технологические параметры, обеспечивающие наибольшую полноту выемки по площади.

Выбор проектного варианта технологии и любое совершенствование технологических параметров в процессе эксплуатации месторождения должны быть подчинены единственному критерию — максимизации прибыли с 1 м<sup>2</sup> площади погашаемых запасов. Удовлетворить это требование можно лишь в том случае, если проектировщикам и эксплуатационникам предоставить право определять не только уровень потерь руды по площади, но и сам контур вынимаемых запасов по мощности пласта. Обратимся вновь к рис. 2. Допустим, что у намеченного к внедрению варианта имеется альтернативный вариант В, обеспечивающий снижение потерь руды по площади до 5% при условии уменьшения высоты выемки до 1,85 м. При заданном контуре выемки по мощности 3 м практическая реализация варианта В невозможна, хотя он в 4 раза эффективнее базисного варианта А и повышает прибыль с 1 м<sup>2</sup> площади месторождения от 1,5 до 6 руб. Таким образом, при существующей сейчас практике жестко заданного контура балансовых запасов руды по мощности пласта возможности маневра в поисках оптимальных параметров горных работ резко ограничены.

#### О взаимосвязи между извлечением запасов и сроком отработки месторождения

Как известно, рост уровня потерь при постоянной мощности предприятия связан с сокращением срока отработки месторождения. Именно это — основной аргумент, противопоставляемый сторонниками максималистской концепции управления запасами минерального сырья всяким попыткам обосновать оптимальный уровень потерь полезного ископаемого в недрах. Категорическое требование максимального извлечения запасов месторождений, включая их бедные участки, обычно сопутствует стадии оконтуривания балансовых запасов, в то же время из поля зрения часто выпадает вопрос возможного уровня общешахтных и эксплуатационных потерь. Между тем срок отработки месторождения определяется не только величиной балансовых запасов, но и полнотой их извлечения, таким образом, на него оказывают совокупное влияние различные категории потерь полезного ископаемого.

Рассмотрим количественную взаимосвязь между уровнями потерь руды по мощности и площади и сроком отработки фосфоритных месторождений. При принятом нами условии — постоянная мощность предприятия по концентрату — срок службы будет пропорционален выходу концентрата с 1 м<sup>2</sup> площади погашаемых запасов, зависящему от выхода руды с учетом ее потерь в целиках и кровле выработки ( $\gamma_p$ ) и выхода концентрата из единицы добытой руды ( $\gamma_k$ ) с учетом ее качества. На основе данных технического проекта рудника Тоолсе при годовой мощности предприятия по концентрату 1,53 млн. т получено следующее выражение срока отработки месторождения:

$$t = 50,3\gamma_p \cdot \gamma_k \text{ лет,}$$

в котором цифровой коэффициент представляет собой отношение базисного (проектного) срока службы рудника к базисному выходу концентрата с 1 м<sup>2</sup> площади погашаемых запасов.

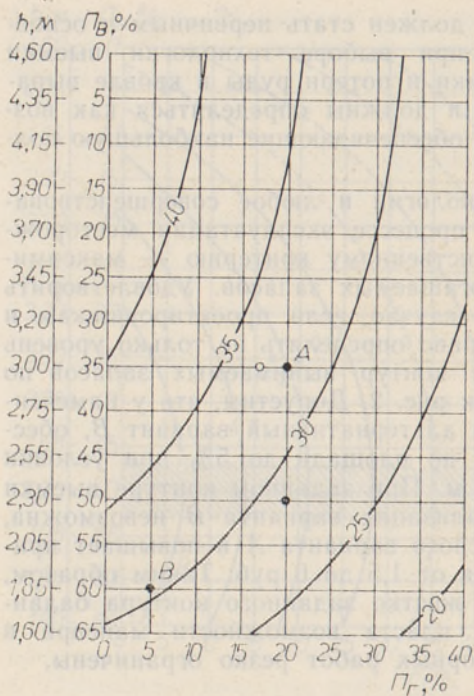


Рис. 3. Изолинии срока службы рудника (лет) в координатах потерь руды по мощности  $P_v$  и площади  $P_g$ ; А, В — сравниваемые варианты.

По результатам выполненных расчетов построена номограмма (рис. 3), состоящая из изолиний срока отработки месторождения в координатах потерь руды по мощности и площади с шагом квантования 5 лет. По характеру изолиний видно, что изменение уровня потерь руды по площади влияет на срок отработки месторождения довольно стабильно, в среднем рост потерь на 1% приводит к сокращению срока отработки на 0,4 года. Влияние потерь руды по мощности начинает проявляться по мере уменьшения высоты выемки, что объясняется соответствующими закономерностями изме-

нения содержания полезного компонента в руде по мощности пласта. В целом в принятых диапазонах варьирования переменных преобладающее влияние на срок службы оказывает изменение уровня потерь руды по площади выемки, 1% которых примерно эквивалентен изменению уровня потерь руды по мощности на 2%.

Продолжим рассмотрение примеров сравнения вариантов горных работ по прибыли с  $1 \text{ м}^2$  площади и сроку службы предприятия (рис. 2, 3). Максимизация прибыли в базисном варианте А требует уменьшения высоты выемки до 2,3 м, что сокращает срок службы с 32 до 29 лет. Если такой же по величине рост прибыли достигается снижением уровня потерь в целиках до 17%, то срок службы, наоборот, увеличивается до 33 лет. Однако в этом случае не обеспечивается максимальная прибыль с  $1 \text{ м}^2$  площади погашаемых запасов, максимизация прибыли вновь требует уменьшить высоту выемки до 2,3 м, что сократит срок службы до 30 лет. Срок службы рудника при альтернативном варианте В равен 31 году, т. е. близок к базисному, несмотря на увеличение потерь руды по мощности почти вдвое. Таким образом, уменьшение контура выемки по мощности пласта и величины балансовых запасов месторождения не означает сокращения срока службы предприятия в безусловном понятии. Все зависит от сочетания уровней различных категорий потерь руды. Компенсируя уменьшение контура балансовых запасов повышением полноты их извлечения, можно не только повысить эффективность разработки месторождения, но и продлить срок службы предприятия.

### Выводы

1. Объективная оценка экономических последствий потерь полезного ископаемого и обоснование рационального уровня извлечения запасов месторождений возможны в результате исследований влияния на пока-

затели разработки общих потерь полезного ископаемого в недрах, включая потери за контуром утвержденных балансовых запасов.

2. Хозрасчетные экономические показатели горнодобывающего предприятия не стимулируют рационального использования недр и поэтому не могут применяться в качестве критерия оптимизации извлечения запасов. Объективным критерием оптимизации извлечения запасов пластовых месторождений может служить прибыль с 1 м<sup>2</sup> площади пласта (площади погашаемых запасов), определяемая на основе эксплуатационных и капитальных затрат, выхода конечного продукта с единицы площади и действующих оптовых цен на реализуемый (конечный) продукт.

3. Фактор, оказывающий преобладающее влияние на эффективность эксплуатации фосфоритных месторождений — изменение уровня внутриконтурных (общешахтных и эксплуатационных) потерь, поэтому их снижение до минимума должно стать основным направлением в практике, даже если оно связано с необходимостью уменьшения контура балансовых запасов по мощности пласта. Следует подчеркнуть, что снижение этих потерь не только способствует росту прибыли с 1 м<sup>2</sup> площади пласта, но и улучшает текущие хозрасчетные показатели предприятия.

4. Оптимизация извлечения запасов на действующих предприятиях требует пересмотра методов нормирования эксплуатационных потерь и некоторых хозрасчетных условий работы предприятия. Одним из обобщенных нормативных показателей может быть, например, выход концентрата с 1 м<sup>2</sup> площади погашаемых запасов, задаваемый предприятию дифференцированно по каждому выемочному блоку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник руководящих материалов по охране недр Госгортехнадзора СССР. М., 1973.
2. Пязок Р. Взаимосвязь закономерностей распределения компонентов в фосфоритах месторождения Тоолсе с извлечением запасов. — Изв. АН ЭССР, Геол., 1981, т. 30, № 4, с. 156—160.
3. Гатов Т. А. Техничко-экономическое обоснование уровня минимального содержания цветных металлов в руде. М., 1967.
4. Временная типовая методика экономической оценки месторождений полезных ископаемых. М., ГКНТ и Госкомцен СССР, 1980.

*Представил К. Хабихт*

*Институт экономики  
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию  
26/I 1982

R. PÄSOK

#### EESTI FOSFORIIDILEIUKOHTADE ALLMAAKAEVANDAMISE EFEKTIIVSUSE SÕLTUVUS MAAGIKADUDEST

Artiklis on käsitletud maagikadude mõju leiukoha ekspluateerimise majanduslikele näitajatele. Kadude diferentseerimise aluseks on lademe väljamispaksus ja kaevandamise pindala. On näidatud, et tööstuslike varude kontuuride määramise kord ja mäetööstusettevõtete majanduslike näitajate süsteem ei stimuleeri maavarade ratsionaalset kasutamist. Leiukoha saagise optimaalsuse kriteeriumina on soovitatud kasutada tulu leiukoha pindalaühiku kohta.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Majanduse Instituut*

Toimetusse saabunud  
26. I 1982

## DEPENDENCE OF THE EFFICIENCY OF UNDERGROUND MINING OF ESTONIAN PHOSPHORITE DEPOSITS UPON THE WASTE OF ORE

The effect of the waste of ore throughout the thickness of the stratum and the excavation area upon the economic indices of the exploitation of the deposit is discussed. It is shown that the existing method of contouring industrial resources and the present system of economic indices of a mining enterprise do not stimulate a rational exploitation of the deposit. Profit per unit of the distribution area of the deposit is suggested as the optimality criterion of the extraction of phosphorite resources.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Economics*

Received  
Jan. 26, 1982

В работе рассматривается влияние на экономические показатели эксплуатации месторождения фосфоритов в зависимости от толщины слоя и площади выемки отхода руды. Показано, что существующий метод контурирования промышленных ресурсов и существующая система экономических показателей предприятия не стимулирует рациональную эксплуатацию месторождения. Предлагается в качестве критерия оптимальности извлечения фосфоритных ресурсов прибыль на единицу площади распределения месторождения.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к увеличению потребности в фосфорите. Это связано с тем, что фосфорит является основным сырьем для производства фосфорных удобрений, которые играют важную роль в сельском хозяйстве. В связи с этим остро встает вопрос о рациональной эксплуатации фосфоритных месторождений.

Важным фактором, влияющим на эффективность добычи фосфорита, является отход руды. Отход руды — это часть добытого сырья, которая не может быть использована по назначению из-за наличия в ней вредных примесей или из-за ее неконформности с требованиями технологии. Отход руды приводит к снижению полезности добычи и, следовательно, к уменьшению прибыли предприятия.

В настоящее время в большинстве случаев отход руды учитывается только в виде уменьшения объема добычи. Однако это не совсем правильно, так как отход руды может быть использован для других целей, например, для производства строительных материалов или для извлечения полезных элементов. Поэтому необходимо разработать методы, позволяющие более полно использовать отход руды и, следовательно, повысить эффективность добычи фосфорита.

В работе предлагается рассмотреть влияние отхода руды на экономические показатели эксплуатации месторождения фосфоритов. Для этого необходимо определить, как отход руды влияет на такие показатели, как объем добычи, затраты на добычу и прибыль. Для этого необходимо разработать математическую модель, позволяющую оценить влияние отхода руды на экономические показатели добычи фосфорита.

В результате проведенных исследований было установлено, что отход руды оказывает значительное влияние на экономические показатели добычи фосфорита. В частности, было показано, что увеличение площади выемки отхода руды приводит к увеличению объема добычи и, следовательно, к увеличению прибыли предприятия. Это связано с тем, что увеличение площади выемки отхода руды приводит к увеличению объема добычи, так как увеличивается площадь, на которой производится добыча.

Таким образом, можно сделать вывод, что отход руды является важным фактором, влияющим на эффективность добычи фосфорита. Поэтому необходимо разработать методы, позволяющие более полно использовать отход руды и, следовательно, повысить эффективность добычи фосфорита.