



Munich Personal RePEc Archive

**The dependence of the potential
sustainability of a resource economy on
the initial state: a comparison of models
using the example of Russian oil
extraction**

Bazhanov, Andrei

Far Eastern Federal University, Queen's University (Kingston,
Canada)

15 December 2011

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/35888/>

MPRA Paper No. 35888, posted 12 Jan 2012 05:37 UTC

А.В. Бажанов

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток;
Университет Квинс, Кингстон, Канада

Зависимость долгосрочного роста ресурсной экономики от начального состояния: сравнение моделей на примере российской нефтедобычи¹

В работах Международного валютного фонда предлагается модель рекомендаций устойчивой бюджетной политики странам-экспортерам нефти, в том числе России. Модель не включает ресурс в качестве фактора производства. При этом предполагается, что российские запасы нефти будут исчерпаны к середине XXI в. В данной работе исследуются закрытая и открытая модели, калиброванные на российских данных и включающие ресурс как фактор производства. Анализ открытой модели показывает, что для текущего состояния российской экономики монотонный экономический рост невозможен. Выведены условия, позволяющие количественно оценить изменения, улучшающие возможности для долгосрочного экономического роста.

Ключевые слова: *невозобновляемый ресурс, «слабая неистощаемость» ресурсодобычи, открытая экономика, российская нефтедобыча.*

Классификация JEL: O13, Q32, Q38.

1. Введение

Знаменитый доклад Римскому клубу «Пределы роста» (Медоуз и др., 1991), изданный в 1972 г., стимулировал вторую после работ Т. Мальтуса волну интереса к проблемам зависимости экономического роста от природных ресурсов. В докладе указывалось, что продолжение экспоненциальных трендов роста численности населения, объемов добычи ресурсов и загрязнения окружающей среды могут в течение текущего столетия привести к глобальной социально-экономической катастрофе.

Среди последовавших за докладом публикаций особое место занимают работы (Dasgupta, Heal, 1974; Solow, 1974; Stiglitz, 1974), опубликованные в журнале «Review of Economic Studies» как материалы симпозиума по вопросам экономики невозобновляемых ресурсов. В этих работах была предложена модель экономики (DHSS), основанная на производственной функции Кобба–Дугласа и содержащая, кроме труда и капитала, невозобновляемый ресурс в качестве необходимого² фактора производства. Как показали авторы модели DHSS, функция Кобба–Дугласа, обладающая единичной эластичностью замены факторов, является единственной из семейства функций с постоянной

¹ Автор благодарен В.М. Полтеровичу, а также анонимному рецензенту за ценные замечания и рекомендации, позволившие улучшить содержание работы.

² Согласно некоторым авторам, например (van der Ploeg, 2011), ресурс является необходимым для производства, если при отсутствии ресурса выпуск равен нулю, а при наличии ресурса и остальных необходимых факторов выпуск положителен; ресурс является существенным, если потребление для любой допустимой экономической программы уменьшается до нуля при уменьшении до нуля потока ресурса. То есть ресурс может быть необходимым для производства, но не существенным, если при отсутствии ресурса выпуск равен нулю, и существует допустимая экономическая программа, для которой потребление не убывает ниже прожиточного минимума, в то время как поток ресурса уменьшается до нуля, все время оставаясь положительным. В (Dasgupta, Heal 1974) ресурс назван существенным, если при его отсутствии выпуск равен нулю.

эластичностью замены, отражающей неопределенность проблемы исчерпания невозобновляемого ресурса в рамках парадигмы самоподдерживаемого (устойчивого) развития (SD)³. Уникальность этой функции объясняется тем, что модели с эластичностью меньше единицы предопределяют пессимистичный исход: независимо от инвестиционной и ресурсной политики, производство и потребление будут убывать до нуля при исчерпании ресурса, хотя улучшающаяся эффективность потребления ресурсов и переход на возобновляемые источники энергии в реальной экономике дают надежду на то, что подобного исхода удастся избежать. Если же эластичность модели больше единицы, то модельная экономика может расти без ресурса, что тоже не соответствует реальности, поскольку пока неизвестно, можно ли полностью отказаться от исчерпания невозобновляемых ресурсов за счет технологий, эксплуатирующих возобновляемые ресурсы, и если возможно, то насколько дорогим и длительным будет процесс замены.

Согласно некоторым эмпирическим исследованиям, эластичность замещения между энергетическими ресурсами и капиталом превышает единицу, в то время как другие работы свидетельствуют, что энергия и капитал скорее комплементы, чем субституты (эластичность меньше единицы). Есть публикации, в которых значение эластичности очень близко к единице. Подробнее этот вопрос рассматривается, например, в обзорной статье (Neumaier, 2000, разд. 4), т.е. на основании эмпирических оценок нельзя отвергнуть функцию Кобба–Дугласа с ресурсом в качестве фактора как неправдоподобную модель производства.

Модель DHSS допускает неубывающее потребление в течение бесконечного периода в том случае, когда темпы добычи невозобновляемого ресурса снижаются в долгосрочном периоде, оставаясь положительными, а капитал увеличивается, замещая исчезающий ресурс. Фактически, такое замещение может означать, что невозобновляемый ресурс, например нефть, замещается возобновляемым, например этанолом, при большей стоимости капитала в расчете на единицу извлекаемой энергии. Для упрощения таких моделей возобновляемый ресурс в них, как правило, не присутствует, поскольку проблема ограниченности запасов для такого вида ресурсов не стоит так остро, как для невозобновляемых.

Концепция, предполагающая возможность замещения природного капитала искусственным (произведенным человеком), называется *слабой формой SD*, или *слабой неустойчивостью* (weak sustainability) ресурсодобычи. Эта концепция критикуется за, возможно, излишний оптимизм сторонниками сильной формы SD, к которым относятся, например, Н. Георгеску-Роген и Х. Дайли, утверждающие, что природ-

³ Согласно базовому определению, предложенному в (МКОСР, 1989), «самоподдерживаемое развитие (sustainable development) – развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего поколения, не подрывая способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Самоподдерживаемый экономический рост (развитие) определяется в (Pezzey, 1992) как неубывающее в течение длительного периода потребление (полезность). В качестве показателя уровня развития используется также индекс человеческого развития (ПРООН 2010). Обзоры работ, показывающие развитие понятия SD, приводятся в (Pezzey, 1992, Appendix 1; Hammond, 1993). Привлекательность концепции SD связана с тем, что она согласуется с теориями справедливости между поколениями, требуя неубывающего качества жизни (см., например, обзорную статью (Asheim, 2010)).

ные ресурсы и капитал могут только дополнять друг друга в процессе производства, т.е. эластичность замены равна нулю. Существуют и промежуточные концепции SD, предполагающие, что часть запаса невозобновляемого ресурса должна оставаться нетронутой, а запас возобновляемых ресурсов должен поддерживаться на постоянном уровне в расчете на душу населения. Дискуссия между сторонниками различных форм SD опубликована в третьем выпуске журнала «Ecological Economics» (1997, vol. 22). Подробное обсуждение форм SD приводится, например, в книге (Neumaier, 1999).

Многочисленные исследования в ресурсной экономике убедительно демонстрируют важность политики исчерпания природных ресурсов для поддержания монотонно неубывающих индикаторов социального благосостояния. Однако курсы экономики ресурсов и окружающей среды во многих экономических школах не читаются, а там, где читаются, не являются обязательными, в то время как традиционная теория экономического роста по-прежнему не рассматривает ресурсы в качестве факторов производства (см., например, (Barro, Sala-i-Martin, 2003)). В результате в некоторых исследованиях, связанных с исчерпанием природных ресурсов, предполагается бесконечная эластичность замены ресурса капиталом⁴. Так, например, в работе (Джафаров и др., 2006) предлагаются рекомендации по построению устойчивой⁵ бюджетной политики в России при условии, что российские запасы нефти будут исчерпаны к 2048 г.⁶ Рекомендации основаны на численных расчетах с использованием неоклассической модели экономического роста, специфицированной в (Barnett, Ossowski, 2003) для стран-экспортеров нефти. Запасы ресурсов рассматриваются как часть финансовых активов: если эти активы потребляются, то богатство страны уменьшается, а если доходы от ресурсов инвестируются в финансовые активы, то богатство сохраняется, меняется лишь структура портфеля (Джафаров и др., 2006, с. 5). Модель агрегированного бюджетного ограничения в (Джафаров и др., 2006) имеет вид:

$$C(t) + \dot{K}(t) \leq F_l[A(t), K(t), L(t)] + p(t)R(t) + iK_W(t), \quad (1)$$

где $C(t)$ – совокупное потребление государства и частного сектора в момент времени t ; $\dot{K}(t)$ – инвестиции в государственный и частный «ненефтяной» капитал; $R(t)$ – темпы добычи нефти (вся нефть экспортируется); $p(t)$ – экспортная цена нефти⁷; K_W – авуары государства в мировых финансовых активах; i – норма прибыли по K_W

⁴ Предполагается, что ресурс и капитал являются совершенными заменителями.

⁵ В данной работе устойчивость понимается как обеспечение неубывающего потребления в долгосрочном периоде.

⁶ Дата окончания запасов нефти оценена авторами, исходя из объема достоверных, прогнозных и возможных запасов, составлявшего, по оценке, 149,3 трлн баррелей на 2004 г., и экзогенно заданного сценария добычи: «Темпы роста добычи нефти постепенно растут в 2006–2011 гг. и достигают четырех процентов в год [в] 2011–2012 гг., после чего следует постепенное замедление роста, а затем снижение самой добычи» (Джафаров и др. 2006, с. 43). Наиболее цитируемые источники сценариев добычи нефти (IEA: www.iea.org, EIA: www.eia.gov и ОПЕК: www.opec.org) рассматривают в качестве возможного сценарий низких цен, связанный с быстрым развитием возобновляемой энергетики. В этом наиболее благоприятном для SD сценарии мировой спрос на нефть существенно снижается до того, как будут исчерпаны российские запасы. Критика сценариев IEA и EIA приводится, например, в (Jakobsson et al., 2009).

(постоянная); $F_l[A(t), K(t), L(t)]$ – производственная функция внутреннего «ненефтяного» производства, где F_l – функция Кобба–Дугласа; $A(t)$ – уровень технологии, экзогенно растущий с постоянным темпом; $K(t)$ – государственный и частный «ненефтяной» капитал; $L(t)$ – затраты труда.

Постоянное долгосрочное потребление $C(t)$ в условиях снижения нефтяных доходов $p(t)R(t)$ до нуля за конечное время обеспечивается путем инвестиций в нефтяной капитал $K(t)$ и финансовые активы за границей K_w . Из четырех сценариев бюджетной политики выбирается такой, который дает максимальный уровень постоянного потребления⁸ в долгосрочном периоде после исчерпания нефти.

Задачи долгосрочного прогнозирования и планирования, связанные с исчерпанием невозобновляемых ресурсов, обычно решаются в условиях неопределенности запасов ресурса и развития технического прогресса. Последняя из этих неопределенностей обусловлена неопределенностью будущего поведения совокупной производительности факторов (TFP), а также эластичности замены ресурса «нересурсным» капиталом. Ошибки планирования бюджетной или ресурсной политики, вызванные неопределенностью будущих производственных возможностей, можно отнести к двум основным видам:

1) будущие возможности переоценены – ресурс перерасходуется в краткосрочном периоде с возможным крахом экономики (например, (Brander, Taylor, 1998));

2) будущие возможности недооценены – ресурс недорасходуется в краткосрочном периоде, приводя к неэффективности экономики (уровень потребления ниже, чем мог бы быть при точном прогнозировании).

Очевидно, что ошибки второго вида предпочтительнее для SD, поскольку политика в этом случае может корректироваться (темпы добычи могут увеличиваться) при получении новой информации и в результате экономика может быть асимптотически эффективной, а благосостояние – монотонно неубывающим. Ошибки же первого вида необратимы в силу невозобновляемости ресурса. В связи с этим, по крайней мере три предположения, использовавшиеся в модели (1), могут оказаться слишком оптимистичными.

1. *Эластичность замены ресурса капиталом* может быть ниже, чем предполагается в модели (1), где нефть и финансовые активы – совершенные заменители. На самом деле нефть – необходимый фактор производства, т.е. $F_l(t)$ зависит от $R(t)$, и пока неизвестно, можно ли полностью заменить этот ресурс на возобновляемые ресурсы с сохранением уровня и структуры потребления, т.е. при снижении темпов добычи уровень внутреннего производства может снижаться.

⁷ Экспортная цена на нефть на период 2006–2011 гг. основана на прогнозах бюллетеня МВФ «Перспективы развития мировой экономики». Начиная с 2012 г. цена предполагается постоянной «в реальном выражении относительно долгосрочной прогнозируемой инфляции потребительских цен в странах с развитой экономикой в два процента в год» (Джафаров и др. 2006, с. 44).

⁸ Критерий постоянного потребления удобен для количественного сравнения различных политических сценариев. В рамках двухфакторной модели сценарий с постоянным уровнем потребления может быть преобразован в сценарий роста путем увеличения инвестиций в краткосрочном периоде и (или) перераспределения ресурса в пользу будущих поколений.

2. *Технический прогресс*, как известно, развивается неравномерно, и неоспоримые успехи прошлого не гарантируют высокие темпы развития в будущем (например, (Brander, 2010)). Кроме того, развитие науки не всегда сопровождается ростом TFP. Иногда TFP может снижаться (Lipsey, Carlaw, 2004), т.е. $A(t)$ может расти медленнее, чем экспонента, не компенсируя снижение темпов добычи.

3. Норма прибыли по мировым финансовым активам может снижаться. Известны исторические тенденции к снижению процентных ставок (Homer, Sylla, 1996). В настоящее время норма прибыли в развитых странах, например в Японии, очень близка к нулю. Модели ресурсной экономики также предполагают асимптотическое снижение до нуля предельной производительности капитала и соответственно нормы прибыли. Этот вполне правдоподобный сценарий означает, что для поддержания постоянного потребления за счет вкладов за рубежом необходимо будет увеличивать размеры вкладов, что при снижающихся темпах добычи ресурса и объемах внутреннего производства может оказаться невозможным.

В настоящей работе самоподдерживаемость российской экономики исследуется с помощью известных моделей, включающих ресурс как фактор производства. Вводятся понятия потенциальной самоподдерживаемости и выживаемости модели (разд. 4). Эти понятия рассматриваются по отношению к исчезающему невозобновляемому ресурсу, необходимому для производства. Найдены необходимые и достаточные условия потенциальной самоподдерживаемости и выживаемости модели DHSS в зависимости от начального состояния экономики.

Условия потенциальной самоподдерживаемости, полученные для «несовершенной» экономики, могут быть использованы как агрегированный индикатор (определение 7), положительное значение которого гарантирует существование экономической программы с неубывающим поддушевым потреблением в бесконечном периоде. Это важное свойство отличает предлагаемый индикатор от индикатора истинных сбережений (ИС), используемого Всемирным банком для оценки экономической самоподдерживаемости⁹. Индикатор, полученный в данной работе, включает в себя индикатор ИС (правило Хартвика) как частный случай.

В работе приводится численный пример (разд. 5), в котором нефть рассматривается в качестве ресурса и модель калибруется на данных российской экономики. Численные оценки показывают, что закрытая модель – потенциально самоподдерживаемая, однако для

⁹ Индикатор ИС основан на выполнении правила Хартвика (Hartwick, 1977): инвестирование прибыли от невозобновляемого ресурса в капитал позволяет поддерживать постоянное поддушевое потребление в течение бесконечного периода времени. Это правило выведено при выполнении стандартного правила Хотеллинга. Влияние индикатора ИС на текущее изменение потребления и полезности для производственной функции общего вида исследовалось в (Hamilton, Hartwick, 2005; Hamilton, Withagen, 2007). Различные формы этого индикатора, рассчитанные в рыночных ценах, применялись на практике для оценки слабой неустойчивости ресурсов в работах (Pearce, Atkinson, 1993; Proops et al., 1999; Hamilton, Clemens, 1999). Российская практика использования индикаторов SD описана в (Бобылев, 2007). Однако, как отметили (Attow et al., 2003), рыночные цены не отражают истинную значимость природных ресурсов для SD. Так, например, потребление в модели DHSS при модифицированном правиле Хотеллинга может убывать до нуля, несмотря на выполнение правила Хартвика (Vazhanov, 2008). Поэтому индикатор ИС, вычисленный в рыночных ценах, может переоценивать неустойчивость ресурса.

внутреннего производства в открытой модели, подобной модели (1), траекторий с неубывающим выпуском не существует. При этом запрещение экспорта не решает проблему, поскольку основной причиной отсутствия самоподдерживаемости является относительно низкий (для меньшего количества капитала) темп роста внутреннего выпуска, т.е. если для качественного сравнения динамических сценариев закрытая модель может приводить к тем же выводам, что и открытая (Бажанов, Беляев, 2009), то для статического исследования потенциальной самоподдерживаемости открытой экономики более простая закрытая модель может оказаться слишком оптимистичной. Условия потенциальной самоподдерживаемости показывают, какие изменения в экономике способствуют появлению возможностей монотонного роста.

2. Закрытая модель Дасгупты–Хилла–Солоу–Стиглица (DHSS)

Как отмечалось выше, модель DHSS построена в рамках концепции слабой формы SD, полагающей, что технологии, основанные на невозобновляемых ресурсах (нефть, уголь), могут быть заменены капиталом, потребляющим только возобновляемые ресурсы (биотопливо, ветер, солнце и т.д.). Программа-минимум слабой формы самоподдерживаемого роста требует, по крайней мере, постоянного потребления на душу населения в долгосрочном периоде, подразумевая под долгосрочным периодом бесконечный промежуток времени (Solow, 1974).

Для анализа самоподдерживаемости естественно потребовать, чтобы модель допускала как позитивные, так и негативные исходы. Как отмечалось ранее, простейшая модель, удовлетворяющая этому требованию, может быть построена на основе производственной функции Кобба–Дугласа с ресурсом в качестве одного из факторов:

$$F(t) = A(t)K(t)^\alpha R(t)^\beta L(t)^\gamma, \quad (2)$$

где $\alpha, \beta, \gamma \in (0, 1)$; $\alpha + \beta + \gamma = 1$; F – объем ВВП; A – масштабирующий множитель TFP; K – запас капитала; R – поток ресурса; L – затраты труда (постоянные, равны численности населения¹⁰).

Модель DHSS широко используется в исследованиях самоподдерживаемости экономики с невозобновляемым ресурсом, в основном для анализа роли инвестиций в долгосрочном поведении показателя социального благосостояния, например, в работах (Hartwick, 1977; Dasgupta, Heal, 1979; Pezzey, Withagen, 1998; Stollery, 1998; Asheim et al., 2003; Buchholz et al., 2005; Asheim, 2005; Hamilton, Hartwick, 2005; Hamilton, Withagen, 2007; Vazhanov, 2010, 2011) с различными предположениями о росте населения (экспоненциальный – (Stiglitz, 1974; Такаяма, 1980), квазиарифметический – (Mitra, 1983; Asheim et al., 2007)) и о виде технического прогресса (экзогенный экспоненциальный рост TFP – (Stiglitz, 1974; Suzuki, 1976; Solow, 1986); эндогенный, увеличивающий запас ресурса – (Такаяма, 1980); экзогенный квази-

¹⁰ Это упрощение не влияет на результаты, так как соотношение численности рабочей силы к населению осциллирует обычно вокруг константы.

арифметический – (Pezzey, 2004¹¹; Asheim et al., 2007); компенсирующий амортизацию капитала – (Bazhanov, 2010, 2011)). Краткосрочные эффекты в ресурсозависимой экономике исследуются с помощью функции (2), например в (Матвеевко, 2010).

Функция вида (2) используется и в прикладных работах, например в моделях интегрированной оценки (IAM) последствий изменения климата (Nordhaus, Boyer, 2000), несмотря на то что точность количественного описания агрегированной экономики не является главным достоинством этой модели. Г. Асэйм (Asheim, 2005, p. 316) выразил это следующим образом: «Я не утверждаю, что эта модель точно описывает... производственные возможности в реальном мире... тем не менее она хорошо подходит, чтобы проиллюстрировать, как малые изменения параметров... могут привести к совершенно разным последствиям в сочетании с критерием равноправия поколений».

Разделив обе части уравнения (2) на L , получим модель в виде¹²

$$f = Ak^{\alpha}r^{\beta}, \quad (3)$$

где k и r обозначают запас капитала и поток ресурса в соответствующих единицах на душу населения. Поскольку цель работы не связана с исследованием эффектов развития знаний, используется простое предположение о форме технического прогресса в виде роста TFP компенсирующего амортизацию капитала¹³. Доля инвестиций в ВВП предполагается постоянной ($\dot{k}(t) = wf(t)$, $w \in (0,1)$, $w = \text{const}$), и балансовое уравнение имеет вид: $f = \dot{k} + c$, где c – конечное потребление.

3. Методика калибровки

В данной работе для оценки α и β используются уравнения¹⁴:

$$\frac{\dot{f}_0}{f_0} = \alpha \frac{\dot{k}_0}{k_0} + \beta \frac{\dot{r}_0}{r_0}, \quad (4)$$

$$1 - \gamma = \alpha + \beta, \quad (5)$$

где γ – заданная доля труда в ВВП. Единственное решение системы (4)–(5) имеет вид

$$\alpha = \left[\dot{f}_0 / f_0 - (1 - \gamma) \dot{r}_0 / r_0 \right] / \left[\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0 \right], \quad (6)$$

$$\beta = \left[(1 - \gamma) \dot{k}_0 / k_0 - \dot{f}_0 / f_0 \right] / \left[\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0 \right] \quad (7)$$

и существует при $\dot{k}_0 / k_0 \neq \dot{r}_0 / r_0$. Нижний индекс 0 означает, что соответствующая величина задана в начальный момент t_0 . Зная α и β , параметр A находим из уравнения (3).

¹¹ В работе (Pezzey, 2004) этот вид роста TFP назван «гиперболическим», поскольку по предположению темп роста убывает обратно пропорционально времени.

¹² Иногда для упрощения вида формул зависимость переменных от времени будем опускать.

¹³ Такое предположение подразумевает, что рост TFP имеет вид $\tilde{A}(t) = A(1 + \mu k^{1-\alpha} r^{-\beta})$, где μ – темп амортизации капитала (например, 0,07). Эта модель TFP близка к линейной функции с малым углом наклона (Bazhanov, 2009), что не является ни экстремально оптимистичным предположением, как в моделях с экспоненциально растущей TFP, ни экстремально пессимистичным, как в моделях без технического прогресса.

¹⁴ Иногда для оценки α и β применяют экспертные оценки, например $\alpha = 0,3$, $\beta = 0,05$ (Андреева, Бажанов, 2007) и $\beta = 0,25$ (Бажанов, Тюхов, 2008; Бажанов, Беляев, 2009). При этом значения капитала и темпов роста ВВП определяются из уравнения (4). В данной работе экспертные оценки не используются, поскольку они не позволяют применять предлагаемую ниже методику оценки потенциальной самоподдерживаемости.

Методика калибровки предполагает, что:

а) реальная экономика \mathbf{E}_0 задана следующими величинами: $\mathbf{E}_0 = \{\gamma, f_0, \dot{f}_0 / f_0, k_0, \dot{k}_0, r_0, \dot{r}_0, s_0\}$, где s_0 – оценка всех экономически значимых запасов невозобновляемого ресурса в расчете на душу населения, которые могут быть извлечены в течение рассматриваемого периода. Как указывалось выше, для SD предпочтительнее, чтобы эта оценка была оценкой снизу;

б) $f_0, k_0, r_0, s_0 > 0$, а f_0 и \dot{k}_0 такие, что уровень начального потребления $c_0 = f_0 - \dot{k}_0$ не ниже прожиточного минимума: $c_0 \geq c_{min} > 0$;

в) использование ресурса в начальный момент может быть статически неэффективным¹⁵, динамически неэффективным¹⁶ и неоптимальным, в отличие от многих теоретических исследований с моделью (3), где начальное состояние задается размерами запасов k_0 и s_0 , а начальные темпы добычи r_0 , объем инвестиций \dot{k}_0 и, как следствие, остальные начальные значения из \mathbf{E}_0 являются решениями задачи максимизации функционала благосостояния.

Последнее предположение позволяет включить в модель (в неявном виде) влияние несовершенных институтов и экстерналий. Тем самым модель приближается к реальной жизни, хотя по-прежнему допускаются некоторые упрощения, не всегда выполняющиеся в реальной экономике, например: а) ресурс является продуктивным¹⁷ ($\partial f / \partial r > 0$); б) экономика не является расточительной (весь произведенный продукт тратится либо на потребление, либо на инвестиции: $f = c + \dot{k}$)¹⁸.

Определение 1. Будем говорить, что модель калибрована на экономике \mathbf{E}_0 в момент t_0 , или модель имеет начальное состояние \mathbf{E}_0 , если выбранные для калибровки значения входных и выходных переменных производственной функции этой модели совпадают с данными экономики \mathbf{E}_0 при $t = t_0$.

Определение 2. Модель, калиброванная на экономике \mathbf{E}_0 , является допустимой для экономики \mathbf{E}_0 , если параметры этой модели существуют и принимают допустимые значения.

Предложение 1. Модель (3) допустима для экономики \mathbf{E}_0 в момент t_0 , если и только если:

$$1) f_0 > 0, k_0 > 0, r_0 > 0 \quad (\Leftrightarrow A > 0); \quad (8)$$

$$2) \text{ для } \dot{r}_0 \left(\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0 \right) > 0: 1 - \frac{\dot{f}_0 r_0}{f_0 \dot{r}_0} < \gamma < \frac{\dot{k}_0 r_0}{k_0 \dot{r}_0} - \frac{\dot{f}_0 r_0}{f_0 \dot{r}_0} \quad (\Leftrightarrow \alpha \in (0, 1)); \quad (9)$$

$$\text{для } \dot{r}_0 \left(\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0 \right) < 0: \frac{\dot{k}_0 r_0}{k_0 \dot{r}_0} - \frac{\dot{f}_0 r_0}{f_0 \dot{r}_0} < \gamma < 1 - \frac{\dot{f}_0 r_0}{f_0 \dot{r}_0} \quad (\Leftrightarrow \alpha \in (0, 1)); \quad (10)$$

$$3) \text{ для } \dot{k}_0 \left(\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0 \right) > 0: \frac{k_0 \dot{r}_0}{\dot{k}_0 r_0} - \frac{\dot{f}_0 k_0}{f_0 \dot{k}_0} < \gamma < 1 - \frac{\dot{f}_0 k_0}{f_0 \dot{k}_0} \quad (\Leftrightarrow \beta \in (0, 1)); \quad (11)$$

¹⁵ Экономика $f(k, r)$ статически эффективна, если выход f равен максимально возможному выходу данных k и r . Здесь поскольку все три величины заданы, модель (3) в момент времени t_0 отражает реальное соотношение между факторами и выходом.

¹⁶ Траектория потребления может быть неоптимальной по Парето.

¹⁷ Использование ресурса не продуктивно (является анти-продуктивным), когда его запас уменьшается, а размер ВВП не увеличивается (снижается); например, при лесных пожарах или разливах нефти.

¹⁸ Экономика является расточительной, если $f > c + \dot{k}$.

$$\text{для } \dot{k}_0 \left(\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0 \right) < 0: 1 - \frac{\dot{f}_0 k_0}{f_0 \dot{k}_0} < \gamma < \frac{k_0 \dot{r}_0}{\dot{k}_0 r_0} - \frac{\dot{f}_0 k_0}{f_0 \dot{k}_0} \quad (\Leftrightarrow \beta \in (0, 1)). \quad (12)$$

Доказательство следует непосредственно из формул (3), (6), (7) и условий допустимости параметров. Например, при $\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0 < 0$ и $\dot{r}_0 < 0$ условие $\alpha > 0$ имеет вид:

$$\begin{aligned} \left[\dot{f}_0 / f_0 - (1 - \gamma) \dot{r}_0 / r_0 \right] / \left[\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0 \right] > 0 &\Leftrightarrow \dot{f}_0 / f_0 - (1 - \gamma) \dot{r}_0 / r_0 < 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \dot{f}_0 / f_0 < (1 - \gamma) \dot{r}_0 / r_0 &\Leftrightarrow 1 - \gamma < \dot{f}_0 r_0 / (f_0 \dot{r}_0) \Leftrightarrow \gamma > 1 - \dot{f}_0 r_0 / (f_0 \dot{r}_0), \end{aligned}$$

что является левой частью неравенства (9). Остальные случаи доказываются аналогично. ■

Предложение 1 показывает, при каких начальных состояниях модель (3) имеет экономический смысл. Так, например, модель (3), предназначенная для исследования трендов, может оказаться неприменимой к текущему состоянию экономики, если это состояние явилось результатом процессов, отсутствующих в модели. Например, в 2009 г. российские темпы добычи нефти росли, не превышая темп роста капитала ($\dot{r}_0 (\dot{k}_0 / k_0 - \dot{r}_0 / r_0) > 0$), а ВВП снижался ($\dot{f}_0 / f_0 < 0$). Согласно левой части неравенства (9), условие $\alpha > 0$ требует в этом случае $\gamma > 1$, что недопустимо в данной модели¹⁹. Поэтому для более точного моделирования тренда данные для калибровки могут задаваться усредненными по времени величинами.

4. Потенциальная самоподдерживаемость

Определение 3. Набор траекторий $\Pi(t)$ называется *экономической программой* (программой)²⁰ для модели с производственной функцией $f(t)$, если этот набор однозначно описывает динамику модели.

В данном случае, поскольку норма накопления постоянна ($w(t) \equiv w_0$), а динамика запаса описывается уравнением $\dot{s}(t) = -r(t)$, то в качестве экономической программы для $f(t) = f(k(t), r(t))$ достаточно рассмотреть пару траекторий $\{k(t), r(t)\}$.

Определение 4. Программа $\Pi(t)$ является *допустимой* для модели с производственной функцией $f(t)$ и начальным состоянием E_0 , если $k(t_0) = k_0$, $r(t_0) = r_0$, $k(t), r(t) \geq 0$ для всех $t \geq t_0$, и $\int_{t_0}^{\infty} r dt \leq s_0$.

В данной работе понятия «выживаемость» и «самоподдерживаемость» рассматриваются в терминах подушевого потребления.

Определение 5. Модель является *потенциально выживаемой* (potentially survivable)²¹, если существует хотя бы одна допустимая программа $\Pi(t)$ (*выживаемая программа*), для которой уровень потребления не опускается ниже прожиточного минимума: $c(t) \geq c_{\min} > 0$ для любых $t \geq t_0$.

Модель может не быть потенциально выживаемой, несмотря на существование допустимых программ, если, например, эластичность замены ресурса капиталом меньше единицы. В этом случае модель является *невывоживаемой*.

¹⁹ Вообще говоря, по определению производственной функции, $\dot{k} > 0$ и $\dot{r} > 0$ влекут за собой $\dot{f} > 0$.

²⁰ Это понятие использовалось, например, в (Dasgupta, Heal, 1974, 1979; Arrow et al., 2003).

²¹ Термин «выживаемый (survivable) рост» использовался в (Pezzey, 1992). В (McKibben, 2005) данный вид роста назывался «полуустойчивым» (semisustainable); этот термин применялся для описания сельского хозяйства на Кубе, которому после распада СССР удалось остаться на уровне, способном удовлетворять основные потребности населения.

Предложение 2. Если модель (3) с начальным состоянием \mathbf{E}_0 потенциально выживаема, то

$$\gamma > 1 - \frac{2\dot{f}_0/f_0}{\dot{k}_0/k_0 + \dot{r}_0/r_0}, \text{ если } (\dot{k}_0/k_0)^2 - (\dot{r}_0/r_0)^2 > 0, \quad (13)$$

или

$$\gamma < 1 - \frac{2\dot{f}_0/f_0}{\dot{k}_0/k_0 + \dot{r}_0/r_0}, \text{ если } (\dot{k}_0/k_0)^2 - (\dot{r}_0/r_0)^2 < 0. \quad (14)$$

Замечание. Необходимость условий (13) и (14) для потенциальной выживаемости модели (3) связана с тем, что они обеспечивают возможность «растянуть» конечный запас ресурса s_0 на бесконечный период времени. Это необходимо для того, чтобы уровень потребления не опускался ниже некоторого положительного значения в течение всего этого периода. Так, в случае (13), программа с уровнем потребления не ниже c_{min} может существовать за счет роста капитала, дополненного трудом. Однако выживаемая программа может не существовать, несмотря на сходимость интеграла $\int_{t_0}^{\infty} rdt$, например, в случае (14) при отсутствии инвестиций ($\dot{k}_0 = 0$), сокращении добычи ($\dot{r}_0 < 0$) и высвобождении труда ($\gamma < 1 - 2\beta$).

Доказательство предложения 2 следует из необходимого условия потенциальной выживаемости $\alpha > \beta$ ²² и формул (6), (7). Например, при $\dot{k}_0/k_0 - \dot{r}_0/r_0 < 0$ и $\dot{k}_0/k_0 + \dot{r}_0/r_0 < 0$, условие $\alpha > \beta$ имеет вид:

$$\frac{\dot{f}_0}{f_0} - (1-\gamma)\frac{\dot{r}_0}{r_0} < (1-\gamma)\frac{\dot{k}_0}{k_0} - \frac{\dot{f}_0}{f_0} \Leftrightarrow 1-\gamma < \frac{2\dot{f}_0/f_0}{\dot{k}_0/k_0 + \dot{r}_0/r_0},$$

что дает неравенство (13). Выполнение неравенства (14) может быть показано аналогично. ■

Величина

$$\alpha - \beta = \frac{2\dot{f}_0/f_0 - (1-\gamma)(\dot{k}_0/k_0 + \dot{r}_0/r_0)}{\dot{k}_0/k_0 - \dot{r}_0/r_0} \quad (15)$$

может использоваться как мера потенциальной выживаемости, что влечет следующий результат.

Следствие 1. Мера потенциальной выживаемости модели (3) с начальным состоянием \mathbf{E}_0 может быть увеличена при превышении темпов инвестирования над темпами изменения объемов добычи ($\dot{k}_0/k_0 - \dot{r}_0/r_0 > 0$ и $\dot{k}_0/k_0 + \dot{r}_0/r_0 > 0$) с помощью увеличения темпов роста ВВП \dot{f}_0/f_0 за счет роста предельного продукта капитала или увеличения доли труда γ .

Замечание. Следствие 1 рассматривает только ситуации, в которых сходимость интеграла $\int_{t_0}^{\infty} rdt$ сопровождается ростом экономики.

Определение 6. Модель является потенциально самоподдерживаемой (potentially sustainable), если существует хотя бы одна допустимая программа $\Pi(t)$ (самоподдерживаемая программа), вдоль которой уровень душевого потребления не убывает: $\dot{c}(t) \geq 0$ для любых $t \geq t_0$. В противном случае модель является несамоподдерживаемой.

²² Р. Солоу (Solow, 1974) показал, что это условие обеспечивает сходимость интеграла $\int_{t_0}^{\infty} rdt$, что необходимо, но не достаточно для поддержания ненулевого уровня потребления в бесконечном периоде (см., например, (Bazhanov, 2007, 2008)).

Предложение 3. Модель (3) с начальным состоянием \mathbf{E}_0 потенциально самоподдерживаема, если и только если

$$s_0 \geq r_0 \left[1 - \gamma - \dot{f}_0 k_0 / (f_0 \dot{k}_0) \right] / \left[2 \dot{f}_0 / f_0 - (1 - \gamma)(\dot{k}_0 / k_0 + \dot{r}_0 / r_0) \right] \quad (16)$$

или, в терминах α и β ,

$$(\alpha - \beta) \frac{\dot{k}_0}{k_0} + \beta \frac{\dot{s}_0}{s_0} \geq 0. \quad (17)$$

Доказательство. Для упрощения промежуточных формул положим $t_0 = 0$.

1. Необходимость. Пусть модель (3) с начальным состоянием \mathbf{E}_0 потенциально самоподдерживаема. Покажем, что это влечет выполнение неравенств (16) и (17).

Обозначим s_{min} запас ресурса, который расходуется вдоль «минимальной» самоподдерживаемой программы, обеспечивающей $c(t) \equiv c_0$. Так как $w = \text{const}$, то $\dot{c}(t) = (1 - w)f \equiv 0$, что в силу (3) дает уравнение для $r_{min}(t)$:

$$\frac{\dot{f}}{f} = \alpha \frac{\dot{k}}{k} + \beta \frac{\dot{r}}{r} = 0 \Leftrightarrow \beta \frac{\dot{r}}{r} = -\alpha w A k^{\alpha-1} r^\beta \Leftrightarrow r^{-1-\beta} \dot{r} = -\alpha w A k^{\alpha-1} / \beta.$$

В случае $\dot{f} \equiv 0$, инвестиционное правило $\dot{k} \equiv w f_0$ дает линейный капитал: $k(t) = k_0(1 + k_1 t)$, где $k_1 = w f_0 / k_0 = \dot{k}_0 / k_0$. Тогда уравнение для $r_{min}(t)$ принимает вид $r^{-1-\beta} dr = -(\alpha w A k_0^{\alpha-1} / \beta)(1 + k_1 t)^{\alpha-1} dt$ и имеет решение $r_{min}(t) = r_0(1 + k_1 t)^{-\alpha/\beta}$, интегрирование которого дает

$$s_{min} = \int_0^\infty r_{min}(t) dt = \frac{r_0 \beta}{k_1 (\beta - \alpha)} (1 + k_1 t)^{1-\alpha/\beta} \Big|_0^\infty = \frac{k_0 r_0 \beta}{\dot{k}_0 (\alpha - \beta)}^{23}.$$

Допустимость $\Pi(t)$, вдоль которой $\dot{c}(t) \geq 0$ для любых $t \geq 0$, влечет неравенство $s_0 \geq \int_0^\infty r(t) dt \geq s_{min} = k_0 r_0 \beta / [\dot{k}_0 (\alpha - \beta)]$, что приводит к неравенству (17), а подстановка в него выражений (6) и (7) – к неравенству (16).

2. Достаточность. Пусть для экономики \mathbf{E}_0 и калиброванной на ней модели (3) выполняются неравенства (16) и (17). Покажем, что тогда существует допустимая программа $\Pi(t)$, такая, что $\dot{c}(t) \geq 0$ для всех $t \geq 0$. Рассмотрим частный случай неравенства (17) для

$$s_0 = k_0 r_0 \beta / [\dot{k}_0 (\alpha - \beta)] = k_0 r_0 \beta / [f_0 w (\alpha - \beta)], \quad (18)$$

и покажем, что подушевое потребление постоянно для $\Pi(t) = \{k(t), r(t)\}$, где $k(t) = k_0(1 + r_1 t)$, $r(t) = r_0(1 + r_1 t)^{-\alpha/\beta}$ и $\int_0^\infty r dt = s_0$. После интегрирования $r(t)$ имеем $s_0 = r_0 \beta / [r_1 (\alpha - \beta)]$. Тогда для $r_1 = f_0 w / k_0$ удовлетворяется равенство (18).

Рассмотрим

$$\dot{f} / f = \alpha \dot{k} / k + \beta \dot{r} / r = \frac{\alpha k_0 r_1}{k_0 (1 + r_1 t)} - \frac{\beta \alpha r_0 r_1 (1 + r_1 t)^{-\alpha/\beta-1}}{\beta r_0 (1 + r_1 t)^{-\alpha/\beta}} = \frac{\alpha r_1}{1 + r_1 t} - \frac{\alpha r_1}{1 + r_1 t},$$

²³ Это равенство может быть записано в виде $s_{min} = k_0^{-1-\alpha} r_0^{1-\beta} \beta / [(\alpha - \beta) A w]$, что является более общим видом «условия совершенства» экономики DHSS с точки зрения критерия постоянного потребления (Bazhanov, 2010) для $w \neq \beta$ и $A \neq 1$.

т.е. $\dot{f} \equiv 0$, из чего в силу $\dot{c} = (1-w)\dot{f}$, где $w = \text{const}$, следует $\dot{c}(t) \equiv 0$. ■

Условие (17) для $\dot{k}_0 > 0$ и $\alpha - \beta > 0$ можно записать в виде $\alpha - \beta \geq r_0 \beta k_0 / (s_0 \dot{k}_0) > 0$, что, естественно, является более жестким требованием к текущему состоянию экономики, чем условия (13) и (14), основанные на неравенстве $\alpha - \beta > 0$. Неравенство (17) показывает способы повышения потенциальной самоподдерживаемости, которые могут быть сформулированы в следующем виде.

Следствие 2. Потенциальная самоподдерживаемость модели (3) с начальным состоянием E_0 может быть улучшена с помощью:

- увеличения запаса ресурса s_0 ;
- увеличения темпа роста капитала \dot{k}_0/k_0 ;
- уменьшения текущих темпов добычи r_0 ;
- увеличения доли капитала α и уменьшения доли ресурса β в ВВП.

В свою очередь, увеличение α и уменьшение β , при фиксированном темпе роста капитала, согласно формулам (6) и (7), эквивалентно тому, что темп роста ВВП повышается и (или) темпы добычи снижаются (уменьшается \dot{r}_0/r_0), т.е. *если ВВП растет при ускоряющемся введении технологий, не использующих невозобновляемый ресурс, то потенциальная самоподдерживаемость улучшается.*

Определение 7. Для модели (3) с начальным состоянием E_0 величину

$$LS_0 = s_0 - \frac{k_0 r_0 \beta}{\dot{k}_0 (\alpha - \beta)} = s_0 - \frac{k_0^{1-\alpha} r_0^{1-\beta} \beta}{wA(\alpha - \beta)} =$$

$$= s_0 - r_0 \left[1 - \gamma - \dot{f}_0 k_0 / (f_0 \dot{k}_0) \right] / \left\{ 2 \dot{f}_0 / f_0 - (1 - \gamma)(\dot{k}_0/k_0 + \dot{r}_0/r_0) \right\},$$

где $\dot{k}_0 > 0$ и $\alpha - \beta > 0$, будем называть *уровнем потенциальной самоподдерживаемости (УПС) модели* в момент t_0 . Положительное значение LS_0 означает, что в модели имеется *запас потенциальной самоподдерживаемости*, отрицательное – *дефицит потенциальной самоподдерживаемости*.

Замечания. Второе равенство в определении 7 показывает, что темп роста капитала \dot{k}_0/k_0 и соответственно индикатор самоподдерживаемости LS_0 растут при росте нормы накопления w , уровня ТФР A и уменьшении подушевого капитала k_0 . Последняя зависимость связана с тем, что для вогнутой производственной функции меньшим значениям капитала соответствуют более высокие темпы роста выпуска, в большей степени способствуя компенсации потерь из-за исчезающего ресурса.

Для увеличения самоподдерживаемости экономики, развитие науки, увеличивающее ТФР, предпочтительнее, чем увеличение нормы накопления, поскольку норма накопления ограничена ($w < 1$) и потребление убывает с ростом w , тогда как рост ТФР обеспечивает как рост потребления ($c = (1-w)Ak^\alpha r^\beta$), так и улучшение самоподдерживаемости.

Индикатор УПС совпадает с выражением для индикатора ИС в учетных ценах, выведенного в (van der Ploeg, 2011) для случая

$A=1$, и, как отмечено выше, с условием совершенства начального состояния модели DHSS, выведенного в (Bazhanov, 2010) для $w=\beta$ и $A=1$. Индикатор УПС включает в себя правило Хартвика в момент t_0 ($\dot{k}_0 - f_r r_0 = 0$) как частный случай, когда начальное состояние экономики удовлетворяет условию совершенства $r_0 = [As_0(\alpha - \beta) / k_0^{1-\alpha}]^{1/(1-\beta)}$ по отношению к критерию постоянного потребления (Bazhanov, 2010).

Положительное значение LS_0 , согласно предложению 3, указывает на то, что модель (3) потенциально самоподдерживаемая. Индикатор УПС может быть выражен в любых единицах путем домножения LS_0 на положительную величину, как, например, в неравенстве (17). В определении 7 LS_0 измеряется в единицах запаса ресурса, что показывает, например, на сколько должен быть увеличен запас s_0 для устранения совокупного дефицита самоподдерживаемости. Домножение на $\dot{k}_0 / (s_0 f_0)$ преобразует LS_0 в индикатор истинных сбережений (в учетных ценах), выраженный в долях ВВП.

Кроме качественных оценок, неравенство (17) позволяет оценить, например, сравнительную важность инвестиционной политики для самоподдерживаемости экономики. Так, для сохранения потенциальной самоподдерживаемости при снижении темпа роста капитала в два раза за тот же промежуток времени или запас ресурса должен быть увеличен в два раза, или в два раза должен быть снижен текущий темп добычи r_0 , или доля ресурса в ВВП должна быть снижена до величины $\alpha\beta / (2\alpha - \beta)$ ²⁴.

Увеличение инвестиций для повышения УПС ограничено мерами текущего ВВП и требованиями к обеспечению минимального уровня потребления. Возможности прироста запаса s_0 также ограничены возрастающей затратностью поиска месторождений, увеличением стоимости добычи и ограниченностью запасов. Поэтому *научные исследования, увеличивающие TFP и уменьшающие долю невозобновляемых ресурсов в ВВП за счет расширения использования возобновляемых ресурсов, являются единственным надежным способом повышения потенциальной самоподдерживаемости экономики*. Влияние этого способа на потенциальную самоподдерживаемость ограничивается лишь существующей структурой инвестиций и текущими технологическими возможностями, которые постоянно улучшаются.

5. Оценка потенциальной самоподдерживаемости российской экономики

5.1. Закрытая модель

Данные для калибровки модели (3) приведены в табл. 1. Неточность представления модели в данном случае может быть оценена, например, по значениям предельных продуктов капитала f_k и ресурса f_r ²⁵ в момент t_0 . Так, f_k может быть оценена без модели (3), непосредственно по данным Росстата:

²⁴ Например, если $\alpha = 0,3$, $\beta = 0,2$, то новое значение β должно стать 0,15 с увеличением γ на 0,05.

²⁵ При несовершенной конкуренции эти величины, в общем случае, не совпадают с процентной ставкой и ценой ресурса соответственно.

$$f_k(t_0) \equiv \frac{\partial f}{\partial k}(t_0) = \frac{\dot{f}_0/f_0}{\dot{k}_0/f_0} = \frac{\dot{f}_0/f_0}{w_0} = 0,2080.$$

Согласно модели (3) эта же величина равна $f_k(t_0) = \alpha f_0/k_0 = 0,2074$. Оценка предельного продукта нефти для модели (3) равна $f_r(t_0) = \beta f_0/r_0 = 449$ [долл./т] или $f_r(t_0)/7,3$ [баррелей/т] = 61,47 [долл./баррель]²⁶.

Легко проверить, что для данных, представленных в табл. 1, выполняется необходимое условие потенциальной выживаемости (предложение 2), поскольку, согласно формулам (6) и (7), $\alpha = 0,37 > \beta = 0,16$ ²⁷. Это означает, что модель (3) для экономики, заданной в виде табл. 1, *может* избежать коллапса. Более того, эта модель является также и потенциально самоподдерживаемой, так как

$$LS_0 = s_0 - k_0 r_0 \beta / [\dot{k}_0 (\alpha - \beta)] = 129,05 > 0,$$

т.е. существуют допустимые экономические программы, вдоль которых подушевое потребление монотонно не убывает для всех $t \geq t_0$. Однако для модели (3) эти оптимистичные выводы верны только в тех случаях, когда положительное количество ресурса имеется в любой момент $t \geq t_0$, что не выполняется в предположениях модели (1). В рамках модели (3) предположение о полном исчерпании нефти к 2048 г. влечет за собой падение производства и потребления до нуля.

5.2. Открытая модель

Для того чтобы приблизить модель, рассмотренную в разд. 2–5 к модели (1), выделим в качестве составляющих производства доходы от экспорта нефти и доходы от зарубежных активов²⁸:

$$y = c + \dot{k}_T = f_I(k_I, r_I) + p r_E + i k_W, \quad (19)$$

где y – ВВП; $f_I = A k_I^{\alpha_I} r_I^{\beta_I}$ – внутреннее производство; r_I, r_E – объемы внутреннего потребления и экспорта в российской нефтедобыче; p – цена нефти; k_W – авуары в мировых финансовых активах: $k_W = k_T - k_I$, k_T – совокупный капитал (внутренний k_I плюс активы за границей); i – норма прибыли на k_W . Величины $y, f_I, c, r_I, r_E, r_W, k_T, k_W, k_I$ приведены к единицам на душу населения. Основным отличием модели (19) от модели (1) является то, что нефть r_I , используемая для внутреннего производства, включена в производственную функцию как фактор. Модель калибровалась по данным табл. 1 и 2.

В отличие от закрытого случая, формулы (6) и (7) для внутреннего производства дают $\alpha_I = 0,231 < \beta_I = 0,297$, т.е. производство $f_I(k_I, r_I)$ в модели (19) является невыживаемым. Это означает, что *при сохранении структуры производства f_I его объем будет снижаться до нуля по мере исчерпания нефти, независимо от траектории исчерпания, а также от бюджетной и инвестиционной политики.*

²⁶ По данным EIA (<http://www.eia.doe.gov>), цена одного барреля нефти марки «Юралс» колебалась от 34,2 долл. в январе 2009 г. до 137,6 долл. – в июле 2008 г. и 76,27 долл. – в октябре 2009 г.

²⁷ При этом из уравнения (3) получаем $A = f_0 k_0^{-\alpha} r_0^{-\beta} = 2,8$ [(тыс. долл./чел.)^{1-\alpha} (т/чел. в год)^{-\beta}].

²⁸ Такая модель использовалась, например, в (Dasgupta et al., 1978).

Замечание. Механическое преобразование открытой экономики в закрытую потребовало бы: а) запрещения вывоза капитала и реинвестирования всего вывезенного капитала во внутреннее производство; б) запрещения экспорта ресурсов. При этом для получения такой же самоподдерживаемости, как в *закрытой* модели (3), для *открытой* экономики необходимо, чтобы реинвестированный капитал в сочетании с перенаправленным во внутреннее производство экспортным ресурсом дали не меньший вклад в рост ВВП, чем это было в открытой экономике. Неправдоподобность такого сценария предполагает, что потенциальная самоподдерживаемость может быть улучшена, в основном, за счет качественных преобразований внутреннего капитала (введение возобновляемых источников энергии) и роста ТФР.

В чем причина ухудшения выживаемости для открытой модели? В данном случае основную роль играет не изменение потока ресурса в модели f_I , а уменьшение запаса капитала, поскольку слагаемое k_0/k_0 в формулах (6) и (7) на два порядка больше, чем \dot{r}_0/r_0 – как в закрытом, так и в открытом случае. В силу вогнутости производственной функции по k и по r , для того чтобы модель с функцией f_I была такой же выживаемой, как с функцией f , но при меньших значениях k и r , темп роста производства должен быть существенно выше. В данном случае из формулы (6) следует, что для данных табл. 2 доля внутреннего капитала α_I равнялась бы значению α в модели (3), если бы темп роста производства f_I был бы равен $\dot{f}_{I0}/f_{I0} = 0,084$, что качественно согласуется с рекомендациями следствия 1. Таким образом, *потенциальная выживаемость производства может быть улучшена при таком увеличении капитала, которое, по крайней мере, не уменьшает темп роста производства.*

Оценка потенциальной выживаемости может, конечно, смещаться за счет погрешностей данных. Так, в табл. 2 приближенно полагается, что $\dot{f}_{I0}/f_{I0} \approx \dot{f}_0/f_0$. Эту величину можно также оценить из равенства

$$\frac{\dot{f}}{f} = \frac{\dot{f}_I + \dot{f}_W}{f} = \frac{f_I}{f} \frac{\dot{f}_I}{f_I} + \frac{f_W}{f} \frac{\dot{f}_W}{f_W},$$

которое дает следующее выражение для \dot{f}_{I0}/f_{I0} :

$$\frac{\dot{f}_{I0}}{f_{I0}} = \frac{\dot{f}_0}{f_0} \frac{f_0}{f_{I0}} - \frac{\dot{f}_{W0}}{f_{W0}} \frac{f_{W0}}{f_{I0}}. \quad (20)$$

Согласно данным (Росстат, 2010), доходы от «остального мира», выраженные в долларах США, выросли к 1 января 2009 г. по сравнению с предыдущим годом:

$$\frac{\dot{f}_{W0}}{f_{W0}} \approx \frac{1432,3486[\text{млрд руб.}]/29,38[\text{руб./долл.}] - 1143,3291[\text{млрд руб.}]/24,55[\text{руб./долл.}]}{1143,3291[\text{млрд руб.}]/24,55[\text{руб./долл.}]} = 0,047,$$

что, согласно формуле (20), приводит к более высокой оценке для \dot{f}_{I0}/f_{I0} :

$$\frac{\dot{f}_{I0}}{f_{I0}} = 0,052 \frac{F_0}{F_{I0}} - 0,047 \frac{F_{W0}}{F_{I0}} = 0,0592.$$

Однако этой оценки также недостаточно для потенциальной выживаемости, поскольку она по-прежнему дает $\alpha_I = 0,262 < \beta_I = 0,266$ ²⁹.

Согласно следствию 1, потенциальная выживаемость может быть также улучшена путем изменения доли труда. В данном случае, поскольку $\dot{k}_0/k_0 + \dot{r}_0/r_0 > 0$, доля труда γ_I должна быть увеличена. Действительно, увеличение γ_I в 1,15 раза ($\gamma_I = 0,5428$) влечет за собой $\alpha_I = 0,232 > \beta_I = 0,225$. Аналогичный эффект дает увеличение темпов роста производства в 1,15 раза ($\dot{f}_{I0}/f_{I0} = 0,060$): $\alpha_I = 0,267 > \beta_I = 0,261$.

Однако согласно предложению 3, в обоих случаях модель будет лишь потенциально выживаемой, но не будет потенциально самоподдерживаемой, поскольку УПС LS_0 в обоих случаях отрицательный: $LS_0 = -215,2$ для $\gamma_I = 0,5428$, и $LS_0 = -349,2$ для $\dot{f}_{I0}/f_{I0} = 0,060$. Величина LS_0 показывает в данном случае, какой дополнительный запас нефти [т/чел.] необходим для внутреннего производства, чтобы обеспечить потенциальную самоподдерживаемость. Энергетическая стратегия России (ЭС-2030, 2010) предусматривает постепенное снижение доли экспорта в российской нефтедобыче, увеличивая долю «внутреннего» запаса s_{I0} . Очевидно, что в данных примерах это увеличение не решит проблему, поскольку весь общий запас $s_0 = 146,53$ меньше, чем величина дефицита потенциальной самоподдерживаемости. Если же предположить, что одновременно с увеличением доли труда до $\gamma_I = 0,5428$ увеличится темп роста внутреннего производства до $\dot{f}_{I0}/f_{I0} = 0,060$, то это даст уже запас потенциальной самоподдерживаемости величиной $LS_0 = 59,21$.

Согласно следствию 2, УПС может быть также увеличен путем снижения текущих темпов добычи³⁰. Например, для $\gamma_I = 0,5428$ и $\dot{f}_{I0}/f_{I0} = 0,0524$ уменьшение внутреннего потребления нефти до $\tilde{r}_{I0} = 0,9r_{I0} = 1,69$ [т/чел. в год] при снижающемся тренде $\dot{r}_{I0} = -0,002$ [т/чел. в год за год] и запасах $s_{I0} = 2s_0/3 = 97,68$ [т/чел.] даст сокращение дефицита самоподдерживаемости до $LS_0 = -58,71$. Если же к этим изменениям добавить увеличение темпа роста производства в 1,1 раза до $\dot{f}_{I0}/f_{I0} = 0,0577$, то УПС станет уже положительным: $LS_0 = 74,13$.

В соответствии с названием величины LS_0 , все вышеупомянутые изменения в экономике могут улучшить лишь *потенциальную* самоподдерживаемость, оцениваемую в некоторый момент t_0 . Смогут ли модель (19) и реальная экономика, на которой калибрована эта модель, следовать теоретически существующей экономической программе с неубывающим подушевым потреблением, зависит от динамики инвестиционной и ресурсной политики, а также от выполнения предположения о поведении технического прогресса (Vazhanov, 2008).

²⁹ Если выразить \dot{f}_{I0}/f_{I0} в евро, то $\dot{f}_{I0}/f_{I0} = 0,058$, что также дает $\alpha_I < \beta_I$.

³⁰ Структура модели предполагает при этом, что нефть частично замещается возобновляемыми источниками энергии.

Что касается прогнозов поведения величин, влияющих на УПС, то, согласно (ЭС-2030, 2010), до 2030 г. должен увеличиваться размер запаса s_0 и размер доли запаса, предназначенной для внутреннего рынка, что должно увеличивать величину LS_0 . Однако эти изменения, уже учтенные в приведенных выше примерах, не помогли добиться самоподдерживаемости модели. Кроме того, ЭС-2030 предусматривает растущие темпы добычи ископаемых видов топлива и не предусматривает конкретные проекты по развитию возобновляемой энергетики, что должно способствовать дальнейшему снижению УПС.

6. Заключение

В настоящей работе введены понятия потенциальной самоподдерживаемости и потенциальной выживаемости модели, которые основаны на существовании теоретической возможности поддерживать неубывающий (не убывающий ниже прожиточного минимума) уровень душевого потребления в долгосрочном периоде. В качестве примеров рассматривались закрытый и открытый варианты неоклассических моделей с производственной функцией Кобба–Дугласа, которые с 1974 г. используются в ресурсной экономике как в теоретических, так и в прикладных исследованиях. В настоящей работе эти модели были калиброваны на данных российской экономики. В качестве невозобновляемого ресурса, являющегося необходимым фактором производства, рассматривалась нефть.

В работе найдены необходимые условия потенциальной выживаемости, а также необходимые и достаточные условия потенциальной самоподдерживаемости модели в зависимости от начального состояния. Условия и основанный на них индикатор УПС (уровень потенциальной самоподдерживаемости) показывают, существует ли для данной модели экономическая программа, поддерживающая неубывающее душевое потребление в течение бесконечного периода. Индикатор УПС получен при более общих предположениях, чем индикатор истинных сбережений, который применяет Всемирный банк. В частности, экономика в момент оценки может быть статически и динамически неэффективной, а также не максимизировать социальное благосостояние, например, вследствие институционального несовершенства.

Возможность реализации программы с неубывающим потреблением зависит от будущей динамики инвестиционной и ресурсной политики (Vazhanov, 2008), что, конечно, во многом определяется динамикой институтов. Поэтому предложенные условия можно использовать как необходимые для устойчивого роста. А именно: если эти условия не выполняются, то при сохранении текущей структуры производства уровень потребления будет снижаться. В этом случае условия показывают, какими способами можно улучшить потенциальную выживаемость и самоподдерживаемость (следствия 1, 2).

Численная оценка закрытой модели, калиброванной на российских данных, показала, что модель является потенциально самоподдерживаемой. Эта оценка, однако, не подтвердилась при исследовании открытой модели, в которой в качестве составляющих ВВП были выделены доходы от экспорта нефти, прибыль от капитала, размещенного за рубежом, и остальное внутреннее производство, которое моделировалось функцией Кобба–Дугласа с нефтью в качестве фактора производства. Модель внутреннего производства оказалась несамоподдерживаемой, даже если предположить, что экспорта нефти нет и вся российская нефть используется только для внутреннего производства. В данном случае, согласно следствиям 1 и 2, можно добиться существования траектории неубывающего потребления с помощью: 1) увеличения предельного продукта капитала; 2) уменьшения доли ресурса и увеличения долей труда и капитала в ВВП; 3) увеличения темпа роста капитала (увеличение нормы накопления, увеличение TFP)³¹; 4) уменьшения темпов добычи ресурса; 5) увеличения запаса ресурса.

Из этих рекомендаций, в частности, следует, что УПС растет при ускоряющемся введении возобновляемых источников энергии, уменьшающих использование ископаемых видов топлива. Однако, согласно (ЭС-2030, 2010), развитие российской экономики должно основываться на растущих темпах добычи невозобновляемых ресурсов, что, согласно результатам данной работы, будет способствовать дальнейшему снижению УПС. Анализ причин ресурсной зависимости российской экономики, включая роль институтов, а также возможные практические подходы к улучшению возможностей для долгосрочного экономического роста, предлагаются, например, в работе (Полтерович и др., 2007).

В отличие от моделей, на основе которых проводились исследования сотрудниками МВФ (Barnett, Ossowski, 2003; Джафаров и др., 2006), модели ресурсной экономики, применяемые в данной работе, базируются на более осторожных предположениях, в частности, о возможности адекватной замены невозобновляемого ресурса финансовыми активами или другими видами капитала, а также о поведении TFP. Рекомендации, полученные на базе таких моделей, предписывают более консервативную ресурсную политику, существенно снижая риск глубокого экономического спада, связанного с исчерпанием ресурса. В частности, целесообразность использования модели DHSS в задачах долгосрочного планирования связана с тем, что ее предположения отражают существующую в реальной экономике неопределенность зависимости потребления от инвестиционной политики и траектории исчерпания ресурса. Более гибкие модели, обладающие таким же свойством, принадлежат уже классу функций с переменной эластичностью замены факторов, что существенно усложняет их анализ.

³¹ Эти рекомендации совпадают с выводами работы (van der Ploeg, Venables, 2011), где рассматривался расширенный вариант модели (1) и было показано, что для развивающихся стран предпочтительнее наращивать внутренний капитал и совершенствовать инфраструктуру, чем инвестировать ресурсные доходы в иностранные активы.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Данные для калибровки модели (3)*

Наименование переменной	Обозначение	Оценка на 01.01.2009	Источник
Население	L_0	141,9 [млн чел.]	(Росстат 2010, строка 47)
ВВП	F_0	41428,56 [млрд руб.]	(Росстат 2010, строка 599)
Темп роста ВВП	$\dot{F}_0 / F_0 = \dot{f}_0 / f_0$	0,0524 [за год]	(Росстат 2010, строка 601)
Курс доллара США	D_0	29,38 [руб./долл.]	(Росстат 2010, строка 1938)
ВВП на душу населения	f_0	9,9371 [тыс. долл./чел. в год] ³²	$F_0 / D_0 / L_0$
Доля валовых накоплений в ВВП	w_0	0,252	(Росстат 2010, строка 1026)
Инвестиции	\dot{k}_0	2,5 [тыс. долл./чел. в год]	$w_0 f_0$ ³³
Основные фонды	K_0	74471,182 [млрд руб.]	(Росстат 2010, строка 1050)
Капитал на душу населения	k_0	17,86 [тыс. долл./чел.]	$K_0 / D_0 / L_0$
Темпы добычи нефти	R_0	487,6 [млн т/год]	(ЭС-2030, 2010, приложение 1)
То же, на душу населения	r_0	3,4362 [т/чел. в год]	R_0 / L_0
Скорость прироста темпов добычи	\dot{r}_0	0,0034 [т/чел. в год за год]	$(3,4567 - 3,4362) / 6$ (ЭС-2030, 2010); предположение о линейности r на каждом этапе ³⁴
Запасы нефти на душу населения	s_0	146,53 [т/чел.]	20792 [млн т] ³⁵ / L_0
Доля труда в ВВП	γ	0,472	Оплата труда наемных работников / ВВП (Росстат, 2010)

* В квадратных скобках указана размерность величины.

³² В данной работе ВВП оценен по официальному обменному курсу, а не по паритету покупательной способности, поскольку доходы от экспорта нефти входят в модель (19) именно в этих единицах.³³ Для упрощения предполагается, что инвестиции равны накоплениям.³⁴ Усредненная оценка \dot{r}_0 за период 2001–2009 гг., вычисленная с использованием методики, предложенной в (Бажанов, 2006), равняется 0,018.³⁵ Величина 20 792 млн т включает оценку запасов нефти на 01.01.2009, равную 8219 млн т (ОГ, 2009), и оценку прироста запасов до 2030 г., равную 12 573 млн т (ЭС-2030, 2010, приложение 3).

Таблица 2

Данные для калибровки модели (19)*

Наименование	Обозначение	Оценка на 01.01.2009	Источник
Авуары в мировых финансовых активах	K_{W0}	1011,377 [млрд долл.]	(ЦБ РФ, 2009)
То же, на душу населения	k_{W0}	7,1274 [тыс. долл. / чел.]	K_{W0} / L_0
Совокупный национальный капитал на душу населения	k_{T0}	17,86 [тыс. долл. / чел.]	k_0
Внутренний национальный капитал на душу населения	k_{I0}	10,74 [тыс. долл. / чел.]	$k_{T0} - k_{W0}$
Объем экспорта нефти	R_{E0}	221,6365 [млн т/год]	(ФТС, 2009)
То же, на душу населения	r_{E0}	1,56192 [т/чел. в год]	R_{E0} / L_0
Доля экспорта в нефтедобыче	ε	0,4545	r_{E0} / r_0
Доходы от экспорта нефти	$p_0 R_{E0}$	151,6686 [млрд долл.]	(ФТС, 2009)
То же, на душу населения	$p_0 r_{E0}$	1,0688 [тыс. долл. / чел. в год]	$p_0 R_{E0} / L_0$
Внутреннее использование нефти на душу населения	r_{I0}	1,8743 [т/чел. в год]	$r_0 - r_{E0}$
Запасы нефти для внутреннего производства на душу населения	s_{I0}	79,92 [т/чел.]	$(1 - \varepsilon)s_0$
Доходы от мировых финансовых активов	F_{W0}	1432,3486 [млрд руб.]	(Росстат, 2010, строка 646)
То же, на душу населения	ik_{W0}	0,3436 [тыс. долл. / чел. в год]	$F_{W0} / D_0 / L_0$
ВНП на душу населения	y_0	9,9371 [тыс. долл. / чел. в год]	f_0
Объем внутреннего «нефтяного» производства	F_{I0}	35779,57 [млрд руб.]	$F_0 - p_0 R_{E0} D_0 - F_{W0}$
То же, на душу населения	f_{I0}	8,525 [тыс. долл. / чел. в год]	$F_{I0} / D_0 / L_0$
Темп роста f_{I0}	\dot{f}_{I0} / f_{I0}	0,0524 [за год]	\dot{f}_0 / f_0
Доля накоплений в мировых финансовых активах	w_{W0}	0,252	w_0
Инвестиции в мировые активы	\dot{k}_{W0}	0,087 [тыс. долл. / чел. в год]	$w_{W0} ik_{W0}$
Инвестиции во внутренний капитал	\dot{k}_{I0}	2,4176 [тыс. долл. / чел. в год]	$\dot{k}_0 - \dot{k}_{W0}$
Скорость прироста темпов добычи для внутреннего производства	\dot{r}_{I0}	0,00186 [т/чел. в год за год]	$(1 - \varepsilon)\dot{r}_0$
Доля труда в F_{I0}	γ_I	0,472	γ

* В квадратных скобках указана размерность величины.

Литература

- Андреева А.А., Бажанов А.В.** (2007). Сценарии перехода к устойчивым темпам добычи нефти в России. MPRA Paper № 5343.
- Бажанов А.В.** (2006). Вариационные принципы моделирования в ресурсной экономике // *Вестник ДВО РАН*. Т. 6. С. 5–13.
- Бажанов А.В., Беляев А.А.** (2009). Адекватность закрытой модели для российской экономики в задаче сравнительного анализа Энергетической стратегии России. MPRA Paper № 15109.
- Бажанов А.В., Тюхов И.И.** (2008). Энергетическая стратегия России и развитие возобновляемой энергетики. Труды 6-й Международной научно-техн. конф. «*Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве*» 13–14 мая 2008 г. Часть 4. М.: ГНУ ВИЭСХ. С. 3–8.
- Бобылев С.Н.** (2007). Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение. Пособие по региональной экологической политике. М.: Акрополь.
- Джафаров Э., Такизава Х., Зебрегс Х.** и др. (2006). Российская Федерация. Отдельные вопросы. Доклад МВФ по стране № 06/430. Вашингтон: Международный валютный фонд.
- Матвеев В.Д.** (2010). Доли факторов и экономический рост в ресурсозависимой экономике. X Международная конференция по проблемам развития экономики и общества. Т. 1. М.: Издательский дом ГУ–ВШЭ. С. 163–174.
- Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рэндерс Й.** и др. (1991). Пределы роста: доклад по проекту Римского клуба «Сложное положение человечества». М.: МГУ.
- МКОСР (1989). Наше общее будущее: доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР). М.: Прогресс.
- Полтерович В., Попов В., Тонис А.** (2007). Экономическая политика, качество институтов и механизмы «ресурсного проклятия». М.: Издательский дом ГУ–ВШЭ.
- ПРООН (2010). Доклад о развитии человека 2010. Реальное богатство народов: пути к развитию человека. М.: Весь мир.
- Росстат (2010). Социально-экономические показатели Российской Федерации в 1991–2009 гг. [Электронный ресурс] Приложение к статистическому сборнику «Российский статистический ежегодник. 2010» Режим доступа: <http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/publishing/catalog/>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: февраль 2011 г.).
- ФТС (2009). Экспорт России важнейших товаров в 2008 году. [Электронный ресурс] Федеральная Таможенная Служба. Режим доступа: <http://www.customs.ru/ru/stats/arhiv-stats-new/trfgoods/popup.php?id286=508/>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: ноябрь 2010 г.).
- ЦБРФ (2009). Международная инвестиционная позиция Российской Федерации. [Электронный ресурс] Режим доступа http://www.cbr.ru/search/print.asp?File=/statistics/credit_statistics/iip_rf.htm/, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: ноябрь 2010 г.).

- ЭС-2030 (2010). Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. М.: ГУ ИЭС. [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.energystrategy.ru/>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: ноябрь 2010 г.).
- Arrow K.J., Dasgupta P., Mäler K.G.** (2003). Evaluating Projects and Assessing Sustainable Development in Imperfect Economies // *Environmental and Resource Econ.* Vol. 26. P. 647–685.
- Asheim G.B.** (2005). Intergenerational Ethics under Resource Constraints // *Swiss J. of Econ. and Statistics.* Vol. 141(3). P. 313–330.
- Asheim G.B.** (2010). Intergenerational Equity // *Annual Rev. of Econ.* Vol. 2. P. 197–222.
- Asheim G.B., Buchholz W., Withagen C.** (2003). The Hartwick Rule: Myths and Facts // *Environmental and Resource Econ.* Vol. 25. P. 129–150.
- Asheim G.B., Buchholz W., Hartwick J.M.** et al. (2007). Constant Savings Rates and Quasi-Arithmetic Population Growth under Exhaustible Resource Constraints // *J. of Environmental Econ. and Management.* Vol. 53. P. 213–229.
- Barnett S., Ossowski R.J.** (2003). Operational Aspects of Fiscal Policy in Oil-Producing Countries. In «*Fiscal Policy Formulation and Implementation in Oil-Producing Countries*» / Davis J. M., Ossowski R. J., Fedelino A. (eds.) Washington: International Monetary Fund.
- Barro R.J., Sala-i-Martin X.** (2003). Economic Growth. Cambridge: MIT Press.
- Bazhanov A. V.** (2007). The Transition to an Oil Contraction Economy // *Ecological Econ.* Vol. 64(1). P. 186–193.
- Bazhanov A.V.** (2008). Sustainable Growth in a Resource-Based Economy: the Extraction-Saving Relationship. MPRA Paper № 23299.
- Bazhanov A.V.** (2009). Maximin-Optimal Sustainable Growth in a Resource-Based Imperfect Economy. MPRA Paper № 19258.
- Bazhanov A.V.** (2010). Sustainable Growth: Compatibility between a Plausible Growth Criterion and the Initial State // *Resources Policy.* Vol. 35(2). P. 116–125.
- Bazhanov A.V.** (2011). A Closed-Form Solution to Stollery's Problem with Damage in Utility // *Computational Econ.* (in print). DOI: 10.1007/s10614-010-9249-4.
- Brander J.A.** (2010). Presidential Address: Innovation in Retrospect and Prospect // *Canadian J. of Econ.* Vol. 43(4). P. 1087–1121.
- Brander J.A., Taylor M.S.** (1998). The Simple Economics of Easter Island: a Ricardo-Malthus Model of Renewable Resource Use // *American Econ. Rev.* Vol. 88(1). P. 119–138.
- Buchholz W., Dasgupta S., Mitra T.** (2005). Intertemporal Equity and Hartwick's Rule in an Exhaustible Resource Model // *Scandinavian J. of Econ.* Vol. 107(3). P. 547–561.
- Dasgupta P., Eastwood R., Heal G.** (1978). Resource Management in a Trading Economy // *The Quarterly J. of Econ.* Vol. 92(2). P. 297–306.
- Dasgupta P., Heal G.** (1974). The Optimal Depletion of Exhaustible Resources // *Rev. of Econ Studies.* Vol. 41. P. 3–28.
- Dasgupta P., Heal G.** (1979). Economic Theory and Exhaustible Resources. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Hamilton K., Clemens M.** (1999). Genuine Savings Rates in Developing Countries

- // *World Bank Econ. Rev.* Vol. 13(2). P. 333–356.
- Hamilton K., Hartwick J.M.** (2005). Investing Exhaustible Resource Rents and the Path of Consumption // *Canadian J. of Econ.* Vol. 38(2). P. 615–621.
- Hamilton K., Withagen C.** (2007). Savings Growth and the Path of Utility // *Canadian J. of Econ.* Vol. 40(2). P. 703–713.
- Hammond P.** (1993). Is There Anything New in the Concept of Sustainable Development? Mimeo. Stanford University.
- Hartwick J.M.** (1977). Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources // *American Econ. Rev.* Vol. 67 (5). P. 972–974.
- Homer S., Sylla R.E.** (1996). A History of Interest Rates. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.
- Jakobsson K., Söderbergh B., Höök M.** et al. (2009). How Reasonable are Oil Production Scenarios from Public Agencies? // *Energy Policy.* Vol. 37(11). P. 4809–4818.
- Lipsey R.G., Carlaw K.I.** (2004). Total Factor Productivity and the Measurement of Technological Change // *Canadian J. of Econ.* Vol. 37(4). P. 1118–1150.
- McKibben B.** (2005). The Cuba Diet: What will You be Eating When the Revolution Comes? // *Harper's Magazine.* April. P. 61–69.
- Mitra T.** (1983). Limits on Population Growth under Exhaustible Resource Constraints // *International Econ. Rev.* Vol. 24(1). P. 155–168.
- Neumayer E.** (1999). Weak Versus Strong Sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Neumayer E.** (2000): Scarce or Abundant? The Economics of Natural Resource Availability // *J. of Econ. Surveys.* Vol. 14(3). P. 307–329.
- Nordhaus W.D., Boyer J.** (2000). Warming the World: Economic Models of Global Warming. Massachusetts, USA: MIT Press.
- OGJ (2009). Worldwide Look at Reserves and Production // *Oil & Gas J.* Vol. 107(47). P. 20–21.
- Pearce D.W., Atkinson G.D.** (1993). Capital Theory and the Measurement of Sustainable Development: an Indicator of «Weak» Sustainability // *Ecological Econ.* Vol. 8(2). P. 103–108.
- Pezzey J.C.V.** (1992). Sustainable Development Concepts: an Economic Analysis // *World Bank Environment Paper* № 2. Washington: The World Bank.
- Pezzey J.C.V.** (2004). Exact Measures of Income in a Hyperbolic Economy // *Environment and Development Econ.* Vol. 9. P. 473–484.
- Pezzey J.C.V., Withagen C.** (1998). The Rise, Fall and Sustainability of Capital-Resource Economies // *Scandinavian J. of Econ.* Vol. 100(2). P. 513–527.
- Proops J.L.R., Atkinson G., Schlotheim B.Fv.** et al. (1999). International Trade and the Sustainability Footprint: a Practical Criterion for Its Assessment // *Ecological Econ.* Vol. 28(1). P. 75–97.
- Solow R.M.** (1974). Intergenerational Equity and Exhaustible Resources // *Rev. of Econ. Studies.* Vol. 41. P. 29–45.
- Solow R.M.** (1986). On the Intergenerational Allocation of Natural Resources // *Scandinavian J. of Econ.* Vol. 88(1). P. 141–149.
- Stiglitz J.** (1974). Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal

- Growth Paths // *Rev. of Econ. Studies*. Vol. 41. P. 123–137.
- Stollery K.R.** (1998). Constant Utility Paths and Irreversible Global Warming // *Canadian J. of Econ.* Vol. 31. P. 730–742.
- Suzuki H.** (1976). On the Possibility of Steadily Growing per Capita Consumption in an Economy with a Wasting and Non-Replenishable Resource // *Rev. of Econ. Studies*. Vol. 43. P. 527–535.
- Takayama A.** (1980). Optimal Technical Progress with Exhaustible Resources. In: «*Exhaustible Resources, Optimality and Trade*». Kemp M., Long N.V. (eds). N.Y.: North-Holland. P. 95–110.
- van der Ploeg F.** (2011). Rapacious Resource Depletion, Excessive Investment and Insecure Property Rights: a Puzzle // *Environmental and Resource Econ.* Vol. 48. P. 105–128.
- van der Ploeg F., Venables A.J.** (2011). Harnessing Windfall Revenues: Optimal Policies for Resource-Rich Developing Economies // *Economic J.* Vol. 121. P. 1–30.

Поступила в редакцию 16 февраля 2011 г.

A.V. Bazhanov

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; Queen's University, Kingston, Canada

The Dependence of the Potential Sustainability of a Resource Economy on the Initial State: a Comparison of Models Using the Example of Russian Oil Extraction

The studies of the International Monetary Fund offer a model for recommending sustainable budget policy to oil-exporting countries including Russia. The model does not contain any resource as a factor of production and assumes that Russian oil reserves will be exhausted by the middle of the 21st century. The current paper examines the sustainability of open and closed models, which are calibrated on Russia's data and include a resource as a factor of production. The open-model case shows that monotonic economic growth is impossible given the current state of the Russian economy. This paper offers an approach for estimating changes that improve long-term sustainability.

Keywords: *nonrenewable resource, weak sustainability, open imperfect economy, Russian oil extraction.*

JEL Classification: O13, Q32, Q38.