

УПРОЩЕННАЯ СИСТЕМНАЯ ДИНАМИКА ОБОСТРЕННЫХ РЕЖИМОВ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА

Александр Владимирович Рыженков

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 17, доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, тел. (383)330-25-46, e-mail: ryzhenko@ieie.nsc.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, профессор, тел. (383) 363-42-14

Аналитически сконцентрирована информация для режима обострения посредством редукции отправной модели к доминирующим обратным связям. Момент краха капиталистического воспроизводства в результате игнорирования научных основ природопользования определяется начальными значениями только двух переменных – ресурсоемкостью чистого продукта и отношением чистого продукта к доказанным запасам в моделируемой экономике. Величины остальных параметров, относящихся, во-первых, к техническому прогрессу, долям распределения оплаты труда, ренты и прибыли в чистом продукте, во-вторых, к темпам прироста рабочей силы и инвестиций в основной капитал, влияют только на нюансы переходного режима к коллапсу.

Ключевые слова: капиталистическое накопление, стационарный рост, режим с обострением, доминирующая положительная обратная связь

THE SIMPLIFIED SYSTEM DYNAMICS OVER AGGRAVATED MODES OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC REPRODUCTION

Alexander V. Ryzhenkov

Institute of economics and industrial engineering of SB RAS, 17, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Associate Professor, Leading Researcher, phone: (383)330-25-46, e-mail: ryzhenko@ieie.nsc.ru; Novosibirsk State University, 1, Pirogov Street, Novosibirsk, 630090, Russia, Professor, phone: (383)363-42-14

The information has been analytically concentrated for an aggravation mode by reduction of modelled relations to dominant positive feedback loops; the doomsday of capitalist reproduction because of neglect of the scientific foundations of environmental management is determined by initial magnitudes of only two variables – the resource intensity of net output and the ratio of net output to proved reserves in the model economy. The magnitudes of remaining parameters (relating, first, to technical progress, distribution shares of labour compensation, rent, and profit in the net product, second, to the rate of growth of labor force and the rate of investment in fixed capital) affect only the nuances of a transition regime to a collapse.

Keywords: capital accumulation, balanced growth, aggravation mode, dominant positive feedback

Введение

Распространенные “неоклассические” концепции пытаются определить вклад факторов производства в макроэкономический рост [1]. Показано, что уве-

личение занятой рабочей силы и накопление основного капитала могут объяснить лишь небольшую часть экономического роста [2]. Значимый остаток экономического роста обычно связывают с техническим прогрессом, что, на самом деле, является “мерой нашего невежества” [3, с. 218].

В концепциях эндогенного роста главенствующая роль приписывается инвестициям в человеческий капитал и новым идеям, приобретаемым посредством обучения и образования, исследований и разработок [4, 5]. Центральное значение придается информационным активам, которые могут неограниченно увеличиваться. В сочетании с эмпирическими данными по повышению эффективности использования материалов и энергии, это вселило надежды на переход экономики, “основанной на знаниях”, к “зеленому росту”, где рост ВВП будет отделен от потребления природных ресурсов и использования естественных стоков [6, 7]. Эти поверхностные концепции противоречат теоретической и эмпирической литературе о связи между экономическим ростом и потреблением природных ресурсов [8–11].

По мнению автора, одним из последних в этом ряду стал доклад [12], прогнозирующий, как будет развиваться спрос на энергию и меняться структура энергопотребления для достижения нулевых выбросов CO_2 к 2050 г. В нем также оцениваются соответствующие инвестиционные потребности и исследуются факторы неопределенности, связанные с технологиями и поведением потребителей.

”Беда” этой и других подобных разработок в том, что они опираются на динамические стохастические модели общего экономического равновесия, преимущественно предлагаемые МВФ [13, 14]. Эти модели, наряду со своими широко известными недоработками [15], не содержат явно представленных подсистем возобновляемых и невозобновляемых ресурсов, выступающих предпосылками общественного воспроизводства. Как отмечается в литературе [9, с. 125007], «при известных нам до сих пор ценах на капитал, рабочую силу и энергию индустриальные экономики далеко ушли от неоклассического равновесия».

Популярный учебник [16, 17] служит введением в динамические стохастические модели общего экономического равновесия. Логические противоречия и фактические несоответствия характерны для излагаемых в нем концепций.

Неравновесная “неоклассическая” модель Солоу – Стиглица – Хартвика

Объект исследования – капиталистическая экономика, рассматриваемая на довольно высоком уровне абстракции [16–20] через “неоклассическую” призму с неявными посылками о бесконечном росте отдачи природных ресурсов и снижении их удельного расхода почти до нуля.

Отталкиваясь от позитивных решений поставленных проблем [21], показана практическая невыполнимость этих надуманных посылок; раскрыта несостоятельность рекомендуемых вариантов природопользования [22–24].

Экстенсивная детерминистская форма НМ-1

Пусть P – чистый продукт (ЧП), K – основной капитал (основные производственные фонды – ОПФ), F – невозобновимые природные ресурсы, извлекаемые из недр и используемые в общественном воспроизводстве, L – занятость, N – рабочая сила, A – индекс эффективности труда, $a = P/L$ – выработка, $m = P/K$ – фондоотдача. На рынках произведенных товаров и рабочей силы поддерживается равновесие спроса и предложения при полной занятости, как в предшествующей модели Р. Солоу для “совершенной” конкуренции [2]. Для краткости и определенности сузим невозобновимые природные ресурсы до доказанных запасов в недрах, принадлежащим частным собственникам.

Основной капитал рассчитывается с учетом износа. Предполагается, что общество инвестируют долю чистого продукта (ЧП) в основной капитал (ОПФ) без запаздывания $\dot{K} = cP$, $0 < c < 1$, соответственно, темп прироста основного капитала (ОПФ)

$$\hat{K} = cm. \quad (1)$$

Приняты предположения об экспоненциальном росте рабочей силы и эффективности труда, с одной стороны, и об экспоненциальном сокращении доказанных запасов в недрах – с другой:

$$\hat{L} = n \geq 0, \quad (2)$$

$$\hat{A} = g > 0, \quad (3)$$

$$\hat{F} = -b < 0. \quad (4)$$

Функция типа Кобба – Дугласа определяет объем производства

$$P = \eta K^\alpha F^\beta (AL)^{1-\alpha-\beta}, \quad (5)$$

где η – множитель, добавленный для согласования единиц измерения переменных, $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\alpha + \beta < 1$. Этой функции придана постоянная отдача от масштаба (по аргументам K , F и L для заданного значения A). Доля прибыли M в ЧП есть $\alpha > 0$, доля валовой ренты R в ЧП есть $\beta > 0$, $\alpha + \beta < 1$.

Мною введены дополнительные переменные и уравнения, предполагаемые, однако не присутствующие в НМ-1 явно, а именно: абсолютный Z и удельный e расход природных ресурсов, извлекаемых из доказанных запасов

$$Z = eP, \quad (6)$$

а также ресурсную отдачу

$$q = P/F. \quad (7)$$

Валовые $Y \geq 0$ и удельные y инвестиции в природный капитал (в геологоразведку и освоение новых месторождений) были заданы как

$$Y = yP. \quad (8)$$

Тогда чистый темп прироста экономически используемых природных ресурсов (доказанных запасов) стал определяться при отвлечении от запаздываний как

$$\hat{F} = (Y - Z)/F = (y - e)q. \quad (9)$$

Для $y = 0$ истощение доказанные запасы равно с противоположным знаком их приросту $Z = -\dot{F} = bF$, тогда, как темп прироста удельного расхода ресурсов, извлекаемых из доказанных запасов, равен с противоположным знаком темпу прироста ресурсной отдачи

$$\hat{e} = -\hat{q}, \quad e > 0. \quad (10)$$

Удельная валовая рента есть $R/Z = \beta/e$. С учетом (10), темп прироста удельной ренты равен темпу прироста нормы валовой ренты:

$$\hat{R}/Z = \hat{R}/F = -\hat{e} = \hat{q}. \quad (11)$$

Вопреки заверениям о наличии в данной модели “траектории сбалансированного роста”, таковая отсутствует в силу $\hat{F} < \hat{P}$. Для приближения базовой “неоклассической” модели (НМ-1) к реальности она была трансформирована в НМ-2 [22–24]. Эта последняя модель, во-первых, преодолела посылки о бесконечном росте отдачи природных ресурсов и асимптотическом снижении их удельного расхода до нулевой отметки, во-вторых, более реалистично описала динамику капиталистического воспроизводства.

Скорректированная модель Солоу – Стиглица – Хартвика

Сохраним в силе уравнения (1)–(9). Пусть приросты истощения доказанных запасов и чистого продукта связаны соотношением (12) с выполнением $e_0 \geq e_1 > 0$, из которого, при соблюдении уравнения (6), следует уравнение (13) для темпа прироста удельного расхода доказанных запасов:

$$\dot{Z} = e_1 \dot{P}, \quad (12)$$

$$\hat{e} = \hat{P}(e_1/e - 1). \quad (13)$$

Интенсивная форма модели НМ-2 выражена тремя нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями с известным начальным вектором (e_0, m_0, q_0) :

$$\dot{e} = [\alpha ct + \beta(y - e)q + (1 - \alpha - \beta)d](e_1 - e), \quad (14)$$

$$\dot{m} = [-(1 - \alpha)ct + \beta(y - e)q + (1 - \alpha - \beta)d]m, \quad (15)$$

$$\dot{q} = [\alpha ct + \beta(y - e)q + (1 - \alpha - \beta)d - (y - e)q]q. \quad (16)$$

Нетривиальным стационарным состоянием для $y = const > e_1$ выступает

$$E_e = (e_1, m_e, q_e), \quad (17)$$

в котором $d = g + n$, $m_e = d/c$ и $q_e = d/(y - e_1)$.

Утверждение 1. Стационарное состояние E_e является локально асимптотически устойчивым узлом в линеаризованной системе.

Утверждение 2. Свойство локальной асимптотической устойчивости рассмотренного стационарного состояния E_e в линеаризованной системе также присуще исходной нелинейной системе. Доказательство сводится к применению теоремы Хартмана – Гробмана.

Более эффективный, чем в НМ-1, рост является, в отличие от нее, сбалансированным в НМ-2, т.к. теперь $\hat{a}_e = g$, $\hat{P}_e = \hat{K}_e = \hat{F}_e = d$. Заметим, что НМ-1 в силу своей противоречивости не выступает частным случаем НМ-2.

Обостренный режим эколого-экономического воспроизводства

Рис. 1, 2, а также табл. 1 рельефно выделяют факторы, определяющие обостренный режим воспроизводства. Решающую роль играют доминирующие обратные связи, в данном случае – разрушительные. Их можно сопоставить с положительными обратными связями, сыгравшими созидательную роль на практике [25].

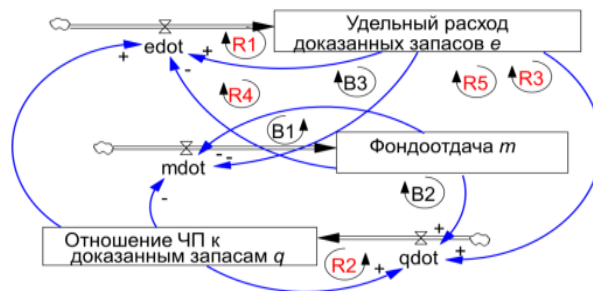


Рис. 1. Запасы и потоки исходной НМ-2 в устоявшемся режиме с обострением для $e_1 > y \geq 0$

Частные собственники доказанных запасов стремятся приблизить $y - e_1$ ближе к нулю справа для извлечения максимальной нормы валовой ресурсной ренты, капиталистический класс в целом заинтересован удержать $y - e_1$ поближе к нулю справа ради максимальной общей рентабельности. Если же в результате недостаточного инвестирования в расширение доказанных запасов оказывается, что $y - e_1 < 0$, в НМ-2 резко обостряются противоречия капиталистического накопления, которые закономерно вызывают экономический крах и погружение в варварство.

Утверждение 3. Пусть в НМ-2 выполнено $Z > Y = 0$. Система (14)–(16) не имеет нетривиального стационарного состояния.

Утверждение 4. Пусть $Z > Y = 0$. Тогда в системе (14)–(16) возникает режим капиталистического накопления с обострением, заканчивающийся полным исчерпанием природных ресурсов и прекращением производства.

Редукция режима воспроизводства с обострением к упрощенной форме

Качественный анализ системы (14)–(16) в режиме с обострением позволяет выделить обратные связи, которые настолько ослабевают относительно доминантных положительных обратных связей, что ими можно пренебречь. Табл. 1 и рис. 2 выражают суть предлагаемой редукции, акцентирующей доминирующие положительные обратные связи в обостренном режиме.

Таблица 1

Прямые и обратные связи при обостренном режиме
в исходной НМ-2 и редуцированной НМ-2

Обратная связь	НМ-2	Редуцированная НМ-2
R1	$e \rightarrow \dot{e} \rightarrow e$	сохранена
B1	$m \xrightarrow{-} \dot{m} \rightarrow m$	сохранена
R2	$q \rightarrow \dot{q} \rightarrow q$	сохранена
R3	$e \rightarrow \dot{q} \rightarrow q \rightarrow \dot{e} \rightarrow e$	сохранена
B2	$m \rightarrow \dot{q} \rightarrow q \xrightarrow{-} \dot{m} \rightarrow m$	трансформирована в прямую связь $q \xrightarrow{-} \dot{m}$
R4	$e \xrightarrow{-} \dot{m} \rightarrow m \xrightarrow{-} \dot{e} \rightarrow e$	трансформирована в прямую связь $e \xrightarrow{-} \dot{m}$
B3	$e \xrightarrow{-} \dot{m} \rightarrow m \rightarrow \dot{q} \rightarrow$ $\rightarrow q \rightarrow \dot{e} \rightarrow e$	отпала
R5	$e \rightarrow \dot{q} \rightarrow q \xrightarrow{-} \dot{m} \rightarrow m \xrightarrow{-} \dot{e} \rightarrow e$	отпала

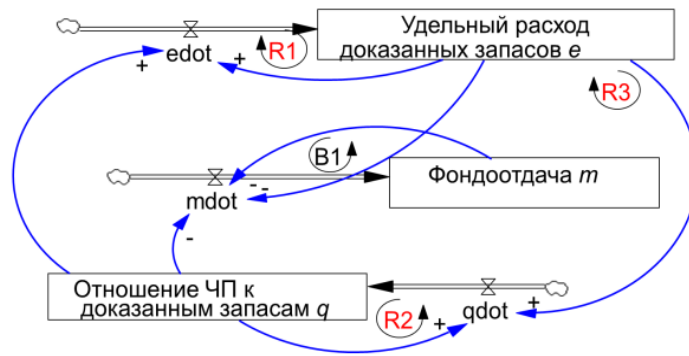


Рис. 2. Потoki и запасы в устоявшемся режиме с обострением в редуцированной НМ-2 для $e_1 > y = 0$.

Это позволяет вычленить наиболее важные соотношения исходной системы в упрощенной системе из трех нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений с тем же начальным вектором (e_0, m_0, q_0) :

$$\dot{e} \approx \beta q e^2, \quad (18)$$

$$\dot{m} \approx -\beta e q m, \quad (19)$$

$$\dot{q} \approx (1 - \beta) e q^2, \quad (20)$$

фазовые переменные которой выражены аналитически как явные функции времени (табл. 2).

Таблица 2

Явные аналитические решения системы (18)–(20)

Показатель	Показатель как функция времени	Темп прироста показателя
ЧП	$P = \frac{P_0 t_c^{1-\beta}}{t_c - t_0} (t_c - t)^\beta$	$\hat{P} = \frac{\beta}{t - t_c} = \hat{m} = \beta \hat{F}$
ОПФ	$K = K_0$	$\hat{K} = 0$
Доказанные запасы	$F = F_0 \frac{t - t_c}{t_0 - t_c}$	$\hat{F} = \frac{1}{t - t_c}$
Удельный расход доказанных запасов	$e = e_0 \left(\frac{t_c}{t_c - t} \right)^\beta$	$\hat{e} = -\frac{\beta}{t - t_c}$

Показатель	Показатель как функция времени	Темп прироста показателя
Фондоотдача	$m = m_0 \left(\frac{t_c - t}{t_c - t_0} \right)^\beta$	$\hat{m} = \frac{\beta}{t - t_c}$
Ресурсная отдача	$q = q_0 \left(\frac{t_c}{t_c - t} \right)^{1-\beta}$	$\hat{q} = -\frac{1-\beta}{t - t_c}$
Срок до полного исчерпания доказанных запасов в недрах	$t_c = \frac{1}{e_0 q_0} = \frac{F_0}{Z_0}$	–

Приближение фазовой переменной m мало отличается от ее прообраза. Близость решения приближенной системы к решению исходной системы подтверждает рис. 3. Если на его левой панели обе траектории доказанных запасов стремятся к нулю практически неразличимо, то на правой панели выбор более крупного масштаба помогает разглядеть лидерство приближенного решения по отношению к исходному решению (в частности, достижение нулевого значения полумесяцем ранее). Приближения фазовых переменных e и q лидируют относительно их прообразов.

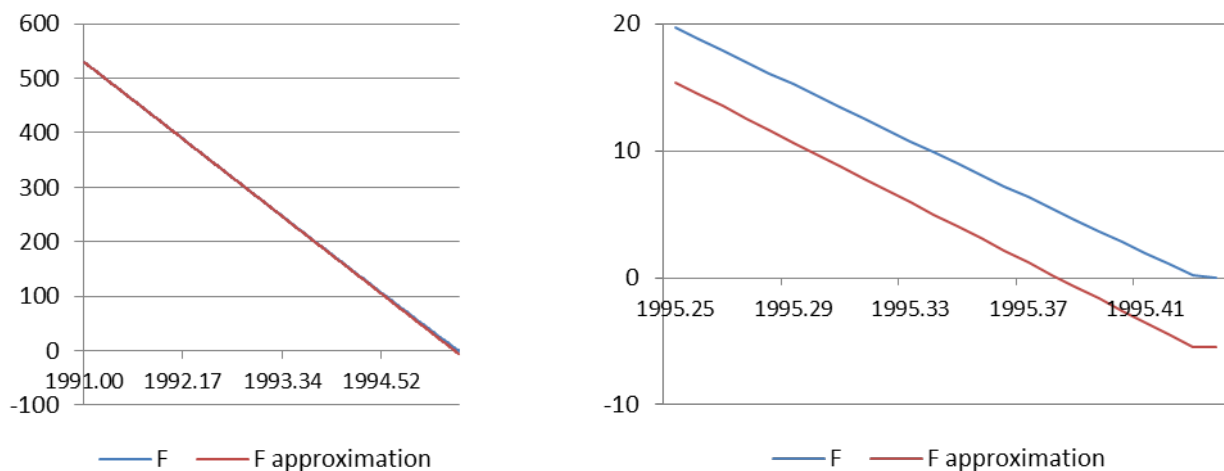


Рис. 3 Исходная (F) и приближенная (F approximation) динамика доказанных запасов в недрах в режиме с обострением в НМ-2 (слева – на всем отрезке, справа – на завершающем отрезке) для $t_0 = 1991$, $t_c \approx 1995.42$

Выводы

Аналитически сконцентрирована информация, воплощенная в редуцированной НМ-2 с режимом обострения; в частности, отмеренный срок продолжения воспроизводства определен исходными значениями только двух переменных – удельной ресурсоемкости и отдачи природных ресурсов, которые совместно

определяют кратность запасов в недрах. Значения остальных параметров (относящихся как к техническому прогрессу, приросту рабочей силы и инвестированию в ОПФ, так и к долям оплаты труда, ренты и прибыли в чистом продукте) сказываются лишь на нюансах переходного режима к закономерному краху в результате пренебрежения научными основами природопользования в моделируемой капиталистической экономике. Предложенная редукция обладает определенной прогнозной силой.

Благодарности

Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект 5.6.6.4. (0260-2021-0008) "Методы и модели обоснования стратегии развития экономики России в условиях меняющейся макроэкономической реальности", № 121040100281-8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hulten Ch. 2009. Growth Accounting. NBER Working Paper w15341. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
2. Solow R. M. 1956. A contribution to the theory of economic growth // *The Quarterly Journal of Economics* 70: 65–94.
3. Abramovitz M. 1993. The search for the sources of growth: areas of ignorance, old and new // *The Journal of Economic History* 53 (2): 217–243.
4. Jones Ch. I. 2005. Growth and ideas. In: Aghion, Philippe; Durlauf, Steven N. (eds.). *Handbook of Economic Growth*. 2. Elsevier. pp. 1063–1111. doi:10.1016/S1574-0684(05)01016-6 (<https://doi.org/10.1016%2FS1574-0684%2805%2901016-6>). ISBN 978-0-444-52043-2.
5. Rosen Sh. 2008. Human capital. In: *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Ed. by Palgrave Macmillan. London: Palgrave Macmillan UK, pp. 1–15.
6. OECD. 1996. *The Knowledge-Based Economy*. General Distribution OCDE/GD(96)102. Paris.
7. OECD. 2011. *Towards Green Growth*. OECD Green Growth Studies. OECD Publishing.
8. Kümmel R. 2011. *The Second Law of Economics: Energy, Entropy, and the Origins of Wealth*. Springer. ISBN 978-1-4419-9365-6.
9. Kümmel R., Lindenberger D. 2014. How energy conversion drives economic growth far from the equilibrium of neoclassical economics // *New Journal of Physics* 16.12, p. 125008.
10. Stern D. I. 2016. Economic growth and energy. In: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Amsterdam: Elsevier.
11. Richters O., Siemoneit A. 2018. The contested concept of growth imperatives: Technology and the fear of stagnation, Oldenburg Discussion Papers in Economics, No. V-414-18, University of Oldenburg, Department of Economics, Oldenburg. – 15 p. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/184870/1/1040782868.pdf>
12. IEA (International Energy Agency). 2021. *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*. – 223 p.
13. Laxton D. et al. 2010. The Global integrated monetary and fiscal model (GIMF) theoretical structure. International Monetary Fund, Washington, DC, https://www.imf.org/~media/Websites/IMF/imported-full-text-pdf/external/pubs/ft/wp/2010/_wp1034.ashx. - 73 p.
14. Anderson D. et al. 2013. Getting to know GIMF: the simulation properties of the global integrated monetary and fiscal model. International Monetary Fund, Washington, DC, <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2013/wp1355.pdf> - 65 p.
15. Stiglitz J. E. 2018. Where modern macroeconomics went wrong // *Oxford Review of Economic Policy* 34 (1–2): 70–106.

16. Romer D. 2019. *Advanced Macroeconomics*. Fifth edition. Dubuque: McGraw-Hill Education. – xviii, 782 p.
17. Ромер Д. Высшая макроэкономика [Текст] : учебник / Дэвид Ромер ; пер. с англ. под науч. ред. В. М. Полтеровича ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. – 855, [1] с.
18. Solow R. M. 1974. Intergenerational equity and exhaustible resources // *Review of Economic Studies* 41: 29–45.
19. Stiglitz J. E. 1974. Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths // *Review of Economic Studies* 41: 123–137.
20. Hartwick J. M. 1977. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources // *American Economic Review* 66: 253–56.
21. Ryzhenkov A.V. 2007. Controlling employment, profitability and proved non-renewable reserves in a theoretical model of the U.S. economy [Electronic resource] // *Proc. of the 25th International Conference of the System Dynamics Society, Boston (Massachusetts, the USA), July 29 - August 2, 2007 / Eds. J. Sterman, R. Oliva [et al.]*. – Boston, 2007. – [29 p.]. – URL: <https://proceedings.systemdynamics.org/2007/proceed/papers/RYZHE406.pdf>; <https://proceedings.systemdynamics.org/2007/proceed/supp/406.pdf>.
22. Рыженков А.В. Неразрешенные проблемы в “неоклассическом” моделировании эколого-экономической макросистемы // XI Междунар. науч. конгресс и выставка "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015". Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью: сб. материалов Междунар. науч. конф. в 4-х т. / [отв. за вып. В.И. Суслов и др.]; – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. – Т. 2. – С. 79–84.
23. Ryzhenkov A.V. 2015. An enhancement for the textbook's models of natural resources and economic growth // *Proc. of the 33rd International Conference of the System Dynamics Society "Reinventing Life on a Shrinking Earth", Cambridge, Massachusetts, USA. July 19 – July 23, 2015*. – Cambridge, 2015. – Режим доступа: <https://proceedings.systemdynamics.org/2015/papers/P1366.pdf>; <https://proceedings.systemdynamics.org/2015/supp/S1366.pdf>.
24. Рыженков А.В. Ресурсная рента и правило Хотеллинга в модели Солоу – Стиглица – необходимость коренного пересмотра // XII Междунар. научный конгресс и выставка "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016". Междунар. науч. конф. "Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью" : сб. материалов в 3-х т. / М-во обр. и науки РФ, Сиб. гос. ун-т геосистем и технологий (СГУГиТ). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Т. 3. – С. 95-99. – URL: Электронный ресурс (pdf).
25. David P., Wright G. 1995. Resource abundance and American economic leadership // *Research Memoranda No 017, Maastricht : MERIT, Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology*. - 45 p.

© А. В. Рыженков, 2021