

“Когда начинаешь думать об экономическом росте, трудно думать о чем-либо еще”.

Р. Лукас

## Доклад о ходе работы над магистерской диссертацией

**Тема:** Моделирование влияния инновационного сектора на темпы экономического роста

**Цель исследования:** объяснить влияние инновационного сектора на экономический рост и на его декомпозицию по факторным составляющим.

### Задачи:

- обобщить и классифицировать существующие теоретические и эмпирические работы, в которых рассматривается связь инновационной активности и экономического роста
- выбрать теоретическую модель (модели) для усовершенствования или проведения расчетов
- провести тщательный анализ и экономическую интерпретацию результатов модели
- провести собственную эмпирическую проверку полученной модели для ряда развитых стран
- проверить совместимость полученных теоретических выводов с результатами эмпирических исследований рассматриваемой проблемы

### 1) Совокупная производительность факторов как показатель технологического уровня производства

Способы измерения СПФ: 1) метод Солоу  
2) индексный метод  
(в частности, distance function analysis)  
3) смещенный метод

Трактовка СПФ: 1) изменения СПФ измеряют темпы технологических изменений  
2) измеряет только “подарок” (экстерналии, эффекты масштаба) получаемый в процессе технологических изменений  
3) скептически относятся к тому, что СПФ хоть что-то определяет

Концепция СПФ	Искажающие факторы	Знак искажения	Авторы
Мера учета технологических изменений	издержки развития (development costs)	—	)
	СПФ учитывает прибыли от технолог. изменений	—	Carlaw and Lipsey (2002) Jorgenson, Z. Griliches (1967), Jorgensen, Stiroh (2000), Hulten (2000)
	сложность разделения тех. изменений и человеческого капитала	—	Carlaw and Lipsey (2004)
Мера сверхнормальной прибыли	реализация инновации продвигает другие разработки	—	Helpman (1998), Carlaw and Lipsey (2002, 2006) Freeman, Louca (2002),
	выгода от новых технологий состоит скорее в будущей разнице в отдаче между новыми и старыми технологиями	—	Carlaw and Lipsey (2002, 2006), Freeman, Louca (2002),
	вялая реакция спроса	—	Carlaw and Lipsey (2004)
	трактовка исследовательских разработок в СНС	—	Nakamura, Tiessen, Diewert (2003)
	неправильная спецификация учетной производственной функции	+/-	Solow (1957), Hulten (2000)
	агрегирование факторов производства	—	Jorgensen, Gollop, Fraumeni, (1987), Jorgensen, Stiroh (2000)
	переходное состояние экономики	—	Carlaw and Lipsey (2004)
	несовершенная конкуренция и возрастающая отдача от масштаба	+	Basu and Fernald (1995) Basu and Fernald (2006)

## 2) Гибрид неоклассической и шumpетерианской модели.

Aghion P., Howitt P. Capital, innovation and growth accounting// Oxford Review of Economic Policy, Volume 23, Number 1, 2007, pp.79–93

Предпосылки:

- 1) Два типа товаров: конечный продукт и промежуточный продукт. Объем промежуточного продукта пропорционален затратам на капитал, скорректированным на уровень технологий.
- 2) Производственная функция Диксита-Стиглица
- 3) Вероятность появления инноваций пропорциональна текущим затратам на НИОКР, скорректированным на уровень технологий.
- 4) Совершенная конкуренция на рынке НИОКР
- 5) После реализации инновации используется только инновационный промежуточный продукт.
- 6) Нейтральность агентов к риску

$x_{it}$  - количество промежуточного товара вида  $i$  в момент времени  $t$

$A_{it}$  - переменная производительности, отражающее качество промежуточного товара вида  $i$  в момент времени  $t$

### Производство и накопление капитала.

$$Y_t = \int_0^1 A_{it} x_{it}^\alpha L^{1-\alpha} di, 0 < \alpha < 1$$

Промежуточные продукты производятся с использованием только капитала:

$$x_{it} = \frac{K_{it}}{A_{it}}$$

$K_{it}$  - затраты капитала в секторе  $i$  в момент времени  $t$ , деление на  $A_{it}$  отражает тот факт, что производство более качественных промежуточных продуктов требует увеличения удельных затрат капитала.

Динамика капитала, как в модели Солоу:

$$\dot{K}_t = sY_t - \delta K_t$$

### Максимизация прибыли монополиста.

Цена единицы капитала или арендная ставка равна сумме реальной ставки процента и нормы выбытия:

$$R_t = r_t + \delta$$

Предельные издержки 1 единицы промежуточной продукции  $x_{it}$  составят  $A_{it} R_t$ .

Кривая спроса на продукцию промежуточную продукцию

$$p_{it} = \frac{\partial Y_t}{\partial x_{it}} = \alpha A_{it} x_{it}^{\alpha-1} L^{1-\alpha}$$

Максимизация прибыли монополиста:

$$\pi_{it} = \max_{x_{it}} [p_{it} x_{it} - R_t K_{it}] = \max_{x_{it}} [\alpha A_{it} x_{it}^\alpha L^{1-\alpha} - R_t A_{it} x_{it}]$$

Условие первого порядка:

$$\alpha^2 A_{it} x_{it}^{\alpha-1} L^{1-\alpha} - R_t A_{it} = 0$$

$$x_{it} = \left( \frac{\alpha^2}{R_t} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} L$$

Получаем, что  $x_{it}$  от  $i$  не зависит.

$$x_t = \frac{K_t}{A_t}, \text{ где } K_t = \int_0^1 K_{it} di, A_t = \int_0^1 A_{it} di$$

Подставим  $x_t$  в производственную функцию:

$$Y_t = A_t^{1-\alpha} L^{1-\alpha} K_t^\alpha$$

$$m_t = \frac{x_t}{L} - \text{капитал в расчете на 1 ед. эффективного труда}$$

Прибыль монополиста составит:

$$\pi_{it} = \alpha(1-\alpha) A_{it} x_{it}^\alpha L^{1-\alpha} = \alpha(1-\alpha) A_{it} m_t^\alpha L \quad (1)$$

### Инновации и НИОКР

Инновации в секторе  $i$  в момент времени  $t$  приводят к росту производительности в этом секторе с уровня  $A_{it}$  до уровня  $\gamma A_{it}$ . Вероятность появления инноваций в секторе  $i$  в момент времени  $t$  пропорциональна текущим затратам на НИОКР, скорректированным на уровень технологий, в этом секторе:

$$\lambda n_{it}$$

Где  $n_{it}$  - это затраты на НИОКР  $N_{it}$ , деленные на уровень продуктивности:

$$n_{it} = \frac{N_{it}}{A_{it}}$$

Здесь отражается такой эффект: чем выше уровень технологий, тем сложнее создавать инновации.

### Арбитражное равенство

Пусть  $V_{it}$  - это цена, которую фирма-новатор платит за инновации (платит каждый период).

Ожидаемая прибыль исследовательской организации, осуществляющей создание инноваций в секторе  $i$  в момент времени  $t$  составит

$$\lambda \frac{N_{it}}{A_{it}} V_{it} - N_{it}$$

Свободный вход на рынок НИОКР, приводит к нулевой ожидаемой прибыли:

$$\lambda v_{it} - 1 = 0 \quad (2)$$

$v_{it} = \frac{V_{it}}{A_{it}}$  - цена покупки инноваций, скорректированная на уровень

производительности (одинакова в секторе НИОКР, так как не зависит от  $i$ ). Со стороны производителей инноваций стоимость инновации обратно пропорциональна параметру  $\lambda$ , отражающему легкость создания инноваций.

Уровень прибыли монополистов, скорректированный на уровень производительности, так же будет одинаковым для всех фирм-монополистов, из уравнения (1):

$$\tilde{\pi}_i = \frac{\pi_{it}}{A_{it}} = \alpha(1-\alpha)m_i^\alpha L \quad (3)$$

Приведенный ожидаемый поток прибылей, в результате проведения инновации в периоде  $t$  составит:

$$\frac{\gamma\pi_i}{1+r_i} + \frac{(1-\lambda n_i)\gamma\pi_i}{(1+r_i)^2} + \frac{(1-\lambda n_i)^2\gamma\pi_i}{(1+r_i)^3} + \dots = \frac{\gamma\pi_i}{1+r_i} \cdot \frac{1}{1-\frac{1-\lambda n_i}{1+r_i}} = \frac{\gamma\pi_i}{r_i + \lambda n_i}$$

Значит, монополист готов заплатить за инновации не больше этой суммы. Тогда скорректированная стоимость инновации  $v_i$  со стороны покупателей инноваций составит:

$$v_i = \frac{\gamma\tilde{\pi}_i}{r_i + \lambda n_i} \quad (4)$$

Таким образом, со стороны фирм-производителей, предъявляющих спрос на инновации, стоимость инноваций равна потоку прибылей монополиста, дисконтированному по ставке  $r_i + \lambda n_i$ .

В равновесии цена инновации со стороны производителя и покупателя равна, соответственно подставляя (2) и (3) в (4), получим:

$$1 = \lambda \frac{\gamma\alpha(1-\alpha)m_i^\alpha L}{r_i + \lambda n_i} \quad (5)$$

$n_i$  является возрастающей функцией от  $m_i$ , вследствие эффекта масштаба: рост капитала на единицу эффективного труда  $\rightarrow$  рост прибыльности осуществления инноваций  $\rightarrow$  рост спроса на инновации  $\rightarrow$  увеличение затрат на инновации

### Рост производительности

Ожидаемые темпы прироста  $A_{it}$  составят  $\lambda n_i(\gamma-1)$ , и в соответствие с законом больших чисел:

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i} = \lambda n_i(\gamma-1) \quad (6)$$

Учитывая (5), преобразуем (6) и получим:

$$g = (\gamma-1)(\gamma\lambda\alpha(1-\alpha)m_i^\alpha L - r_i) \quad (7)$$

$$g = g_1(m)$$

В соответствии с уравнением (7) темпы роста НТП являются возрастающей функцией от уровня капитала на единицу эффективного труда посредством двух каналов влияния: эффект масштаба, стимулирующий рост затрат на НИОКР, и ставку процента.

### Объединение решений инновационного сектора и сферы накопления

А теперь вспомним о равновесии в базовой модели Солоу:

$$\dot{m} = sm^\alpha - (\delta + g)m$$

В стационарном состоянии  $\dot{m} = 0$ . Откуда находим  $g = g_2(m)$

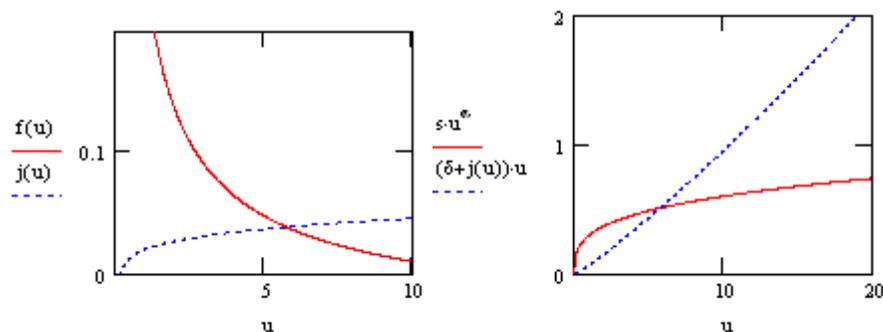
$$m = \left(\frac{s}{\delta + g}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (8)$$

В соответствии с уравнением (8) (решением модели Солоу) в сфере накопления темпы роста НТП имеют отрицательную связь с уровнем капитала на единицу эффективного труда.

### Модельное равновесие

$$f(m) := \left[\frac{s}{m^{(1-\alpha)}}\right] - \delta \quad j(m) := (\gamma - 1) \cdot [\lambda \cdot \gamma \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot m^\alpha - \alpha^2 \cdot (m)^{\alpha-1} + \delta]$$

рис.1 Иллюстрация равновесия



Источник: построено автором

В равновесии уровень капитала на единицу эффективного труда и темпы роста НТП являются стационарными. Капиталовооруженность труда и производительность труда растут с темпом роста НТП. Но равновесные темпы

роста НТП зависят как от параметров инновационного сектора  $\lambda$  и  $\gamma$ , так и нормы сбережения  $S$ .

Увеличение параметров инновационного сектора (сдвиг кривой инновационного сектора влево-вверх) приведет к увеличению темпов роста НТП и снижению равновесного уровня капитала на единицу эффективного труда. Увеличение нормы сбережения (сдвиг кривой сферы накопления вправо-вверх) приведет как к росту уровня капитала на единицу эффективного труда, так и равновесных темпов роста НТП.

### Золотое правило

Так как норма сбережения экзогенна, в модели есть золотое правило, то есть равновесие, оптимальное с точки зрения потребления на единицу эффективного труда.

Оптимизационная задача:

$$f(s, m) := (1 - s)m^\alpha$$

Given

$$\left[\frac{s}{m^{(1-\alpha)}}\right] - \delta - (\gamma - 1) \cdot [\lambda \cdot \gamma \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot m^\alpha - \alpha^2 \cdot (m)^{\alpha-1} + \delta] = 0$$

$$\left(\begin{matrix} \text{sopt} \\ \text{mopt} \end{matrix}\right) := \text{Maximize}(f, s, m)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{sopt} \\ \text{mopt} \end{matrix}\right) = \left(\begin{matrix} 0.279 \\ 7.763 \end{matrix}\right)$$

- а) оптимальная норма сбережения меньше эластичности выпуска по капиталу
- б) с ростом параметров инновационного сектора  $\lambda$  или  $\gamma$  оптимальная норма сбережения падает.

В отношении потребления на душу населения модель значительно отличается от модели Солоу. Так как темпы роста НТП, а значит и равновесные темпы роста потребления на душу населения положительно связаны с нормой сбережения.

$$f2(s, m) := (1 - s)m^\alpha \cdot \exp\left[(\gamma - 1) \cdot [\lambda \cdot \gamma \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot m^\alpha - \alpha^2 \cdot (m)^{\alpha-1} + \delta] \cdot t\right]$$

Оптимизационная задача (зависит от выбора  $t$ ):

$$j(s, m) := \ln(1 - s) + \alpha \cdot \ln(m) + t \cdot (\gamma - 1) \cdot [\lambda \cdot \gamma \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot m^\alpha - \alpha^2 \cdot (m)^{\alpha-1} + \delta]$$

Given

$$\left[ \frac{s}{m^{(1-\alpha)}} \right] - \delta - (\gamma - 1) \cdot [\lambda \cdot \gamma \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot m^\alpha - \alpha^2 \cdot (m)^{\alpha-1} + \delta] = 0$$

$$\begin{pmatrix} \text{sopt2} \\ \text{mopt2} \end{pmatrix} := \text{Maximize}(j, s, m)$$

t ≡ 1

t ≡ 10

t ≡ 20

$$\begin{pmatrix} \text{sopt2} \\ \text{mopt2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.282 \\ 7.883 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \text{sopt2} \\ \text{mopt2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.312 \\ 8.962 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \text{sopt2} \\ \text{mopt2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.344 \\ 10.154 \end{pmatrix}$$

Таким образом, чем длиннее рассматриваемый период, на котором будет осуществляться максимизация потребления на душу населения, тем выше должна быть норма сбережения.

### Динамика системы

Модель задана двумя уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{m} = sm^\alpha - [\delta + (\gamma - 1)(\lambda\alpha(1 - \alpha)m_i^\alpha L - \alpha^2 \cdot m_i^{\alpha-1} + \delta)]m \\ \dot{g} = (\gamma - 1)(\lambda\alpha(1 - \alpha)m_i^\alpha L - \alpha^2 \cdot m_i^{\alpha-1} + \delta) \end{cases}$$

Но по сути, динамика определяется одним уравнением:

$$\dot{m} = (s + (\gamma - 1)\alpha^2)m^\alpha - \gamma\delta m - (\gamma - 1)\lambda\gamma\alpha(1 - \alpha)m_i^{1+\alpha}L$$

Это уравнение задает динамику уровня капиталовооруженности на единицу эффективного труда, который в свою очередь задает текущие темпы роста НТП. Это означает, во-первых, что равновесие – является устойчивым, во-вторых, что система всегда находится на кривой инновационного сектора.

рис.2 Иллюстрация динамики модели Аггйона-Хоуитта и модели Солоу.

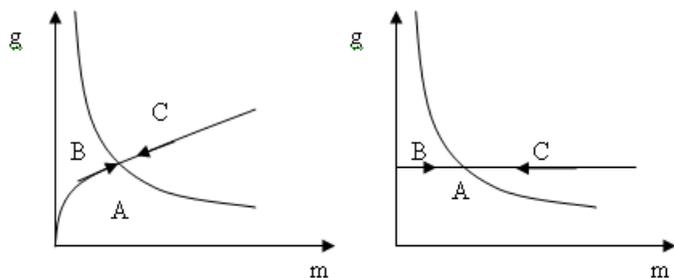
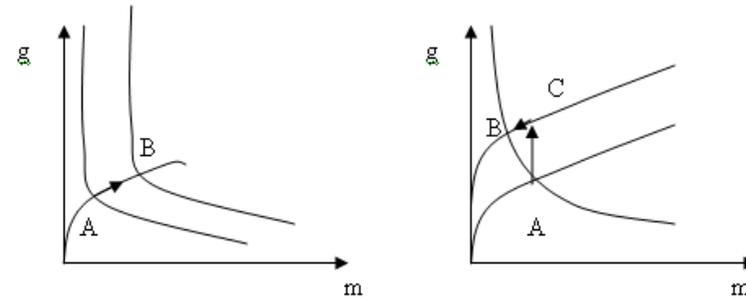


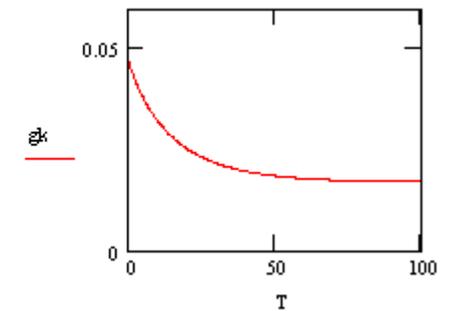
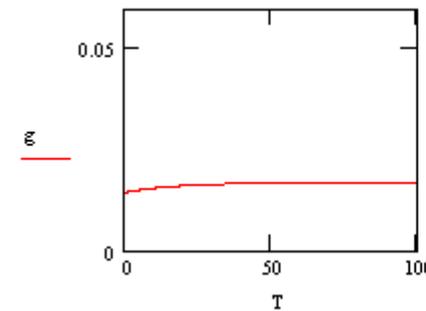
рис. 3 Иллюстрация динамики модели Аггйона-Хоуитта при изменении параметров (слева – рост  $S$ , справа - рост  $(\lambda, \gamma)$ )



**Ситуация 1 (на верхнем графике слева):** рост нормы сбережения.

Слева: динамика темпов роста НТП.

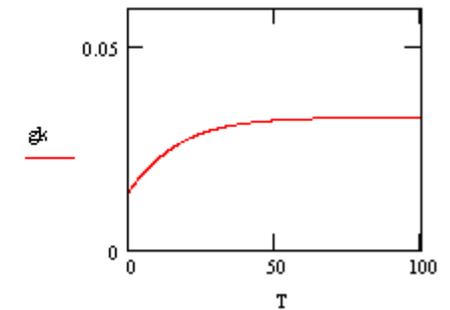
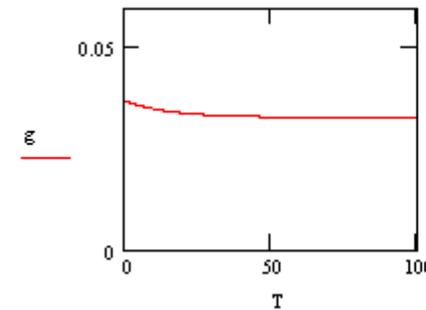
Справа: динамика темпов роста капиталовооруженности труда



**Ситуация 2 (на верхнем графике):** рост нормы сбережения.

Слева: динамика темпов роста НТП.

Справа: динамика темпов роста капиталовооруженности труда



**Сводная таблица (сочетания изменений параметров)**

$s$ \ $y$	постоянна	растет	падает
постоянна	$(\lambda, \gamma)$ стационарны	$(\lambda, \gamma)$ растут	$(\lambda, \gamma)$ падают
растет	$(\lambda, \gamma)$ соразмерно растут	-	$(\lambda, \gamma)$ стационарны $(\lambda, \gamma)$ падают
падает	$(\lambda, \gamma)$ соразмерно падают	$(\lambda, \gamma)$ стационарны $(\lambda, \gamma)$ растут	-

***Дальнейшие направления работы:***

- 1) Эмпирические расчеты по модели Агйюна-Хоуитта при помощи эконометрических методов или калибровки по данным для стран ОЭСР
- 2) Разработка приложений к модели: политика стимулирования экономического роста с учетом его связи с инновационным сектором и сферой накопления.
- 3) Усовершенствование модели: гипотеза о гармоничном технологическом развитии, введение несклонности к риску
- 4) Дальнейший обзор теоретических и эмпирических работ

**Литература**

- 1) Aghion P., Howitt P. (2007) Capital, innovation and growth accounting// Oxford Review of Economic Policy, Volume 23, Number 1, 2007, pp.79–93
- 2) Diewert, E., and D. Lawrence (1999) 'Measuring New Zealand's productivity,' New Zealand Treasury Working Paper
- 3) Lipsey, R. G. and Carlaw, K. I. (2004). "The measurement of technological change", The Canadian Journal of Economics, vol. 37(4), pp. 1118–50.
- 4) Prescott, E.C., (1998) 'Needed a theory of total factor productivity,' International Economic Review 39, 525-51
- 5) Jorgenson, Dale, and Z. Griliches (1967) 'The explanation of productivity change,' Review of Economic Studies 34, 249-83
- 6) Jorgenson, Dale (2001) 'Information technology and the U.S. economy,' American Economic Review 91, 1-32
- 7) Barro, R.J. (1999) 'Notes on growth accounting,' Journal of Economic Growth 4, 119-37
- 8) Z. Griliches (1994) 'Productivity, R&D, and the data constraint,' American Economic Review 84, 1-24

- 9) Fare, Grosskopf, and Margaritis (1996) 'Productivity growth,' in A Study of Economic Reform. The Case of New Zealand, ed. B. Silverstone, A. Bollard, and R. Lattimore Contributions to Economic Analysis, vol. 236 (Amsterdam: Elsevier)
- 10) Fare, Grosskopf (1992) 'Malmquist Productivity Indexes and Fisher Ideal Indexes', The Economic Journal, Vol. 102, No. 410, pp. 158-160
- 11) Carlaw, Kenneth, and Richard G. Lipsey (2002) 'Externalities, technological complementarities and sustained economic growth,' Research Policy 31, 1305-15
- 12) Carlaw, Kenneth, and Richard G. Lipsey (2006) 'GPT-driven, endogenous growth' The Economic Journal, 116 (January), 155–174
- 13) Alice O. Nakamura, Peter Tiessen, W. Erwin Diewert (2003) 'Information Failure as an Alternative Explanation of Under Investment in R&D', Managerial and Decision Economics, Vol. 24, No. 2/3, Research Alliances and Collaborations, pp. 231-239
- 14) Jorgensen, Dale, and K.J. Stiroh (2000) 'U.S. economic growth at the industry level,' American Economic Review, Papers and Proceedings 90, 161-7
- 15) Basu and Fernald (1995) 'Are apparent productive spillovers a figment of specification error?' Journal of Monetary Economics 36, 165-88
- 16) Basu, Fernald & Kimball (2006) 'Are technology improvements contractiory?' American Economic Review 96, 1418-1448
- 17) Young, A. (1995), 'The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience', Quarterly Journal of Economics, 110, 641–80.
- 18) Hsieh, C.T. (2002), 'What Explains the Industrial Revolution in East Asia? Evidence from Factor Markets', American Economic Review, 92, 502–26.
- 19) Gordon, R.J. (2000) 'Does the "New Economy" measure up to the great inventions of the past?,' NBER Working Paper No. 7833, Washington, DC
- 20) Истерли У. В поисках роста: Приключения и злоключения экономистов в тропиках / Пер.с англ. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2006