ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2008, том 44, № 3, с. 128–136

ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА

УПРАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ОСВОЕНИЯ ЗАПАСОВ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

© 2008 г. Г. М. Зуев

(Москва)

Основой разработанного аналитического аппарата являются исследования (Зуев, Луняков, 1995; Зуев, Луняков, 1984), проводимые для установления потенциально возможных динамических взаимосвязей между интенсивностью освоения располагаемых запасов, распределенных по уровню затрат на добычу, и реализацией федеральных и региональных социально-экономических программ. В настоящее время указанная проблематика приобретает дополнительную актуальность, обусловленную корпоративным поиском наиболее стратегически оправданных программ освоения ресурсной базы. В этой связи предлагаемый подход отличается от классических построений экономистов-ресурсников, действующих в рамках собственно рыночных представлений (Хотеллинг, 1999; Солоу, 1999).

По нашему мнению, процесс ресурсоосвоения должен быть ориентирован на решение определенных социально-экономических задач регионального (странового, глобального) развития, где рынок выступает всего лишь в роли важного экзогенного фактора достижения поставленной цели (см. Рязанов, 2004; Зуев, 2002; Зуев, Елисеев, 2002)). Поэтому представленное далее формализованное описание аналитики ресурсоосвоения необходимо дополнить соответствующими разделами, связанными с детализацией актуальных задач социально-экономического развития.

Цель соответствующего анализа связана с более полным рассмотрением всего цикла проблем современного общественного процесса, разработкой аналитического инструментария, позволяющего комплексно зафиксировать его базовые характеристики.

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

Будем предполагать, что известен уровень (объем) располагаемых запасов, проранжированный по удельным затратам на добычу (или поставку конкретному потребителю[1]) данного вида сырья. Указанный подход применим к любому региональному либо корпоративному образованию.

Таким образом, считается известным распределение вида i запаса по удельным затратам, представленное на рис. 1 гипотетической функцией $Q_i(c, t_0)$ с указанием возможной направленности сокращения запаса вследствие его эксплуатации, где c_{0i} – удельная себестоимость добычи на самом эффективном участке запаса, $p_i(t)$ – текущая цена поставки данного вида сырья потребителю, а $Q_i(c, t_0)$ представляет собой оценку располагаемых запасов по данному виду ресурса, сделанную в момент времени t_0. С формальной точки зрения функция $Q_i(c, t_0)$ имеет произвольный вид, который определяется: видом ресурса; областью его залегания; технологическим процессом ресурсоосвоения, способом оценивания величины затрат[2] и мерой измерения; точностью, с которой известен объем запаса и возможных способов его эксплуатации.

В дальнейшем запас может как пополняться за счет открытия и подготовки к освоению новых запасов данного вида ресурса, так и сокращаться в результате его освоения (добычи ресурса). Соответствующий показатель обозначен как $\rho_i(c, t)$. Он характеризует интенсивность добычи за период $t_0, \ldots, T$ с уровнем удельных затрат c. Причем можно предположить, что $c_{0i} \le c < p_i(t)$, т.е. месторождения с уровнем удельных затрат, превышающим текущую цену за сырье, не разрабатываются. Впрочем, это утверждение не носит абсолютного характера в случае прогнозируемого роста цен на данный вид сырья.

[1] В заданную географическую точку.

[2] Например, с учетом транспортных расходов или без них.

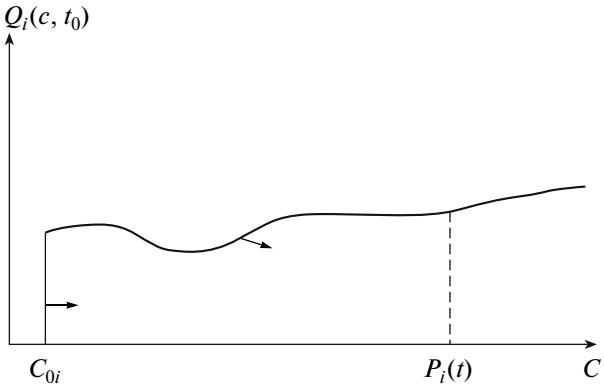

Рис. 1. Распределение запасов природных ископаемых по удельным затратам и возможные направления сокращения запаса вследствие его эксплуатации.

В классических работах принято предполагать, что равновесной нормой дохода является процентная ставка. Отсюда вытекает, что "если рост чистой цены эквивалентен сложному проценту, то в каждый момент собственникам используемых месторождений будет все равно добывать ресурс из земли или оставлять их лежащими там" (Хотеллинг, 1999). Из этого следует, что если бы чистая цена (т.е. рыночная цена за вычетом предельных затрат на добычу единицы ресурса) росла слишком медленно, то темп роста производства увеличивался бы во времени, а располагаемый запас быстро истощился, так как получать сумму, меньшую, чем действующая норма дохода никто не согласится. А если бы чистая цена росла слишком быстро, неиспользуемые залежи ресурсов были бы отличным способом хранения богатства и их собственники откладывали бы добычу, пока продолжалось бы повышение рыночной ценности. Поэтому, если рынок исчерпаемых ресурсов близок к равновесию, чистая цена (предельная прибыль) должна расти по экспоненте.

Однако рыночная цена и уровень добычи ресурса находятся во взаимосвязи с кривой спроса на этот ресурс. Ресурс будет полностью исчерпан в тот момент, когда за счет его цены он окажется "вне рынка". При этом классический подход утверждает, что "сначала работает одно месторождение и добываемые оттуда ресурсы охватывают весь рынок, их чистая цена растет по экспоненте и также характеризуется рыночная цена. Однако наступает такой момент, когда это месторождение оказывается исчерпаемым и только тогда подключается второе месторождение. Конечно же, первым будет использоваться месторождение более дешевое" (Хотеллинг, 1999; Солоу, 1999).

Приведенные выше рассуждения нужны, в частности, чтобы подчеркнуть, что на практике все происходит не совсем так. При выдаче лицензии предполагается необходимость своевременного освоения располагаемого запаса, независимо от экономической целесообразности соответствующей программы, с точки зрения интересов данной ресурсодобывающей компании.

Будем считать, что для стабилизации поступлений в результате освоения системы запасов целесообразно вести параллельную добычу на месторождениях с различающимся уровнем удельных затрат. При этом, задав уровень запаса $Q_i(c, t_0)$, период освоения $[t_0, T]$ и прогнозируемую динамику цены $p_i(t)$, можно рассчитать стабильный темп роста прибыли в результате освоения данной системы запасов (Зуев, Луняков, 1995).

Рассмотрим задачу по освоению системы запасов, когда данная страна (регион, корпорация) располагает системой запасов разного вида, т.е. $i = 1, ..., N$, для каждого вида заданы распределения запасов по затратам в виде $Q_i(c, t_0)$ и программа их освоения $\rho_i(c, t)$, характеризующая интенсивность эксплуатации запасов с различающимся уровнем удельных затрат на добычу.

Анализ оптимизационной постановки задачи, позволяющий определить максимально возможный стабильный рост поступлений на заданном временном горизонте эксплуатации располагаемой системы запасов, показал, что программа освоения каждого вида ресурса неединственна, т.е. располагая системой запасов можно по-разному (но, разумеется, согласованно) эксплуатировать отдельные ее участки (месторождения), обеспечивая максимально возможный темп роста поступлений.

При наличии системы запасов ресурсов разного вида неединственность решения носит еще более развернутый характер, поскольку в этом случае можно варьировать не только программу освоения конкретного вида ресурса, но и корректировать ее во взаимосвязи с программами освоения запасов по другим видам добываемого сырья. Меняя горизонт планирования, можно проанализировать соответствующее изменение темпа роста прибыли при эксплуатации располагаемой системы запасов. При этом следует отслеживать любые варианты прогноза динамики рыночных и внутрирегиональных цен на добываемое сырье. Расчеты можно вести как для любой корпоративной структуры, так и на региональном уровне, причем в качестве прибыли может выступать поток поступлений от программируемой системы налогообложений.

Предпринимаемые попытки разработки схем дифференцированного налогообложения поставки сырья с различающимся уровнем удельных затрат на добычу представляются нам методологически оправданными. Применение профессионально обоснованного подхода позволяет получить четкую (системную) оценку каждого отдельного аспекта комплексной проблемы. В результате были сделаны следующие выводы.

– "Извлекаемые" доходы из месторождений с разным уровнем удельных затрат нужно налогооблагать дифференцированно. Если этого не делать, то собственники будут разрабатывать только самые эффективные участки, не заботясь об остальных, что в принципе не допустимо как из общегосударственных, так и нравственных соображений.

– Любая конкретная программа дифференцированного налогообложения закономерно приводит к соответствующей программе ресурсоосвоения (что весьма важно!).

– Фискальная программа формируется с учетом повышения эффективности работы налоговой службы. Программа освоения имеет фундаментальное значение для развития экономики (и бизнеса) в том числе и за пределами интересов налоговых служб. Отсюда вытекает, что программы налогообложения и ресурсоосвоения должны определяться согласованно на основе целостного социально-экономического анализа (как это делается в рамках представленного исследования).

– Для реализации программы дифференцированного налогообложения необходима информационная база, соответствующая излагаемой концепции. Препятствием для ее адекватной детализации являются некомпетентность задействованных кадров и встречные корыстные устремления взаимодействующих элементов "рыночного права".

Отметим, что описанное выше распределение запасов по затратам $Q(c, t_0)$ может пополняться в результате произвольных (регулируемых, управляемых) социально-экономических преобразований, когда некоторые собственники получают право участвовать в поставке сырья, например в результате своего выхода из "тени". Это также повышает эффективность ввода дифференцированной шкалы в области налогообложения.

Изменение структуры располагаемых запасов позволяет пересчитать программу их освоения и оптимальный поток соответствующих поступлений и, в частности, обосновать тот или иной социальный мониторинг регионального развития. Указанный подход помогает комплексно планировать социально-экономическое развитие любого регионального образования. При этом может быть количественно оценена роль научно-технического прогресса (в том числе привлеченного извне) в результате изменения оценок располагаемых запасов по объему и снижению себестоимости добычи, что позволяет установить влияние НТП на реализацию тех или иных внутрикорпоративных финансовых установок, а также и направленность социально-экономических преобразований.

В этой связи может быть сформулирована задача по определению потенциала финансирования инновационного развития межотраслевых взаимодействий с учетом истощаемости запасов располагаемой ресурсной базы (Зуев, Луняков, 1995; Зуев, Луняков, 1984). На основе данного модельного аппарата могут быть проанализированы перспективы координации внешнеэкономических связей в области ресурсных поставок с целью сокращения (увеличения) трудовых затрат по направлениям добычи и переработки полезных ископаемых. При этом возникают и ассоциативные представления, связанные с обсуждением актуальной проблемы формирования действенной миграционной политики, которая тесно взаимосвязана с детализированным планированием производственного процесса в региональной увязке.

Таким образом, на качественном уровне иллюстрируется схема увязки прогнозирования социально-экономических процессов с логикой формирования координационной программы освоения располагаемой системы запасов. Разработанный аналитический аппарат органично включает возможность детализированного рассмотрения отдельных составляющих экономики ресурсоосвоения на основании единого методологического подхода.

ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕГО ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ

Обозначим через $V(t)$ план (прогноз) выпуска конечной продукции в стоимостном выражении без учета затрат на добычу полезных ископаемых:

$$V(t) = V_0 Tr(t), \quad t \in [t_0, T]. \tag{1}$$

Пусть $a_i(t)V(t)$ – текущий уровень потребностей в минеральном сырье вида i, $i = 1, ..., N$; $a_i(t)$ – показатель ресурсоемкости вида i минерального сырья, отнесенный к единице конечного выпуска в стоимостном выражении. Формирование показателя $V(t)$ осуществляется путем перевода всего ассортимента конечного выпуска в натуральном выражении в стоимостную форму и последующего суммирования по всей его номенклатуре. Обозначим через $r_i(t)$ объем добычи ресурса вида i (сюда можно отнести и объемы экспортной его поставки[3]).

Следующим этапом формализации является введение в рассмотрение распределения вида i по затратам на добычу в следующей вышеописанной форме $Q_i(c, t_0)$, где $c \in [c_{oi}, \infty)$ – уровень удельных затрат на добычу; c_{oi} – нижняя оценка затрат на самом эффективном участке запаса; t_0 – момент формирования данной оценки; i – индекс вида ресурса, $i = 1, ..., N$.

Так как $Q_i(c, t_0)$ является системообразующей характеристикой экономического оценивания ресурсного потенциала[4], ее формирование представляет собой одну из ключевых задач отечественного ресурсоосвоения. Подчеркнем, что ее решение не сводится к данным статистических органов, а является неким системообразующим центром формирования комплексных программ ресурсоосвоения, включая инвестиционный процесс.

Эксплуатация разведанного запаса полезных ископаемых моделируется с помощью функций управления $\rho_i(c, t)$, обозначающих степень интенсивности добычи запаса ресурса вида i в момент времени $t \in [t_0, T]$ с уровнем затрат $c \in [c_{oi}, \infty)$. Динамика запаса (без учета возможности его пополнения или переоценивания в ходе планового периода) описывается соотношением:

$$Q_i(c, t) = Q_i(c, t_0) - \int_{t_0}^{t} \rho_i(c, t)dt, \quad i = 1, \ldots, N; \quad \forall c \in [c_{oi}, \infty), \quad t \in [t_0, T], \tag{2}$$

а объем текущей добычи –

$$r_i(t) = \int_{c_{0i}}^{\infty} \rho_i(c, t)dc, \quad i = 1, \ldots, N; \quad t \in [t_0, T]. \tag{3}$$

Совокупный объем добычи ресурса вида i от начала планового периода до текущего момента времени t определяется из уравнения

$$R_i(t) = \int_{t_0}^{t} r_i(c, t)dt. \tag{4}$$

Выбор альтернативных функций управления $\rho_i(c, t)$, т.е. формирование программы освоения разведанного запаса, представляет собой одну из основных задач рассматриваемого формализованного описания.

Предположим, что основной формой управления процессом ресурсоосвоения является сбалансированный выбор объемов добываемого сырья каждого вида и уровня затрат на текущую добычу в пределах имеющихся возможностей, задаваемых распределениями $Q_i(c, t)$. Для этого введем среднюю величину удельных затрат на добычу ресурса вида i:

$$c_i(t) = \int_{c_0}^{\infty} c\rho_i(c, t)dc \Big/ \int_{c_0}^{\infty} \rho_i(c, t)dc, \quad i = 1, \ldots, N; \quad t \in [t_0, T]. \tag{5}$$

На ее основе можно осуществить расчет стоимостного показателя, характеризующего оценку произведенного конечного выпуска за вычетом понесенных при этом дополнительных затрат на добычу полезных ископаемых, который может быть записан следующим образом:

$$Y(t) = V(t) - \sum_{i=1}^{N} (r_i(t)c_i(t) - r_i^0(t)c_i^0(t)), \tag{6}$$

[3] В случае импорта данного сырья $r_i(t)$ соответственно уменьшается.

[4] Как отмечалось выше, дифференцированное налогообложение ресурсодобычи предполагает наличие соответствующих распределений.

где $Y(t)$ – стоимостная оценка реально произведенного конечного продукта за вычетом затрат на добычу полезных ископаемых; $c_i^0(t)$ – стандартный уровень затрат на добычу полезных ископаемых, заложенный в ранее формируемый выпуск $V(t)$; $r_i^0(t)$ – соответствующий объем текущей добычи полезного ископаемого вида i; $r_i(t)$ – объем текущей добычи ресурса вида i, необходимый для покрытия всех затрат на добычу полезных ископаемых и выпуска конечного продукта; $c_i(t)$ – реально складывающаяся динамика удельных сырьевых затрат на добычу полезных ископаемых.

Если при формировании исходного показателя конечного выпуска $V(t)$ в него уже был заложен "стандартный уровень" затрат на добычу требуемого количества ресурсов, оцениваемых на основе показателей удельных сырьевых затрат $a_i(t)$, $i = 1, ..., N$ (без учета необходимости увеличения объемов добычи полезных ископаемых и, как следствия, покрытия дополнительных ресурсных затрат на добычу), то $Y(t)$ можно представить в виде

$$Y(t) = V(t)\left(1 - \sum_{t=1}^{N} a_i(t)(c_i(t) - c_i^0(t))\right). \tag{7}$$

В этом случае функции управления $\rho_i(c, t)$, $i = 1, ..., N$, должны удовлетворять ограничениям:

$$\int_{c_{oi}}^{\infty} \rho_i(c, t)dc = a_i(t)V(t) \ \forall t \in [t_0, T], \tag{8}$$

$$\int_{t_0}^{T} \rho_i(c, t)dt \le Q_i(c, t_0) \ \forall c \in [c_{0i}, \infty), \quad i = 1, \ldots, N. \tag{9}$$

Ограничение (8) означает выполнение условия, что объем текущей добычи равняется потребности в ресурсе вида i; (9) – описывает естественное природное ограничение (суммарный по времени объем добычи с фиксированным уровнем удельных затрат не может превышать соответствующий разведанный запас). Заметим, что динамика показателя $Y(t)$ может отражать поступления в результате экспортной поставки ресурсов, например в виде $\Pi_i = EX_i(t)p_i(t)$, заменяющем последнее слагаемое в (6), где $EX_i(t)$ – экспорт сырья вида i за период t, а $p_i(t)$ – соответствующая его цена.

Таким образом, развиваемый подход фактически является инвариантным по отношению к элементу хозяйствования, поскольку базируется на адекватном описании источника соответствующих поступлений располагаемой ресурсной базы.

Сформулируем целевую функцию, отражающую стратегические приоритеты (например, социально-экономического процесса). В качестве иллюстрирующего примера выбран принцип максимизации самого низкого темпа роста макроэкономического показателя Y на интервале $[t_0, T]$. Такая целевая функция (критерий, функционал) позволяет "отмоделировать" наиболее благоприятную программу коммерческого или социально-экономического развития (выбор программы зависит от того, куда и кому направляется поток реализуемых доходов). Данная целевая функция "ориентирована" на обеспечение стабильности соответствующих поступлений на заданном временном горизонте, причем протяженность интервала $(T - t_0)$ можно варьировать в любых пределах, обеспеченных достоверной информационной базой. Показатель эффективности представим в виде:

$$\max_{\rho_i(c, t)\, t \in [t_0, T]} \min \ (\dot{Y}/Y). \tag{10}$$

где $\dot{Y}/Y$ – текущий темп роста ($\dot{Y}$ – дифференциал по времени).

Данный показатель позволил выписать аналитическое решение исследуемой оптимизационной задачи. Соответствующая схема решения заключается в выполнении семи основных процедур.

1. Обозначим искомый наибольший стабильный темп роста введенного экономического показателя через μ^*, тогда $\max\limits_{\rho_i(c,\,t)}\min\limits_{t\,\in\,[t_0,\,T]}(\dot{Y}/Y) = \mu^*$. Предположим, что $Y(t_0) = V(t_0)$. Можно утверждать, что

$$Y^{\text{опт}}(t) \geq Y_0 \mathrm{e}^{\mu(t-t_0)} \;\forall t \in [t_0,\, T],$$

причем

$$\frac{dY^{\text{опт}}(t)}{dt}/Y^{\text{опт}}(t) \geq \mu^*, \quad t \in [t_0,\, T].$$

Таким образом, введенная макроэкономическая характеристика $Y(t)$ на оптимальном режиме представляет собой либо экспоненту с темпом μ^*, либо функцию, имеющую на отдельных участках временного интервала $[t_0,\, T]$ более высокий темп роста.

2. Для экспоненциального роста на основании соотношения (6) оптимальная динамика средних удельных затрат на добычу имеет вид:

$$c^{\text{опт}}(t) \;=\; V(t) - V(t_0)\mathrm{e}^{\mu^*(t-t_0)}/r(t) + c^0(t). \tag{11}$$

Соотношение (11) описывает добычу одного вида минерального сырья, причем $r(t) = r^0(t)$.

3. Для определения искомого значения μ^* введем в рассмотрение вспомогательную функцию $c^*(t)$, соответствующую изменению удельных затрат на добычу в случае последовательного освоения наиболее эффективной (малозатратной) части располагаемого запаса полезных ископаемых. Она определяется на основе следующего балансового равенства:

$$\int\limits_{c_{0i}}^{c_i^*(t)} Q(c,\, t_0)dc \;=\; \int\limits_{t_0}^{t} r_i(t)dt, \quad t \in [t_0,\, T]. \tag{12}$$

В левой части (12) фигурирует последовательное наращивание по времени совокупного объема добываемого сырья, в правой части – отражено предположение, что добыча обеспечивается за счет последовательной разработки наиболее эффективной части имеющегося запаса, заданного распределением $Q(c,\, t_0)$, $\in [C_0,\, \infty)$. Равенство (12) задает функцию $c^*(t)$ в неявном виде, она также может быть рассчитана в результате численного интегрирования дифференциального уравнения

$$\frac{dc^*(t)}{dt} \;=\; \frac{r(t)}{Q(c^*(t),\, t_0)}, \quad c^*(t_0) \;=\; c_0, \tag{13}$$

полученного из (12) в результате стандартных преобразований. Таким образом, функцию $c^*(t)$ полагаем в дальнейшем заданной.

4. Нетрудно увидеть, что для любой допустимой программы освоения располагаемого запаса должно выполняться экономическое ограничение:

$$\int\limits_{t_0}^{t} c(t)r(t)dt \geq \int\limits_{t_0}^{t} c^*(t)r(t)dt, \quad t \in [t_0,\, T], \tag{14}$$

где $c(t)$ – соответствующие средние текущие затраты на добычу. Неравенство (14) означает, что для каждого момента времени $t \in [t_0,\, T]$ совокупные затраты на добычу ресурса должны быть не меньше их нижней границы, задаваемой правой частью неравенства. Подставив вместо $c(t)$ ее выражение из (11), тем самым получим ограничение на области допустимых μ^*. Соответствующее максимальное значение, удовлетворяющее неравенству (14), является оптимальным темпом роста $Y(t)$ на заданном временном интервале $[t_0,\, T]$[5].

[5] Поскольку в изложенной процедуре горизонт планирования T нигде не фиксируется, задача решена для произвольного временного интервала $[t_0,\, T]$.

5. Запишем формулу для расчета μ* в эквивалентной форме:

$$\mu^* = \arg\max_{\mu}\left\{\int_{t_0}^{t} V(t_0)e^{\mu^*(t-t_0)}dt \le \int_{t_0}^{t}\left(V(t) + r(t)c^0(t)dt - \int_{c_{0i}}^{c_i^*(t)} Q(c, t_0)dc\right\}, \quad t \in [t_0, T]. \right. \tag{15}$$

Неравенство (15) содержит прямую аналитическую зависимость искомого показателя μ* от экзогенных характеристик рассматриваемой модели ($V(t)$, $r(t)$, $Q(c, t_0)$), что весьма существенно с точки зрения использования данной методики в практических приложениях.

6. Процедура расчета μ* сводится к следующему. Сначала формируется правая часть неравенства (15) как функция времени t на интервале $[t_0, T]$, а затем задается семейство левых частей по параметру μ. Каждая функция этого семейства является монотонно возрастающей по μ для каждого $t \in [t_0, T]$. Поэтому найдется такое $\mu = \mu^*$, при котором неравенство (15) обращается в строгое равенство в какой-либо момент времени $t^* \le T$. Нетрудно показать, что

$$Y^{\text{опт}}(t) = V(t_0)e^{\mu^*(t-t0)}, \quad t \in [t_0, T]. \tag{16}$$

7. Отыщем оптимальную программу освоения располагаемого запаса $\rho(c, t)$, $c \in [c_0, c^*(T)]$, $t \in [t_0, T]$, удовлетворяющую системе ограничений:

$$\int_{c_0}^{\infty}\rho(c, t)dc = r(t) \ \forall t \in [t_0, T], \tag{17}$$

$$\int_{t_0}^{T}\rho(c, t)dt \le Q(c, t_0) \ \forall c \in [c_0, \infty), \tag{18}$$

$$\int_{c_0}^{\infty}\rho(c, t)cdc \Big/ \int_{c_0}^{\infty}\rho(c, t)dc = C^{\text{опт}}(t) \ \forall t \in [t_0, T]. \tag{19}$$

Ее решение является стандартной, но не тривиальной задачей математического анализа. Ограничимся тем, что выпишем прямое аналитическое решение, которое может быть проверено непосредственно. Искомое решение не является единственным, существует целый класс допустимых программ освоения разведанной ресурсной базы, обеспечивающих максимально возможный стабильный темп роста макроэкономического выпуска $Y(t)$. Этот факт объясняется тем, что динамика макроэкономического роста определяется средними текущими затратами на добычу полезных ископаемых (при фиксированных объемах поставок сырья они выражены функцией $C(t)$) для любой программы параллельного освоения месторождений полезных ископаемых с различающимся уровнем удельных затрат на добычу. Это утверждение можно записать в виде

$$\rho^{\text{опт}}(c, t) = r(t)[Q(c, t_0)C^{\text{опт}}(t)/S + F(c)(S/R - C^{\text{опт}}(t))], \tag{20}$$

где $F(c)$ – произвольная функция, заданная на интервале $[C_0, C^*(T)]$, удовлетворяющая трем условиям:

$$\int_{c_0}^{C^*(T)} F(c)cdc = 0,$$

$$\int_{c_0}^{C^*(T)} F(c)dc = R/S, \tag{21}$$

$$(S^{-1} - S/(S - RC_0))Q(c, t_0) \le F(c) \le (S^{-1} + 1/[RC^*(T) - S])Q(c, t_0),$$

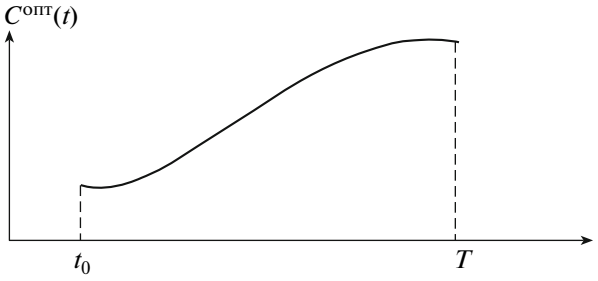

Рис. 2. Оптимальная динамика роста удельных затрат на добычу полезных ископаемых.

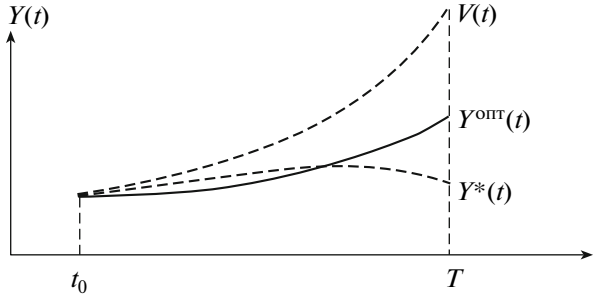

Рис. 3. Оптимальный вариант выпуска конечного продукта $Y(t)$.

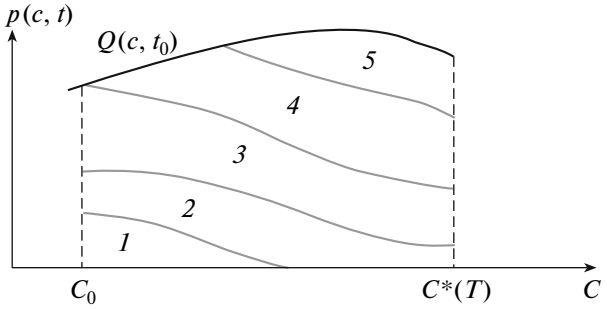

Рис. 4. Вариант оптимальной программы освоения имеющегося запаса природных ископаемых.

где R и S – заданные константы, причем R – объем добытого ресурса на интервале планирования $[t_0, T]$, S – суммарные затраты на его добычу, т.е.

$$R = \int_{t_0}^{T}\int_{c_0}^{\infty}\rho(c, t)dtdc = \int_{t_0}^{T} r(t)dt, \quad S = \int_{t_0}^{T}\int_{c_0}^{\infty}\rho(c, t)cdtdc = \int_{c_0}^{C^*(T)} cQ(c, t_0)dc. \tag{22}$$

На рис. 2 изображены результаты численного расчета оптимальной динамики роста удельных затрат на добычу полезных ископаемых для модельного примера, на рис. 3 – оптимальный вариант выпуска конечного продукта $Y(t)$ в сопоставлении с вариантом последовательного освоения наиболее эффективной части разведанного запаса (он задается соотношением (13), $C(t) = C^*(t)$). Линия $V(t)$ соответствует программе выпуска конечного продукта без учета увеличения удельных и совокупных затрат на добычу минерального сырья. На рис. 4 представлен вариант оптимальной программы освоения имеющегося запаса, цифрами обозначены временные отрезки (например, номера года), на которые разбит совокупный интервал планирования $[t_0, T]$.

Для многопродуктовой модели (N видов ресурсов) неоднозначным становится не только программа освоения располагаемого запаса, но и выбор оптимальной динамики средних удельных затрат на добычу отдельных видов минерального сырья, которые должны удовлетворять совместному условию

$$\sum_{i=1}^{N} C_i^{\text{опт}}(t)a_i(t)V(t)dt \geq V(t)\left(1 + \sum_{i=1}^{N} C_i^0(t)a_i(t)\right) - V(t_0)e^{\mu^*(t-t_0)} \tag{23}$$

при N ограничениях:

$$\int_{t_0}^{t} C_i^{\text{опт}}(t)a_i(t)V(t)dt \geq \int_{c_{0i}}^{c_i^*(t)} Q_i(c, t_0)cdc, \quad i = 1, \ldots, N \ \forall t \in [t_0, T]. \tag{24}$$

Условие (23) описывает допустимый уровень текущих затрат на совокупную добычу полезных ископаемых, обеспечивающих выполнение планового задания в натуральном выражении и мак-

роэкономический рост выбранного показателя с максимально возможным темпом роста, равным μ^* на интервале $[t_0, T]$. Неравенство (24) означает, что оптимальный план добычи каждого вида ресурсов должен быть допустим с точки зрения возможности его реализации на основе имеющегося анализа запаса полезных ископаемых данного вида в произвольный момент времени.

Любое допустимое решение системы уравнений (23), (24) является оптимальным решением исходной задачи. Однако здесь оно выражено в текущих удельных затратах на добычу всех видов природного сырья, а не в виде программ освоения имеющегося запаса $\rho_i^{\text{опт}}(c, t)$, $c \in [c_{0i}, \infty)$, $t \in \in [t_0, T]$, $i = 1, ..., N$. Последние определяются в результате отыскания любого допустимого решения системы (3), (5), (9), где в качестве средних удельных затрат фигурируют произвольные оптимальные $C_i(t)$, удовлетворяющие системе ограничений (23), (24). Таким образом, установлена иерархия управленческих решений исходной проблемы, т.е. проблемы отыскания рациональной программы ресурсоосвоения, обеспечивающей стабильный макроэкономический рост при заданной динамике конечного выпуска в натуральном выражении.

Решение данной проблемы заключается в том, что на основе заданной динамики потребностей в минеральном сырье и оценки распределения разведанного запаса полезных ископаемых по уровню удельных затрат на добычу находится максимально возможный стабильный темп роста введенного макроэкономического выпуска, динамика текущих удельных сырьевых затрат и программа освоения разведанного запаса полезных ископаемых.

Дальнейшее развитие описания модели связано с учетом влияния научно-технического прогресса на динамику формируемых показателей (Бендиков, Хрусталев, 2006) и анализом перекрестного роста затрат на добычу в натуральном выражении. Последняя задача может быть решена на основе специально разработанной модели нелинейного межотраслевого баланса, являющейся фундаментальным обобщением развиваемого подхода.

Представленный формализационный аппарат позволяет анализировать проблему рационализации ресурсоосвоения, по существу, на основе единого, целостного подхода. В противном случае имеют место локальные попытки обеспечения частных псевдогосударственных или прочих собственнических устремлений, что отчетливо и проявляется в новейшей отечественной практике ресурсоосвоения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бендиков М.А., Хрусталев Е.Ю. (2006): Основы государственной политики инновационного развития российской экономики // *Федеративные отношения и региональная социально-экономическая политика.* № 3.

Зуев Г.М. (2002): О некоторых дополнительных составляющих количественного анализа современного социально-экономического процесса. В сб. "*От Сциллы к Харибде*". М., Волгоград: ВГУ.

Зуев Г.М., Елисеев И.А. (2005): Оптимальное ресурсоосвоение и налогообложение // *РИСК*. № 3.

Зуев Г.М., Луняков Б.С. (1984): Элементы межотраслевого анализа функционирования ресурсного блока экономической системы // *Комплексные проблемы обеспечения экономики минеральным сырьем*. № 7. М.: ВНИИСИ.

Зуев Г.М., Луняков Б.С. (1995): Прикладной системный анализ (исследование влияния истощаемости запасов полезных ископаемых на динамику экономического роста). М.: МЭСИ.

Рязанов В.Т. (2004): Рента как ключевая проблема современного экономического развития России // *Философия хозяйства*. № 6.

Солоу Р. (1999): Экономическая теория ресурсов. В сб. "*Рынки факторов производства*". СПб.: Экономическая школа.

Хотеллинг Х. (1999): Экономика исчерпаемых ресурсов. В сб. "*Рынки факторов производства*". СПб.: Экономическая школа.

Поступила в редакцию
10.07.2006 г.