

УДК 338.2
ББК 65.9(2Р)0-55
Ф 79

Ф 79 **Формирование инновационной экономики:** концептуальные основы, методы и модели / Под ред. В.И. Сулова, Н.А. Кравченко; ИЭОПП СО РАН. Новосибирск: Автограф, 2014. 346 с.
ISBN 978-5-9905592-7-1

Монография охватывает широкий спектр вопросов, посвященных исследованию проблем инновационного развития на международном, национальном, региональном и отраслевом уровнях. Рассматриваются вопросы развития теории инноваций, а также методологические и методические возможности использования экономико-математического моделирования в исследованиях инновационной экономики. Продемонстрировано развитие методического инструментария оценки инновационного развития на региональном уровне, а также отражены результаты его использования применительно к регионам России. Представлен методический подход, направленный на оценку возможностей инновационной индустриализации России и Сибири с помощью технологического форсайта отдельных отраслей промышленности.

Монография предназначена для исследователей и участников инновационной деятельности, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся на изучении проблем инновационного развития.

Программа Президиума РАН № 34

Прогноз инновационной индустриализации экономики России

Авторы: А.О. Баранов, Г.В. Бобылев, О.В. Валиева, Ю.П. Воронов, Н.В. Горбачева, М.А. Канева, Н.А. Кравченко, А.В. Кузнецов, Б.Л. Лавровский, А.С. Мишина, Д.О. Неустроев, И.В. Позднякова, А.И. Попелух, В.И. Сулов, Г.А. Унтура, А.А. Федоров, С.Р. Халимова

УДК 338.2
ББК 65.9(2Р)0-55

ISBN 978-5-9905592-7-1

© Институт экономики и организации
промышленного производства СО РАН, 2014 г.
© Коллектив авторов

Глава 2.

Подходы к моделированию инновационной экономики

Данная глава продолжает работа автора по моделированию инноваций (см. [Баранов и др., 2011]).

2.1. Моделирование влияния человеческого капитала и природных ресурсов на экономическую динамику в модифицированной модели Узавы—Лукаса

Двухсекторная модель Узавы—Лукаса с отображением человеческого капитала. Краткое описание модели Узавы—Лукаса и направлений ее использования. Характерной чертой двухсекторной модели экономического роста Узавы—Лукаса является присутствие в ней человеческого капитала и анализ его влияния на экономический рост. В отличие от прочих макроэкономических моделей, в модели Узавы—Лукаса динамика человеческого капитала определяется обособленно в рамках отдельного сектора.

Изначально Хирофуми Узава в своей статье [Uzawa, 1965] анализирует модель экономического роста с нейтральным по Харроду уровнем технологического развития, т. е. анализирует производственную функцию вида

$$F[K(t), A_U(t)L_P(t)],$$

где $K(t)$ — объем основного капитала; $A_U(t)$ — уровень производительности труда; $L_P(t)$ — объем трудовых ресурсов, задействованных в производстве. Факторами, влияющими на производительность труда, у Узавы были образование, здоровье, общественные блага и т. д. Их влияние отражает суть второго, образовательного сектора экономики в данной модели. У Узавы он представлен в виде

$$\dot{A}_U(t)/A_U(t) = \phi[L_E(t)/L(t)],$$

где $L_E(t)$ — доля трудовых ресурсов, задействованных в образовательном секторе; $\dot{A}_U(t)$ есть приращение производительности труда в момент времени t ; таким образом, $\dot{A}_U(t) / A_U(t)$ есть темп прироста производительности труда. Далее, используя принцип максимума Понтрягина, Узава анализирует динамику модели, при условии максимизации уровня потребления. И если в его статье понятие человеческого капитала прямо не упоминается, хотя и ощущается интуитивно, то позже, в конце 1980-х годов публикуется статья Роберта Лукаса [Lucas, 1988], где, модифицируя данную модель, он конкретно говорит о человеческом капитале. Технологический прогресс у него имеет смешанный характер и уже не строго нейтрален по Харроду, как было у Узава. Производственная функция теперь имеет вид

$$Y(t) = AK(t) b_L(t) h(t) L(t)^{1-h_a(t)}, \quad (2.1)$$

где A — технологический уровень, являющийся константой; $b_L(t)$ — в трактовке Лукаса — доля времени, которое рабочий уделяет производственному процессу; $h(t)$ — удельный уровень человеческого капитала; $h_a(t)$ — внешний эффект от человеческого капитала. Второй, образовательный сектор, отвечающий за накопление человеческого капитала, у Лукаса представлен в виде

$$\dot{h}(t) = h(t) G(1 - b_L(t)), \quad (2.2)$$

где $1 - b_L(t)$ — свободное время, которое работник использует на накопление человеческого капитала; функция $G(1 - b_L(t))$ имеет линейный вид; параметр G отражает степень влияния существующего накопленного человеческого капитала на его приращение. В дальнейшем своем анализе Лукас принимает $G = 1$. Как и Узава, далее он рассматривает динамику данной системы с использованием теории оптимального управления.

С тех пор данная модель не раз использовалась исследователями для анализа и эмпирической оценки влияния человеческого капитала на развитие экономической системы. Рассмотрим некоторые из работ. В статье [Rebelo, 1991] автор пытается проанализировать на основе эндогенных моделей влияние налоговой политики на долгосрочные темпы экономического роста. Опираясь в том числе на описанную выше Лукасом модель, он пытается в определенной степени ее обобщить и включает в образовательный сектор (2.2) долю физического капитала, таким образом, образовательный сектор модели Узава—Лукаса становится частным случаем модели Ребело. В то же время в производственной функ-

ции (2.1) он не рассматривает внешний эффект $h_a(t)$. В результате своего исследования Ребело приходит к заключению об обратной зависимости между налогом на доход и темпами экономического роста. Вопросы налогообложения в рамках модели Узавы—Лукаса рассматриваются также в [Gomez, 2003; Gorostiaga, 2011]. В работе [Benhabib et al., 1994] авторы более детально рассматривают динамику модели Узавы—Лукаса и ее сбалансированную траекторию. Они анализируют область значений параметров данной модели, принадлежность к которым приводит к положительным темпам экономического роста. Анализ сбалансированной траектории, переходной динамики и параметров модели можно также найти в работах [Bethmann, 2008; Gomez, 2006; Jones et al., 2008; Mulligan et al., 1993; Xie, 1994] и др. Среди российских исследователей анализ данной модели можно встретить, например, в работах Ю.А. Кузнецова и О.В. Мичасовой [Кузнецов и др., 2010а–в]. В этих статьях детально с помощью численно-аналитических методов анализируется данная модель экономического роста и делается вывод о неустойчивости траектории сбалансированного роста, в окрестности которой возможно существование устойчивых предельных циклов, которые трактуются авторами как наблюдаемые в экономике бизнес-циклы. Таким образом, равновесное состояние экономической системы определяется авторами как ее эволюция в рамках данных бизнес-циклов в окрестности траектории сбалансированного роста.

Двухсекторная модель Узавы—Лукаса является сегодня неотъемлемой частью монографий, посвященных теоретическим концепциям экономического роста. Мы видим ее анализ в работе Р. Бэрро и К. Сала-и-Мартина [Barro et al., 2004], в работе Дэрона Асемоглу [Acemoglu, 2009], а также в монографиях [Баранов и др., 2011; Aghion et al., 1998; Savvides et al., 2009] и др. Стоит выделить монографию [Mattana, 2004], которая полностью посвящена анализу данной модели.

Описание модели Узавы—Лукаса с учетом влияния природных ресурсов на экономическую систему. Мы видим, что в реальной экономике фактор наличия значительного количества доступных и востребованных природных, в частности нефтегазовых, ресурсов также играет существенную и не всегда однозначную роль. Учет влияния природных ресурсов на экономическую динамику особенно актуален для стран, экономика которых существенно зависит от результатов деятельности добывающих отраслей. К таким странам относится Россия. Попытаемся модифицировать данную двухсекторную модель Узавы—Лукаса, вклю-

чив в нее влияние природных ресурсов на экономическую систему. Стоит отметить также ряд исследований, в которых осуществляются попытки анализа влияния человеческого капитала и природных ресурсов на экономическую систему в рамках единой модели [Bravo-Ortega et al., 2002; Valente, 2007]. Наша работа представляет собой продолжение исследования данного вопроса совместного влияния человеческого капитала и природных ресурсов на экономику.

Для определения оптимальной траектории развития системы необходимо использование методов теории оптимального управления с целью максимизации функции полезности при соответствующих ограничениях. Именно максимальная получаемая индивидом полезность является наиболее предпочтительным вариантом развития экономической системы. Фундаментальный вклад в теорию оптимального управления внес Л.С. Понтрягин. Его принцип максимума — центральное понятие в современной теории оптимизации. Написанная им совместно с учениками монография [Понтрягин и др., 1983] дает нам сегодня возможность провести требуемый анализ интересующей нас модели. Стоит заметить, что сегодня теоретическая концепция теории оптимального управления достаточно широко используется в экономической науке, и она нашла отражение во многих статьях и монографиях, например, [Caputo, 2005; Kamien et al., 1991; Sethi et al., 2000], где авторы достаточно содержательно описывают возможности ее применения.

Рассмотрим двухсекторную модель экономического роста следующего вида:

$$Y(t) = A(t)K(t) + S(t) + b(t)H(t)^1, \quad (2.3)$$

$$\dot{H}(t) = H(t)z - 1 - b(t) - \delta_H H(t), \quad (2.4)$$

где $Y(t)$ — валовой внутренний продукт; $A(t)$ — общий уровень технологического развития; $S(t)$ — природные ресурсы; $H(t)$ — объем накопленного человеческого капитала; δ_H — уровень амортизации человеческого капитала; $b(t)$ — доля человеческого капитала, занятого в производстве; z — коэффициент эффективности накопления человеческого капитала.

Объем накопленного человеческого капитала можно представить в виде произведения трудовых ресурсов и удельного накопленного человеческого капитала, значит, (2.3) и (2.4) можно представить в следующем виде:

$$y = Ak + s + bh^1, \quad (2.5)$$

$$\dot{h} = hz - 1 - b - Hh, \quad (2.6)$$

где y, k, s, h представляют собой удельные величины ВВП, основного капитала, природных ресурсов и накопленного человеческого капитала соответственно.

Получаемая агентами полезность от потребления задана в следующей форме:

$$u(c) = \frac{c^{1-\theta} - 1}{1-\theta}, \quad (2.7)$$

где c — удельное потребление; θ — коэффициент относительной несклонности к риску Эрроу—Пратта, который является величиной постоянной. Соответственно, эластичность межвременного замещения также будет величиной постоянной, которая равна $1/\theta$.

Агенты в экономике максимизируют приведенный поток получаемой полезности (2.7) согласно

$$\max \int_0^{\infty} \frac{c^{1-\theta} - 1}{1-\theta} e^{-\rho t} dt, \quad (2.8)$$

где ρ — норма временного предпочтения.

Для решения задачи максимизации получаемой полезности рассмотрим сначала ситуацию, когда решения принимаются централизованно, т. е. в данном случае оптимизацией занимается некий социальный планировщик (*Social Planner*), который действует в интересах агентов экономической системы и пытается максимизировать их полезность. Опишем далее данную задачу оптимизации.

Продукция первого сектора может быть использована на потребление, инвестиции в основной капитал и на инвестиции в разработку новых природных ресурсов. Таким образом, ограничение примет вид

$$c + i_K + i_S = y - Ak - s - bh, \quad (2.9)$$

где i_K — удельные инвестиции в основной капитал; i_S — удельные инвестиции в природные ресурсы.

Динамика основного капитала и природных ресурсов описывается следующим образом:

$$\dot{k} = i_K - \delta k, \quad (2.10)$$

$$\dot{s} = i_S - \delta s, \quad (2.11)$$

где K — норма выбытия основного капитала; S — норма использования природных ресурсов; и — параметры, отражающие доступность и возможность освоения новых природных ресурсов в экономике.

Необходимые и достаточные условия оптимального развития. Для решения задачи оптимизации, используя (2.6), (2.8), (2.9)–(2.11), запишем функцию Гамильтона, которая примет вид

$$H^P = \frac{c^1}{1} - \lambda_1 Ak - \lambda_2 s - \lambda_3 (i_S - Kk - hz - 1 - b - Hh - 3(i_S - Ss)), \quad (2.12)$$

где H^P означает, что мы решаем в данном случае задачу планировщика; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ есть неявные цены изменения переменных состояния, которыми в данном случае являются k, h, s , т. е. содержательно это означает изменение полезности в момент времени t , которое произойдет в результате изменения переменных состояния также в момент времени t . Переменными управления в данном случае являются x, b, i_S .

Условиями максимизации будут следующие равенства:

$$\begin{aligned} H_c^P &= 0, H_b^P = 0, H_{i_S}^P = 0, \\ \cdot \\ \lambda_1 &= \lambda_1 H_k^P, \\ \cdot \\ \lambda_2 &= \lambda_2 H_h^P, \\ \cdot \\ \lambda_3 &= \lambda_3 H_s^P, \end{aligned} \quad (2.13)$$

где H_j^P есть частная производная по j . Исходя из (2.12), при условиях (2.13) мы получим следующие тождества:

$$c - \lambda_1 = 0, \quad (2.14)$$

$$\lambda_1 - \lambda_1 \frac{y}{b} - \lambda_2 hz = 0, \quad (2.15)$$

$$\lambda_1 - \lambda_3 i_S = 0, \quad (2.16)$$

$$\lambda_1 - \lambda_1 - \lambda_1 \frac{y}{k} - K = 0, \quad (2.17)$$

$$\lambda_2 - \lambda_2 - \lambda_1 - \lambda_1 \frac{y}{h} - \lambda_2 z - 1 - b - H = 0, \quad (2.18)$$

$$\dot{y}_3 = \frac{y_3}{s} - \dot{y}_3 \quad (2.19)$$

Условия трансверсальности имеют вид

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} k_1(t) &= 0, \\ \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} h_2(t) &= 0, \\ \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} s_3(t) &= 0. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Проанализируем теперь вариант децентрализованного принятия решений, т. е. когда агенты в экономике самостоятельно максимизируют полученную полезность. Бюджетное ограничение репрезентативного агента выглядит следующим образом:

$$c + i_K + i_S + w b h + r k + q s,$$

где w — ставка заработной платы; r — рентная цена капитала; q — рентная цена природных ресурсов. Динамика капитала и природных ресурсов имеет аналогичный вид (2.10) и (2.11). Для максимизации полезности (2.8) определим функцию Гамильтона:

$$H^d = \frac{c^1}{1} + \lambda_1 (w b h + r k + q s - c - i_S - i_K) + \lambda_2 (h z - 1 - b) + \lambda_3 (i_S - s),$$

где H^d означает, что мы решаем в данном случае децентрализованную задачу. Переменные состояния и управления те же, что и в случае централизованного принятия решений. Исходя из условий (2.13), получим следующие тождества:

$$\frac{\partial H^d}{\partial c} = 1 - \lambda_1 = 0, \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial H^d}{\partial h} = \lambda_1 w + \lambda_2 z - \lambda_3 = 0, \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial H^d}{\partial k} = \lambda_1 r - \dot{\lambda}_1 = 0, \quad (2.23)$$

$$\dot{\lambda}_1 = \lambda_1 (r - \rho), \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial H^d}{\partial z} = \lambda_2 h - \dot{\lambda}_2 = 0, \quad (2.25)$$

$$\dot{\lambda}_2 = \lambda_2 (\rho - q), \quad (2.26)$$

Условия трансверсальности аналогичны (2.20).

Если мы предполагаем функционирование в рамках конкурентного рынка, тогда цены факторов производства будут равняться предельной производительности данных факторов. Таким образом, ставку оплаты труда и рентные цены можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} r &= y_k \frac{y}{k}, \\ q &= y_s \frac{y}{s}, \\ w &= y_{bh} - 1 = \frac{y}{bh}, \end{aligned} \quad (2.27)$$

где y_i — частная производная производственной функции по определенному фактору производства. Подставив (2.27) в (2.21)–(2.26), мы получим тождества, идентичные выражениям (2.14)–(2.19). Таким образом, мы видим, что условия оптимальности для централизованного решения в нашем случае абсолютно идентичны условиям оптимальности при децентрализованном принятии решений. Естественно предположить, что так бывает далеко не всегда. Допустим, если бы в модели учитывался фактор внешнего влияния от человеческого капитала $h_a(t)$, который изначально присутствует у Лукаса, то условия были бы различными, что можно объяснить тем, что данный внешний фактор не учитывался бы при децентрализованном принятии решений. Такая ситуация, но с отсутствием природных ресурсов, достаточно подробно описана в [Mattana, 2004].

Условия (2.13) являются необходимыми, но не являются достаточными. Для решения задачи оптимального управления необходимо убедиться в том, что функция Гамильтона (2.12) представляет собой выпуклую функцию по отношению к переменным состояния и управления. В этом заключается условие достаточности Мангасаряна [Mangasarian, 1966]. Для того чтобы функция была выпуклой, необходимо, чтобы ее матрица Гессе была отрицательно полуопределена [Blume, 1994]. Проверка знаков главных миноров данной матрицы, которая будет иметь размерность 6×6 , представляется весьма затруднительной ввиду невозможности точно определить знак ряда миноров. Поэтому воспользуемся условием достаточности Эрроу, представленным в работе [Arrow, Kutz, 1970]. В работе [Неустроев, 2012] показано, что данное условие выполняется и соответственно условия (2.13) являются не только необходимыми, но являются достаточными. Перейдем далее к анализу динамики макроэкономических переменных рассматриваемой модифицированной модели на траектории сбалансированного роста.

Динамика макроэкономических переменных на траектории сбалансированного роста. Проанализируем динамику макроэкономических переменных на траектории сбалансированного роста (ТСР). Предполагается, что на ТСР темпы роста y, k, s, h, c, i_K и i_S являются константами.

Из (2.10) мы можем получить выражение для темпа прироста капитала (g_k), который составит

$$g_k = \frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{i}_K}{k} = K \cdot$$

Учитывая, что K — константа и что на ТСР темп прироста основного капитала — величина постоянная, можно сделать вывод, что отношение инвестиций в основной капитал к величине основного капитала есть величина постоянная на ТСР, т. е. темп роста инвестиций в основной капитал равен темпу роста основного капитала.

Прологарифмировав и продифференцировав (2.14), мы получим темп прироста потребления (g_c):

$$g_c = \frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{1} \frac{\dot{1}}{1}. \quad (2.28)$$

Используя (2.28) и (2.17), получим

$$\frac{\dot{c}}{c} = \frac{y}{k} = \frac{K}{k}.$$

Учитывая, что параметры y, c и K — константы, а темп прироста удельного потребления — величина постоянная на ТСР, то отношение ВВП к капиталу на ТСР должно быть постоянным, а это означает, что на ТСР темп роста ВВП равняется темпу роста основного капитала. Прологарифмировав и продифференцировав (2.16), получим темп прироста инвестиций в природные ресурсы (g_{i_s}).

$$g_{i_s} = \frac{\dot{i}_S}{i_S} = \frac{1}{1} \frac{\dot{1}}{1} = \frac{3}{3}. \quad (2.29)$$

Так как из (2.28) темп прироста $\frac{\dot{1}}{1}$ на ТСР константа (поскольку темп прироста потребления является постоянной величиной на ТСР), и учитывая, что на ТСР темп прироста инвестиций в природные ресурсы также константа, то исходя из (2.29) можно сделать вывод, что темп прироста $\frac{3}{3}$ также является величиной постоянной на ТСР.

Используя тождества (2.16) и (2.19), мы получим

$$i_s^{-1} \frac{\dot{s} - \frac{3}{3} s}{y} \quad (2.30)$$

Прологарифмировав и продифференцировав (2.30) и учитывая, что темп прироста является величиной постоянной на ТСР, получим следующее тождество:

$$1 \frac{\dot{i}_S}{i_S} - \frac{\dot{s}}{s} = \frac{\dot{y}}{y} \quad (2.31)$$

Исходя из (2.11), мы получим выражение для темпа прироста природных ресурсов (g_s):

$$g_s = \frac{\dot{s}}{s} - \frac{\dot{i}_S}{i_S} = s \quad (2.32)$$

Так как темп прироста природных ресурсов на ТСР константа, то, исходя из (2.32) темп прироста функции инвестиций $f(i) = i_S$ должен равняться темпу прироста природных ресурсов:

$$\frac{\dot{f(i)}}{f(i)} = \frac{\dot{i}_S^{-1} i_S}{i_S} = \frac{\dot{i}_S}{i_S} = \frac{\dot{s}}{s} \quad (2.33)$$

Из (2.31) и (2.33) мы получим, что на ТСР темп прироста инвестиций в природные ресурсы равняется темпу прироста ВВП и, как следствие, темпу прироста капитала. Используя (2.9) и (2.10), получим тождество для темпа прироста капитала:

$$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{y}}{y} - \frac{\dot{c}}{k} = \frac{\dot{i}_S}{k} = K \cdot$$

Так как уже было доказано выше, что на ТСР темп прироста ВВП равен темпу прироста основного капитала и темпу прироста инвестиций в природные ресурсы, и учитывая, что темп прироста основного капитала на ТСР — константа, мы можем утверждать, что отношение потребления к основному капиталу является величиной постоянной на ТСР, т. е. темп роста потребления равен темпу роста основного капитала.

Для дальнейших аналитических рассуждений нам понадобится предположение о постоянстве доли человеческого капитала, задействован-

ного в производстве (b), на сбалансированной траектории. Значение доли человеческого капитала на сбалансированной траектории было определено в работе [Неустроев, 2012] и составило

$$b^* = \frac{z \cdot H \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{z \cdot 1 \cdot 1} \quad (2.34)$$

В данном случае мы видим, что доля человеческого капитала, задействованного в производстве на ТСР, определяется исключительно через константы модели.

Используя утверждение о постоянстве доли человеческого капитала, задействованного в производстве на ТСР, прологарифмируем и продифференцируем производственную функцию (2.5). В результате получим следующее тождество для темпа прироста удельного ВВП:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{s}}{s} = 1 = \frac{\dot{h}}{h}$$

Учитывая соотношение темпов прироста инвестиций в природные ресурсы и темпов прироста самих природных ресурсов, а также доказанное нами равенство на ТСР темпов прироста ВВП, капитала и инвестиций в природные ресурсы, определим темп прироста человеческого капитала, который составит

$$g_h = \frac{\dot{h}}{h} = \frac{\dot{y}}{y},$$

где $\frac{1}{1}$.

Учитывая, что величина 1 (если мы предполагаем убывающую предельную отдачу от инвестиций), можно сделать вывод, что темп прироста удельного человеческого капитала на ТСР несколько выше темпа прироста удельного ВВП. Данный результат, полученный аналитическим путем, в определенной степени соответствует реальной экономической системе, в которой экономический рост в значительной степени связан с качественной оценкой человеческих ресурсов и, как следствие, технологическим и инновационным развитием.

Темп прироста удельного человеческого капитала в абсолютном выражении, исходя из (2.6), составит

$$\frac{\dot{h}}{h} = z \cdot 1 \cdot b \cdot H.$$

Таким образом, соотношение темпов прироста основных макроэкономических показателей и их абсолютные значения будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\dot{y}}{y} \frac{\dot{k}}{k} \frac{\dot{c}}{c} \frac{\dot{i}_K}{i_K} \frac{\dot{i}_S}{i_S} \frac{1}{s} \frac{1}{h} \frac{z \ 1 \ b \ H}{1 \ 1} \quad (2.35)$$

В результате вышеописанных рассуждений были определены темпы прироста основных макроэкономических показателей, характерных для предложенной модели. Используя выражение (2.34) для доли человеческого капитала, задействованного в производстве на ТСР, а также тождество (2.35), получим следующие значения темпов прироста на ТСР:

$$g = \frac{\frac{\dot{y}}{y} \frac{\dot{k}}{k} \frac{\dot{c}}{c} \frac{\dot{i}_K}{i_K} \frac{\dot{i}_S}{i_S}}{\frac{z}{1} \frac{H}{1} \frac{1}{1} \frac{1}{1} \frac{1}{1}},$$

$$g_s = \frac{\frac{\dot{s}}{s}}{\frac{z}{1} \frac{H}{1} \frac{1}{1} \frac{1}{1} \frac{1}{1}},$$

$$g_h = \frac{\frac{\dot{h}}{h}}{\frac{z}{1} \frac{H}{1} \frac{1}{1} \frac{1}{1} \frac{1}{1}}.$$

Попробуем проанализировать влияние природных ресурсов на развитие экономической системы на устойчивой траектории, описываемой вышеуказанными тождествами. Параметр β определяет отдачу от инвестиций в разведку и добычу природных ресурсов (выражение (2.11)). Таким образом, данный параметр можно трактовать как доступность природных ресурсов и их количество. Соответственно, чем их больше и чем они доступнее, тем β будет ближе к единице.

Гипотеза 1. С ростом параметра β должно наблюдаться снижение темпов прироста человеческого капитала, так как в экономической системе, более обеспеченной природными ресурсами, могут снижаться стимулы к наращиванию научного потенциала и инновационной деятельности.

Гипотеза 2. С ростом параметра β , который определяет влияние динамики природных ресурсов на ВВП, при прочих равных условиях, темпы роста экономики на устойчивой траектории должны снижаться, так как в данном случае будет происходить замещение человеческого капитала природными ресурсами.

Для проверки гипотез 1 и 2 зададим значения остальных параметров, влияющих на темпы прироста:

0.3. Данное ориентировочное значение эластичности физического капитала нередко встречается в экономической литературе.

$\beta = 0,033$. Амортизация человеческого капитала является весьма абстрактной величиной. Достаточно дискуссионна не только ее эмпирическая оценка, но и содержательная интерпретация. Вероятно, целесообразной величиной нормы амортизации будет величина, соответствующая 30-летнему периоду полной амортизации при линейном ее расчете, т. е. $\beta = \frac{1}{30}$. Обоснованием этого периода является то обстоя-

тельство, что, например, в России в среднем люди с высшим и средним специальным образованием (мужчины и женщины) работают примерно 30 лет. Затем они выходят на пенсию или умирают. Таким образом, если проводить аналогию с основным капиталом, то после ввода в действие (окончание вуза или колледжа) в среднем через тридцать лет человеческий капитал выбывает из производственного процесса.

$\alpha = 0,2$. Параметр α отражает влияние накопленного человеческого капитала на его прирост (выражение (2.6)), и его оценка весьма затруднительна. При анализе получено, что его вариация не оказывает влияния на динамику темпов прироста при изменении значений β . Примем его на уровне 0,2.

2. Оценка коэффициента относительной несклонности к риску также весьма затруднительна. Оценку его на уровне 2 можно увидеть, например, в [O'Neill, 2012].

0,05. Данная величина примерно соответствует норме процента в развитых экономических странах, находящихся, вероятно, ближе к траектории сбалансированного роста.

Параметр γ , представляющий собой эластичность фактора природных ресурсов и, соответственно, определяющий их влияние на темпы прироста ВВП, будет варьировать в диапазоне от 0,01 до 0,69. Таким образом, при $\gamma = 0,01$ будет предполагаться существенное влияние человеческого капитала на динамику ВВП ($\beta = 0,69$), а при $\gamma = 0,69$ влияние человеческого капитала будет практически отсутствовать ($\beta = 0,01$).

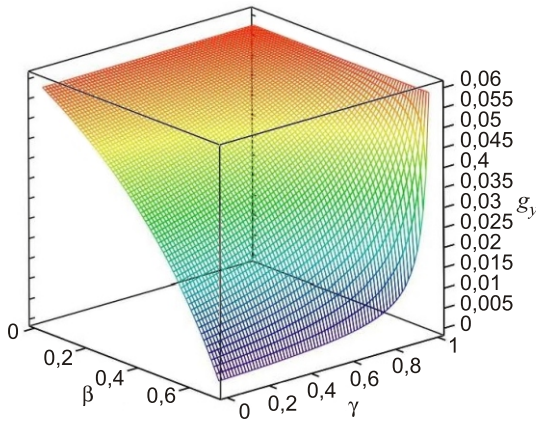


Рис. 2.1. Влияние β и γ на темп прироста удельного ВВП (g_y)

накопленного человеческого капитала, природных ресурсов, а также на долю человеческого капитала, задействованного в производстве.

Для проверки первой гипотезы обратимся к рис. 2.2. Мы видим, что с ростом β , при прочих равных условиях, темп прироста накопленного удельного человеческого капитала на устойчивой траектории снижается в рамках модифицированной модели Узавы—Лукаса. Также мы видим, что с ростом γ увеличивает темп прироста удельных природных ресурсов (см. рис. 2.3), что представляется вполне логичным, так как возрастает отдача от инвестиций в природные ресурсы. Также мы видим, что, при прочих равных условиях, возрастает доля человеческого капитала, задействованного в производстве (см. рис. 2.4) и увеличивается темп прироста ВВП (см. рис. 2.1).

Для проверки второй гипотезы обратимся к рис. 2.1.

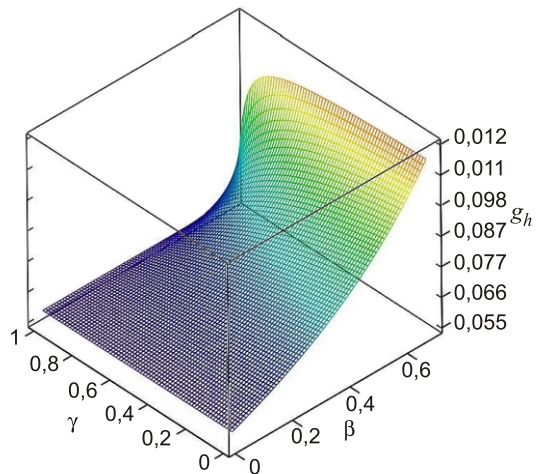


Рис. 2.2. Влияние β и γ на темп прироста накопленного удельного человеческого капитала (g_h)

Параметр β , характеризующий доступность и возможность освоения новых природных ресурсов в экономике, будет варьировать в диапазоне от 0 до 1.

Параметр γ определяется через параметры β , и параметр δ .

На рис. 2.1–2.4 представлены полученные результаты расчетов, отражающие влияние вариации параметров β и γ на темпы прироста удельного ВВП,

Мы видим, что полученные результаты в целом подтверждают вторую гипотезу о том, что с ростом параметра β , при прочих равных условиях, темпы роста экономики на устойчивой траектории должны снижаться. И хотя при очень высоких значениях темпы прироста удельного ВВП варьируются не так сильно, то при меньших значениях рост оказывает существенное негативное влияние на темпы роста экономики.

Мы видим, что при

0,7 и незначительных темп прироста удельного ВВП близок к нулю.

Таким образом, в рамках модифицированной модели Узавы—Лукаса, экономическая система, определяющим фактором развития которой являются природные ресурсы, столкнувшись с истощением их запасов

($\beta = 0$)), переходит в стагнацию на устойчивой траектории. Также мы видим, что с ростом β будет уменьшаться доля человеческого капитала, задействованного в производстве. Это объясняется тем фактом, что производственная функция теперь в меньшей степени будет зависеть от накопленного удельного человеческого капитала (см. рис. 2.4). Соответственно, все больше человеческого капитала будет находиться в образовательном секторе, что положительно скажется на его темпах прироста (см. рис. 2.2).

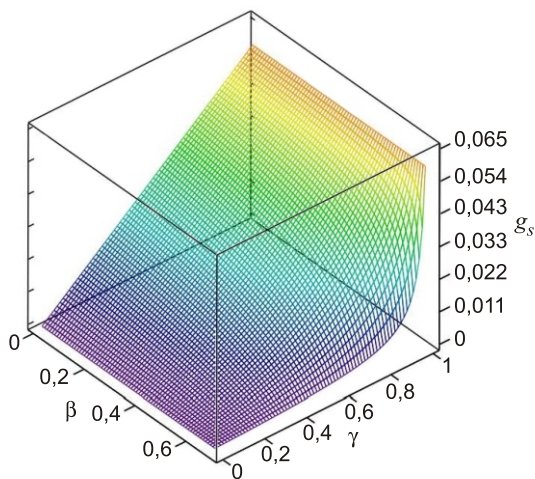


Рис. 2.3. Влияние β и γ на темп прироста удельных природных ресурсов (g_s)

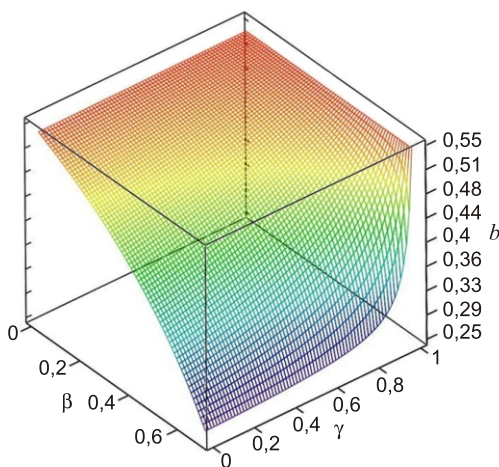


Рис. 2.4. Влияние β и γ на долю человеческого капитала, занятого в производстве (b)

* * *

Итак, рассмотрена модификация модели Узавы—Лукаса путем включения в нее фактора природных ресурсов. При анализе данной модели выяснилось, что ее оптимальная динамика тождественна для случая централизованного принятия решений и для децентрализованного случая. Для модели выполняется достаточное условие оптимальности, соответственно, для нее представляется возможным найти оптимальную траекторию развития. Показано, что на данной траектории темпы прироста удельного ВВП (y), удельного основного капитала (k), удельного потребления (c), удельных инвестиций в основной капитал (i_K) и удельных инвестиций в накопление природных ресурсов (i_S) равны между собой. Одним из результатов формального анализа модифицированной модели является необходимость более высокого темпа роста человеческого капитала на траектории сбалансированного роста, нежели чем темп роста ВВП. Последний результат, полученный аналитическим путем, в определенной степени соответствует реальной экономической системе, в которой экономический рост в значительной степени связан с качеством человеческих ресурсов и, как следствие, технологическим и инновационным развитием. В результате аналитических расчетов было показано, что в рамках модифицированной модели Узавы—Лукаса в экономической системе с более высоким уровнем запасов природных ресурсов, при прочих равных условиях, темп прироста удельного человеческого капитала на устойчивой траектории будет ниже. Также показано, что большая зависимость экономики от природных ресурсов приводит к меньшим темпам экономического роста и в случае истощения запасов природных ресурсов экономика переходит в стагнацию на устойчивой траектории.

2.2. Влияние человеческого капитала и природных ресурсов на экономическую динамику

Методика оценки величины человеческого капитала. В предыдущем параграфе была рассмотрена модифицированная модель Узавы—Лукаса. Модификация заключалась во включении в модель фактора природных ресурсов. Таким образом, она позволяет анализировать развитие экономической системы с учетом как человеческого капитала, так и динамики природных ресурсов. Ниже будет осуществлен анализ влияния человеческого капитала и природных ресурсов на экономический рост развитых и развивающихся стран с помощью данной модифи-

цированной модели Узавы—Лукаса. В группу экономически развивающихся стран вошли: Россия, Казахстан, Китай, Мексика, Аргентина и Бразилия. В группу экономически развитых стран вошли: Нидерланды, США, Великобритания, Норвегия, Канада и Австралия. Выбор был обусловлен тем, что все перечисленные страны в той или иной степени обладают запасами нефтегазовых ресурсов, а также для них имеется необходимая статистическая информация. Для осуществления анализа нам необходимо сформировать ряды накопленного удельного человеческого капитала для каждой страны при различных нормах амортизации. Полученные ряды человеческого капитала будут использованы при эмпирической проверке производственной функции модифицированной модели Узавы—Лукаса на устойчивой траектории:

$$y = Ak s b h^1 .$$

Так как при эмпирическом анализе будут использованы приросты анализируемых переменных, то прологарифмируем, а затем продифференцируем данное выражение. С учетом того, что A – константа, и того, что на устойчивой траектории темпы прироста удельных инвестиций в основной капитал и удельного основного капитала равны, а также того, что доля человеческого капитала в производстве (b) также является константой на устойчивой траектории, получим

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{i}_K}{i_K} = \frac{\dot{s}}{s} = \frac{\dot{h}}{h}, \quad (2.36)$$

где 1 . В рассматриваемой модели предполагается анализ трех факторов производства и что только данные факторы могут оказывать влияние на экономический рост. Научно-технический прогресс в данном случае будет отображаться через величину удельного накопленного человеческого капитала, так как эта величина включает в себя расходы на НИОКР и образование.

Для оценки величины накопленного удельного человеческого капитала будет использоваться затратный подход и в качестве расходов на накопление человеческого капитала будут включены расходы на образование, затраты на исследования и разработки и общие расходы на здравоохранение. Наше решение можно аргументировать тем, что все эти расходы, в конечном счете, находят свое отражение в формировании человеческого капитала.

Представляется вполне естественным, что человеческому капиталу свойствен процесс амортизации. Для человека характерно утрачивать

свои знания, навыки, в его физическом состоянии происходят постоянные изменения и не всегда в лучшую сторону. По этой причине человек нуждается в постоянной поддержке своего уровня человеческого капитала посредством образовательного процесса, практики, медицинского обслуживания и пр. Определение степени амортизации знаний, навыков, здоровья представляет собой весьма непростую задачу. Среди экономистов нет однозначной позиции по поводу зависимости величины амортизации человеческого капитала и уровня образования. Ряд исследователей, в том числе Я. Минсер [Mincer, 1974; Mincer et al., 1974], Ш. Розен [Rosen, 1976], Ш. Нойман и А. Вайсс [Neuman et al., 1995], а также Э. Гоулд, О. Моав и Б. Вайнберг [Gould et al., 2002], придерживаются позиции, что такая зависимость имеет место и уровень образования является значимым фактором для амортизации. С другой стороны, А. Холтманн [Holtmann, 1972] и Дж. Карлинер [Carliner, 1982] придерживаются противоположной позиции и указывают на то, что такая зависимость отсутствует. М. Аррацола и Х. Хевия [Arrazola, Hevia, 2004] на примере Испании показали, что уровень образования не оказывает существенного влияния на величину амортизации. В свою очередь, И. Мурилло [Murillo, 2006] на примере той же Испании показал, что образование является важным фактором, влияющим на уровень амортизации, и чем выше уровень образования, тем выше норма амортизации. Вопрос амортизации человеческого капитала также рассматривается в работах [Hollenbeck et al., 1990; Potrafke, 2011; Weber, 2000]. Стоит обратить внимание, что сами эмпирические оценки величины амортизации варьируют достаточно сильно: в подавляющем большинстве случаев от величины, близкой к нулю, до 5 % в зависимости от вида экономической деятельности и уровня образования. По этой причине целесообразным будет рассмотреть несколько вариантов накопления человеческого капитала при различных нормах амортизации. В данном исследовании будет определено несколько рядов накопленного человеческого капитала исходя из диапазона амортизации от 1 до 5 % с шагом в 1 %. Таким образом, будет сформировано пять различных рядов накопленного человеческого капитала для каждой из стран.

Для оценки накопленного удельного человеческого капитала (h) на начало анализируемого периода будет использован метод непрерывной инвентаризации (*perpetual inventory method*), который описан в работе Парка [Park, 1995]. Данный метод зачастую используется в Соединенных Штатах, а также в ряде европейских стран для оценки накопленного основного капитала в экономике на основе текущих инвестиционных

потоков, ввиду отсутствия прямого учета основного капитала государственными статистическими организациями. Опираясь на метод непрерывной инвентаризации, мы можем оценить величину накопленного человеческого капитала. Под инвестициями в человеческий капитал будем подразумевать всю совокупность государственных и частных расходов, направленных в человеческий капитал. В данном случае накопление удельного человеческого капитала будет происходить согласно

$$h(t+1) = h(t) + (1 - \alpha_H) i_H(t),$$

где $h(t+1)$ — объем накопленного удельного человеческого капитала на конец периода $t+1$; $i_H(t+1)$ — совокупные удельные расходы, направленные на накопление удельного человеческого капитала в период времени $t+1$.

Используя обратную рекурсивную замену, мы можем представить $h(t+1)$ как

$$\begin{aligned} h(t+1) &= i_H(t+1) + (1 - \alpha_H) i_H(t) + (1 - \alpha_H)^2 i_H(t-1) + \dots \\ i_H(t+1) &= 1 + (1 - \alpha_H) i_H(t) / i_H(t-1) + (1 - \alpha_H)^2 i_H(t-1) / i_H(t-2) + \dots \end{aligned} \quad (2.37)$$

Определим темп роста удельных инвестиций в человеческий капитал как

$$1 + g(t) = i_H(t+1) / i_H(t), \quad (2.38)$$

где $g(t+1)$ — темп прироста удельных инвестиций. Для оценки накопленного удельного человеческого капитала будем считать, что $g(t) = g$, где g будет являться средним темпом прироста инвестиций за рассматриваемый нами период времени.

Мы видим, что в выражении (2.37) последовательность представляет собой бесконечно убывающую геометрическую прогрессию, и, используя выражение (2.38), получим

$$h(t+1) = i_H(t+1) \frac{1 + g}{g - \alpha_H}. \quad (2.39)$$

Дальнейшее накопление человеческого капитала будет происходить согласно выражению (2.39).

Для построения информационной базы, необходимой для осуществления расчетов, был использован ряд изданий Государственного комитета статистики, в том числе российские статистические ежегодники за период с 1996 по 2011 г., сборники национальных счетов России, а также статистическая база Всемирного банка (The World Bank). В качестве фактора природных ресурсов использовалась динамика добычи нефти и при-

родного газа. Данная статистическая информация подготовлена аналитическим отделом компании «British Petroleum» [BP Statistical Review..., 2012]. Для определения расходов на образование, а также расходов на исследования и разработки использовалась, в том числе, информация, предоставленная Европейским статистическим агентством (Eurostat) и Канадским национальным статистическим агентством (Statistics Canada).

Определим ряды накопленного удельного человеческого капитала для рассматриваемых стран. Стоит обратить внимание, что под удельными величинами будет пониматься величина показателя на единицу экономически активного населения. Для расчета рядов удельного накопленного человеческого капитала использовались следующие ряды данных: численность экономически активного населения; затраты на исследования и разработки (в млн долл. США 2005 г. по ППС); государственные расходы на образование (в млн долл. США 2005 г. по ППС); общие расходы на здравоохранение (в млн долл. США 2005 г. по ППС).

В табл. 2.1 представлены ряды удельного накопленного человеческого капитала для рассматриваемых стран при 3%-й норме амортизации. Проанализировав полученные ряды для разных стран при различной норме амортизации, можно сделать ряд следующих выводов.

Характерной особенностью рядов удельного накопленного человеческого капитала стало то, что более высокая норма амортизации человеческого капитала приводила к меньшему объему накопленного человеческого капитала, что представляется вполне логичным. Так, для России при 1%-й норме амортизации величина удельного человеческого капитала практически в 2 раза превышает величину при 5%-й норме амортизации. В то же время, темпы роста удельного накопленного человеческого капитала варьируют незначительно при разных нормах амортизации (с 1995 по 2009 г. темп роста для, например, 3%-й нормы амортизации составил 173 %). Данная характерная особенность сохранится и для других стран. В Казахстане полученная величина накопленного удельного человеческого капитала примерно в 2 раза меньше величины, рассчитанной для России, и обладает несколько меньшим темпом роста (с 1995 по 2009 г. темп роста для 3%-й нормы амортизации составил 164 %). Для Китая полученные ряды накопленного удельного человеческого капитала при различных нормах амортизации являются наименьшими среди всех рассматриваемых стран. Столь низкие показатели удельной величины накопленного человеческого капитала для Китая можно объяснить очень низкими удельными инвестициями в накопление человеческого капитала. Но в то же время стоит отметить очень вы-

Таблица 2.1

Динамика удельного накопленного человеческого капитала для рассматриваемых стран (в долл. США 2005 г. по паритету покупательной способности, при 3%-й норме амортизации человеческого капитала)

| Год | Россия | Казах- стан | Китай | Мексика | Арген- тина | Бразилия | Австра- лия | Нидер- ланды | США | Велико- британия | Норве- гия | Канада |
|------|--------|----------------|-------|---------|----------------|----------|----------------|-----------------|--------|---------------------|---------------|--------|
| 1995 | 23734 | 12204 | 1440 | 54662 | 48296 | 37046 | 130181 | 171337 | 238872 | 121411 | 347019 | 218339 |
| 1996 | 24734 | 12639 | 1617 | 55510 | 49797 | 38009 | 133714 | 175454 | 245841 | 124906 | 350146 | 220957 |
| 1997 | 26139 | 13155 | 1818 | 56381 | 51528 | 38964 | 137066 | 179294 | 252912 | 128275 | 353458 | 223630 |
| 1998 | 27147 | 13634 | 2044 | 57287 | 53355 | 39860 | 140705 | 183234 | 260297 | 131734 | 357540 | 226325 |
| 1999 | 27885 | 14050 | 2294 | 58367 | 55301 | 40576 | 144699 | 187416 | 268001 | 135246 | 361477 | 229247 |
| 2000 | 28663 | 14438 | 2602 | 59647 | 57088 | 41368 | 148743 | 191504 | 275935 | 138959 | 364447 | 232391 |
| 2001 | 29620 | 14824 | 2933 | 61058 | 58769 | 42134 | 152935 | 195737 | 284756 | 142971 | 368170 | 235574 |
| 2002 | 30818 | 15278 | 3311 | 62488 | 59584 | 42825 | 157320 | 200057 | 293954 | 147509 | 373326 | 238871 |
| 2003 | 32048 | 15750 | 3729 | 63918 | 60454 | 43496 | 161679 | 205115 | 303217 | 152343 | 378735 | 242583 |
| 2004 | 33232 | 16271 | 4188 | 65244 | 61395 | 44198 | 166325 | 210367 | 312439 | 157277 | 384002 | 245950 |
| 2005 | 34538 | 16879 | 4703 | 66593 | 62641 | 45161 | 170858 | 215577 | 321608 | 162555 | 388445 | 249006 |
| 2006 | 36032 | 17599 | 5275 | 67837 | 64169 | 46290 | 175327 | 220806 | 331978 | 168007 | 392018 | 252482 |
| 2007 | 37739 | 18314 | 5917 | 69108 | 66027 | 47547 | 179766 | 225935 | 342348 | 173554 | 395924 | 255854 |
| 2008 | 39340 | 19068 | 6661 | 70350 | 68202 | 48881 | 184381 | 231181 | 352632 | 178946 | 398760 | 259008 |
| 2009 | 41073 | 19987 | 7547 | 71634 | 70812 | 50244 | 189225 | 237465 | 362798 | 184523 | 403258 | 262612 |

Источники: Росстатистический ежегодник, 1996–2011; Национальные счета России, 1997, 2002, 2005, 2010, 2012; расчеты авторов.

сокие темпы роста данного показателя, что обусловлено очень существенным ростом расходов на образование, здравоохранение и исследования в последнее десятилетие (с 1995 по 2009 г. для 3%-й нормы амортизации темп роста составил 524 %). В Мексике за период с 1995 по 2009 г. объем накопленного удельного человеческого капитала примерно в 2 раза превышал российский показатель, но в то же время темпы его роста были ниже российского (с 1995 по 2009 г. для 3%-й нормы амортизации темп роста составил 131 %).

В Аргентине накопленный удельный человеческий капитал также примерно в 2 раза (при различных нормах амортизации) превышал российский, а его темпы роста были ниже российского уровня (с 1995 по 2009 г. для 3%-й нормы амортизации темп роста составил 147 %). Последней страной в группе развивающихся стран является Бразилия. В ней за период с 1995 по 2009 г. ряды накопленного удельного человеческого капитала примерно в 1,5 раза превышают российские, но обладают меньшими темпами роста (с 1995 по 2009 г. для 3%-й нормы амортизации темп роста составил 135 %). Для большей наглядности на рис. 2.5 представлена динамика удельного человеческого капитала для всех развивающихся стран при 3%-й норме амортизации.

Для развитых стран были получены следующие результаты. В Австралии величины накопленного удельного человеческого капитала в 1995 г. в 5,2–6,1 раза (в зависимости от нормы амортизации) превосходят величины, полученные для России. К 2009 г. разрыв сократился до 4,4–5,2 раза. В Нидерландах в 1995 г. накопленный удельный человеческий капитал был выше российского в 6,8–8,1 раза. К 2009 г. этот разрыв сократился до 5,4–6,5 раза. В США в 1995 г. накопленный удельный человеческий капитал превышал российский показатель в 9,6–10,9 раза. К 2009 г. разрыв сократился до 8,5–9,5 раза. В Великобритании в 1995 г. накопленный удельный человеческий капитал был выше российского в 4,9–5,5 раза. К 2009 г. этот разрыв сократился не столь значительно – до 4,3–4,8 раза. Норвегия в 1995 г. обладала наибольшим уровнем удельного накопленного человеческого капитала, который при 1%-й норме амортизации составил 680569 долларов США по ППС, что превышало российский показатель примерно в 20,5 раза.

При прочих нормах амортизации превышение величины удельного накопленного человеческого капитала над аналогичной величиной, рассчитанной для России, было порядка 12,6–16,6 раза. К 2009 г. разница с Россией составила 8,5–13,8 раза. Стоит отметить, что к 2009 г. уровень удельного человеческого капитала Норвегии был самым высоким среди

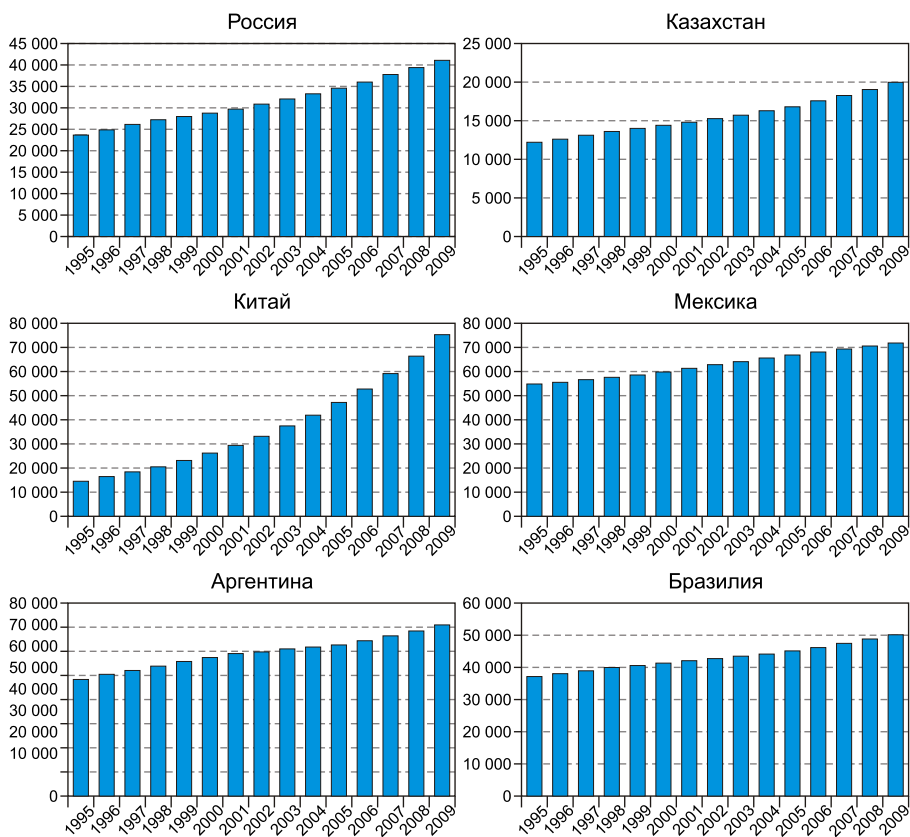


Рис. 2.5. Динамика удельного накопленного человеческого капитала в развивающихся странах (в долл. США 2005 г. по ППС, при 3%-й норме амортизации человеческого капитала)

всех рассматриваемых стран, лишь при 5%-й норме амортизации человеческого капитала уровень в США был несколько выше. Последней из группы экономически развитых стран является Канада. Она также обладает очень высоким уровнем накопленного удельного человеческого капитала, который в 1995 г. превышал российский уровень в 8,1–12,2 раза. Разрыв сократился к 2009 г. до 5,6–8,5 раза. Для большей наглядности на рис. 2.6 представлена динамика удельного человеческого капитала для всех развитых стран при норме амортизации 3 %.

На основании полученных рядов будет оцениваться производственная функция модифицированной модели Узавы—Лукаса на устойчивой траектории, определенная выражением (2.36).

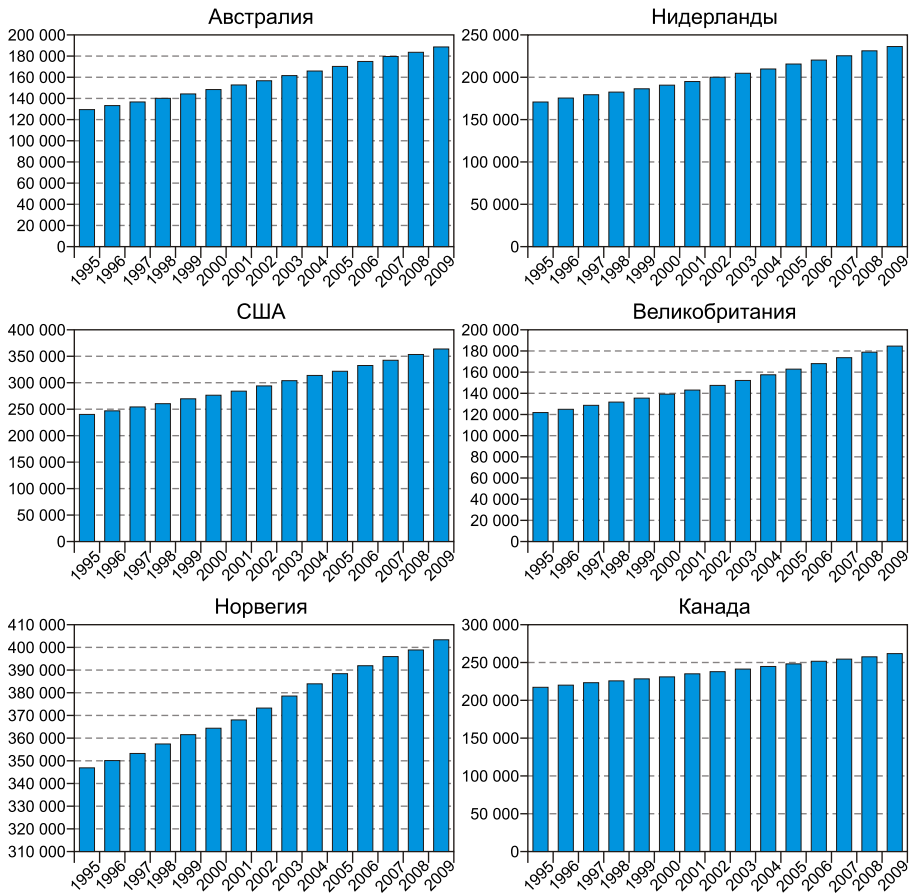


Рис. 2.6. Динамика удельного накопленного человеческого капитала в развитых странах (в долл. США 2005 г. по ППС, при 3%-й норме амортизации человеческого капитала)

Влияние человеческого капитала и природных ресурсов на экономическую динамику в развитых и развивающихся экономиках. На основании рассчитанных рядов будет оцениваться производственная функция на устойчивой траектории, определенная выражением (2.36). В качестве фактора природных ресурсов будет использоваться объем добычи нефти и природного газа (в млн т нефтяного эквивалента).

В экономической литературе можно встретить исследования, где при оценивании производственной функции на ретроспективе предполагалась вариация коэффициентов данной функции. Подобный анализ можно

увидеть, например, в работе [Левицкий, 1991], где анализируется период развития экономики СССР с 1959 по 1985 г. В рамках нашей работы, учитывая, что рассматривается не столь длительный период времени, предполагается постоянство коэффициентов производственной функции.

Производственная функция (2.36) предполагает, что совокупная эластичность факторов производства равна единице (1). При эмпирическом анализе данное предположение будет проверено с помощью статистического теста Вальда, где в качестве нулевой гипотезы будет равенство $\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{i}_K}{i_K}$, а альтернативной гипотезой, соответственно, будет являться $\frac{\dot{y}}{y} > \frac{\dot{i}_K}{i_K}$. Если нулевая гипотеза не будет отклоняться, то для нахождения коэффициентов α , β и соблюдения равенства $\alpha + \beta = 1$ будет использоваться метод подстановки и, таким образом, оцениваться два выражения:

$$\frac{\frac{\dot{y}}{y}}{\frac{\dot{i}_K}{i_K}} = \frac{\frac{\dot{s}}{s}}{\frac{\dot{i}_K}{i_K}} = \frac{\frac{\dot{h}}{h}}{\frac{\dot{i}_K}{i_K}} \quad (2.40)$$

для нахождения α , β и

$$\frac{\frac{\dot{y}}{y}}{\frac{\dot{s}}{s}} = \frac{\frac{\dot{i}_K}{i_K}}{\frac{\dot{s}}{s}} = \frac{\frac{\dot{h}}{h}}{\frac{\dot{s}}{s}} \quad (2.41)$$

для нахождения γ .

Оценивание будет происходить отдельно для группы развивающихся стран и отдельно для группы развитых стран. Для того чтобы оценить индивидуальные эффекты отдельных стран в рамках своей группы, имеет смысл осуществить оценивание каждой группы стран в виде панельных данных. Целесообразность применения панельного анализа будет определена с помощью теста Вальда на равенство нулю индивидуальных эффектов (для выбора между панельным анализом с фиксированными эффектами и обычной сквозной регрессией) и теста Бройша—Пагана на наличие случайных индивидуальных эффектов (для выбора между панельным анализом со случайными эффектами и обычной сквозной регрессией). Оценивание будет необходимо осуществить для различных норм амортизации человеческого капитала.

Рассмотрим результаты оценивания для 3%-й нормы амортизации человеческого капитала для группы развивающихся стран. Результаты статистических тестов представлены в табл. 2.2.

Мы видим, что гипотеза об отсутствии индивидуальных эффектов не отклоняется и между сквозной регрессией и панельным анализом с фикс-

Таблица 2.2

**Статистические тесты для группы развивающихся стран
(норма амортизации человеческого капитала – 3 %)**

| | |
|---|-------|
| Тест Вальда на наличие индивидуальных эффектов | |
| F-статистика (5, 75) | 0,89 |
| <i>p</i> -уровень | 0,492 |
| Тест Бройша—Пагана на наличие случайных индивидуальных эффектов | |
| $2(1)$ | 0,000 |
| <i>p</i> -уровень | 1,000 |
| Тест Вальда на равенство | |
| F-статистика (1, 80) | 0,56 |
| <i>p</i> -уровень | 0,458 |

Источник: расчеты авторов.

сированными эффектами предпочтительнее использовать сквозную регрессию. Результат теста Бройша—Пагана свидетельствует об отсутствии случайных индивидуальных эффектов. Таким образом, сквозная регрессия предпочтительней панельного анализа со случайными индивидуальными эффектами.

Таким образом, мы видим, что в рассматриваемой группе представлены достаточно однородные страны, и для их анализа можно использовать обычную сквозную регрессию. Результат теста Вальда на равенство

1 для развивающихся стран представлен также в табл. 2.2. Мы видим, что гипотеза о равенстве суммы эластичностей единице не отклоняется, и мы можем использовать данное предположение для дальнейшей эмпирической проверки.

Для нахождения коэффициентов α , β , γ , выражения (2.36), с учетом того, что $\alpha + \beta + \gamma = 1$, необходимо будет оценить выражения (2.40) и (2.41). Результаты данного оценивания представлены в табл. 2.3.

В результате оценивания мы видим, что все факторы производственной функции являются значимыми, но, согласно статистике Дарбина—Уотсона, наблюдается автокорреляция (нижняя и верхняя граница для 5%-го уровня значимости: $d_L = 1,597$ и $d_U = 1,694$ соответственно). Для оценки выражений (2.40) и (2.41) воспользуемся методом Прайса—Уинстена, который учитывает автокорреляцию типа AR(1). Результаты оценивания представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.3

Оценка выражений (2.40) и (2.41) для группы развивающихся стран

| Параметр | Оценка | Стандартная ошибка | <i>p</i> -уровень | 95%-й доверительный интервал | |
|----------------------------|--------|-------------------------|-------------------|------------------------------|--------|
| Выражение (2.40) | | | | | |
| Константа | -0,009 | 0,003 | 0,002 | -0,015 | -0,004 |
| | 0,192 | 0,040 | 0,000 | 0,112 | 0,271 |
| | 0,554 | 0,042 | 0,000 | 0,470 | 0,638 |
| R^2 | 0,936 | Скорректированный R^2 | | 0,935 | |
| F-статистика | 595,63 | <i>p</i> -уровень | | 0,000 | |
| Статистика Дарбина—Уотсона | 1,466 | | | | |
| Выражение (2.41) | | | | | |
| Константа | -0,009 | 0,003 | 0,002 | -0,015 | -0,004 |
| | 0,254 | 0,021 | 0,000 | 0,211 | 0,297 |
| | 0,554 | 0,042 | 0,000 | 0,470 | 0,638 |
| R^2 | 0,856 | Скорректированный R^2 | | 0,852 | |
| F-статистика | 239,86 | <i>p</i> -уровень | | 0,000 | |
| Статистика Дарбина—Уотсона | 1,466 | | | | |

Источник: расчеты авторов.

Мы видим, что в развивающихся странах человеческий капитал оказывает существенное влияние на экономический рост (коэффициент значим, и его величина находится на довольно высоком уровне – 0,566). В то же время, мы видим, что и динамика добычи нефтегазовых ресурсов также оказывает положительное влияние на экономическое развитие, хотя и меньшее, чем человеческий капитал (0,194). Таким образом, увеличение человеческого капитала на 1 % может с 95%-й вероятностью привести к ускорению темпов прироста удельного ВВП в диапазоне от 0,47 до 0,66 %, при условии постоянного эффекта масштаба от рассматриваемых факторов производственной функции. С другой стороны увеличение на 1 % добычи нефти и природного газа может оказать в результате куда менее скромное влияние на динамику удельного ВВП. С 95%-й вероятностью темп прироста удельного ВВП может находиться в диапазоне от 0,1 % до 0,28 %, что примерно в 3 раза меньше влияния человеческого капитала.

Таблица 2.4

**Оценка выражений (2.40) и (2.41) для группы развивающихся стран
с помощью поправки Прайса—Уинстена**

| Параметр | Оценка | Стандартная ошибка | <i>p</i> -уровень | 95%-й доверительный интервал | |
|-----------------------------|--------|-------------------------|-------------------|---------------------------------|--------|
| Выражение (2.40) | | | | | |
| Константа | -0,009 | 0,0036 | 0,014 | -0,016 | -0,002 |
| | 0,194 | 0,044 | 0,000 | 0,107 | 0,281 |
| | 0,566 | 0,046 | 0,000 | 0,474 | 0,659 |
| R^2 | 0,934 | Скорректированный R^2 | | 0,932 | |
| F-статистика | 569,56 | <i>p</i> -уровень | | 0,000 | |
| Статистика Дар-бина—Уотсона | 2,049 | | | | |
| Выражение (2.41) | | | | | |
| Константа | -0,009 | 0,0036 | 0,014 | -0,016 | -0,002 |
| | 0,240 | 0,023 | 0,000 | 0,195 | 0,285 |
| | 0,566 | 0,046 | 0,000 | 0,474 | 0,659 |
| R^2 | 0,833 | Скорректированный R^2 | | 0,829 | |
| F-статистика | 202,16 | <i>p</i> -уровень | | 0,000 | |
| Статистика Дар-бина—Уотсона | 2,049 | | | | |

Источник: расчеты авторов.

Если проанализировать оценки, полученные с использованием рядов человеческого капитала при других нормах амортизации, то мы можем увидеть, что оценки влияния человеческого капитала будут варьировать от 0,561 (при 5%-й норме амортизации) до 0,57 (при 1%-й норме амортизации), а влияние нефтегазовых ресурсов будет находиться в диапазоне от 0,192 (при 1%-й норме амортизации) до 0,197 (при 5%-й норме амортизации). Таким образом, варьирование амортизации человеческого капитала не оказывает существенного влияния на темпы прироста удельного ВВП.

Рассмотрим далее группу развитых стран. В табл. 2.5 представлены статистические тесты, определяющие необходимость использования панельного анализа для рассматриваемой группы стран. Мы видим, что нулевая гипотеза, соответствующая отсутствию индивидуальных эф-

Таблица 2.5

**Статистические тесты для группы развитых стран
(норма амортизации человеческого капитала — 3 %)**

| | |
|---|-------|
| Тест Вальда на наличие индивидуальных эффектов | |
| F-статистика (5, 75) | 0,50 |
| <i>p</i> -уровень | 0,774 |
| Тест Бройша—Пагана на наличие случайных индивидуальных эффектов | |
| $\chi^2(1)$ | 0,000 |
| <i>p</i> -уровень | 1,000 |
| Тест Вальда на равенство | |
| F-статистика (1, 80) | 2,27 |
| <i>p</i> -уровень | 0,136 |

Источник: расчеты авторов.

фактов, не отвергается для обоих тестов. Это говорит о том, что для анализа развитых стран, так же как и для развивающихся стран, мы можем применить обычную сквозную регрессию. Результат теста Вальда на равенство говорит о том, что нулевая гипотеза не отклоняется, и мы можем, как и в случае с развивающимися странами, применить для оценивания метод подстановки.

Результаты эмпирической оценки выражений (2.40) и (2.41) методом Прайса—Уинстена для группы развитых стран представлены в табл. 2.6. Мы видим, что в развитых странах динамика добычи нефти и природного газа также оказывает положительное влияние на экономический рост, но в то же время данное влияние меньше, чем в развивающихся странах

(0,065). Более существенное влияние на экономический рост оказывает динамика накопленного удельного человеческого капитала (0,743). Таким образом, в развитых странах увеличение величины удельного накопленного человеческого капитала на 1 % может с 95%-й вероятностью привести к ускорению темпов прироста удельного ВВП в диапазоне от 0,68 % до 0,807 %, при условии постоянного эффекта масштаба от рассматриваемых факторов производственной функции. Данный диапазон находится на более высоком уровне, чем у развивающихся стран. С другой стороны, увеличение на 1 % темпа прироста добычи нефти и природного газа может с 95%-й вероятностью увеличить темп прироста удельного ВВП на величину, варьирующую в диапазоне от 0,016 % до 0,113 %,

Таблица 2.6

Оценка выражений (2.40) и (2.41) для группы развитых стран с помощью поправки Прайса—Уинстена

| Параметр | Оценка | Стандартная ошибка | p -уровень | 95%-й доверительный интервал | |
|----------------------------|---------|-------------------------|--------------|------------------------------|---------|
| Выражение (2.40) | | | | | |
| Константа | -0,0063 | 0,0023 | 0,008 | -0,0109 | -0,0017 |
| | 0,065 | 0,024 | 0,010 | 0,016 | 0,113 |
| | 0,743 | 0,031 | 0,000 | 0,680 | 0,807 |
| R^2 | 0,939 | Скорректированный R^2 | | 0,937 | |
| F-статистика | 623,78 | p -уровень | | 0,000 | |
| Статистика Дарбина—Уотсона | 1,909 | | | | |
| Выражение (2.41) | | | | | |
| Константа | -0,0063 | 0,0023 | 0,008 | -0,0109 | -0,0017 |
| | 0,192 | 0,022 | 0,000 | 0,146 | 0,237 |
| | 0,743 | 0,031 | 0,000 | 0,680 | 0,807 |
| R^2 | 0,948 | Скорректированный R^2 | | 0,946 | |
| F-статистика | 741,42 | p -уровень | | 0,000 | |
| Статистика Дарбина—Уотсона | 1,909 | | | | |

Источник: расчеты авторов.

что намного меньше влияния человеческого капитала и меньше аналогичного доверительного интервала для развивающихся стран.

Данное явление можно объяснить более эффективной институциональной средой в развитых странах по сравнению с развивающимися государствами, что позволяет в большей степени опираться на инновационное и технологическое развитие. Расходы на образование, здравоохранение и НИОКР являются основными факторами экономического роста в данных странах.

Оценки, полученные для рядов человеческого капитала с нормой амортизации, отличной от 3 %, будут варьироваться следующим образом. Влияние человеческого капитала находится в диапазоне от 0,741 (норма амортизации 5 %) до 0,746 (норма амортизации 1 %), а влияние нефтегазовых ресурсов варьируется от 0,063 (норма амортизации 1 %) до 0,067 (норма амортизации 5 %).

* * *

Полученные результаты показывают, что наиболее высокий уровень удельного накопленного человеческого капитала на начало рассматриваемого периода (1995 г.) был в Норвегии. К концу рассматриваемого периода (2009 г.) наибольший уровень человеческого капитала был в США (амортизация человеческого капитала 5 %) и в Норвегии (амортизация человеческого капитала 1–4 %). Наименьший уровень удельного человеческого капитала на начало и конец рассматриваемого периода наблюдался в Китае, что обусловлено низкими удельными расходами на образование, здравоохранение и исследования. В то же время, темп роста удельного человеческого капитала в Китае был самым высоким среди всех рассматриваемых стран.

Темпы роста удельного ВВП развивающихся стран в *долгосрочном плане* определяются динамикой как человеческого капитала, так и добычи нефти и газа. Но в то же время, влияние человеческого капитала существенно превышало влияние добычи нефти и газа. Этот результат вполне объясним с позиции экономической теории, так как экономический рост в долгосрочном плане определяется динамикой внедрения инноваций и связанными с ней расходами на НИОКР, динамикой человеческого капитала. Более того, известный в экономике феномен голландской болезни говорит о том, что наличие значительной ренты от природных ресурсов может замедлить экономический рост в долгосрочном плане.

Для группы экономически развитых стран влияние добычи нефти и природного газа также было положительным, но менее существенным, чем для развивающихся. В то же время, влияние динамики накопленного удельного человеческого капитала в развитых странах было более существенным, чем в развивающихся. Очень высокое влияние человеческого капитала на экономический рост можно объяснить более эффективной институциональной средой в развитых странах по сравнению с развивающимися государствами, что позволяет в большей степени опираться на инновационное и технологическое развитие. Расходы на образование, здравоохранение и НИОКР являются основными факторами долгосрочного экономического роста в развитых странах.