

### **ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА НА ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

На основе формального анализа модели освоения совокупности месторождений минерального сырья рассматривается направление влияния технического прогресса на величину экономической оценки месторождений. Выявлена неравномерность воздействия технического прогресса на оценку запасов месторождений, изменение капиталоемкости и сроков разработки месторождений.

*Ключевые слова:* экономическая оценка месторождений, технический прогресс, природные ресурсы, производственная функция.

Базой для определения экономической оценки природных ресурсов являются предельные затраты на добычу соответствующего ресурса, выступающие также одним из факторов рыночных цен на этот ресурс. Уровень этих затрат можно определить на основе решения экономико-математической задачи оптимизации освоения месторождений рассматриваемого ресурса. Величина же предельных затрат на добычу ресурса обусловлена предъявляемой рынком потребностью и наличием запасов данного ресурса.

Таким образом, основными факторами, определяющими уровень экономической оценки месторождений природных ресурсов и в частности полезных ископаемых, являются объем запасов, потребность на рынке и затраты на добычу ресурса.

Влияние каждого из указанных факторов на уровень экономической оценки месторождений полезных ископаемых может существенно изменяться в результате технического и технологического прогресса. Так, например, углубление переработки сырья, появление заменителей, увеличение добычи за счет увеличения отбора запасов и т. п. Открытие же новых потребительских свойств сырья приводит к увеличению рыночной потребности.

Следовательно, учет технического прогресса в экономико-математических моделях обусловлен изменениями в потребности рынка.

Отмеченные направления технического прогресса имеют один общий признак: требуемые для их осуществления инвестиции приводят прежде всего к изменению дефицитности природного ресурса, а с уровнем текущих затрат на добычу полезных ископаемых непосредственно не связаны. Между тем зависимость текущих расходов от величины капиталовложений служит исходной посылкой классической теории технического прогресса.

В техническом прогрессе, определяемом в терминах производственных функций (на наш взгляд, такое определение является наиболее корректным), обычно находят отражение лишь два фактора производства – живой труд и производственные фонды. Соответственно выделяются два типа не нейтрального технического прогресса – капиталосберегающий (трудорасходуемый) и трудосберегающий (капиталорасходуемый).

Существуют такие технологии, которые являются капиталорасходующими, но не трудосберегающими. Растущее значение технического прогресса в сфере природопользования и необходимость анализа вызываемых им изменений в оценках природных ресурсов требуют прежде всего уточнить классическое определение технического прогресса с учетом природного фактора.

Если рассматривать природные ресурсы, с одной стороны, и овеществленный и живой труд – с другой, то можно обнаружить их взаимозаменяемость, аналогичную той, которая имеется у труда и капитала. Причем в горной промышленности (если в нее включена первичная переработка полезных ископаемых) многообразие альтернативных способов обеспечения заданного объема выпуска продукции возникает в результате взаимозаменяемости полезных ископаемых и труда не только в процессе добычи, но и в процессе первичной переработки<sup>1</sup>. Так, увеличение глубины переработки сырья, достигаемое за счет дополнительных затрат труда, может привести к сокращению объема используемого полезного ископаемого, сохраняя неизменным размер выпуска конечной для горной промышленности продукции.

Попытаемся в связи с указанными обстоятельствами дать аналитическое определение технического прогресса в терминах характеристик производственной функции, выражающей зависимость результатов производства от двух факторов – труда и природного ресурса. В этом случае технический прогресс можно определить как изменение любой из рассматриваемых ниже характеристик производственной функции (абстрактной технологии)<sup>2</sup>.

1. Эффективность технологии. Эта характеристика абстрактной технологии относится только к зависимости между затратами и выпуском. Для данных затрат и прочих характеристик абстрактной технологии ее эффективность определяет получаемый в результате выпуск продукции.

Эффективность технологии может быть представлена в виде графика семейства изоквант с двумя факторами. Для каждого уровня затрат природного ресурса и труда масштаб по осям представляет эффективность технологии.

2. Технологическая экономия от масштабов производства. Технологический уровень отдачи на единицу масштаба производства представляет собой степень, в какой пропорциональное изменение затрат порождает пропорциональное изменение выпуска, поскольку последнее определяется технологией, а не масштабом производства.

Технический прогресс может изменить способ, которым затраты обращаются в выпуск, таким образом, что производственный процесс, характеризовавшийся ранее, например, убывающей отдачей, будет осуществляться с постоянной отдачей, в то время как масштабы производства остаются неизменными.

3. Трудоемкость технологии. Трудоемкость технологии определяется количеством труда и величиной связанного с ним природного ресурса, которые используются в процессе производства. Следует иметь в виду, что величина трудоемкости зависит не только от технологических особенностей производства, но и от уровней доступности факторов. Поэтому рассмотрение трудоемкости как характеристики абстрактной технологии требует фиксировать относительную доступность факторов.

4. Возможность замены природного ресурса трудом, или эластичность замены. Данная характеристика измеряется отношением темпа изменений относительных пропорций затрат факторов к темпу изменений предельной нормы замены и выражается следующим образом:

$$\sigma = \frac{(\alpha/N)d(N/\alpha)}{(f_N/f_\alpha)d(f_\alpha/f_N)},$$

<sup>1</sup> Здесь и далее под трудом имеется в виду овеществленный и живой труд, т. е. границы их взаимозаменяемости во внимание не принимаются.

<sup>2</sup> Сформулированное ниже определение технического прогресса дано по аналогии с его определением в терминах производственной функции, выражающей зависимость труда, капитала и выпуска продукции (см. Браун М. Теория и измерение технического прогресса. М.: Статистика, 1971).

где  $f_N$  – предельный продукт (оценка) природного ресурса, а  $f_a$  – предельный продукт (оценка) труда. Интуитивно эластичность можно рассматривать как меру пределов возможности замены природного ресурса трудом.

Поскольку существует определенная взаимозаменяемость между трудом и природными ресурсами, эластичность их замены не может быть равна нулю. Следовательно, изоканты производственных функций труда и природного ресурса не могут иметь вид прямоугольной ломаной, означающей взаимодополняемость ресурсов.

Эластичность замены природных ресурсов трудом может возрасти в результате таких, например, направлений технического прогресса, как использование в производстве искусственных заменителей. Этот рост, по-видимому, усилится с переходом к безотходным технологиям.

Используя рассмотренные характеристики абстрактной технологии, нейтральный технический прогресс можно определить как несберегающий и нерасходуемый природный ресурс. Он вызывает изменение в самой производственной функции, но не влияет на предельную норму замены природного ресурса трудом. Нейтральный технический прогресс меняет производственную функцию и может быть либо природосберегающим, либо природорасходуемым. Если производственная функция меняется таким образом, что предельный продукт природного ресурса растет по сравнению с предельным продуктом при любой комбинации труда и природного ресурса, то это означает, что имеет место природорасходуемый технический прогресс. Природосберегающий технический прогресс имеет место в тех случаях, когда предельная норма замены природного ресурса понижается при любой комбинации природного ресурса и труда.

Следует отметить, что нейтральный технический прогресс (природосберегающий и природорасходуемый), если он не влияет на предельную норму замены капитала трудом, выглядит в терминах производственной функции, зависящей от труда и капитала, как нейтральный технический прогресс.

Таким образом, предложенное выше определение технического прогресса может быть полезно тем, что позволяет проследить изменение в этом процессе роли природного фактора.

Вместе с тем построение производственных функций, учитывающих природный фактор, позволяет получить статистические оценки эффективности природных ресурсов в виде соответствующих частных производных.

Рассмотрим проблему учета технического прогресса применительно к оценкам источников природных ресурсов, получаемым из модели оптимизации режима разработки совокупности месторождений однородного минерального сырья.

Попытаемся с помощью упрощенной модели оптимизации освоения совокупности месторождений минерального сырья выяснить, каким образом обусловленное техническим прогрессом изменение параметров модели влияет на величину оценки месторождения.

Модель предусматривает минимизацию дисконтированных строительно-эксплуатационных затрат.

$$\sum_{t=1}^T q^{t-1} \sum_{i=1}^n (c_i x_i^t + y_i^t) \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n x_i^t \geq \Pi, \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T x_i^t \leq Q_i \quad (i = \overline{1, n}), \quad (3)$$

$$\sum_{\tau=1}^t y_i^\tau \geq k_i x_i^t \quad (i = \overline{1, n}; t = \overline{i, T}), \quad (4)$$

где

$k_i$  – удельная капиталоемкость добычи сырья;

$c_i$  – удельные эксплуатационные затраты;

$Q_i$  – запасы сырья на  $i$ -м месторождении;

$\Pi$  – потребность рынка за период  $T$ ;

$q$  – коэффициент дисконтирования.

Средние индивидуальные затраты на добычу единицы сырья на  $i$ -м месторождении в году  $t$  выражаются формулой

$$\lambda_i(t) = \frac{k_i q^{t-1} + c_i \sum_{\tau=1}^T q^{\tau-1}}{T-t+1}.$$

При этом предельные затраты  $\bar{w}$  на добычу сырья определяются как  $\bar{w} = \max_i \min_t \lambda_i(t)$ .  $\min_t \lambda_i(t)$  позволяет определить оптимальное начало  $\bar{t}_i$  ввода  $i$ -го месторождения в разработку. Основные достоинства указанной модели состоят в том, что она позволяет получить решение в аналитическом виде. Главные упрощения в постановке модели состоят в отражении лишь наиболее существенных факторов, влияющих на величину оценок: ограниченности запасов ископаемых на каждом месторождении, необходимости обеспечения потребности народного хозяйства в данном виде ресурса, принципиального различия между расходами капитального и текущего характера.

Попытаемся с помощью данной модели выяснить, каким образом обусловленное техническим прогрессом изменение параметров модели влияет на величину оценки месторождения.

Одно из проявлений технического прогресса – изменение капиталоемкости технологии. В нашем случае этому показателю соответствует  $k_i/c_i$ , которое будем называть в дальнейшем фондовооруженностью труда. Такое название допустимо, поскольку, как уже отмечалось, в рамках данной модели подавляющую часть текущих расходов составляют затраты живого труда.

Предположим, что на всех месторождениях применяется одинаковая технология  $\alpha = (\alpha_1/2, \alpha_2/2, \dots, \alpha_m/2)$ , где  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$  – вектор используемых средств производства, компоненты которого измеряются специфическими единицами физического объема, а  $\alpha$  – численность промышленно-производственного персонала. Влияние горно-геологических и экономико-географических факторов приводит к тому, что цены некоторых средств производства и средние размеры фондов оплаты труда дифференцированы по месторождениям. Обозначим через  $P_i$  вектор цен средств производства, используемых в технологии  $\alpha$ :  $P_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im})$ , через  $z_i$  – средний размер заработной платы на  $i$ -м участке месторождения. Тогда фондовооруженность труда на  $i$ -м месторождении будет равна

$$\frac{k_i}{c_i} = \frac{\sum_{l=1}^m \alpha_l P_{li}}{z_i \alpha}.$$

Рассмотрим те проявления технического прогресса, которые поддаются анализу в рамках приведенной выше модели.

*Ситуация 1.* Пусть в технологии  $\alpha$  используется «универсальное» средство производства, цена которого не зависит от того, на каких месторождениях оно будет эксплуатироваться, т. е. существует средство производства  $s$ :  $P_{si} = \bar{P}_s (i=1, n)$ .

Технический прогресс в отрасли, изготавливающей данное средство, может привести к тому, что цена на него понизится с  $\bar{P}_s$  до  $\overline{\overline{P}}_s$ . Тогда показатели  $k_i$  уменьшатся на  $(\bar{P}_s - \overline{\overline{P}}_s) \alpha_s$  единиц. Обозначим эту величину через  $m$ .

Чтобы выявить, какие изменения в оптимальном плане произойдут в результате снижения всех показателей  $k_i$  на  $m$  единиц, требуется вновь найти  $\bar{t}_i$  – точки минимумов функции

$$\lambda_i(t) = \left( (k_i - m) q^{t-1} + c_i \sum_{\tau=t}^T q^{\tau-1} \right) (T-t+1).$$

С определенностью можно говорить лишь о направлении смещения оптимального момента начала разработки месторождения:  $\bar{t}_i$  соответствует более позднему моменту времени, чем  $\bar{t}_i$ . Конкретная величина смещения  $\Delta t_i = \bar{t}_i - \bar{t}_i$  зависит не только от общего для всех месторождений условий (сокращение всех  $k_i$  на  $m$  единиц), но и от индивидуальных затратных характеристик.

В этом можно убедиться, рассмотрев зависимость определенного срока отработки запаса от отношений  $k_i/c_i$ .

Следовательно, благодаря тому, что в модели (1)–(4) сроки разработки месторождений оптимизируются, влияние технического прогресса на величину средних затрат  $\lambda_i$  (и соответственно на оптимальные оценки запасов) усиливается. Действительно, снижение  $\lambda_i$  происходит не только в результате непосредственного изменения показателя удельной капиталоемкости, но и благодаря появившейся возможности получения экономии за счет сокращения срока разработки месторождения  $\Theta_i$ :

$$\bar{\lambda}_i = \min_t \bar{\lambda}_i(t) = \bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) < \bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) < \bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) = \bar{\lambda}_i.$$

Что касается конкретной величины изменения  $\Theta_i$ , то она дифференцирована по источникам в зависимости от исходного уровня отношения  $k_i/c_i$  и от абсолютной величины  $c_i$ . Для того чтобы убедиться в этом, обратимся к зависимости оптимальных сроков отработки месторождения от фондовооруженности труда.

Заметим, что график функции  $\Theta(k_i/c_i)$  не меняется от того, рассматриваем ли мы в качестве аргумента функции различные уровни фондовооруженности труда для одного источника или определенные значения фондовооруженности труда для разных источников. Это позволяет с помощью вогнутости функции  $\Theta(k_i/c_i)$  сделать вывод о том, что при снижении фондовооруженности труда на всех месторождениях на единицу оптимальные сроки разработки месторождений с более высоким исходным уровнем фондовооруженности сократятся в меньшей мере по сравнению с месторождениями, где фондовооруженность труда ниже. Поскольку оптимальный срок разработки месторождений определяется уровнем фондовооруженности труда посредством монотонно возрастающей функции  $\Theta(k_i/c_i)$ , сделанный выше вывод можно переформулировать следующим образом: при снижении фондовооруженности труда на всех месторождениях на одинаковую величину усиливается дифференциация сроков разработки  $\Theta_i$ .

Но в рассматриваемой ситуации фондовооруженность снижается неравномерно. Величина ее снижения  $\Delta k_i/c_i$  зависит от  $c_i$ :

$$\Delta \frac{k_i}{c_i} = \frac{k_i}{c_i} - \frac{k_i - m}{c_i} = \frac{m}{c_i}.$$

Таким образом, величина смещения оптимального момента начала разработки месторождения зависит не только от отношения капиталоемкости к себестоимости, но и от абсолютной величины последней. Отсюда, в частности, следует, что промежуток между оптимальными моментами начала разработки увеличится на тех месторождениях, где себестоимость добычи одинаковая, а капиталоемкость различная.

Итак, в рассматриваемой ситуации технический прогресс влияет на величину удельных затрат  $\lambda_i$  посредством снижения двух величин, входящих в их определение: капиталоемкости  $k_i$  и оптимального срока разработки  $\Theta_i$ .

Из определения нового оптимального момента начала разработки  $i$ -го месторождения  $\bar{t}_i$  следует, что

$$\bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) < \bar{\lambda}_i(\bar{t}_i).$$

Поэтому показатель  $\bar{\lambda}_i(\bar{t}_i)$  можно представить в следующем виде:

$$\bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) = \bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) - \eta_i,$$

где  $\bar{\lambda}_i(\bar{t}_i)$  – значение новой функции удельных затрат  $\bar{\lambda}_i(t)$  в прежней оптимальной точке  $(\bar{t}_i)$ ;  $\eta_i$  – неотрицательная величина экономии удельных затрат, возникающей в результате оптимизации срока разработки  $i$ -го месторождения в новых условиях.

Тогда оценка  $i$ -го месторождения может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} \bar{u}_i &= \bar{\lambda}_{i_0} - \bar{\lambda}_i = \left[ \bar{\lambda}_{i_0}(\bar{t}_{i_0}) - \bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) \right] + (\eta_i - \eta_{i_0}) = \bar{\lambda}_{i_0} - \frac{mq^{\bar{t}_{i_0}-1}}{T-\bar{t}_i+1} - \bar{\lambda}_i + \frac{mq^{\bar{t}_i-1}}{T-\bar{t}_i+1} + (\eta_i - \eta_{i_0}) = \\ &= \bar{u}_i + m \left( \frac{q^{\bar{t}_i-1}}{T-\bar{t}_i+1} - \frac{q^{\bar{t}_{i_0}-1}}{T-\bar{t}_{i_0}+1} \right) + (\eta_i - \eta_{i_0}). \end{aligned} \tag{5}$$

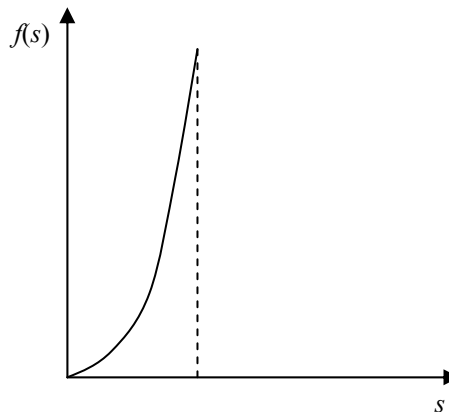
Она показывает максимально возможную экономию общей суммы строительно-эксплуатационных затрат, обусловленную вытеснением добычи единицы ресурса на замыкающем месторождении единицей прироста запаса на  $i$ -м месторождении. Соответственно второе слагаемое в выражении (5) можно рассматривать как ту часть указанной экономии, которая непосредственно обусловлена снижением капиталоемкости и не зависит от изменений в оптимальных сроках. Обозначим эту часть через  $u_i^k$  и запишем

$$u_i^k = m \left( \frac{q^{\bar{t}_i-1}}{T-\bar{t}_i+1} - \frac{q^{\bar{t}_{i_0}-1}}{T-\bar{t}_{i_0}+1} \right).$$

Функция  $\frac{q^{\bar{t}_i-1}}{T-\bar{t}_i+1}$  является монотонно возрастающей. Следовательно, знак  $u_i^k$  зависит от соотношения между  $\bar{t}_i$  и  $\bar{t}_{i_0}$ , соответственно от исходного (заданного) соотношения фондовооруженности  $k_i/c$  и  $k_{i_0}/c_{i_0}$ . Для тех месторождений, которые в исходном оптимальном плане разрабатываются быстрее, чем замыкающее месторождение,  $u_i^k > 0$ . И наоборот, для тех месторождений, которые начинают разрабатываться раньше, чем замыкающее,  $u_i^k < 0$ .

Таким образом предвидеть направление изменений оценок, возникающих непосредственно в результате снижения капиталоемкости, достаточно легко. Неопределенность здесь возникает при попытках учесть знак третьего слагаемого в выражении (5)  $-(\eta_i - \eta_{i_0})$ . Оно соответствует той части оценки эффективности разработки месторождений, которая обусловлена оптимизацией сроков разработки. Функция  $\lambda_i(t)$  зависит от времени нелинейно. Поэтому сравнивать абсолютные величины смещения значений  $\lambda_i(t)$  при переходе от  $\bar{t}_i$  к  $\bar{t}_i$  удастся только с помощью экспериментальных расчетов.

В заключение теоретического анализа первой ситуации следует отметить, что равномерное снижение капиталоемкости возможно не только в результате снижения равной для всех месторождений цены на «универсальное средство производства». К точно таким же последствиям приводит технический прогресс, удешевляющий те конструктивные части этого средства производства, требуемое количество и



Влияние степени извлечения ресурса на капиталоемкость добычи

качество которых не зависит от того, на каком месторождении оно будет использоваться. При этом цена соответствующего средства производства может быть различной в зависимости от затрат на его приспособление к специфическим горно-геологическим и географическим условиям.

*Ситуация 2.* Рассмотрим изменения в оптимальном плане, возникающие в результате использования на всех месторождениях технологии, увеличивающей отбор запасов на них.

Для отражения указанного направления технического прогресса в модели (1)–(4) необходимо ввести новый параметр, величина которого показывает, на какую часть  $s$  первоначально используемого запаса  $Q_i$  может возрасти благодаря новой технологии размер добываемого ресурса. Рост степени извлечения ресурса должен привести к росту капиталоемкости добычи на всех месторождениях. В модели можно учесть эту параметрическую зависимость с помощью некоторой функции  $f(s)$  (см. рисунок), определяющей для каждого значения параметра  $s$  степень роста удельных капиталовложений  $k_i$ . При этом предполагается, что  $f(s)$  не зависит от характеристик месторождения.

Модифицированная модель выглядит в данном случае так:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^T x_i^t &\leq Q_i(1+s), \\ \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T x_i^t &\geq \Pi, \\ \sum_{\tau=1}^t y_i^\tau - k_i x_i^t (1+f(s)) &\geq 0, \\ \sum_{t=1}^T q^{t-1} \sum_{i=1}^n (c_i x_i^t + y_i^t) &\rightarrow \min. \end{aligned} \quad (6)$$

Показатели значимости источника сырья  $\lambda_i$  принимают вид

$$\lambda_i(t) = \frac{k_i(1+f(s))q^{t-1} + c_i \sum_{\tau=t}^T q^\tau}{T-t+1}.$$

С учетом изменений в показателях  $\lambda_i$  и того, что оценка источника природного ресурса  $u_i$  определялась как  $u_i = \lambda_{i_0} - \lambda_i$ , можно сделать следующие выводы.

Во-первых, рост значений  $\lambda_i$ , обусловленный ростом капиталоемкости, будет способствовать снижению оценок  $u_i$ . Но этот рост может быть в некоторой степени замедлен за счет оптимизации сроков разработки месторождений:

$$\bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) < \bar{\lambda}_i(\bar{t}_i) > \bar{\lambda}_i(\bar{t}_i).$$

Во-вторых, несмотря на рост капиталоемкости на замыкающем источнике, величина  $\bar{\lambda}_{i_0}$ , вероятнее всего, уменьшится. Это объясняется тем, что рост степени извлечения запасов на всех месторождениях позволяет разрабатывать их в меньшем количестве, и показатель  $\bar{\lambda}_{i_0}$  поэтому будет относиться к другому месторождению, не являющемуся замыкающим.

Конкретизируем на условном примере первую из рассмотренных выше ситуаций. Для этого в качестве исходного возьмем вариант разработки 15 месторождений полезного ископаемого на период 15 лет. Информация об объемах извлекаемых запасов этих месторождений, а также показатели удельных капитальных и эксплуатационных затрат представлены в табл. 1. Величину планового задания примем равной 3 500 млн т. Дисконтный множитель

$q^t = \frac{1}{(1+E)^t}$  пусть соответствует нормативу дисконтирования  $E = 0,08$  (табл. 1).

В оптимальный план исходного варианта вошло 10 месторождений. Интенсивность разработки всех месторождений равномерна, что, в свою очередь, обуславливает однократность капиталовложений в году начала разработки месторождения.

Анализируя зависимость оптимального срока разработки от фондовооруженности труда  $\Theta(k_i/c_i)$ , мы отмечали, что она выражается взаимно однозначной функцией. При этом предполагалось, что время  $t$  меняется непрерывно в интервале  $[0, T]$ . Но в экспериментальных расчетах достаточно было рассмотреть дискретное изменение  $t$  в интервале  $[0, 15]$ . В связи с этим в оптимальном плане существуют такие  $\Theta$ , в которые начинают разрабатываться месторождения с различной фондовооруженностью. Так, в 7-м году планового периода начинают разрабатываться 4 месторождения, отношения  $k_i/c_i$  у которых равны соответственно 7, 8, 9 и 10. Причем такое совпадение характерно лишь для месторождений с относительно высоким уровнем фондовооруженности труда. Месторождения со сравнительно низкими показателями  $k_i/c_i$  различаются оптимальными сроками разработок в зависимости от абсолютной величины  $c_i$ .

Объясняется это следующим образом. Так как непрерывная функция  $\Theta(k_i/c_i)$  является вогнутой, то сроки разработки месторождений с относительно высоким показателем  $k_i/c_i$  различаются не более чем на год. Следовательно, при дискретном рассмотрении  $t$  для месторождений с относительно низкой фондовооруженностью труда типичны различия в сроках больше года, поэтому для них сохраняется взаимно однозначная зависимость между  $\Theta$  и  $k_i/c_i$ .

Двойственные оптимальные оценки месторождений, соответствующие исходному варианту, приведены в табл. 2. Оценка планового задания равна 6,536. Замыкающее месторождение (ему присвоен номер 10) имеет нулевую оценку запасов. Оценка запасов остальных месторождений, вошедших в оптимальный план, положительна.

Пусть вследствие технического прогресса показатель удельной капиталоемкости на всех месторождениях снизился на 4 руб. В табл. 2 приведены новые оценки месторождений  $u_i$  и их ставные части  $u_i^k$  и  $\eta_i$ . Из сравнения новых оценок месторождений с их величинами в исходном оптимальном плане следует, что технический прогресс может изменять оценки месторождений в противоположных направлениях: снижая их по одним месторождениям, одновременно увеличивая по другим.

Изменение оценок месторождений в противоположных направлениях может привести к смене рангов месторождений. Об этом свидетельствует изменение рангов 7-го и 4-го месторождений: в новом оптимальном плане разработка последнего стала более предпочтительной.

В принципе в результате технического прогресса возможно проявление нового источника. Однако в данном условном примере, несмотря на снижение оценок 3, 5, 7 и 8-го месторождений, их разработка по-прежнему остается предпочтительнее, чем разработка замыкающего, 10-го месторождения.

Попытаемся объяснить изменение оценок месторождений исходя из изменения их структуры.

Поскольку оптимальный срок разработки замыкающего месторождения не изменился,  $\eta_{10} = 0$ . Следовательно, структура оценок месторождений выглядит следующим образом:

$$\bar{u}_i = u_i^k + \bar{u}_i + \eta_i.$$

Месторождение 1 в исходном оптимальном плане начинает разрабатываться одновременно с замыкающим. Поэтому  $u_1^k = 0$ , и рост оценки этого месторождения обусловлен тем, что величина  $\eta_1 = 0,004$  положительна.

Оценка 2-го месторождения не изменилась, так как  $u_2^k$  и  $\eta_2$  равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку. Оценка 3-го месторождения снизилась вследствие того, что  $|\eta_3| < |u_3^k|$ ,  $|u_3^k| < 0$ .



Таблица 1

## Технико-экономические показатели месторождений полезного ископаемого

Показатель	Номера месторождений														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Капиталоемкость добычи 1 т, руб.	12	14	16	16	27	15	14	12	40	40	39	46	41	35	44
Себестоимость добычи 1 т, руб.	2	2	2	4	3	5	7	8	14	8	10	9	10	12	7
Объем извлекаемого запаса, млн т	1000	1200	300	130	120	190	90	220	150	400	100	70	110	200	110

Таблица 2

## Изменение структуры оптимальных оценок месторождений в ситуации 1 \*

Расчетная величина	Номера месторождений									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оптимальный год начала разработки месторождения	$\frac{8}{9}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{9}{10}$	$\frac{10}{11}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{8}{8}$
Оптимальная оценка запасов месторождения	$\frac{4,756}{4,76}$	$\frac{4,611}{4,611}$	$\frac{4,471}{4,465}$	$\frac{3,566}{3,583}$	$\frac{3,229}{3,218}$	$\frac{3,21}{3,256}$	$\frac{2,455}{2,533}$	$\frac{2,23}{2,319}$	$\frac{1,846}{1,835}$	$\frac{0}{0}$
$u_i^k$	0	-0,011	-0,011	0,017	-0,011	0,017	0,052	0,079	-0,011	0
$\eta_i$	0,004	0,0011	0,005	0	0	0,029	0,026	0,01	0	0

\* В числителе – значение расчетной величины в исходной ситуации, в знаменателе – то же в ситуации 1.

Таблица 3

## Изменение величины и структуры оценок месторождений в ситуации 2 \*

Расчетная величина	Номера месторождений								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оптимальный год начала разработки месторождений	$\frac{8}{8}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{7}{7}$
Оптимальная оценка запасов месторождения	$\frac{4,756}{2,823}$	$\frac{4,661}{2,667}$	$\frac{4,471}{2,513}$	$\frac{3,566}{1,597}$	$\frac{3,229}{1,194}$	$\frac{3,21}{2,247}$	$\frac{2,455}{0,492}$	$\frac{2,23}{0,272}$	$\frac{1,846}{0}$
$\bar{u}_i - \bar{u}_9$	0,987	0,098	0,112	0,133	0,189	0,116	0,117	0,112	0
$\frac{0,1k_i q^{t_i-1}}{T-t_i+1}$	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0

\* В числителе – значения расчетной величины в исходной ситуации, в знаменателе – то же в ситуации 2.

Хотя  $\eta_4 = 0$ , оценка 4-го месторождения возросла. Это объясняется тем, что в исходном оптимальном плане месторождение разрабатывается позднее замыкающего.

На оценку 5-го месторождения тоже влияет соотношение  $\bar{t}_5$  и  $\bar{t}_{10}$ , но в противоположном направлении: оценка 5-го месторождения уменьшилась.

Рост оценок 6-го и 8-го месторождений обусловлен тем, что для  $i = 6, 7, 8$  как  $\eta_i > 0$ , так и  $u_i^k > 0$ .

Уменьшение оценки 9-го месторождения объясняется следующим образом: эффект от непосредственного снижения капиталоемкости на замыкающем месторождении больше, чем на данном, а возможность компенсировать отрицательное значение  $u_9^k$  величиной  $\eta_9$  отсутствует, так как оптимальный срок разработки 9-го месторождения не изменился.

Рассмотрим изменение оценки запасов при использовании на всех месторождениях новой технологии, увеличивающей объема извлекаемых запасов  $Q_i$  на 5% при увеличении капиталовложений  $k_i$  на 10%.

Благодаря росту объемов извлекаемых запасов для выполнения планового задания в рассматриваемом примере достаточно разработать не 10-е, а 9-е месторождение. Поскольку в новом оптимальном плане запасы замыкающего месторождения используются не полностью (на 87%), необходимо скорректировать алгоритмы исчисления оценок с учетом того, что в данной ситуации нет необходимости использовать новую технологию на 9-м месторождении:

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_i(t) &= \left( 1, 1k_i q^{t_i-1} + c_i \sum_{\tau=t}^{15} q^{\tau-1} \right) (16-t); \\ \bar{\lambda}_9(t) &= \bar{\lambda}_9(t) = \left( k_9 q^{t_9-1} + c_9 \sum_{\tau=t}^{15} q^{\tau-1} \right) (16-t); \\ u_i &= \bar{\lambda}_9 - \bar{\lambda}_i = \bar{\lambda}_9 - \bar{\lambda}_i. \end{aligned}$$

Тогда оценка планового задания  $W$  будет равна 4,69. Изменения значений оптимальных оценок месторождений и их структуры показаны в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что оценки всех месторождений в новом оптимальном плане ниже, чем в исходном. Снижение оценок объясняется тем, что вследствие появления нового замыкающего источника показатель  $\lambda_0$  уменьшился, а затраты  $\lambda_i$  для остальных восьми месторождений возросли в связи с применением новых технологий.

Структура оценок  $u_i$  может быть представлена следующим образом:

$$u_i = \bar{\lambda}_9 - \bar{\lambda}_i = \bar{\lambda}_9 - \bar{\lambda}_i + \eta_i - \frac{0,1k_i q^{\bar{t}_i-1}}{T - \bar{t}_i + 1} = u_i - u_9 + \eta_i - \frac{0,1k_i q^{\bar{t}_i-1}}{T - \bar{t}_i + 1}.$$

Следовательно, абсолютная величина снижения оценок может быть выражена так:

$$\Delta u_i = \left| u_i - \bar{u}_i \right| = u_9 + \frac{0,1k_i q^{\bar{t}_i-1}}{T - \bar{t}_i + 1} - \eta_i,$$

а относительное изменение оценок можно представить в виде

$$\Delta u_m - \Delta u_l = 0,1 \left( \frac{k_m q^{\bar{t}_m-1}}{T - \bar{t}_m + 1} - \frac{k_l q^{\bar{t}_l-1}}{T - \bar{t}_l + 1} \right) - \eta_m + \eta_l.$$

Таким образом, чем больше  $k_i$  и меньше  $\bar{t}_i$ , тем в большей мере снижается оценка  $u_i$ . В то же время при увеличении оптимальных сроков разработки месторождений темпы снижения оценок замедляются.

Как показали расчеты, увеличение капиталоемкости добычи на 10% привело к изменению оптимального срока разработки только 4-го месторождения. Относительное снижение оценок остальных месторождений зависело лишь от отношений показателей капиталоемкости и сроков разработок.

Общие результаты расчетов по определению влияния технического прогресса на оценки месторождений позволяют сделать следующие выводы.

1. Обусловленное техническим прогрессом снижение показателей капиталоемкости добычи ресурса на всех месторождениях приводит к неравномерному изменению оценок их запасов. При этом рост оценок одних месторождений может происходить при одновременном снижении оценок других источников.

2. Неравномерность воздействия технического прогресса объясняется не только различиями в исходных уровнях показателей капиталоемкости добычи и соответственно различными темпами снижения затрат. Снижение капиталоемкости может привести к сокращению оптимальных сроков разработки некоторых месторождений. Темпы снижения затрат, обусловленные сокращением оптимальных сроков разработки месторождений, также значительно различаются по месторождениям.

3. В соответствии с указанными проявлениями неравномерности воздействия технического прогресса на оценки запасов месторождений необходимо проводить покомпонентный анализ изменения величины оценок.

4. Если снижение показателей капиталоемкости добычи происходит в пределах устойчивости оптимальных сроков разработки месторождений, то направление изменений оценок месторождений можно предвидеть заранее. Оценки тех месторождений, которые в исходном оптимальном плане разрабатывались позднее (раньше) замыкающего месторождения, снизятся (возрастут). Не изменятся оценки тех месторождений, оптимальные сроки разработки которых совпадают с соответствующими сроками для замыкающего источника.

5. Возможность предвидеть направления изменений оценок месторождений исчезает при снижении капиталоемкости на достаточно большую для данной совокупности месторождений величину.

6. Увеличение отбора запасов на всех месторождениях позволяет обеспечить неизменную добычу за счет разработки меньшего количества месторождений. Это приводит к уменьшению замыкающих затрат, что, в свою очередь, предопределяет уменьшение оценок источников природного ресурса. Абсолютная величина снижения оценок зависит от оценки нового замыкающего месторождения в старом оптимальном плане.

7. Чем больше капиталоемкость добычи и короче оптимальный срок разработки данного месторождения, тем в большей мере снизится оптимальная оценка его запасов.

8. Увеличение оптимального срока разработки месторождения замедляет темп снижения оценок, обусловленный указанными выше причинами.

Дальнейшая разработка проблемы учета технического прогресса в оценках природных ресурсов предполагает углубление динамического и народнохозяйственного подходов и отражение фактора неопределенности, порождаемой техническим прогрессом.

*Материал поступил в редколлегию 01.03.2012*

**G. M. Mkrtchyan**

#### **THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PROGRESS ON THE EVALUATION OF MINERAL DEPOSITS**

The article discusses, based on the formal analysis of the model for the development of a set of mineral deposits, the direction of influence of technological progress on the magnitude of economic evaluation of deposits. The analysis reveals an uneven impact of technological progress on the magnitude of field reserves, as well as on capital intensity and timing for the development of mineral deposits.

*Keywords:* economic evaluation of deposits, technological change, natural resources, production function.