

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ ПРИ НЕПОСТОЯННЫХ ИЗДЕРЖКАХ ДОБЫЧИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

© 1995 г. Эйсмонт О.А.

(Москва)

Рассматривается проблема долгосрочного роста экономики, использующей природный ресурс, издержки добычи которого возрастают. Получены условия равновесного роста и значения равновесных величин, характеризующих экономический рост. Анализируется устойчивость равновесного состояния.

1. ВВЕДЕНИЕ

Обычно при анализе проблем экономического роста с использованием истощающихся природных ресурсов издержки добычи принимаются либо постоянными, либо нулевыми (см., например, [1, 2]). Непостоянство издержек добычи рассматривается, как правило, на примере эксплуатации двух или нескольких месторождений, различающихся издержками добычи [2, 3]. Подобный подход приводит к тому, что проблема равновесного экономического роста при непостоянных издержках добычи природного ресурса сводится к случаю ограниченного природного ресурса при постоянных издержках добычи. В [3] также исследуется проблема экономического роста при заданной плотности распределения запасов природного ресурса по издержкам его добычи. Анализ ограничен случаем конечных запасов природного ресурса без учета научно-технического прогресса (НТП). При этом не изучаются равновесный экономический рост и его устойчивость. В [4] рассмотрена эксплуатация природного ресурса с непрерывно растущими издержками добычи при наличии неисчерпаемого альтернативного ресурса. Такая постановка не позволяет изучать особенности равновесного экономического роста, связанные с использованием истощающегося природного ресурса.

2. ОПИСАНИЕ ИСХОДНОЙ МОДЕЛИ

Под издержками добычи природных ресурсов понимаются затраты труда и капитала. Эти издержки определяются следующими существенными факторами: истощением, ведущим к повышению затрат, и НТП, противодействующим истощению. Обычно считается само собой разумеющимся, что НТП (каким бы ни был темп его роста) способствует снижению издержек добычи природных ресурсов. Однако это не всегда верно. Для иллюстрации рассмотрим замкнутую двухсекторную экономику, которая включает ресурсодобывающий сектор, и остальную ее часть. Предполагается, что весь выпуск ресурсодобывающего сектора используется для производства конечной продукции во втором секторе. Полагаем, что в первую очередь эксплуатируются наиболее благоприятные (в отношении издержек добычи) месторождения природных ресурсов. Выпуск каждого сектора описывается производственной функцией (ПФ) типа Кобба – Дугласа, линейно однородной по факторам производства, с экзоген-

ным НТП

$$R = A_1 K_1^{\alpha_1} L_1^{1-\alpha_1} e^{v_1 t} \phi(Q), \quad (1)$$

$$Y = A_2 K_2^{\alpha_2} L_2^{1-\alpha_2} R^{1-\alpha_2-\beta_2} e^{v_2 t}, \quad (2)$$

где K – суммарный капитал ($K = K_1 + K_2$); L – суммарные трудовые ресурсы ($L = L_1 + L_2$); R – поток потребляемого природного ресурса; v – темп роста НТП; Q – кумулятивная добыча природного ресурса; функция $\phi(Q)$ учитывает эффект истощения при добыче природного ресурса ($\phi'(Q) < 0$); Y – валовой внутренний продукт (ВВП); индексы 1 и 2 – ресурсодобывающий сектор и остальная часть экономики. Не учитываются прочие, помимо труда и капитала, затраты на добычу природных ресурсов, так как в реальной экономике доля этих затрат относительно невелика.

Если доля ресурсодобывающего сектора в ВВП мала (что обычно имеет место в развитых рыночных экономиках), то можно показать, что выражение для издержек добычи природного ресурса представляется в следующем виде (подробный вывод приведен в [5, 6])

$$c_R = (K/L)^{\alpha_2 - \alpha_1(\alpha_2 + \beta_2)} e^{[v_2 - (\alpha_2 + \beta_2)v_1]t} \vartheta(Q), \quad \vartheta'(Q) > 0, \quad (3)$$

где $\vartheta(Q)$ – функция кумулятивной добычи природного ресурса, учитывающая эффект истощения (конкретный вид этой функции приведен ниже). Предполагается, что $\vartheta''(Q) > 0$. Из (3) видно, что НТП может компенсировать эффект истощения природных ресурсов, только если темп роста НТП в ресурсодобывающем секторе экономики достаточно высок, во всяком случае выше, чем в остальной части экономики

$$v_1 > v_2/(\alpha_2 + \beta_2). \quad (4)$$

Таким образом, имеет значение не сам по себе темп роста НТП в ресурсодобывающем секторе, а его отношение к темпу роста НТП в остальной части экономики. Если, например, темпы роста НТП в обоих секторах равны, то НТП ведет к повышению издержек добычи природного ресурса. На ранних этапах освоения природных ресурсов, когда темп роста НТП в ресурсодобывающем секторе выше, чем в остальной части экономики, издержки добычи, как правило, снижаются. На более поздних стадиях эксплуатации природных ресурсов, когда темп роста НТП в ресурсодобывающем секторе сближается с темпом роста НТП в остальной части экономики (либо даже отстает от него), издержки добычи природного ресурса начинают расти независимо от абсолютной величины темпа роста НТП. В результате функция издержек добычи природных ресурсов от времени имеет U-образный характер (см., например, [7]).

Основное внимание в данной работе уделяется долгосрочному экономическому росту, поэтому для простоты предполагается, что темпы роста НТП в обоих секторах экономики равны ($v_1 = v_2 = v$). В этом случае эффективный темп роста НТП, влияющий на издержки добычи, равен $(1 - \alpha_2 - \beta_2)v$. Так как в развитых рыночных экономиках $(1 - \alpha_2 - \beta_2) \ll 1$ и $|\alpha_2 - \alpha_1(\alpha_2 + \beta_2)| \ll 1$, в дальнейшем издержки добычи природных ресурсов принимаются зависящими только от их кумулятивной добычи.

При непостоянных издержках добычи природных ресурсов можно рассматривать следующие три типа истощающихся природных ресурсов: а) запасы природного ресурса, а также издержки его добычи ограничены; б) запасы природного ресурса ограничены, а издержки его добычи могут расти неограниченно; в) запасы природного ресурса и издержки его добычи неограниченны. Эти три случая изображены на рис. 1. Первый из них, в принципе возможный, едва ли реален, так как трудно себе представить, что последнюю порцию ресурса можно добыть при конечных издержках и ничего сверх того не может быть добыто при сколь угодно высоких издержках. Теоретически запасы природных ресурсов ограничены хотя бы потому, что масса Земли ограничена.

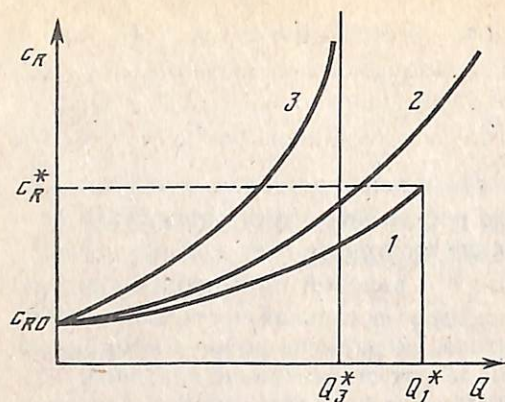


Рис. 1. Типы истощаемых природных ресурсов

начала эксплуатации до некоторого начального момента времени, который может не совпадать с началом эксплуатации природного ресурса; c_{R0} — издержки добычи природного ресурса в начальный момент времени; для неограниченного природного ресурса

$$c_R = \vartheta(Q) = c_{R0}(Q/Q_0)^n. \quad (6)$$

Кумулятивная добыча природного ресурса в замкнутой экономике связана с его потреблением балансовым соотношением

$$\dot{Q} = R. \quad (7)$$

В [7] оценка издержек на разведку и добычу нефти в "нижних" 48 штатах США соответствует квадратической зависимости издержек от кумулятивной добычи.

Основная цель настоящей работы — выявить, возможен ли в рыночной экономике устойчивый экономический рост при отсутствии ограничений на рост издержек добычи природных ресурсов.

Если доля ресурсодобывающего сектора в ВВП мала, то ПФ может быть представлена в виде [5, 6]

$$Y = F(K, L, R, t) - c_R R. \quad (8)$$

Принимается, что F (валовой выпуск экономики) является функцией Кобба — Дугласа, линейно однородной по факторам производства, с экзогенным НТП

$$F(K, L, R, t) = AK^\alpha L^\beta R^\gamma e^{\gamma t}, \quad \alpha + \beta + \gamma = 1. \quad (9)$$

Темп роста рабочей силы предполагается постоянным и равным n . Доля чистых инвестиций в ВВП s задается постоянной, из чего следует

$$\dot{K} = sY. \quad (10)$$

В условиях равновесия на рынках активов, когда доход на капитал равен доходу от владения запасом природного ресурса, динамика рыночной цены природного ресурса будет подчиняться уравнению Хотеллинга [8] (с учетом непостоянства издержек добычи природного ресурса)

$$\dot{p}_R / p_R = (\partial Y / \partial K)(1 - c_R / p_R), \quad (11)$$

где p_R — рыночная цена природного ресурса, включающая издержки добычи и ренту за истощение.

В приводимых ниже численных оценках использовались следующие характерные

Все же, если запасы природного ресурса достаточно велики, чтобы обеспечить потребности в нем, например, в течение нескольких столетий, подобный ресурс можно считать практически неограниченным. В последующем изложении анализируются лишь случаи б) и в).

Функция издержек добычи природного ресурса от кумулятивной его добычи задается в следующем виде: для ограниченного ресурса

$$c_R = \vartheta(Q) = c_{R0}[(Q_* - Q_0)/(Q_* - Q)]^\delta, \quad (5)$$

где Q_* — исходный (до начала эксплуатации) запас природного ресурса; Q_0 — суммарное количество природного ресурса, добытого с

значения параметров: $\alpha \approx 0,2$, $\beta \approx 0,75$, $\gamma \approx 0,05$, $s \approx 0,1$, $v \approx 0,02$, $n \approx 0,01$, что качественно соответствует развитым рыночным экономикам. Учитывая результаты [7], $\eta = 2$. Значение δ выбиралось из условия, чтобы в диапазоне $1 < Q/Q_0 < Q_*/Q_0$ издержки добычи в случаях ограниченного и неограниченного природного ресурса были сравнительно близки. Тогда в предположении, что $Q_*/Q_0 \approx 5$, $\delta \approx 3$.

3. ОГРАНИЧЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ РЕСУРС

Зависимость издержек добычи природного ресурса от его кумулятивной добычи принимается в виде (5). Вводя новые переменные

$$f = F/K, \quad \rho = R/(Q_* - Q), \quad \xi = c_R R/F, \quad (12)$$

получаем следующую систему уравнений для фондоотдачи (f), темпа использования природного ресурса (ρ) и доли ресурсодобывающего сектора в валовом выпуске (ξ)

$$\dot{f}/f = \{[(\alpha + \beta s)\xi - \alpha\gamma - \beta s]f + \beta n + v\} / (\alpha + \beta), \quad (13)$$

$$\dot{\rho}/\rho = \{[(1 - \gamma s)\xi / \gamma - (1 - s)]\alpha f + \beta n + v\} / (\alpha + \beta) + \rho, \quad (14)$$

$$\dot{\xi}/\xi = (\xi - \gamma)\alpha f / \gamma + \delta \rho. \quad (15)$$

Нетрудно показать, что ненулевое равновесное состояние системы (13)–(15) единственно и

$$f_* = \{(\beta n + v)[\delta(\alpha - \gamma s) - \alpha]\} / \{\alpha s[\alpha\gamma\delta + (\delta - 1 + \gamma)\beta]\}, \quad (16)$$

$$\rho_* = [(\beta n + v)(1 - \gamma)] / [\alpha\gamma\delta + (\delta - 1 + \gamma)\beta], \quad (17)$$

$$\xi_* = \{\gamma[\delta(\alpha - s) - \alpha]\} / [\delta(\alpha - \gamma s) - \alpha]. \quad (18)$$

Для существования равновесного состояния исходные параметры должны обеспечивать положительность значений f_* , ρ_* , ξ_* . Тогда из (17) следует, что для реализации равновесного состояния необходимо, чтобы

$$\alpha\gamma\delta + (\delta - 1 + \gamma)\beta > 0. \quad (19)$$

Из (16) условия реализации равновесного состояния

$$\alpha > \gamma s, \quad \delta > \alpha / (\alpha - \gamma s). \quad (20)$$

Наконец, из (18) эти условия

$$\alpha > s, \quad \delta > \alpha / (\alpha - s), \quad (21)$$

т.е. эластичность валового выпуска по капиталу должна быть выше нормы чистых инвестиций и абсолютная величина эластичности издержек добычи природного ресурса по текущему запасу ресурса – достаточно велика, по крайней мере больше единицы. Нетрудно видеть, что при выполнении условий (21) будут выполнены и (19), (20).

Первоначально предполагалось, что доля ресурсодобывающего сектора в ВВП достаточно мала. Возникает вопрос, останется ли эта доля таковой, либо возрастет вследствие увеличения издержек добычи природного ресурса. В равновесном состоянии доля ресурсодобывающего сектора в ВВП

$$(c_R R/Y)_* = \{\gamma[\delta(\alpha - s) - \alpha]\} / [\alpha(1 - \gamma)(\delta - 1)]. \quad (22)$$

Нетрудно видеть, что при принятых значениях параметров эта доля, несмотря на рост издержек, остается небольшой, во всяком случае меньше γ , что обеспечивает выполнение одного из существенных исходных предположений. Отметим также, что эта доля не зависит от темпа роста НТП.

Равновесные темпы роста ВВП и потребления природного ресурса

$$(\dot{Y}/Y)_* = [(\beta n + v)(\alpha + \beta)(\delta - 1)] / [\alpha\gamma\delta + (\delta - 1 + \gamma)\beta], \quad (23)$$

$$(\dot{R}/R)_* = -[(\alpha + \beta)(\beta n + v)] / [\alpha\gamma\delta + (\delta - 1 + \gamma)\beta]. \quad (24)$$

Таким образом, экономика, использующая ограниченный природный ресурс с неограниченно растущими издержками добычи, может развиваться сколь угодно долго. Следует отметить, что равновесный темп роста ВВП не зависит от нормы чистых инвестиций (в отличие от случая нулевых издержек добычи природного ресурса, где увеличение нормы чистых инвестиций повышает равновесный темп роста ВВП [2]).

Одним из существенных в проблеме долгосрочного экономического роста является вопрос о том, каковы условия роста душевого потребления. В рассматриваемом случае оно увеличивается, если темпы роста НТП достаточно высоки, а именно

$$v > \gamma \delta n / (\delta - 1). \quad (25)$$

Заметим для сравнения, что при нулевых издержках добычи природного ресурса условие повышения душевого потребления имеет вид

$$v > \alpha \gamma n / s. \quad (26)$$

Из (21) следует, что $(\alpha/s) > [\delta/(\delta - 1)]$. Тогда из сравнения (25) и (26) получаем, что условие роста душевого потребления в случае нулевых издержек добычи природного ресурса более жесткое, т.е. критический темп роста НТП выше, чем при возрастающих издержках добычи.

Равновесный темп роста цены природного ресурса

$$(\dot{p}_R / p_R)_* = [(\beta n + v)(1 - \gamma)\delta] / [\alpha \gamma \delta + (\delta - 1 + \gamma)\beta]. \quad (27)$$

При принятых значениях исходных параметров темп роста цены ресурса будет примерно 5% в год.

Рыночная цена природного ресурса включает в себя издержки добычи и ренту за истощение p . Доля p в рыночной цене ресурса в равновесном состоянии

$$(p/p_R)_* = \delta s(1 - \gamma) / [\delta(\alpha - \gamma s) - \alpha]. \quad (28)$$

Для наших параметров эта доля в равновесии окажется около 74%, т.е. рента за истощение может составить существенную долю цены ресурса. Отметим, что равновесные значения темпа роста цены ресурса и доли ренты за истощение в этой цене уменьшаются с повышением абсолютной величины эластичности издержек добычи ресурса по его текущему запасу. В случае ограниченного природного ресурса с постоянными издержками добычи доля ренты за истощение в его цене, в равновесном состоянии, монотонно возрастает, стремясь в пределе к единице.

Рассмотрим далее проблему устойчивости равновесного состояния. Нетрудно показать, что при принятых значениях исходных параметров уравнение (13) можно считать независимым. Действительно, в окрестности равновесного состояния, при $\gamma \ll 1$, с учетом (18) $(\alpha + \beta s)\xi \ll (\alpha \gamma + \beta s)$, откуда следует, что (13) не зависит от ξ и p . При этом равновесное значение f_* является устойчивым. Тогда анализ устойчивости равновесного состояния системы (13)–(15) сводится к анализу устойчивости системы уравнений (14), (15) при $f = f_*$. Можно показать, что равновесное состояние (p_*, ξ_*) соответствует точке типа седла, т.е. является глобально неустойчивым. На рис. 2 приведена соответствующая фазовая диаграмма в плоскости p, ξ .

4. НЕОГРАНИЧЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ РЕСУРС

Зависимость издержек добычи природного ресурса от его кумулятивной добычи принимается в виде (6). Когда запасы неограниченны, степень использования ресурса p определяется несколько иначе, чем в предыдущем случае

$$p = R/Q. \quad (29)$$

При этом (13) и (15) сохраняются в том же виде, что и при ограниченном ресурсе

(с заменой δ на η). Уравнение (14) преобразуется

$$(\dot{p}/p) = \{[(1-\gamma s)\xi/\gamma - (1-s)]\alpha f + \beta n + v\} / (\alpha + \beta) - p. \quad (30)$$

Равновесное состояние системы характеризуется следующими значениями искоемых переменных

$$f_* = \{(\beta n + v)[\eta(\alpha - \gamma s) + \alpha]\} / \{\alpha s[\alpha \eta + (\eta + 1 - \gamma)\beta]\}, \quad (31)$$

$$p_* = [(\beta n + v)(1 - \gamma)] / [\alpha \eta + (\eta + 1 - \gamma)\beta], \quad (32)$$

$$\xi_* = \{\gamma[\alpha + \eta(\alpha - s)]\} / [\alpha + \eta(\alpha - \gamma s)]. \quad (33)$$

Если $\alpha > s$, то равновесное состояние может быть реализовано при любых значениях остальных параметров; если же $\alpha < s$, оно возможно при условии

$$\eta < \alpha/(s - \alpha). \quad (34)$$

Темпы роста ВВП и потребления природного ресурса в равновесном состоянии

$$(\dot{Y}/Y)_* = [(\beta n + v)(\alpha + \beta)(\eta + 1)] / [\alpha \eta + (\eta + 1 - \gamma)\beta], \quad (35)$$

$$(\dot{R}/R)_* = [(\beta n + v)(\alpha + \beta)] / [\alpha \eta + (\eta + 1 - \gamma)\beta]. \quad (36)$$

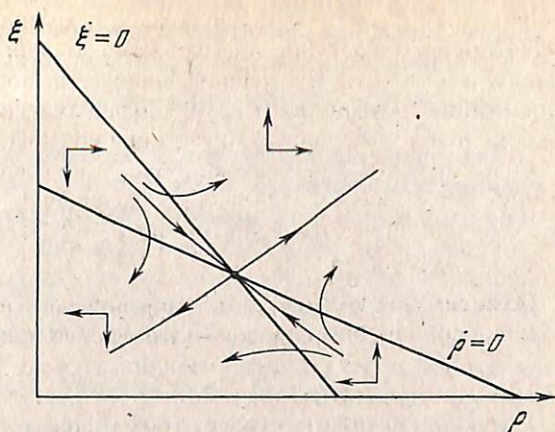


Рис. 2. Фазовая диаграмма для случая ограниченного природного ресурса

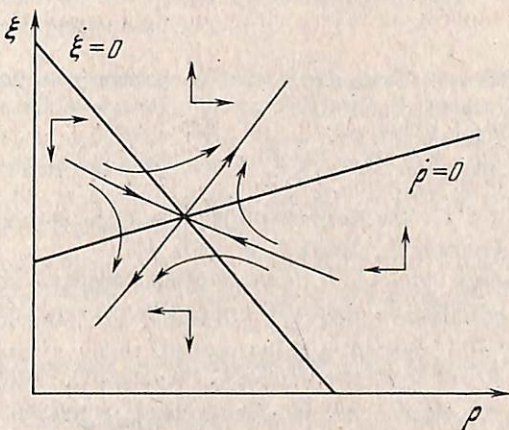


Рис. 3. Фазовая диаграмма для случая неограниченного природного ресурса

Снова, как и при ограниченном природном ресурсе, равновесный темп роста ВВП не зависит от нормы чистых инвестиций. Однако в отличие от предыдущего случая потребление ресурса растет.

Доля ресурсодобывающего сектора в ВВП в равновесном состоянии

$$(c_R R/Y)_* = \{\gamma[\alpha + \eta(\alpha - s)]\} / [\alpha(1 - \gamma)(\eta + 1)], \quad (37)$$

как и при ограниченном ресурсе, остается достаточно малой (менее $\gamma(1 - \gamma)$), хотя и издержки добычи, и потребление возрастают, и также не зависит от темпа роста НТП.

Душевое потребление будет увеличиваться, если темп роста НТП сохраняется на достаточно высоком уровне

$$v > \gamma \eta n / (\eta + 1). \quad (38)$$

При неограниченном природном ресурсе и сколь угодно высокой эластичности издержек по его кумулятивной добыче критический темп роста НТП (при превышении которого душевое потребление повышается) ниже, чем в случае ограниченного природного ресурса. Темп роста рыночной цены природного ресурса в равновесном состоянии

$$(\dot{p}_R / p_R)_* = [(\beta n + v)\eta(1 - \gamma)] / [\alpha \eta + (\eta + 1 - \gamma)\beta], \quad (39)$$

что при используемых значениях параметров составляет примерно 2,3% в год, т.е. заметно ниже, чем при ограниченном ресурсе.

Равновесное значение доли ренты за истощение в рыночной цене ресурса

$$(p/p_R)_* = [\eta s(1 - \gamma)]/[\alpha + \eta(\alpha - \gamma s)]. \quad (40)$$

Для принятых параметров доля ренты за истощение в цене природного ресурса в равновесном состоянии около 32%, т.е. существенно меньше, чем в случае ограниченного ресурса. Как видно из (39), (40), при неограниченном ресурсе равновесные значения темпа роста цены ресурса и доли ренты за истощение возрастают при увеличении эластичности издержек добычи ресурса по его кумулятивной добыче, а влияние эластичности издержек по кумулятивной добыче природного ресурса на значения равновесных величин сравнительно невелико. Так, в пределе при $\eta = \infty$ темп роста рыночной цены ресурса увеличивается до 3,4% в год, а равновесное значение доли ренты за истощение в ней возрастает при этом до 49%.

Анализ устойчивости системы уравнений (13), (15), (30) приводит к результатам, аналогичным случаю ограниченного ресурса, т.е. точка равновесия является седлом. Соответствующая фазовая диаграмма в плоскости p, ξ приведена на рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Review of Economic Studies. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources. 1974.
2. Dasgupta P., Heal G. Economic Theory and Exhaustible Resources. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1979.
3. Solow R.M., Wan F.V. Extraction Costs in the Theory of Exhaustible Resources // Bell J. Econ. 1976. V. 7. № 2.
4. Heal G. The Relationship between Price and Extraction Costs for a Resources with a Backstop Technology // Bell J. Econ. 1976. V. 7. № 2.
5. Эйсмонт О.А. Производственная функция при ненулевых издержках добычи природных ресурсов // Глобальное моделирование и информационные системы. М.: ВНИИСИ, 1989. Вып. 13.
6. Eismont O. Long-term Macroeconomic Estimate of Energy Consumption // Energy Econ. 1992. V. 14. № 4.
7. Cleveland C.J. Physical and Economic Aspects of Resource Quality // Resources and Energy. 1991. V. 13. № 1.
8. Hotelling H. The Economics of Exhaustible Resources // J. Polit. Econ. 1931. V. 39. № 2.

Поступила в редакцию
28 XII 1993