

МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 338(075.8)

Т.В. Воробьева, Н.В. Лаходынова

МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА И КРИЗИСНЫЕ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОНОМИКА – ЭКОЛОГИЯ – СОЦИУМ

Обсуждаются возможности прогнозирования кризисных состояний системы экономика – экология – социум на основе модификации модели экономического роста Солоу. На примере России разработаны сценарии экономического развития. Исследованы некоторые критические характеристики макроэкономических показателей. Определена доля валового внутреннего продукта, которая может быть использована на долгосрочные перспективы, не дающие непосредственной отдачи, зарезервирована или вывезена из страны. Рассмотрено влияние снижения числа занятых на рост валового внутреннего продукта без учета технологических изменений.

Ключевые слова: экономический рост, моделирование, производственная функция, система, экологическая ниша, человеческий капитал, кризис.

Мировой экономический и экологический кризисы наглядно показывают, что процессы, происходящие в природе, обществе и мировом хозяйстве, связаны между собой и оказывают друг на друга взаимное влияние. Жизнедеятельность человека протекает в системе экономика – экология – социум (ЭЭС), и изучение экономической подсистемы невозможно без рассмотрения ее связей с другими подсистемами. Изменение климата, постепенное истощение природного капитала ставят под угрозу не только успешное функционирование мирового хозяйства, но и само существование человечества. Кризисные события, проявляющиеся в каждой из подсистем системы ЭЭС, определяют актуальность исследования.

Исследование различных эколого-экономических и социоприродных процессов, происходящих в системе ЭЭС, необходимо для выявления критических состояний системы в целом и ее подсистем, прогнозирования тенденций их развития.

Выявление и прогнозирование критических состояний системы ЭЭС, приводящих к нестабильности и деградации, теоретическое обоснование и определение критических значений количественных характеристик макроэкономических и демографических показателей являются одним из путей прогнозирования социально-экономического развития общества.

Определенную перспективу в этом смысле представляют модели экономического роста. Предложенная Коббом и Дугласом производственная функция, объединяющая в себе труд и капитал, породила огромное число моделей, в частности модель Солоу. Выбор факторов, интерпретация входящих в модели переменных, синтез с другими математическими моделями определили

целое направление научных исследований. Подробный обзор таких моделей содержится в [1]. В [2, 3] модель Солоу дополнена затратами на воспроизводство природного капитала. Демографические проблемы отражаются в таких моделях естественным образом – фактор «труд» допускает различные интерпретации: число занятых, фонд заработной платы и т.д. Тем не менее вопросы моделирования развития системы ЭЭС под воздействием экологического и демографического факторов остаются недостаточно исследованными и разработанными.

Состояние системы ЭЭС представляет совокупность экономических, социальных и экологических показателей. Взаимосвязь демографического процесса и эколого-экономического развития отражается в понятии «экологическая ниша». Экологическая ниша – это комплекс природных условий, технологий, знаний, навыков и умений, обеспечивающих жизнедеятельность человека [4]. Емкость экологической ниши – это показатель, позволяющий количественно измерить экологическую нишу. Человек в процессе трудовой деятельности преобразует и расширяет свою экологическую нишу, создает искусственную среду обитания. Все составляющие этой искусственно создаваемой среды (культура, религия, технология, знания, общественная формация, экономика, медицина и т.д.) сливаются в целостном понятии «емкость экологической ниши». Связь понятия экологической ниши с моделями экономического роста позволяет установить все та же функция Кобба – Дугласа $Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta}$, если входящие в нее факторы интерпретировать как идеи (A) [5], земля (K) и труд (L) – численность населения или число занятых.

Исчерпание природных ресурсов ставит задачу воспроизводства природного капитала и более осмотрительного использования имеющегося. Разработка новых технологий – очевидная необходимость, без которой невозможно не только повысить уровень жизни населения, но и удержать его на должном уровне. В то же время движение в этом направлении предъявляет все более высокие требования к человеку, который является связующим звеном всех подсистем. Образование, стрессоустойчивость, дисциплина – вот далеко не полный перечень этих требований, возникающих на фоне все ухудшающейся экологической обстановки. Чрезмерные нагрузки приводят к ухудшению психологического состояния человека, снижая качество его жизни. Вследствие этого целесообразность экономического роста оказывается под вопросом. Таким образом, имеется два направления: природный и человеческий капитал, куда необходимо вкладывать средства, не ожидая быстрой отдачи. Это не обычные инвестиции в основной капитал, которые окупаются в обозримом будущем. Это средства, которые необходимы для выживания человека как вида. И отдача от них далека и неочевидна. Как оценить долю ВВП, которая может быть потрачена на заботы о будущем?

В [2] было введено понятие обобщенной нормы сбережения, включающей в себя норму сбережения на природный капитал. Обобщенная норма сбережения позволяет связать затраты на воспроизводство природного капитала и показатели экономического роста. Экономические, экологические и социальные показатели объединяются в одной модели экономического роста, что дает возможность исследовать их взаимное влияние при определенных предположениях. Модель, рассмотренная в [2], может быть распространена

на более общий случай. Для этого достаточно понятие нормы сбережения на природный капитал интерпретировать как долю отчислений от ВВП, которая не идет на непосредственное потребление и не вкладывается в основной капитал. Более того, в эту долю могут быть включены потери, например вывоз капитала за пределы страны. Эта проблема широко обсуждается.

Рассмотрим следующую модель:

$$\begin{cases} Y + I_B = F(K, L, P) = I + C + P, \\ L = L_0 e^{gt}, \quad L(0) = L_0, \\ \frac{dK}{dt} = -mK + s_1 Y, \quad K(0) = K_0, \\ I = s_1 Y, \quad P = s_2 Y \quad C = (1 - s_o) Y. \end{cases}$$

Здесь Y – валовый внутренний продукт; I_B – внешние инвестиции. Объем денежных средств, распределяемых в системе, равен $Y + I_B$; C – инвестиции в человеческий капитал (средства, расходуемые на здравоохранение и образование); I – инвестиции в основной капитал; s_1 – норма сбережения; P – долгосрочные инвестиции (или, возможно, потери); s_2 – норма долгосрочных сбережений; $s_o = s_1 + s_2$ – обобщенная норма сбережения.

При $P = 0$ предположения, приведенные выше, представляют собой известную односекторную модель Солоу. Производственная функция Y представляется в виде функции Кобба – Дугласа $Y = A \cdot K^\alpha L^\beta$, и анализ модели сводится к исследованию аналитического решения дифференциального уравнения, все траектории которого при $t \rightarrow \infty$ сходятся к устойчивому стационарному решению независимо от начальных условий [3]. Одним из результатов исследования уравнения является «золотое правило потребления» – определение нормы сбережения, которая в рамках предположений модели Солоу оптимальна по критерию среднедушевого потребления [3].

При $P > 0$ схема анализа не меняется. Среднедушевое потребление достигает максимума при

$$s_o = \alpha + s_2(1 - \alpha).$$

Оптимальная норма затрат на основные фонды будет равна

$$s_1 = \alpha(1 - s_2) \text{ и } s_2 = 1 - s_1/\alpha.$$

Таким, образом, значение оптимальной нормы вложений в основной капитал при $P > 0$ оказывается меньше, чем в классической модели Солоу. Она снижается за счет нормы долгосрочных вложений.

Поскольку возобновление природного и человеческого капитала – сложный процесс, включающий в себя разработку и внедрение новых технологий и ряд других мероприятий, не связанных непосредственно с природой и человеком, то можно предположить, что инвестиции в природный и человеческий капитал могут привести к появлению новых факторов экономического

роста, которые в предлагаемой модели не учитываются. В частности, следствием внедрения новых технологий может стать повышение эффективности труда и уменьшение числа занятых, что можно видеть на примере развитых стран. Переход на новый технологический уровень, в том числе и в решении экологических проблем, там начался в 70-е гг. Для достижения заметных результатов в этом направлении понадобилось несколько десятилетий. Возникает вопрос: какую долю ВВП страна может потратить на долгосрочные вложения без ущерба текущей экономической ситуации?

Пример применения модели Солоу для анализа экономической ситуации в России имеется в работах [3, 6], где показано, что существенным фактором роста ВВП с 1998 по 2003 г. был труд, представленный в модели фондом заработной платы. Также в [3, 4] в качестве фактора рассмотрен чистый экспорт. Заметим, что по статистическим данным внешние инвестиции не являются статистически значимым фактором по критерию Стьюдента, поэтому они не входят в производственные функции.

Ниже приводятся полученные по данным [7] (табл. 1) статистически значимые производственные функции, зависящие от тех же факторов, что и в [3, 6], следующего вида:

$$Y = 1,95(K/L)^{-0,11}(Z/L)^{1,01} \cdot L,$$

$$Y = 3,02 (K/L)^{-0,08}(Z/L)^{0,84}(X/L)^{0,21} \cdot L,$$

где Z – фонд заработной платы; X – объем чистого экспорта.

Адекватность модели зависит от адекватности ее основных составляющих – производственной функции, уравнений динамики основного капитала и функции, определяющей численность занятых.

Адекватность применения производственной функции зависит от выбора факторов и доброкачественности статистического материала, возможность ее использования подтверждается многочисленными исследованиями.

Обе полученные функции приближают ВВП с относительной ошибкой не более 5% с 2003 по 2011 г.

На том же временном интервале число занятых приближается функцией $L(t)$ с ошибкой не более 0,03 при среднем темпе прироста занятых 0,009.

Уравнения динамики основного капитала определяют динамику основного капитала в простейшем случае, допускающем аналитическое исследование. В реальности все обстоит сложнее и при численных расчетах приходится использовать другие зависимости основных фондов от ВВП. Основной капитал входит в производственные функции в отрицательной степени, что, видимо, является свидетельством недостаточного использования основных фондов или каких-либо других причин. Следует сказать, что эта тенденция сохраняется в течение последних 10 лет.

Для приближенного представления значений основных фондов были использованы линейная зависимость от инвестиций и линейный тренд заработной платы. Такие приближения позволяют рассмотреть показатели, входящие в модель, во взаимосвязи и рассчитать ВВП с 2003 по 2011 г. с относительной ошибкой не более 5%. Расчет на следующие 2 года дает ошибку в пределах 9%. При изменении начала отсчета модель дает ошибку 5–6% на интервале в

4–5 лет, при увеличении временного интервала ошибка резко растет. Можно сделать вывод, что полученные функции не годятся для долгосрочных прогнозов, но их можно использовать для выяснения тенденций поведения системы.

Таблица 1. Основные макроэкономические показатели РФ

Год	ВВП Y , млрд руб. в текущих ценах	Основные фонды в экономике (по полной учетной стоимости на начало года) K , млрд руб. в текущих ценах	Фонд оплаты труда, млрд руб. в текущих ценах	Чистый экспорт X , млрд руб. в текущих ценах	Среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.
2000	7306	16605	2937	1463	64327
2001	8944	20241	3848	1134	65124
2002	10675	24431	5065	1144	66266
2003	12829,0	30556,0	339,0	1515,0	67152
2004	16779	32501,8	7845	2097,35	67134
2005	21598	34975	9474	2223,19	68603
2006	26917,2	35337,4	11986	3390	68855
2007	33248	35700	15526	3351,04	70570
2008	41265	74500	19560	4456,56	70965
2009	38797	83850	20412	3537,72	69285
2010	45166	93200	22534	4535,68	69804
2011	54369	108001	27168	4783,7	70933

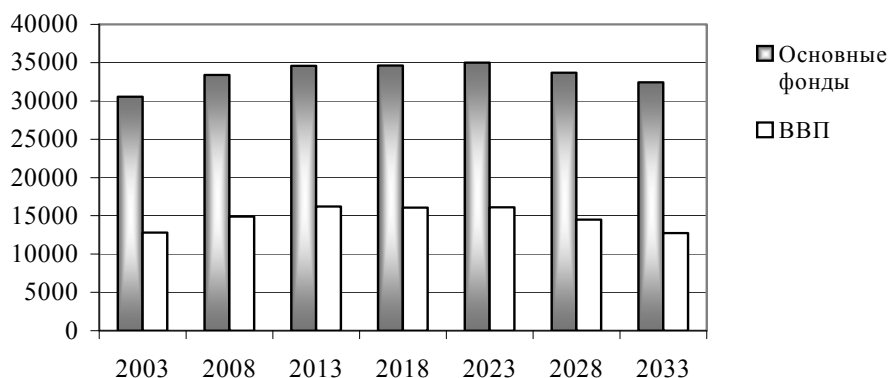


Рис. 1. Основные фонды и ВВП по результатам моделирования с темпом прироста числа занятых $-0,04$

Определенный интерес представляют некоторые гипотетические катастрофические сценарии. Сложная демографическая ситуация в России обостряет экономические и социальные проблемы. Так, в [8] показано, что население Сибирского федерального округа будет убывать даже в случае самого оптимистического сценария. Пик рождаемости будет пройден в ближайшие 2–3 года. Аналогичная ситуация наблюдается в среднем по России. Увеличение

потока мигрантов грозит социальной нестабильностью, а ужесточение миграционной политики – нехваткой рабочей силы. При рассмотрении сценария с постоянной убылью занятого в экономике населения с темпом прироста, равным – 0,04, в течение 15 лет ВВП и основные фонды продолжают расти, а затем начинается деградация (рис. 1). В то же время при отрицательном темпе прироста занятых – 0,4% не происходит снижения ВВП в течение 40 лет при начальных условиях 2003 г. Таким образом, темп прироста, близкий к – 0,04, можно считать неким пороговым значением, с которого начинается незаметная на первых порах катастрофа. Внешне это будет выглядеть как снижение темпов роста экономических показателей. Отметим, что производственные функции, используемые при моделировании, были построены на основе статистических данных за период с 2000 до 2011 г. Этот период характеризовался значительными экономическими потрясениями. Последствия экономического кризиса 2008 г. сказываются до сих пор. Тем не менее факторы, используемые в модели, остаются значимыми на протяжении всего периода. Изменение начала отсчета, например на 2007 или 2009 г., не оказывает существенного влияния на результаты моделирования. Все тенденции сохраняются. При моделировании не учитывались технологические изменения, необходимость которых очевидна. Впрочем, эти изменения пока не внесли существенного вклада в российскую экономику. Все усилия в этом направлении как раз можно отнести к долгосрочным вложениям.

Проблема вывоза капитала и замораживание его в резервных фондах остро поставлена в [9], где отмечено, что резервирование до 7% ВВП нефтегазового комплекса означает снижение нормы накопления и увеличение вывоза капитала за рубеж, усугубляющие экономическую ситуацию в целом.

Включение в рассмотрение оттока капитала или долгосрочных вложений моделировалось уменьшением доли ВВП, расходуемой на другие нужды, что, в свою очередь, сказывается на величине ВВП.

Результаты моделирования влияния доли ВВП, расходуемой на долгосрочные перспективы (например, на возобновление природного капитала, резервирование или вывоз), на величину ВВП представлены в табл. 2. Отчисления моделировались начиная с 2007 г.

Таблица 2. Влияние доли ВВП, затрачиваемой на долгосрочные перспективы, на величину ВВП

Доля ВВП, расходуемая на долгосрочные перспективы капитала, %	Sign Δ ВВП	Время достижения прежнего уровня ВВП, лет
0,3	+	0
1	+	0
8	+	0
9	–	1
10	–	1
18	–	1
19	–	2
30	–	4

Увеличение расходов до 8% ВВП не приводит к уменьшению величины ВВП. Если доля расходов ВВП на бесперспективные или долгосрочные вложения увеличивается до 9–18%, то ВВП снижается, но уже через год достигает прежнего уровня. В случае резкого увеличения таких расходов (например,

до 30% ВВП) ВВП выходит на прежний уровень лишь через 4 года, что может поставить под угрозу устойчивость экономической и социальной подсистем. Заметим еще раз, что проделанные расчеты не претендуют на точный численный прогноз. Такой долгосрочный прогноз сделать невозможно по причине постоянных изменений во всех подсистемах ЭЭС: экономической, экологической и социальной.

По данным [10], разница между валовыми сбережениями и вложениями в основной капитал в России в последние годы составляет около 10% ВВП. Происходит отток капитала и деградация основных фондов. Как отмечено в [10], «страна превращается в сырьевой придаток мирового хозяйства. Наблюдается деградация обрабатывающей промышленности и нации». Те же проблемы со всей остротой поставлены в [9]. По данным этого источника, в результате вывоза капитала и неэквивалентного внешнеэкономического обмена в последние годы Россия теряет до 100 млрд долл. ежегодно. По данным [11], начиная с 2008 г. вывоз капитала частным сектором значительно превышает ввоз. Рекордным в этом плане был 2008 г., но и в настоящее время тенденция не меняется. Только за первое полугодие 2013 г. разница между ввозом и вывозом составила около 38 млрд долл. Такая ситуация ставит под угрозу все планы по переходу на новый технологический уровень. Результаты моделирования лишь еще раз подтверждают эти выводы. Единственным выходом может быть многократное увеличение инвестиций в новые технологии, сохранение и развитие человеческого капитала, что позволит ликвидировать технологическое отставание и обеспечить развитие новых наукоемких отраслей. Одним из резервов этого является изменение государственной политики в отношении вывоза капитала.

Литература

1. Лебедев В.В. Математическое моделирование социально-экономических процессов. М.: ИЗОГРАФ, 1997. 224 с.
2. Воробьева Т.В. Об оценке нормы сбережения на природный капитал // Интеграл: научно-практический журнал. 2007. № 2. С. 52–53.
3. Воробьева Т.В. Модель устойчивого экономического роста // Проблемы управления. 2007. № 3. С. 14–17.
4. Воробьев В.А., Воробьева Т.В. Экологический императив и демографический процесс // Вестн. Помор. ун-та. Естественные и точные науки. 2003. № 1 (3). С. 123–131.
5. Charles I. Jones, Paul Romer The New Kaldor Facts: Ideas, Institutions, Population, and Human Capital June 17, 2009-Version 2.0 // American Economic Journal: Macroeconomics. January 2010. Vol. 2 (1). P. 224–245.
6. Трапезников И.Д. Анализ экономического развития России в 1992–2003 гг. с помощью инструментария модели Солоу. Обнинск: Официальный сайт лаборатории экономического анализа. URL: <http://lab.obninsk.ru> (дата обращения: 21.07.2013).
7. Российский статистический ежегодник 2011: стат. сб. / Росстат. М., 2011.
8. Воробьева Т.В., Лаходынова Н.В., Шумилов Б.М. и др. О динамике численности населения Сибирского федерального округа // Вестн. Том. гос. архитектурно-строительного ун-та. 2006. № 2. С. 50–57.
9. Глазьев С.Ю. О целях, проблемах и мерах государственной политики развития и интеграции: научный доклад. URL: http://www.glazev.ru/econom_polit/305/ (дата обращения: 23.05.2013).
10. Клинов В.Г. Формирование благоприятного инвестиционного климата в обрабатывающей промышленности – условие успеха модернизации экономики // Модернизация российской

экономики: уроки прошлого, шансы и риски. Доклады и тезисы участников XIX Кондратьевских чтений. Москва, 20 октября 2011 г. М.: Институт экономики РАН, 2011.

11. Официальный сайт Центробанка России. URL: http://www.cbr.ru/statistics/print.asp?file=cREDIT_statistics/capital_new.htm (дата обращения: 27.08.2013).

T.V. Vorob'yeva, N.V. Lakhodynova

Department of Economics and Construction Management, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk. E-mail: vorobtv@gmail.com

Department of Applied Mathematics, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk. E-mail: laxl@mail.ru

THE MODEL OF ECONOMIC GROWTH AND CRISIS CONDITIONS OF THE ECONOMY-ECOLOGICAL-SOCIETY SYSTEM.

Keywords: Economic growth; Modeling; Production function; System; Ecological niche; Human capital; Crisis.

The article discusses the abilities to predict crisis conditions of the ECONOMY – ENVIRONMENT – SOCIETY system on the basis of modifications to Solow's growth model. The state of the system represents a combination of economic, social and environmental indicators. The interconnection of the demographic process and ecological economic development is reflected in the concept of an "ecological niche". The connection between the concept of an ecological niche and models of economic growth allows the Cobb-Douglas function to be setup. The notion of a generalized saving rate allows for expenditures on reproducing natural and human capital to be connected to indicators of economic growth. Economic, environmental and social indicators have been combined into a single model of economic growth that provides the opportunity to explore their mutual influence under certain assumptions. In the case of Russia, scenarios have been developed for economic development. On the basis of statistical data, including the period of the 2008 crisis, statistically significant production functions have been built. Despite the fact that this period was characterized by significant economic upheaval, the factors used in the model retain their meaning for the entire period. These production functions were then used to model and predict a few catastrophic situations. Some critical characteristics of the macroeconomic indicators that entail a crisis condition in all subsystems are investigated in the article. Fixed capital is included in the production function in a negative degree, which is evidence of the lack of use of fixed assets, or their physical and moral ageing. According to statistical data, this trend has continued in Russia for the last 10 years. The modeled data defines the impact of the share of gross domestic product that can be used for long-term investment in natural and human capital on macroeconomic indicators. When examining scenarios with a negative growth rate for the number of people employed in the economy, at first gross domestic product and fixed assets continue to grow, and then degradation begins. The employment rate is an intrinsic factor in the growth of GDP. The simulation did not take into account technological changes, since changes requiring long-term investments have not made a significant contribution to the Russian economy. The results of the simulation confirm the negative impact that the existing levels of capital exports have on the overall economic situation in the country, and on the implementation of plans for the transition to a new technological level. The article justifies the necessity of a repeated increase of investment in new technologies, and in the preservation and development of human capital, which will eliminate the technology gap and ensure the development of new science-intensive industries. The models looked at in the work may not be used for precise distant predictions, but they reveal the development trends for the ECONOMY-ENVIRONMENT-SOCIETY system, and identify some of the threshold values of macroeconomic indicators that entail catastrophic consequences.

References

1. Lebedev V.V. *Matematicheskoye modelirovaniye sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov. Moscow, IZOGRAF Publ., 1997. 224 p.*
2. Vorob'yeva T.V. *Ob otsenke normy sbrezeniya na prirodnyy kapital [On assessment of the saving ratio on natural capital]. Integral, 2007, no. 2, pp. 52-53.*
3. Vorob'yeva T.V. *Model' ustoychivogo ekonomicheskogo rosta [A model of sustainable economic growth]. Problemy upravleniya, 2007, no. 3, pp. 14–17.*

4. Vorob'yev V.A., Vorob'yeva T.V. *Ekologicheskiy imperativ i demograficheskiy protsess [The ecological imperative and the demographic process]*. Vestnik Pomorskogo universiteta. Estestvennyye i tochnyye nauki, 2003, no.1 (3), pp. 123-131.
5. Charles I. Jones, Paul Romer *The New Kaldor Facts: Ideas, Institutions, Population, and Human Capital* June 17, 2009 -- Version 2.0. American Economic Journal: Macroeconomics, 2010, January, vol. 2 (1), pp. 224-245.
6. Trapeznikov I.D. *Analiz ekonomicheskogo razvitiya Rossii v 1992-2003 gg. s pomoshch'yu instrumentariya modeli Solou. Obninsk. Available at: <http://lab.obninsk.ru> (accessed 21 July 2013).* (In Russ.).
7. Federal Service of State Statistics. *Russian Statistical Yearbook 2011. Moscow, 2011.* (In Russ.).
8. Vorob'yeva T.V., Lakhodynova N.V., Shumilov B.M., Shumilova E.B., Esharov E.A. *O dinamike chislenosti naseleniya Sibirskogo federal'nogo okruga [On the population dynamics of the Siberian Federal District]*. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta, 2006, no. 2, pp. 50-57.
9. Glaz'yev S. Yu. *O tselyakh, problemakh i merakh gosudarstvennoy politiki razvitiya i integratsii.* Available at: http://www.glazev.ru/econom_polit/305/ (accessed 23 May 2013). (In Russ.).
10. Klinov V.G. *Formirovaniye blagopriyatnogo investitsionnogo klimata v obrabatyvayushchey promyshlennosti – usloviye uspekha modernizatsii ekonomiki [Developing a favorable investment climate in the manufacturing sector – a condition for the success of modernization of the economy]*. Modernizatsiya rossiyskoy ekonomiki: uroki proshlogo, shansy i riski. Doklady i tezisy uchastnikov XIX Kondrat'yevskikh chteniy, Moscow, Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. (In Russ.).
11. Central Bank of Russia. *Official Data.* Available at: http://www.cbr.ru/statistics/print.asp?file=credit_statistics/capital_new.htm (accessed 27 August 2013). (In Russ.).

Поступила в редакцию DD.MM.2014
Received December DD, 2014

For referencing:

Vorob'yeva T.V., Lakhodynova N.V. *Model' ekonomicheskogo rosta i krizisnyye sostoyaniya sistemy ekonomika-ekologiya-sotsium [The model of economic growth and crisis conditions of the economy-ecology-society system]*. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Tomsk State University Journal of Economics, 2014, no. 4 (28), pp. 5–13.