

© Н.М. Светлов, 2011.

Библиографическое описание публикации:

Светлов Н.М. Моделирование институциональной эволюции: теоретические основы и первые результаты. Институциональная экономика: развитие, преподавание, приложения: материалы Международной конференции. Вып.2. Круглый стол. Институциональные предпосылки повышения инновационной активности российского бизнеса / Гос. унив-т управления. М.: ГУУ, 2011. - С.195-204.

<http://svetlov.timacad.ru/sci/p244.pdf>

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ:  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

*1. Актуальность исследования*

Проблемы институциональной экономики труднее поддаются формализации в сравнении с другими отраслями экономической науки. Отыскание методологических подходов к математическому описанию институтов актуально, прежде всего, в связи с осознанием и постановкой всё большего числа прикладных проблем, решения которых научное сообщество ожидает именно от институциональной экономики. Одна из таких крупных и жизненных проблем сформулирована В.М. Полтеровичем в [1]. Другой иллюстрацией может служить незатухающая дискуссия о будущем российского сельского хозяйства: принадлежит ли оно крупным корпоративным структурам или же ему не миновать эволюции в направлении мелких форм бизнеса, характерных для сельского хозяйства большинства европейских стран.

За последнее двадцатилетие в институциональной экономике создана достаточно прочная основа для создания в будущем целостного формального аппарата институциональной экономической теории. Выработаны основы математической теории институциональной эволюции [7]. Разработан формализованный аналитический аппарат оценки институтов [6]. Плодотворны компьютерные эксперименты на теоретико-игровых моделях, проводимые для исследования закономерностей институциональных изменений: например, [3]. Предложен метод эконометрического оценивания внутренних трансакционных издержек на основе наблюдаемого поведения агентов [2]. Однако подходы, развиваемые в перечисленных работах, зачастую не упрощают, а усложняют исследования. Для достижения результатов, ценных в прикладном отношении, поиск в этих направлениях должен быть продолжен.

Исследование, представленное в статье, имеет целью обосновать подход к моделированию институциональной эволюции, преодолевающий эту трудность. Он основывается на методологии системной динамики [5] и на формальном аппарате, разработанном в [7]. Предлагаемый подход применён в имитационной модели эволюции институтов согласования экономических решений, позволившей проверить гипотезы об её качественных закономерностях в рамках принятых допущений.

*2. Теоретические основы моделирования институциональной эволюции*

Предлагаемый подход основан на теоретико-игровой модели, описанной в [7, раздел 2], которая, в свою очередь, развивает положение об информационной природе трансакционных издержек, сформулированное в [4]. Основу модели составляет описание парного взаимодействия агентов, случайным образом выбираемых из достаточно большой совокупности, в форме квадратных платёжных матриц. Набор стратегий, доступных всем агентам, один и тот же. Трансакционные издержки, ассоциируемые с каждой стратегией агента, приравниваются к ожидаемой ценности информации о распределении выбора стратегий по популяции в целом. В последующих разделах статьи её автор изучает эволюцию *внутри* популяции, направленную на снижение трансакционных издержек, в то время как предлагаемый подход основывается на формализации конкуренции *между* популяциями.

С этой целью модель, изложенная в [7, раздел 2], дополняется четырьмя предположениями:

1. Каждый агент принадлежит некоторой популяции  $i$  из множества популяций  $I$ . Популяции различаются институциональными укладами. Взаимодействие двух агентов, принадлежащих популяциям  $i \in I$  и  $j \in I$ , с достаточной точностью описывается матрицей платежей  $P_{ijt}$ , причём  $P_{ijt} = -P_{jit}^T$ , где  $t \in T$  — индекс момента времени, а за-

пись  $P^T$  означает операцию транспонирования матрицы  $P$ . Институциональный уклад  $i$  вполне определён тензором платежей  $(P_{ijt})$ ,  $j \in I$ ,  $t \in T$ .

2. Экономический рост заключается в увеличении численности агентов, разнообразия доступных им стратегий и росте других показателей размера экономической деятельности в зависимости от выигрышей агентов.

3. Из выигрышей агентов предусматриваются вычеты, пропорциональные возрастающей функции показателя социального расслоения в популяции.

4. Зависимость показателя социального расслоения от показателей размера экономической деятельности задана.

Тогда на основании первых двух предположений и соотношения, выражающего совокупные трансакционные издержки  $\bar{c}(n)$  всех агентов моделируемой экономики [7, раздел 2], можно в общем виде представить трансакционные издержки  $c_i$ , относимые к укладу  $i$ , функцией неотрицательного вектора  $\mathbf{s}$ , содержащего показатели размеров экономической деятельности:

$$c_i = c_i(\mathbf{s}). \quad (1)$$

Функция  $c_i(\mathbf{s})$  предполагается непрерывной, гладкой, неубывающей по любому компоненту вектора  $\mathbf{s}$  и имеющей нули при  $\mathbf{s} = \mathbf{0}$ . Аналогичное выражение для уровня социального расслоения

$$d_i = d_i(\mathbf{s}) \quad (2)$$

следует из предположения 4. Функции  $d_i(\mathbf{s})$  вменяются только непрерывность и гладкость. Модель дополняется вектор-функцией темпов экономического роста, отражающей предположения 2 и 3:

$$d\mathbf{s} / dt = \mathbf{f}(\mathbf{s}, t) - \mathbf{g}(\mathbf{c}, \mathbf{d}). \quad (3)$$

Здесь  $\mathbf{c} = (c_i)$ ,  $\mathbf{d} = (d_i)$ ;  $i \in I$ ;  $I$  — множество моделируемых институциональных укладов. Уменьшаемое формализует технологически достижимые темпы роста, вычитаемое — потери, обусловленные трансакционными издержками и социальной напряжённостью из-за расслоения. Все компоненты вектор-функции  $\mathbf{g}(\mathbf{c}, \mathbf{d})$  непрерывные, возрастают по компонентам обоих аргументов, причём  $\mathbf{g}(\mathbf{0}, \mathbf{0}) = \mathbf{0}$ . О функции  $\mathbf{f}(\mathbf{s}, t)$  в общем случае не делается никаких ограничивающих предположений, за исключением непрерывности.

Уравнения (1)...(3) дают возможность строить (путём их спецификации) сравнительно простые, но достаточно содержательные модели для описания различных проявлений институциональной эволюции в системах любого масштаба. Особенности каждого институционального уклада отражаются спецификацией и параметрами функций  $c_i(\mathbf{s}_i)$  и  $d_i(\mathbf{s}_i)$ , технологические возможности моделируемой экономической системы — вектор-функциями  $\mathbf{f}(\mathbf{s}_i)$  и  $\mathbf{g}(\mathbf{c}, \mathbf{d})$ .

*3. Приложение: эволюция институтов согласования экономических решений*

Рассмотрим абстрактную экономику, в которой возможны три институциональных уклада, условно именуемые рыночным ( $M$ ), регулируемым рыночным ( $R$ ) и плановым ( $P$ ), которым соответствуют разные способы согласования экономических решений. Соответственно,  $I = \{M, R, P\}$ . В качестве компонент вектора  $\mathbf{s}$  примем численность популяции каждого из трёх укладов  $s_1...s_3$ , кумулятивный ущерб природным ресурсам  $s_4$ , накопленные знания  $s_5$  и размер совокупных производительных сил общества  $s_6$ .

Институциональная эволюция такой экономики описывается моделью, в которой выражение (3) специфицируется следующим образом:

- Компонент  $ds_1/dt$  (прирост численности населения, относящегося к укладу  $M$ ) складывается из двух слагаемых. Первое из них пропорционально  $t_2$ , второе представляет собой чистый приток мигрантов, покидающих другие уклады. Он функционально зависит от численности населения ( $s_1...s_3$ ) и производных трансакционных

издержек в каждом укладе по численности соответствующей популяции ( $dc_M/ds_1 \dots dc_P/ds_3$ ). Эти производные, в свою очередь, зависят от вектора  $\mathbf{s}$ . Чистый приток возрастает по модулю величин  $s_1 \dots s_3$ , убывает по  $dc_M/ds_1$  и возрастает по остальным аргументам.

- Компоненты  $ds_2/dt$  и  $ds_3/dt$  рассчитываются аналогично  $ds_1/dt$ .
- Компонент  $ds_4/dt$  (ущерб природе) пропорционален  $s_6$ .
- Компонент  $ds_5/dt$  (прирост знаний) пропорционален остатку производительных сил после удовлетворения насущных потребностей, компенсации трансакционных издержек, производства предметов роскоши и издержек образования, пропорциональных ранее накопленным знаниям  $s_5$ . Потребность в производительной силе на удовлетворение насущных потребностей пропорциональна  $s_0 = s_1 + s_2 + s_3$ , а объём отчислений на предметы роскоши описывается убывающей функцией величины  $d(\mathbf{i}(\mathbf{c}+\mathbf{d}))/ds_0$ , где  $\mathbf{i}$  — вектор, состоящий из единиц.

- Компонент  $ds_6/dt$  (прирост производительных сил) представляет собой функцию предшествующих компонентов вектора  $ds/dt$ , убывающую по  $s_4$  и возрастающую по остальным компонентам.

Трансакционные издержки в укладах  $M$  и  $R$  задаются выражениями

$$c_M = s_1 \cdot \frac{(k_2(s_6 - k_1 s_3))^2}{s_1 + s_2}, \quad c_R = s_2 \cdot \frac{(k_2(s_6 - k_1 s_3))^2}{s_1 + s_2}, \quad (4)$$

где  $k_1$  — норма издержек удовлетворения насущных потребностей,  $k_2$  — параметр бремени трансакционных издержек. Таким образом, при равной численности популяций трансакционные издержки, порождаемые обеими разновидностями рыночного механизма согласования (то есть укладами  $M$  и  $R$ ), предполагаются одинаковыми. Различия между этими укладами полностью определяются уровнем социального расслоения. Данная спецификация выражения (1) предполагает, в терминах статьи [7], что численность агентов в экономике растёт пропорционально  $s_4$ . Следовательно, число их взаимодействующих пар растёт пропорционально квадрату величины  $s_4$ .

При согласовании использования ресурсов по способу  $P$  трансакционные издержки растут пропорционально  $s_3$ , но их начальный уровень существенно выше, чем при рыночных механизмах. Данная зависимость основана на предположении, что существует единственный контрагент всех агентов, относящихся к укладу  $P$  — орган централизованного планирования. Для остальных пар агентов платёжные матрицы не определены.

Степень социального расслоения, порождаемого способом согласования  $i$ , принимается пропорциональной  $c_i$  с коэффициентами  $v_M > v_R > v_P > 0$ .

Модель реализована средствами программы VenSim PLE 5.8. Полные сведения о функциональных зависимостях и значениях параметров, использованных в компьютерных экспериментах, можно получить, загрузив описание модели из сети Интернет (zip-архив файла в формате VenSim) по адресу <http://svetlov.timacad.ru/sci1/inst1.zip>. Если на компьютере не установлена программа VenSim, описание модели можно просмотреть в любом текстовом редакторе, поддерживающем кодировку UTF-8.

#### 4. Проверяемые гипотезы

1. Естественно ожидать, что в модели, сформулированной выше, по мере роста населения уклад  $P$  будет вытеснять другие уклады, так как при больших размерах производительных сил он генерирует меньшие трансакционные издержки. В связи с этим интересно проверить гипотезу о существовании режимов, в которых это не происходит, то есть  $\lim_{t \rightarrow \infty} s_3 = 0$ .

2. Если первую гипотезу подтвердить не удастся, возникает вопрос о возможности смены возрастающего тренда  $s_3$  убывающим в краткосрочном периоде, то есть возможности достижения локального максимума функцией  $s_3(t)$ .

3. Уклад  $M$  при любых условиях хуже, чем  $R$ , так как при прочих равных условиях генерирует большее социальное неравенство. Проверяемая гипотеза состоит в существовании режимов, при которых, невзирая на это обстоятельство, имеет место  $\lim_{t \rightarrow \infty} s_1 \neq 0$ .

#### 5. Результаты

Если население стабильно, то эволюция в большинстве случаев сходится к стационарному состоянию, в котором все три уклада представлены ненулевым населением. Это подтверждает гипотезу 3 о ненулевом пределе  $s_1$ . Стабилизация достигается в момент, когда растущие затраты на образование, обусловленные необходимостью сохранения ранее накопленных знаний, не оставляют ресурсов производительных сил для их дальнейшего накопления. При этом изменения в параметрах модели, увеличивающие размер производительных сил, приводят к возрастанию доли уклада  $P$ , и наоборот.

Соотношение между собой двух рыночных укладов подчиняется следующей закономерности: если при  $t = 0$  имеет место  $s_1 < s_2$  (то есть уклад  $R$  представлен более многочисленным населением), это соотношение остаётся неизменным в дальнейшем. В противном случае  $s_2$  превосходит  $s_1$  за конечное модельное время. Таким образом, конкурентное преимущество уклада  $R$ , заключающееся в меньших потерях из-за социального расслоения, проявляется лишь в устойчивом превышении численности населения, ассоциирующего себя укладом  $R$ , над населением, придерживающимся институтов  $M$ .

При очень высоких параметрах продуктивности экономики (например, сочетание малого отрицательного влияния ущерба, нанесённого природе, с большим положительным эффектом накопленных знаний) в системе возникают динамические неустойчивости, связанные с циклической миграцией населения в  $P$  из двух других популяций и обратно. Колебательный процесс инициируется резким снижением трансакционных издержек рыночных укладов после миграции значительной доли их населения в  $P$ . Результатом становится обратная миграция и следующий за ней резкий рост трансакционных издержек. Если наделить агентов, принимающих решения о миграции, способностью к предвидению будущих трансакционных издержек, и соответствующим образом изменить используемую в модели спецификацию выражения (1), этот эффект не возникнет.

Конечным результатом эволюции при всех режимах, предусматривающих экспоненциальный рост населения, является абсолютное доминирование уклада  $P$  в том смысле, что численность населения других укладов асимптотически стремится к нулю. Таким образом, гипотеза 1 не подтверждается, а гипотеза 3 несовместима с экспоненциальным ростом населения. В некоторых случаях, опять-таки связанных с очень высокой продуктивностью моделируемой экономики, этому состоянию могут предшествовать периоды динамической неустойчивости. Пока уклад  $P$  не достиг доминирующего положения, динамика распределения населения по укладам может быть весьма разнообразной. В том числе, в согласии с гипотезой 2, возможны периоды нисходящей динамики численности популяции, следующей укладу  $P$ . Однако закономерность соотношения между  $M$  и  $R$  остаётся той же, как и при отсутствии роста населения.

Параметры модели, принятые по умолчанию, приводят к динамике численности популяций, изображённой на рис. 1. Темпы роста населения здесь достаточно высоки, чтобы доминирование уклада  $P$  проявилось уже в первые 150 единиц модельного времени.



Рис. 1. Пример институциональной эволюции при базовых параметрах модели.

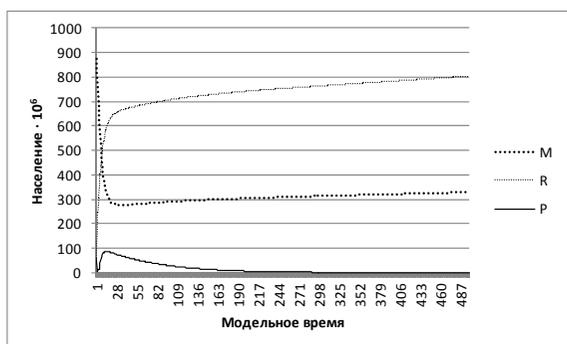


Рис. 2. Пример институциональной эволюции при низком темпе роста населения.

На рис. 2 приведена динамика численности населения трёх укладов в течение первых 500 единиц модельного времени при экспоненциальном росте населения с низким темпом, составляющим 2,5% от базового. В этом случае начальная динамика близка к характерной для постоянной численности населения. В течение периода, отражённого на графике, численность уклада  $P$  достигает локального максимума и далее убывает, в то время как население рыночных укладов растёт в стабильной пропорции  $R$  к  $M$ . Доминирование уклада  $P$  проявляется в горизонте времени порядка  $2 \cdot 10^4$ .

Рис. 3 отражает ситуацию, возникающую вследствие увеличения влияния знаний на производительные силы, а производительных сил — на окружающую среду. Эти изменения увеличивают привлекательность уклада  $P$  в течение периода, отражённого на графике, и приводят к более сложной динамике населения рыночных укладов: в течение отобразённого периода уклад  $R$  достигает сначала локального максимума, затем локального минимума.

В долгосрочной перспективе при таких параметрах происходят скачкообразные неперiodические изменения численности укладов (рис. 4), не характерные для режимов, рассмотренных выше.

Можно обоснованно ожидать, что в случае роста населения по логистическому закону мы не получим результатов, качественно отличающихся от случая постоянного населения, за исключением большего разнообразия динамики населения в разрезе укладов перед достижением состояния, близкого к стационарному.

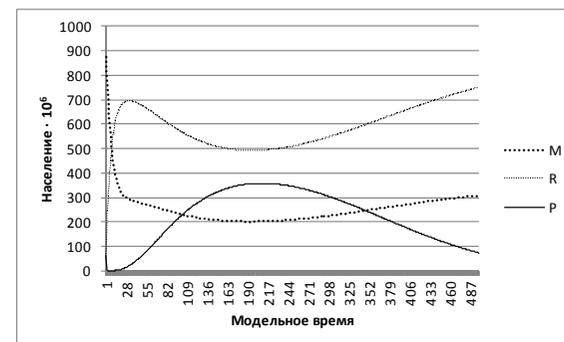


Рис. 3. Пример институциональной эволюции при низком темпе роста населения. Увеличены параметры влияния знаний на производительные силы и ущерба природе со стороны производительных сил.

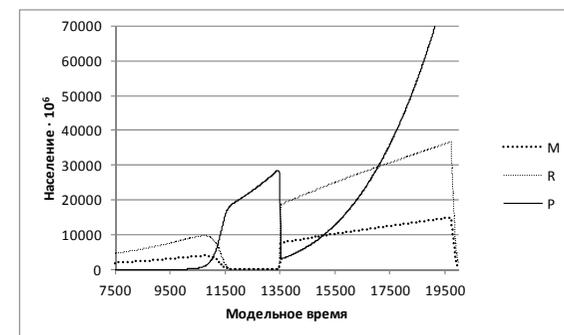


Рис. 4. Институциональная эволюция при низком темпе роста населения в длительном периоде. Значения параметров соответствуют рис. 3.

## 6. Выводы

Конкретные траектории эволюции систем согласования экономических решений чувствительны к выбору функциональных форм, описывающих взаимосвязи между переменными модели. Тем не менее, проведённые модельные эксперименты позволили сформулировать некоторые закономерности, проявления которых можно ожидать в экономической действительности в той мере, в которой положения неинституционализма могут служить её адекватным описанием. Эти выводы основаны на инвариантах институциональной эволюции, обнаруженных в процессе компьютерных экспериментов, и на осмыслении результатов моделирования.

Первый вывод заключается в том, что генеральная тенденция эволюции институтов согласования экономических решений, состоящая в последовательном вытеснении «простых» институтов более «сложными»<sup>1</sup>, имеет исторические границы. Эти границы обусловлены пределами роста транзакционных издержек. В самом деле, пусть существует  $n$  укладов, в которых транзакционные издержки растут пропорционально степеням размера производительных сил  $k_i > 1$ ,  $i = 1 \dots n$ , а производи-

<sup>1</sup> То есть связанными с выбором транзакции из множества альтернатив, мощность которого быстро растёт с ростом экономики.

тельные силы растут по закону, не предполагающему ни максимума, ни асимптоты. Тогда всегда можно указать момент времени, в который конкурентное преимущество получит уклад с минимальным значением  $k_i$ . Если же рост производительных сил принципиально ограничен, то в какой-то момент распространение «сложных» институтов достигает максимума либо почти достигает предела.

Второй вывод состоит в том, что любое предположение об устойчивой долгосрочной тенденции институциональной эволюции, основанное на выявленных конкурентных преимуществах одного из укладов, может оказаться несостоятельным, по крайней мере, в некотором горизонте времени. Основания для этого заключения даёт компьютерный эксперимент, результаты которого отражены на рис. 4. Хотя такое поведение, безусловно, не является инвариантом, сама его возможность свидетельствует о том, что действительные зависимости, присущие реальным процессам институциональной экономики, вполне могут обладать свойствами, необходимыми для возникновения динамики подобного типа.

Третий существенный вывод состоит в том, что существуют формальные условия, обеспечивающие самоподдерживающееся сосуществование существенно различных институтов согласования экономических решений. Отвечает ли реальность этим условиям и если да, то необходимо ли, — ответа на этот вопрос моделирование не даёт. Однако оно указывает на принципиальную возможность реализации подобного режима в экономической действительности.

#### *7. Другие приложения*

Модель эволюции институтов согласования экономических решений, рассмотренная выше, допускает сосуществование и взаимодействие различных институциональных укладов в рамках одной хозяйственной системы. В этом отношении она может рассматриваться как абстрактный аналог мирового хозяйства. Однако её можно распространить на случай, когда решения большинства о выборе институционального уклада обязательны для меньшинства, что более характерно для хозяйственного механизма отдельно взятой страны. По построению в такой модели в каждый момент времени будет существовать только один институциональный уклад, и правила его выбора должны существенно отличаться от сформулированных в разделе 3. Наиболее правдоподобным вариантом представляется следующий: при достижении транзакционными издержками или социальным расслоением критических уровней, задаваемых некоторой функцией от  $s$ , происходит отказ от существующего уклада и случайный выбор одной из двух (или более) альтернатив. Случайность выбора отражает тот факт, что агентам не известны транзакционные издержки, которые наблюдались бы при других институциональных укладах в условиях, описываемых текущими значениями компонентов вектора  $s$ .

На основе спецификации отношений (1)...(3) можно строить модели эволюции самых разных институтов. Так, одно из интересных приложений данного принципа состоит в моделировании исторической конкуренции институтов, выделенных по культурно-религиозному признаку — например, институтов, обуславливающих специфику и самобытность Запада, арабского мира, Китая, России, Латинской Америки, африканских культур.

Другое не менее интересное приложение — моделирование распространённости институтов, обуславливающих жёсткие либо мягкие бюджетные ограничения. В этом случае форма (1)...(3) окажется недостаточной: в ней потребуется отразить влияние жёсткости бюджетных ограничений на продуктивность экономики. Разумно предположить, что жёсткие бюджетные ограничения сопряжены с более высокими транзакционными издержками, но обеспечивают более высокую продуктивность экономики в сравнении с мягкими.

Третье перспективное приложение — исследование эволюции образовательных институтов. Структура соответствующей модели, как представляется, может быть очень похожей на структуру модели эволюции институтов согласования экономических решений, хотя здесь тоже потребуется дифференцировать соотношения (3) по укладам. Различие образовательных институтов может быть описано отражением различий в генерируемых ими транзакционных издержках, в уровне затрат на поддержание знаний, в правилах выделения части производительной силы на создание нового знания и в выходе интеллектуальной продукции (знаний) в расчёте на единицу затраченной производительной силы.

Четвёртое приложение, представляющее немалый интерес для теории и практики экономики сельского хозяйства России, — компьютерная имитация сосуществования и конкуренции корпоративного, кооперативного и семейного укладов российского сельского хозяйства. Представляется, что эту модель можно построить, найдя подходящую спецификацию формы (1)...(3) — по-видимому, более сложную, чем в случае моделирования правил согласования экономических решений. Функция  $f(s, t)$  в этом случае должна, кроме прочего, отражать эффект масштаба, возникающий в связи с различием в размерах бизнеса агентов.

В связи с предложенным модельным подходом возникает вопрос о перспективах создания основанных на нём эмпирических моделей. Сегодня едва ли можно с уверенностью говорить о возможности надёжного обоснования функциональных форм и калибровки их параметров для решения этой задачи. Однако некоторые шаги, которые следует предпринять для создания таких моделей, понятны уже сейчас. Во-первых, необходимо дальнейшее исследование имитационных моделей на предмет малосущественных параметров и зависимостей с целью освобождения от них модельных конструкций. В результате в эмпирической спецификации должно остаться как можно меньше параметров. Во-вторых, из числа отвечающих теоретическим соображениям функциональных форм нужно выбирать самые простые. В-третьих, для калибровки зависимостей транзакционных издержек от факторов требуется сначала научиться с достаточной надёжностью измерять сами транзакционные издержки в масштабах объектов моделирования и в привязке к изучаемым институциональным укладам.

#### *Литература*

1. Полтерович В.М. Институциональные ловушки и экономические реформы // Экономика и математические методы, 1999, № 2. — с. 3-20.
2. Светлов Н.М. Как измерить институты? Опыт эконометрического оценивания внутренних транзакционных издержек в сельском хозяйстве // Институциональная экономика: развитие, преподавание, приложения: Материалы международной конференции. Вып. 1 / Государственный университет управления. М.: ГУУ, 2009. — С. 144-153.
3. Bravo G. Agents' beliefs and the evolution of institutions for common-pool resource management // Rationality and Society, 2011, 23(1), 117-152.
4. Dahlman C. The problem of externality // J. of Law and Economics, 1979, 22, 141-162.
5. Forrester J. World dynamics: 2<sup>nd</sup> edition. Wright-Allen Press, 1971.
6. Ostrom E. Institutional evolution as an emerging focus in scenario planning // The Policy Studies Journal, 2011, 39(1), 7-27.
7. Wärneryd K. Transaction cost, institutions, and evolution // Journal of Economic Behavior and Organization, 1994, 25, 219-239.