

ЖУРНАЛ  
НОВОЙ  
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
АССОЦИАЦИИ

№ 4(48)

Проблемы  
экономической теории

Исследование  
российской экономики

Вопросы  
экономической политики

История экономической мысли и методология  
экономической науки

Горячая тема  
Рыночный отбор и производительность  
российских компаний

Научная жизнь

2020

Москва

## Главные редакторы

В.М. Полтерович, А.Я. Рубинштейн

### Редакционная коллегия

В.С. Автономов  
(зам. главного редактора)

Ф.Т. Алескеров  
(зам. главного редактора)

О.И. Ананьин

В.И. Аркин

Е.В. Балацкий

О.В. Буклемишев  
(зам. главного редактора)

Л.Б. Вардомский

А.А. Васин

Д.А. Веселов  
(зам. главного редактора)

В.Е. Гимпельсон

Г.Д. Гловели

М.Ю. Головнин  
(зам. главного редактора)

Е.Ш. Гонтмахер

Е.Т. Гурвич  
(зам. главного редактора)

В.И. Данилов

В.Е. Дементьев

И.А. Денисова

Т.Г. Долгопятова

С.П. Земцов  
(зам. главного редактора)

С.Б. Измалков  
(зам. главного редактора)

Б.В. Кузнецов

А.М. Либман

Л.Н. Лыкова

Д.С. Макаров

Н.Н. Неновски

(зам. главного редактора)

А.А. Пересецкий

Л.И. Полищук

В.В. Попов

И.Г. Поспелов

В.В. Радаев

А.В. Савватеев

С.А. Смоляк

Т.В. Соколова  
(ответственный секретарь)

В.Л. Тамбовцев

М.Ю. Урнов

Т.В. Чубарова

К.В. Юдаева

А.А. Яковлев

### Редакционный совет

А.Г. Аганбегян

А.А. Аузан

С.Д. Бодрунов

Р.С. Гринберг

В.И. Гришин

А.А. Дынкин

И.И. Елисеева

Г.Б. Клейнер

Я.И. Кузьминов

В.Л. Макаров

П.А. Минакир

А.Д. Некипелов

С.М. Рогов

М.А. Эскиндаров

И.Ю. Юргенс

Спонсорская поддержка оказана Московской биржей



МОСКОВСКАЯ  
БИРЖА

© Журнал Новой экономической ассоциации, 2020

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-37276 от 19 августа 2009 г.

ISSN 2221-2264

Журнал НЭА входит в базы данных:

РИНЦ, Web of Science, Scopus, RePEc, EconLit, Ulrich's Periodicals Directory

# JOURNAL OF THE NEW ECONOMIC ASSOCIATION

## 4(48)

Problems  
of economic theory

Studies of the  
Russian economy

Issues of economic policy

History of economic ideas and the methodology  
of economic science

Hot topic  
Market selection  
and Russian companies' effectiveness

Academic Affairs

# 2020

Moscow

## Editors-in-chief

Victor Polterovich, Alexander Rubinshtein

## Editorial Board

Fuad Aleskerov  
(*Deputy Editor-in-chief*)  
Vladimir Avtonomov  
(*Deputy Editor-in-chief*)  
Oleg Anan'in  
Vadim Arkin  
Yevgeny Balatsky  
Oleg Buklemishev  
(*Deputy Editor-in-chief*)  
Tatyana Chubarova  
Vladimir Danilov  
Victor Dementiev  
Irina Denisova  
Tatyana Dolgopyatova  
Vladimir Gimpelson  
Georgiy Gloveli

Mikhail Golovnin  
(*Deputy Editor-in-chief*)  
Yevgeny Gontmakher  
Yevsey Gurvich  
(*Deputy Editor-in-chief*)  
Sergey Izmalkov  
(*Deputy Editor-in-chief*)  
Boris Kuznetsov  
Alexander Libman  
Lyudmila Lykova  
Dmitry Makarov  
Nikolay Nenovsky  
(*Deputy Editor-in-chief*)  
Anatoly Peresetsky  
Leonid Polishchuk  
Vladimir Popov  
Igor Pospelov

Vadim Radaev  
Alexey Savvateev  
Sergey Smolyak  
Tatyana Sokolova  
(*Executive secretary*)  
Vitaly Tambovtsev  
Mark Urnov  
Leonid Vardomsky  
Alexander Vasin  
Dmitry Veselov  
(*Deputy Editor-in-chief*)  
Andrey Yakovlev  
Kseniya Yudaeva  
Stepan Zemtsov  
(*Deputy Editor-in-chief*)

## Editorial Council

Abel Aganbegyan  
Alexander Auzan  
Sergey Bodrunov  
Alexander Dynkin  
Mikhail Eskinidarov

Ruslan Grinberg  
Victor Grishin  
Georgy Kleiner  
Yaroslav Kuzminov  
Valery Makarov

Pavel Minakir  
Alexander Nekipelov  
Sergey Rogov  
Irina Yeliseeva  
Igor Yurgens

Sponsorship provided by Moscow Exchange



ISSN 2221-2264

The Journal of the New Economic Association is indexed  
in Web of Science, Scopus, RePEc, EconLit, Russian Index of Scientific Citation,  
Ulrich's Periodicals Directory

## **От редакционной коллегии**

В январе 2009 года создана Новая экономическая ассоциация и зарегистрирован ее печатный орган – Журнал Новой экономической ассоциации. Главная цель и ассоциации, и журнала – объединить усилия всех российских экономистов, работающих в Российской академии наук, в высших учебных заведениях, в аналитических центрах, для повышения качества российских экономических исследований и образования.

Журнал публикует статьи как теоретического, так и эмпирического характера, представляющие интерес для достаточно широкого круга специалистов, по всем направлениям экономической науки. Приветствуются междисциплинарные разработки и экономические исследования, использующие методы других наук – физики, социологии, политологии, психологии и т.п. Особое внимание предполагается уделять анализу процессов, происходящих в российской экономике.

Журнал будет реагировать на самые острые проблемы, возникающие в мировой и российской экономике. В связи с этим создана специальная рубрика – «Горячая тема», где будут, в частности, помещаться материалы круглых столов, организованных журналом.

Планируется также публикация рецензий и новостных материалов, посвященных научной жизни в России и за рубежом.

Все рассматриваемые статьи подвергаются двойному анонимному рецензированию. При принятии решения о публикации единственным критерием является качество работы – оригинальность, важность и обоснованность результатов, ясность изложения. Принадлежность автора к тому или иному общественному движению, защита в статье тезисов, характерных для того или иного политического течения, не должны влиять на решение о публикации или отвержении статьи.

Журнал выходит ежеквартально. Как только позволят финансовые условия, мы продолжим публикацию переводов статей на английский язык.

Журнал включен ВАК Минобрнауки России в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

## **Содержание**

### **Проблемы экономической теории**

- 40 А.В. Леонидов  
Е.Е. Васильева**  
Шумпетерианская эволюция распределения фирм по величине капиталовооруженности
- 41 С.М. Анцыз  
С.М. Лавлинский  
А.А. Панин  
А.В. Плясунов**  
Двухуровневые модели формирования инвестиционной и налоговой политики в ресурсном регионе
- 63 С.А. Смоляк**  
Пуассоновский процесс деградации машин: применение к стоимостной оценке

### **Исследование российской экономики**

- 86 С.М. Иващенко**  
Источники долгосрочного роста секторов российской экономики
- 113 А.С. Строков  
Д.С. Терновский  
В.Ю. Поташников  
А.А. Потапова**  
Оценка экологических экстерналий как последствий расширения внешнеторговой деятельности

### **Вопросы экономической политики**

- 138 А.М. Карминский  
Н.Ф. Дьячкова**  
Исследование взаимосвязи кредитных циклов с изменениями кредитных рейтингов

## История экономической мысли и методология экономической науки

### 162 А.А. Раков

Приоритеты советской аграрной политики в 1953–1964 гг. и попытки преодоления «сталинских перекосов» в сельском хозяйстве

## Горячая тема

Круглый стол:

Рыночный отбор и производительность российских компаний

### 185 Е.В. Бессонова

А.Н. Цветкова

Рост производительности и выход неэффективных предприятий с рынков

### 197 И.В. Савин

Изучение рыночного отбора в России и мире: проблемы измерения, национальная специфика и методы стимулирования

### 205 Ю.В. Симачев

М.Г. Кузык

А.А. Федюнина

М.А. Юревич

Производительность труда в российских компаниях: как содействовать устойчивому росту

### 227 Х. Блёхлигер

Л. Вильднерова

Производительность российских фирм: семь фактов

## Научная жизнь

### 229 А.А. Управителев

Ежегодная конференция Общества по развитию поведенческой экономики (SABE) 2020

### 232 Анонс XXII АМНК

XXII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества (АМНК)

## Contents

### Problems of economic theory

- 12 A.V. Leonidov**  
**E.E. Vasilyeva**  
Schumpeterian evolution of firms' capital-labor ratio distribution
- 62 Antzys S.M.**  
**Lavlinskii S.M.**  
**Panin A.A.**  
**Pljasunov A.V.**  
Bilevel models of investment and tax policy formation in the resource region
- 84 S.A. Smolyak**  
The Poisson process of machinery degradation: Application to valuation

### Studies of the Russian economy

- 112 S.M. Ivashchenko**  
Long-term growth sources for sectors of Russian economy
- 136 A.S. Strokov**  
**D.S. Ternovsky**  
**V.Yu. Potashnikov**  
**A.A. Potapova**  
Economical evaluation of externalities using partial equilibrium model

### Issues of economic policy

- 159 A.M. Karminsky**  
**N.F. Dyachkova**  
Empirical study of the relationship between credit cycles and changes in credit ratings

## History of economic ideas and the methodology of economic science

### **183 A.A. Rakov**

Priorities of the Soviet agrarian policy in 1953–1964 and attempts to overcome Stalin's disbalance in agriculture

### Hot topic

#### Round table:

Market selection and Russian companies' effectiveness

### **196 E.V. Bessonova**

#### **A.N. Tsvetkova**

Productivity growth and inefficient firms' exit from the market

### **204 I.V. Savin**

Studying market selection in Russia and abroad: Measurement problems, national specificity and stimulating methods

### **216 Yu.V. Simachev**

**M.G. Kuzyk**

**A.A. Fedyunina**

**M.A. Yurevich**

Labor productivity in Russian companies: How to foster sustainable growth

### **217 H. Blöchliger**

**L. Wildnerova**

Productivity of the Russian firms: Seven stylized facts

### Academic affairs

### **229 A.A. Upravitelev**

Annual conference of Society for behavior economic developemt (SABE) 2020

### **233 Advertisement**

XXII April International Academic Conference on Economic and Social Development



# Проблемы экономической теории



**A.V. Leonidov**

**E.E. Vasilyeva**

Schumpeterian evolution of firms'  
capital-labor ratio distribution

**С.М. Анцыз**

**С.М. Лавлинский**

**А.А. Панин**

**А.В. Плясунов**

Двухуровневые модели  
формирования инвестиционной  
и налоговой политики в ресурсном  
регионе

**С.А. Смоляк**

Пуассоновский процесс деградации  
 машин: применение к стоимостной  
 оценке

A.V. Leonidov

P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow; (NRU) Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

E.E. Vasilyeva

P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia; (NRU) Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

## Schumpeterian evolution of firms' capital-labor ratio distribution<sup>1</sup>

**Abstract.** According to J. Schumpeter innovation and imitation are two key drivers of economic growth. A quantitative realization of this idea using the formalism of kinetic equations was described in a number of papers. In most of these studies only one firm efficiency factor, the total factor productivity, was considered. In general, a description of economic evolution should include more efficiency factors such as, e.g., total factor productivity (TFP) and capital-labor ratio. The present study makes a preliminary step in the direction of two factor model development by considering central planner's problem of endogenous growth driven by the capital-labor ratio. The model describes an evolution of a distribution of firms on an optimal development path by considering a difference-differential analogue of the Burgers' type equation operating at a set of discrete capital-labor ratio levels. It is shown that if investment efficiency does not depend on the investment size, and production is characterised by decreasing returns to scale then firms concentrate at a certain level of capital-labor ratio. In the case of decreasing efficiency of investment with respect to its size, one observes widening of the distribution of firms in the capital-labor ratio. In addition, it is shown that the latter result holds in the case of increasing returns to scale.

**Keywords:** *Schumpeterian evolution, economic growth, capital-labor ratio, firms' distribution, Burgers' equation.*

JEL Classification: O33, E22, C61, C65.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-1

### 1. Introduction

A description of endogenous economic growth driven by innovations and imitations proposed by Joseph Schumpeter in his famous work (Schumpeter, 1961) triggered one of the most important directions of research on the topic (Aghion, Howitt, 1998). This idea is that there exist two different possibilities for firms to maximize their performance. The first is to invest in R&D and benefit from the competitive advantage of leadership. The second is not to invest much funds into research, but rather to imitate, or, in other words, to profit from following the leader. While an effectiveness of the first strategy mostly depends on the characteristics of the specific firm, that of the second one is in addition influenced by the firm's "neighbourhood", i.e. by a set of technologies available for imitation. Therefore, the model of knowledge spillovers over a network of firms is probably the best representation of the technology diffusion process. It should also be noted that in practice different technologies are likely to spread over the network in different ways, in particular because of being used in the particular sector. Therefore, a general description of economic growth requires a multi-sectoral approach.

<sup>1</sup> We are very grateful to V.M. Polterovich for discussions that had a profound influence on shaping this research. We also thank an anonymous reviewer for valuable comments.

However, development of such multidimensional picture seems very difficult – in particular, because a number of questions related to simplified one-sector models is still not clarified. In the present study we restrict our analysis to the one-sector case, i.e. assume that all the technologies are specific for the sector and, therefore, spread only within it. In such a setting a single-product model of endogenous growth can be interpreted as a model of the evolution of this particular sector. In this case the natural starting point for the analysis is to use some kind of the “mean-field approximation» for the single-product economy in which one studies the evolution of the distribution of firms by some characteristics of their knowledge stock, e.g., the total factor productivity (TFP). The evolution of such a system can be described in the framework of kinetic equations formalism (see (Polterovich, 2017) and references therein)). In particular, in (Polterovich, Henkin, 1990; Henkin, Polterovich, 1991, 1999; Henkin, 2012) it was shown that evolution of distribution of firms with respect to TFP can be described by the difference-differential analogue of the Burgers' type equation. Namely, in such a case the dynamics of firms yields at a particular TFP level can be described by the travelling wave solution. As shown in (König et al., 2016), the travelling wave provides a good description of the observed time evolution of the distribution of firms by TFP. However, the above-listed models models can be characterised as being “absolutely mechanistic”, because they do not assume any strategic behaviour (optimisation) of firms. This element was taken into account in a series of recent papers (Lucas, Moll, 2014; Luttmer, 2012; König et al., 2016; Acemoglu, Cao, 2015) in which evolution of firms distribution by TFP is also determined by some kinetic equation, but some parameters in its right-hand side (RHS) are determined through agent's optimising behaviour. However, as noted in (Polterovich, 2017), all these models consider only one growth factor (the TFP), whereas it is clear that a general description should be multidimensional<sup>2</sup>. In particular, in (Polterovich, 2017) a two-factor model of firms' efficiency was proposed, the second factor being the capital-labor ratio<sup>3</sup>. This model links the ideas proposed in (Lucas, Moll, 2014) and in (Henkin, Polterovich, 1991). Namely, similar to (Lucas, Moll, 2014), the model belongs to the class of dynamic models of optimal control and, as in (Henkin, Polterovich, 1991), it includes two factors of productivity growth. The quantitative analysis of the model described in (Polterovich, 2017) has so far not been done.

The present study focuses on a model with a single factor of production efficiency. However, in contrast to the studies of (Lucas, Moll, 2014; Luttmer, 2012; König et al., 2016; Acemoglu, Cao, 2015), this factor is the capital-labor ratio. This model can be viewed as a preliminary step in the analysis of the two-factor model of (Polterovich, 2017). Some motivation for the further analysis of the two-factor model is given in Section 3, where exogenous TFP growth is taken into account.

As shown in (Leonardi, 2007), a remarkable property of the firms' distribution in the capital-labor ratio is its tendency to widen with time.

<sup>2</sup> See also discussion in (Sargent, Rodriguez, 2000) on growth factors alternative to TFP.

<sup>3</sup> See also paragraph 3.2 in (Aghion, Howitt, 1998) for discussion on the topic of relationship between physical/human capital accumulation and R&D.

This property contradicts the traditional view assuming existence of the efficient growth path, because the latter property implies convergence of the firms' capital-labor ratio to the same optimal value. The main goal of the analysis in the present paper is to show that firms heterogeneity can result from economically efficient allocation. The corresponding argumentation is presented using the framework of a social planner's problem. We show that a possible explanation of this phenomenon may lie in a heterogeneity of investment efficiency considering its size. Such kind of investment heterogeneity was previously discussed in (Blanchard et al., 1989), where decreasing effectiveness was associated with increasing expenses on new capital launch. Interestingly, introduction of such a property makes it possible to analyse models with increasing returns to scale. The latter fact is of special interest, because increasing returns to scale could result from a learning process (Arrow, 1962). To support this argument, in his famous paper (Arrow, 1962) K. Arrow describes an example from (Wright, 1936), where it was noted that the time necessary for constructing an airframe is a decreasing function of the total number of the same airframes previously produced which can naturally be interpreted as resulting from learning. In addition, the quality of capital utilised in production increases with time resulting in the growth of the unit capital costs efficiency. In Section 4.3 (Example 3c) we analyse the setting with increasing returns to scale and decreasing investment effectiveness and show that firms' distribution with respect to capital-labor ratio levels widens with time. Moreover, this widening might be greater than in the case of decreasing returns.

The overall structure of the paper is the following. The Section 2 presents analysis of the baseline model. A model with exogenous TFP growth is described in the Section 3. The Section 4 presents the model modifications incorporating investment efficiency heterogeneities of two types: the one considering capital-labor ratio level (Paragraph 4.1) and the one considering investment size (Paragraphs 4.2 and 4.3). Some additional comments are provided in the Conclusion.

## 2. The Model

Let us start with listing the assumptions of the model discussed in the present study. These assumptions are taken directly from (Polterovich, 2017). They read:

- the economy consists of a set of firms and consumers;
- the number of consumers is the same as the number of workers;
- all consumers are equivalent, so the purpose of the central planner is to maximise the welfare of a representative consumer;
- each firm employs only one worker, therefore the capital-labor ratio equals the total capital of a firm;
- the two production efficiency factors in the economy are the capital-labor ratio and TFP;
- the levels of TFP are discrete ( $m \in \mathbb{N}$ );

- the firms' capital-labor ratio levels are discrete ( $n \in \mathbb{N}$ );
- firm's output ( $g_{mn}(t)$ ) is completely determined by its levels of capital-labor ratio  $n \in \mathbb{N}$  and TFP  $m \in \mathbb{N}$ ;
- the firms' output can be either consumed immediately or invested into growth of one of the production efficiency factors;
- the problem to be solved is the central planner's one<sup>4</sup>.

The only assumption different from formulated in (Polterovich, 2017) is the one on productivity assumed to be fully determined by the capital-labor ratio level  $n \in \mathbb{N}$ . In our analysis the firm's output is represented by the discrete production function  $g_n(t)$ ,  $n \in \mathbb{N}$ .

## 2.1. Problem formulation

Let us introduce the following notations to formulate the problem under study:

- $N_n(t)$ ,  $n \in \mathbb{N}$  is the number of firms at the level  $n$  at the moment  $t$ ,
- $N$  is the total number of firms (consumers) in the economy,
- $f_n(t) = N_n(t) / N$ ,  $n \in \mathbb{N}$  is the fraction of firms at the level  $n$  at the moment  $t$ ,
- $F_n = \sum_{k=1}^n f_k$  is the fraction of firms at and below the level  $n$  at the moment  $t$ ,
- $c(t)$  is the consumption of a representative consumer.

Let us note also that  $c(t) = C(t) / N$ , where  $C(t)$  is total consumption.

- $U(c)$  is the representative consumer's utility function,
- $I(t)$  is the size of investment made at the moment  $t$ . To simplify the formulae it is convenient to introduce the following notation for the normalised investment —  $i(t) = I(t) / N$ .

The expression for the total capital stock in the economy  $K(t)$  reads  $K(t) = \sum_{n=1}^{\infty} n N_n(t)$ . Let us also introduce the mean total capital of a firm:

$$k(t) \equiv K(t) / N = \sum_{n=1}^{\infty} n f_n(t). \quad (1)$$

As the number of firms  $N$  is constant in time, the dynamics of  $k(t)$  is the same as that of  $K(t)$ , so in what follows we shall study only the evolution of  $k(t)$ .

The central planner's problem is to maximise the total welfare of a representative consumer over the fixed time interval  $[t_0, T]$ , (see eq. (2)) taking into account the equations for the balance constraint (3), and evolution of capital (4) and distribution (5):

$$W = \int_{t_0}^T e^{-\rho(t-t_0)} U(c(t)) dt \rightarrow \max_{s_n(\cdot), n \in \mathbb{N}}, \quad (2)$$

$$c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} g_n(t) f_n(t) - i(t), \quad (3)$$

$$i(t) = dk / dt, \quad (4)$$

$$df_n(t) / dt = -\phi(F_n, s_n) f_n + \phi(F_{n-1}, s_{n-1}) f_{n-1}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (5)$$

---

<sup>4</sup> In a more realistic description agents act in the market and the central planner is absent. In general, the results in a model with direct interaction of firms and consumers may significantly differ from the ones obtained in a model with central planner. Therefore, to interpret the results correctly some kind of market efficiency should also be assumed. However, as mentioned in the Section 1, the main goal of the current paper is to show that firms' heterogeneity can correspond to the optimal allocation. In this analysis the particular setting of central planners' problem is used.

$$f_n(0) = \text{fix}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (6)$$

where  $\rho$  is the discount factor,  $s_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  is the control determining the cost of transition to the next level and  $\phi(F_n, s_n)$  is some function (in the simplest case  $\phi(\cdot)$  decreases in  $F_n$ ) (Polterovich, 2017).

Let us stress that an assumption on the form of the distribution evolution equation (5) is of key importance for the properties of the model. In this study, following the model proposed in (Polterovich, 2017), the difference-differential analogue of the Burgers' type equation is used. This means that only one-step upstream transitions of the type  $n \rightarrow n+1$  are allowed. The evolution equation (5) describes the process of capital-labor ratio growth, therefore one has the following restriction on the set of control values<sup>5</sup>:

$$\phi(F_n, s_n) \geq 0, \quad n \in \mathbb{N}. \quad (7)$$

In what follows for simplicity we assume that an output of a firm at the level  $n$  is constant in time:  $g_n(t) \equiv g_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ .

The dynamics of the overall capital-labor ratio  $k = \sum_{n=1}^{\infty} n f_n$  is described by the following equation:

$$\frac{dk}{dt} = \sum_{n=1}^{\infty} \phi(F_n, s_n) f_n. \quad (8)$$

We see that the product  $\phi(F_n, s_n) f_n$  stands for the volume of normalized investment into the firms at the level  $n$ .

Taking into account (8) one can rewrite the balance equation (3) in the following form:

$$c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - \phi(F_n, s_n)) f_n \quad (9)$$

Let us denote the problem specified by the equations (2), (9), (5), (6) by  $\mathcal{P}$ . To solve it we shall use the Pontryagin's maximum principle. The Hamiltonian for  $\mathcal{P}$  reads:

$$\mathcal{H} = e^{-\rho(t-t_0)} U(c(t)) + \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n (-\phi(F_n, s_n) f_n + \phi(F_{n-1}, s_{n-1}) f_{n-1}), \quad (10)$$

where  $\lambda = (\lambda_n, n \in \mathbb{N})$  is the vector of costate variables. The evolution of state ( $\mathbf{f} = (f_n, n \in \mathbb{N})$ ) and costate variables is described by the following equations:

$$\dot{f}_n = \partial \mathcal{H}(\mathbf{f}, \lambda, \hat{s}) / \partial \lambda^n, \quad (11)$$

$$\dot{\lambda}_n = -\frac{\partial \mathcal{H}(\mathbf{f}, \lambda, \hat{s})}{\partial f_n} - \sum_{n=1}^{\infty} \left. \frac{\partial \mathcal{H}(\mathbf{f}, \lambda, \hat{s})}{\partial s_n} \right|_{s_n=\hat{s}_n} \frac{\partial \hat{s}_n}{\partial f_n}, \quad (12)$$

$$f_n(0) = \text{fix}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (13)$$

$$\lambda_n(T) = 0, \quad n \in \mathcal{N}, \quad (14)$$

where  $\hat{s} = \hat{s}(\mathbf{f}, \lambda, t)$  is the optimal control and (14) is the transversality condition.

## 2.2. Solution methodology

Let us introduce the notation  $u_n = \phi(F_n, s_n)$ ,  $n \in \mathbb{N}$  and note that the control  $s_n$  appears in the Hamiltonian and constraints of the problem  $\mathcal{P}$  only as an argument of the function  $\phi(\cdot)$ . Let  $\mathcal{P}'$  be the problem obtained

<sup>5</sup> This follows from the difference-differential analogue of the Burgers' type equation describing the time evolution of  $F_n(t)$ . The equation (5) can be rewritten in the following form:  $dF_n/dt = \phi(F_n, s_n)(F_{n-1} - F_n)$ , or, equivalently,  $dF_n/dt = -\phi(F_n, s_n)f_n$ .  $dF_n/dt$  should be non-positive, because the transitions from the level  $n+1$  to  $n$  are forbidden. Therefore  $\phi(F_n, s_n)$  should be non-negative.

by replacement in the initial problem  $\mathcal{P}$  of  $\phi(F_n, s_n)$  by  $u_n$ :

$$W = \int_{t_0}^T e^{-\rho(t-t_0)} U(c(t)) dt \rightarrow \max_{u_n(\cdot), n \in \mathbb{N}}, \quad (2')$$

$$c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n(t)) f_n(t), \quad (9')$$

$$df_n(t)/dt = -u_n f_n + u_{n-1} f_{n-1}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (5')$$

$$f_n(0) = \text{fix}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (6')$$

$$u_n \geq 0. \quad (7')$$

Let us assume that the function  $\phi(F_n, s_n)$  is monotone with respect to  $s_n$  and  $\forall F_n \in [0, 1], u \in [0, \infty) \exists s_n : \phi(F_n, s_n) = u$ . Then (for details see Appendix A.1) if  $\tilde{u}_n$  ( $n \in \mathbb{N}$ ) is the optimal control for the problem  $\mathcal{P}'$ , then  $\tilde{s}_n = \phi^{-1}(\tilde{u}_n | F_n)$  ( $n \in \mathbb{N}$ ) is the optimal control for the problem  $\mathcal{P}$ , where  $\phi^{-1}(\cdot | F_n)$  is the inverse of  $\phi(F_n, \cdot)$  for fixed  $F_n$ .

The evolution of the overall capital-labor ratio is then described by the following expression:

$$\frac{dk}{dt} = \sum_{n=1}^{\infty} u_n f_n. \quad (8')$$

Despite of appearing technically simple, the above-described possibility of changing variables in the problem  $\mathcal{P}$  is, nevertheless, rather interesting. In the fully "kinetic" models, like e.g. those of (Polterovich, Henkin, 1989; Henkin, Polterovich, 1991, 1999; Henkin, 2012; Aleksandrova, 2015), the properties of a solution critically depend on the properties of the function  $\phi(F_n)$ <sup>6</sup>. Introduction of the control parameter  $s_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , leads to the fact that non-linearities described by the function  $\phi(F_n, s_n)$  now do not play any role. Qualitatively, this results from the linear relation between the evolution of the overall capital-labor ratio and normalised investment size defined in (4). The methodology of introduction of essential non-linearities into the distribution evolution equation is discussed in the Paragraph 4.2.

The Hamiltonian of the problem  $\mathcal{P}'$  and the evolution of the state and costate variables are described by the following equations:

$$\mathcal{H} = e^{-\rho(t-t_0)} U(c(\mathbf{f}, \mathbf{u})) + \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n (-u_n f_n + u_{n-1} f_{n-1}), \quad (10')$$

$$\dot{f}_n = -u_n f_n + u_{n-1} f_{n-1}, \quad (11')$$

$$\dot{\lambda}_n = -\left( e^{-\rho(t-t_0)} U'(c(\mathbf{f}, \mathbf{u})) (g_n - u_n) + u_n (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \right), \quad (12')$$

$$f_n(0) = \text{fix}, \quad (13')$$

$$\lambda_n(T) = 0. \quad (14')$$

To simplify the analysis we will assume that  $\lim_{c \rightarrow 0} U(c) = -\infty$  (e.g.  $U(c) = \ln c$ ) and therefore the condition  $c(t) \geq 0$  is fulfilled automatically<sup>7</sup>.

The optimal control maximises the Hamiltonian. Therefore, in accordance with the Karush–Kuhn–Tucker theorem, the following condition should be fulfilled:

<sup>6</sup> Here we have a single argument  $F_n$  as in these models there are no controls  $s_n$ .

<sup>7</sup> One can check that this simplification does not significantly influence general results.

$\partial\mathcal{H}/\partial u_n = e^{-\rho(t-t_0)} U'(\mathbf{c}(\mathbf{f}, \mathbf{u}))(-f_n) + (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n \leq 0 \quad \forall n \in \mathbb{N}, \quad (15)$

where the equality holds for  $u_n > 0$ .

For  $f_n = 0$  the condition (15) is fulfilled for an arbitrary value of  $u_n$ . Without loss of generality we will assume that in this case  $u_n = 0$ .

Let us analyse the case  $f_n > 0$  and introduce the following notation:  $\Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}) = e^{-\rho(t-t_0)} U'(\mathbf{c}(\mathbf{f}, \mathbf{u}))$ . Equation (15) can be rewritten in the following form

$$\forall n \in \mathbb{N}: f_n > 0 \rightarrow \lambda_{n+1} - \lambda_n \leq \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}) \Leftrightarrow \max_{n \in \mathbb{N}: f_n > 0} (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \leq \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}) \quad (16)$$

where the equality holds for  $u_n > 0$ . We have:

- if  $u_n > 0$  then  $n \in \text{Argmax}_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} (\lambda_{m+1} - \lambda_m)$  and vice versa;
- from (12') and (16) it follows that

$$\dot{\lambda}_n = -g_n \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}). \quad (17)$$

From eq. (17) it immediately follows that there exists a function  $\alpha(t)$  such that  $\alpha(T) = 0$  and

$$\lambda_n(t) = g_n \alpha(t) \quad \forall n \in \mathbb{N}. \quad (18)$$

The corresponding technical details are provided in the Appendix A.2.

Let us list some properties of the solution (below we use the notation  $\Delta_n = g_{n+1} - g_n$ ):

- if  $n \in \text{Arg max}_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m$  then  $u_n \geq 0$ , else  $u_n = 0$ ;
- the optimal value of consumption  $c^*$  can be obtained from the following expression

$$c^* = \begin{cases} U'^{-1}\left(e^{\rho(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m\right), & \text{if } U'(c_{\max}) < e^{\rho(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m; \\ c_{\max}, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

where  $c_{\max} = \sum_{n=1}^{\infty} g_n f_n$ ;

- the vector of optimal control  $\mathbf{u}$  satisfies the following condition:

$$\mathbf{u}: \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n) f_n = c^*. \quad (19)$$

The differential equation for  $\alpha(t)$  from (17) has the following form:

$$\dot{\alpha} = -\Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}) \equiv \begin{cases} -e^{-\rho(t-t_0)} U'(c_{\max}), & \text{if } U'(c_{\max}) < e^{\rho(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m; \\ -\alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (20)$$

The further analysis of the solution includes two cases: that of decreasing returns to scale and the general one.

### 2.3. Solution in the case of decreasing returns to scale

One of the most important characteristics of a continuous production function is its type in terms of return to scale. This term characterises the type of response in production induced by an increase of factors<sup>8</sup>. One may generalise this property to the case of discrete production function  $g_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ . In the current study it will always be assumed that  $g_n$  is an increasing function of  $n$ .

<sup>8</sup> For example, the concave production function is of the decreasing returns to scale type. The general definition is the following. Let  $h(x): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ . If  $h(ax) = ah(x)$  for any  $a > 0$ , then  $h(x)$  has constant returns to scale. If  $h(ax) > ah(x)$  ( $< ah(x)$ ) then it has increasing (decreasing) returns to scale.

**Definition 1.** The production function of discrete variable  $g_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  is decreasing returns to scale type if  $\Delta_n < \Delta_m$  for  $n > m$ .

Obviously, in the case of decreasing returns to scale

$$\operatorname{Arg} \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} = \min \{m | f_m > 0\}.$$

This means that at any time point transitions may occur only from the lowest non-empty level. Let us denote this level by  $m^* = m^*(t)$ , i.e.

$$m^* \equiv m^*(t) = \min \{m | f_m(t) > 0\},$$

and, moreover, the value of optimal control is uniquely determined by (19).

The boundary value problem to be resolved takes the following form:

$$\dot{f}_n = \begin{cases} -u_n f_n, & \text{if } n = m^*, \\ u_{n-1} f_{n-1}, & \text{if } n = m^* + 1, \\ 0, & \text{otherwise;} \end{cases} \quad (21)$$

$$\dot{\alpha} = \begin{cases} -\alpha \Delta_{m^*}, & \text{if } U'(c_{max}) < e^{\rho(t-t_0)} \alpha \Delta_{m^*}, \\ -e^{-\rho(t-t_0)} U'(c_{max}), & \text{otherwise;} \end{cases} \quad (22)$$

$$u_n = \begin{cases} \left[ c_{max} - U'^{-1}(e^{\rho(t-t_0)} \alpha \Delta_{m^*}) \right] / f_n, & \text{if } n = m^* \text{ & } U'(c_{max}) < e^{\rho(t-t_0)} \alpha \Delta_{m^*}, \\ 0, & \text{otherwise;} \end{cases} \quad (23)$$

$$m^* = \min \{m | f_n > 0\}. \quad (24)$$

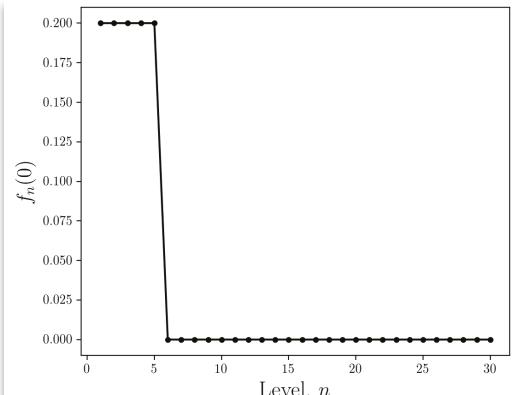
Formulation of its solution in terms of a system of non-linear equations is described in the Appendix 7. In the next paragraph we provide an example of a numerical solution illustrating the dynamics in the case under consideration.

#### 2.4. Example 1. Numerical solution in the case of decreasing returns to scale

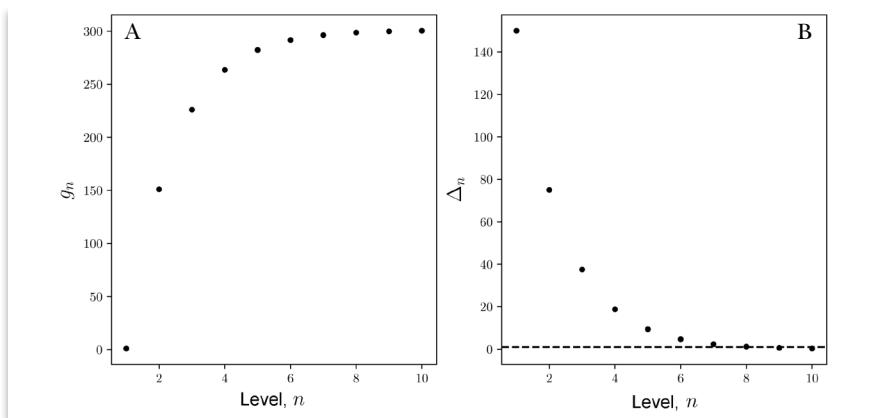
Let us consider a particular example in which:

- the utility is logarithmic,  $U(c) = \ln c$ ;
- initially all firms are uniformly distributed over the first five levels (Fig. 1);
- the production function  $g_n$  (and its increment  $\Delta_n$ ) are chosen in the form shown in Fig. 2.

The horizontal line in the Fig. 2B indicates the identity level. This level is of interest because without any additional calculation it allows to conclude that a transition from the level  $n$  to  $n+1$  won't occur if  $\Delta_n < 1$  as the dependence between the capital accumulation and investment



**Figure 1**  
The initial distribution of firms in the Example 1

**Figure 2**

Relationship between the capital-labor ratio level  $n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , and A: output ( $g_n$ ) or B: its increment ( $\Delta_n = g_{n+1} - g_n$ ) in the Example 1. The dashed horizontal line indicates the identity level

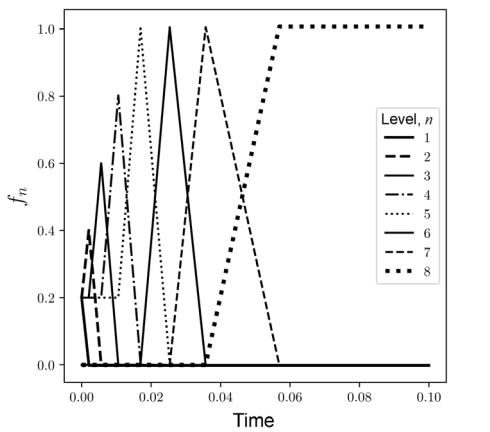
is linear but the production function is concave. Therefore, there exists a final level ( $n_{max}$ ) at which transitions will stop. This occurs when  $\Delta_{n_{max}-1} > 1$ . From Fig. 2B it follows that  $n_{max} \leq 9$ . The time point  $t_{stop}$  after which no transitions occur is determined by the following condition:

$$U' \left( c_{max} (t_{stop}) \right) = e^{\rho(t_{stop} - t_0)} \alpha \Delta_{m^*(t_{stop})},$$

$$n_{max} = m^*(t_{stop}).$$

Evolution of the firms' fractions at different capital-labor ratio levels in this example is shown in Fig. 3<sup>9</sup>. It illustrates two previously described facts. First, the transitions are initially made from the lowest level. Second, there exists the maximal level (level 8) participating in the process of transitions.

It should be noted that in the case under consideration the uniqueness of the solution guarantees its optimality.

**Figure 3**

Time evolution of the firms' fractions in the Example 1 with decreasing returns to scale

## 2.5. Solution in case of non-decreasing increments of production function

The case of an arbitrary structure of  $g_n$  (e.g. that with non-monotonic increments) is more complicated. Let us analyse the evolution of the system at time  $t$  under the condition

<sup>9</sup> To find the numerical solution the “shooting” method was used. To solve the boundary value problem one should choose such initial values of the costate variables  $\lambda_n(0)$ ,  $n \in \mathbb{N}$  as in the solution of the initial value problem with these values  $\lambda_n(T) = 0$ . Considering (18) one should find only the correct initial value  $\alpha(0)$ , such that  $\alpha(T) = 0$ . To solve the initial value problem the fourth-order Runge–Kutta method was used.

$$\Delta_{m^*(t)} < \Delta_{m^*(t)+1}, \quad (25)$$

so that it is preferable to perform transitions from the level  $m^*(t)+1$ , but there are no firms at it. Let us also assume that  $\Delta_{m^*(t)+2} < \Delta_{m^*(t)+1}$ . Then at time  $t$  a transition will occur from the level  $m^*(t)$ . However, at time  $t+dt$  (with infinitesimal  $dt$ ) we have  $m^*(t+dt) = m^*(t)+1$  and, therefore,  $\Delta_{m^*(t+dt)} = \Delta_{m^*(t)+1}$ . Thus, the right-hand side of the following differential equation on alpha (from (20))  $\dot{\alpha}(t) = \alpha(t)\Delta_{m^*(t)}$  has an infinite number of simple discontinuities so that its time derivative  $\dot{\alpha}$  does not exist.

Qualitatively such dynamics corresponds to transitions bypassing the adjacent level which are forbidden due to the chosen form of the difference-differential analogue of the Burgers' type equation. However, as shown in Appendix A.3, if the value of  $u_n$  is not bounded from above then, in the limit of  $u_n \rightarrow \infty$ , transitions of the type  $n$  to the level  $n+2$  are possible.

Thus the formally justifiable solution can be found only if one of the following modifications of the initially posed problem are introduced:

- one may look for an suboptimal solution, the  $\varepsilon$ -approximation, defined as the solution of the initial problem with the additional condition  $u_n < \varepsilon$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , and analyse the limit of  $\varepsilon \rightarrow \infty$ ;
- if in the initial problem  $\mathcal{P}$  the domain of the  $\phi(\cdot)$  function is bounded from above by  $u$  the additional condition on the admissible set of the control variables  $u_n < u$ ,  $n \in \mathbb{N}$  is introduced;
- the right-hand side of the equation describing the time-evolution of the firms fractions (5) contains some cumulative operator.

It should be noted that if one considers the analogue of the problem  $\mathcal{P}'$  in discrete time the above-described problem won't appear. This allows to analyse the properties of the approximate numerical solution of  $\mathcal{P}$  in discrete time.

## 2.6. Example 2. Numerical solution in the case of production function with non-monotonic increments

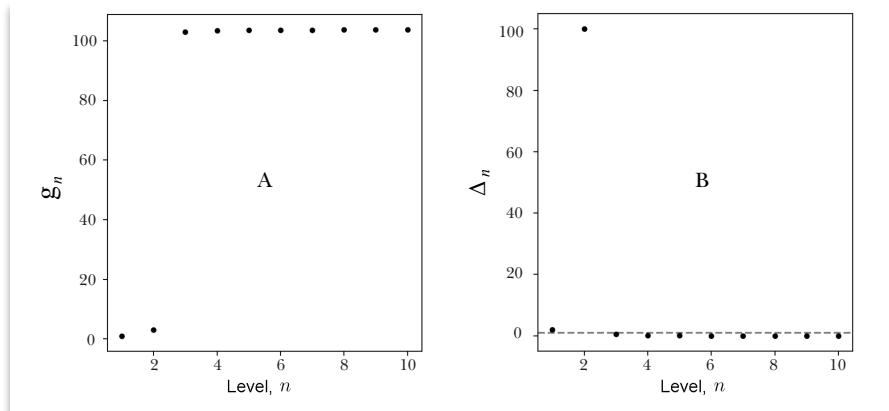
Let us consider an example in which:

- the utility function is logarithmic  $U(c) = \ln c$ ;
- initially all firms are concentrated at the first level, i.e.

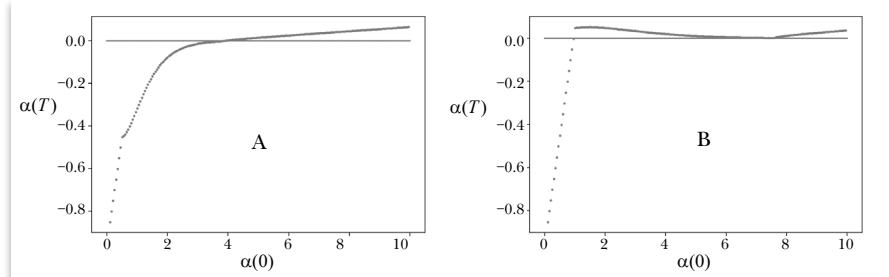
$$f_1(0) = 1, \quad f_n(0) = 0, \quad n > 1; \quad (26)$$

- the production function  $g_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  (and its increment  $\Delta_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ ) is assumed to have the form shown in Fig. 4. As seen in Fig. 4A the key feature of the production function  $g_n$  from is that the main incentive for the firms to transit from the first level to the second is not in the significant growth of the output but in the ability to move to the third level from the second;
- two different modifications of  $g_n$  will be analysed:
  - the one with  $\Delta_1 = 2$ ;
  - the one with  $\Delta_1 = 1$  (this case is of special interest as the transition from the first level to the second one is "locally" ineffective, but nevertheless the firm should do it to be able to reach the third level).

Let us note that in the case of  $\Delta_1 = 1$  the solution of the boundary value problem (11')–(14') is not unique. This solution can be described as follows: one should find the set of initial values  $\lambda_n(0)$ ,  $n \in \mathbb{N}$  guaranteeing that  $\lambda_n(T) = 0$ ,  $n \in \mathbb{N}$  in the solution of the initial value problem (11')–(13'). From (18) it follows that one should look only for such  $\alpha(0)$  for which  $\alpha(T) = 0$  as well. The uniqueness of the solution is equivalent to the uniqueness of such  $\alpha(0)$ . In the case of  $\Delta_1 = 1$  there are two different  $\alpha(0)$  which lead to  $\alpha(T) = 0$  (Fig. 5B). In contrast, in the case when  $\Delta_1 = 2$ ; the solution is unique (Fig. 5A).

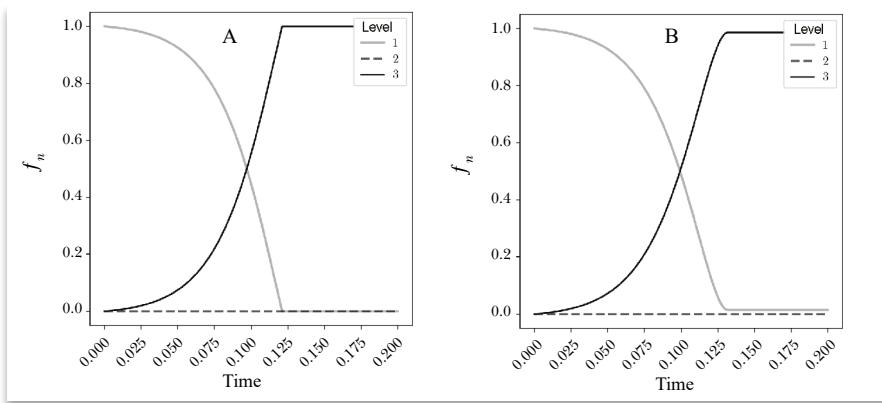
**Figure 4**

Relationship between the capital-labor ratio level  $n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , and A: output ( $g_n$ ) or B: its increment ( $\Delta_n = g_{n+1} - g_n$ ) in the Example 2. The dashed horizontal line shows the identity level

**Figure 5**

Dependence between  $\alpha(0)$  and  $\alpha(T)$  in the initial value problem (11')–(13') (where  $\alpha(t)$  is defined in (18); case A:  $\Delta_1 = 2$ ; case B:  $\Delta_1 = 1$ )

Evolution of the firms fractions at different levels is shown in Fig. 6. The fact that there is a small fraction of firms at the first level that does not move to the third one in the case when  $\Delta_1 = 1$  is due to finite accuracy of the numerical solution. Qualitatively the evolution in both cases ( $\Delta_1 = 1$  and  $\Delta_1 = 2$ ) is the same. As it was already noted, the evolution looks like a transition from the first level to the third.

**Figure 6**

*Evolution of the firms fractions on the different levels in the Example 2 (case A:  $\Delta_1 = 2$ , case B:  $\Delta_1 = 1$ )*

### 3. The model with TFP growth

As was mentioned in Introduction, the model presented in the previous section realises a preliminary step in developing an endogenous two-factor growth model with the TFP and capital-labor ratio factors. Development of such a two-factor model is out of the scope of the current study. However, in this section we present some intuitive arguments related to this topic. To illustrate some effects resulting from coexistence of two different growth factors, we present the model in which the first factor (TFP) is exogenous and the second one (capital-labor ratio) is endogenous. In this case expressions for the production function and its increment take the following form:

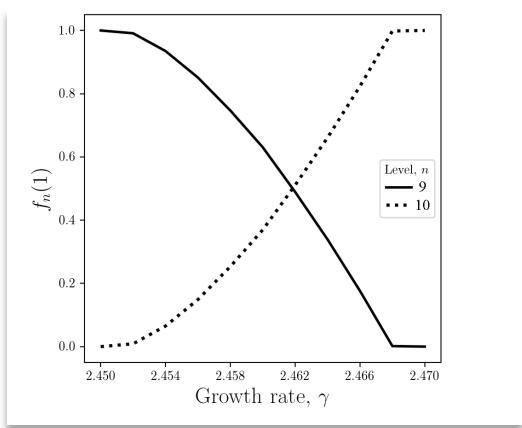
$$\tilde{g}_n(t) = e^{(\ell-t_0)} g_n, \quad (27)$$

$$\tilde{\Delta}_n(t) = e^{\gamma(\ell-t_0)} \Delta_n \quad (28)$$

where  $\gamma$  is an exogenously defined TFP growth rate. Therefore, the equation (9') now reads

$$c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left( e^{\gamma(\ell-t_0)} g_n - u_n(t) \right) f_n(t), \quad (9a)$$

while other equations of the  $\mathcal{P}'$  problem remain unchanged. Let us denote a two-factor problem by  $\mathcal{P}^a$ . The details of solution of  $\mathcal{P}^a$  are given in Appendix 8. Here we confine ourselves to a qualitative analysis of the numerical solution of a particular modification of the Example 1 (the case of decreasing returns to scale) where  $g_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  is the same as in Example 1 (see Fig. 2). To illustrate the effect of incorporation of exogenous TFP growth we analyse numerical solutions of the problem for different values of  $\gamma$ . In particular, the case of Example 1 presented in the Section 2.4, corresponds to the case of  $\gamma = 0$ . As seen in Fig. 3, the last level to which transitions occur is the ninth, i.e.  $f_9(1) = 1$  and  $f_{10}(1) = 0$ . As  $\tilde{\Delta}_n$  increases with time introduction of exogenous growth rate factor  $\gamma$  results in growing incentives for further

**Figure 7**

Firms' fractions on ninth and tenth levels at  $t=1$  in case of different values of exogenous growth rate  $\gamma$  (in modification of Example 1)

this investment is made. However, it is natural to assume that the higher the level of the firm's capital-labor ratio, the more effective is this investment. One of justifications of this assumption is in the fact that a debt service for firms at higher levels of capital-labor ratio is cheaper. In addition, following (Blanchard et al., 1989), one may expect a decline of the investment effectiveness with the increase of its size (i.e. some kind of decreasing returns in the process of transformation of investment into capital). In the next two paragraphs we analyse an extended version of the model described in the previous sections that takes into account the two above-described features.

#### 4.1. Heterogeneity in capital-labor ratio level

Let us start with the assumption concerning the relation between the level of the firm's capital-labor ratio and the effectiveness of an investment. For an amount  $u_n f_n$  of investment into firms at the level  $n$  the overall capital-labor ratio evolution is given by  $dk/dt = \sum_{n=1}^{\infty} v_n u_n f_n$ , where  $v_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , is the discrete function quantifying the growth of the investment effectiveness, i.e.  $v_{n+1} > v_n$ . In turn, evolution of firms' fractions on different levels is described by  $\dot{f}_n = -v_n u_n f_n + v_{n-1} u_{n-1} f_{n-1}$ .

Incorporation of the investment effectiveness heterogeneity into a problem  $\mathcal{P}'$  leads to its modification  $\mathcal{P}^b$  described by the following equations:

$$W = \int_{t_0}^T e^{-\rho(t-t_0)} U(c(t)) dt \rightarrow \max_{u_n(\cdot), n \in \mathbb{N}}, \quad (2b)$$

$$c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n(t)) f_n(t), \quad (9b)$$

$$df_n(d)/dt = -v_n u_n f_n + v_{n-1} u_{n-1} f_{n-1}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (5b)$$

$$f_n(0) = \text{fix}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (6b)$$

$$u_n(t) \geq 0. \quad (7b)$$

As shown in details in the Appendix A.4, qualitative properties of the solution of  $\mathcal{P}^b$  are the same as of those of  $\mathcal{P}'$ . However, the parameter determining the level from which transition occurs (level  $m^*(t)$ ), is now the product  $v_n \tilde{\Delta}_n$  (instead of  $\tilde{\Delta}_n$  in  $\mathcal{P}'$ ).

From this it follows that for heterogeneous investment effectiveness then even in the case of decreasing returns to scale an evolution of the system may look qualitatively like the one in the Example 2. The reason is that the product  $v_n \Delta_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  does not necessarily monotonically decrease with growing  $n$ .

#### 4.2. Heterogeneity in investment size

In the model described in the Section 2 we assumed that the ability of an investment to transform into capital does not depend on its size. This was reflected by the quasi-linearity of the dependence (8') between  $dk/dt$  and  $u_n$ . However, following the ideas put forward in (Blanchard et al., 1989), it is natural to assume that investment effectiveness drops with increasing size. This assumption can be included into the model of Section 2 via replacement of equation (5') in  $\mathcal{P}'$  by the following expression:

$$\frac{df_n}{dt} = -\chi(u_n)f_n + \chi(u_{n-1})f_{n-1}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (5c)$$

where the function  $\chi(\cdot)$  has the following properties:

$$\chi(x) > 0, \text{ if } x > 0; \quad \chi(0) = 0; \quad \chi'(x) > 0; \quad \chi''(x) < 0.$$

The other properties of the problem  $\mathcal{P}'$  remain the same.

Let us denote the problem with heterogeneous investment effectiveness with respect to its size by  $\mathcal{P}^c$ . The Hamiltonian and evolution of the state and costate variables are in this case described by the following equations:

$$\mathcal{H} = e^{-\rho(t-t_0)} U(c(\mathbf{f}, \mathbf{u})) + \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n (-\chi(u_n)f_n + \chi(u_{n-1})f_{n-1}), \quad (10c)$$

$$\dot{f}_n = -\chi(u_n)f_n + \chi(u_{n-1})f_{n-1}, \quad (11c)$$

$$\dot{\lambda}_n = -\left( e^{-\rho(t-t_0)} U'(c(\mathbf{f}, \mathbf{u})) (g_n - u_n) + \chi(u_n)(\lambda_{n+1} - \lambda_n) \right), \quad (12c)$$

$$f_n(0) = \text{fix}, \quad (13c)$$

$$\lambda_n(T) = 0, \quad (14c)$$

$$u_n \geq 0.$$

If a vector  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots)'$  is the optimal control for the problem  $\mathcal{P}^c$  then it maximises the Hamiltonian (10c). The first order conditions of this problem read  $\partial \mathcal{H} / \partial u_n = -f_n \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}) + f_n \chi'(u_n)(\lambda_{n+1} - \lambda_n) \leq 0$ , with equality in the case of  $u_n > 0$ . Let us again analyse only the case of  $f_n > 0$ . Rewriting the previous expression, we get

$$\chi'(u_n)(\lambda_{n+1} - \lambda_n) \leq \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}), \quad (29)$$

with equality when  $u_n > 0$ .

To simplify the further analysis let us focus only on the case of functions  $U(x)$  and  $\chi(x)$  having the form  $U(x) = \ln(x)$ ,  $\chi(x) = \ln(1+x)$ .

It is easy to show that the Hamiltonian (10c) is concave with respect to  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots)'$  (for details see Appendix A.5). Therefore fulfilment of first order conditions is sufficient to guarantee maximisation of Hamiltonian with respect to  $\mathbf{u}$ .

Let us define two sets of capital-labor ratio levels  $\mathcal{C}^0$  and  $\mathcal{C}^+$  characterised by the following expressions:  $\mathcal{C}^0 = \{n \in \mathbb{N} : u_n = 0\}$ ,  $\mathcal{C}^+ = \{n \in \mathbb{N} : u_n > 0\} = \mathbb{N} \setminus \mathcal{C}^0$ .

In the Appendix A.6 it is shown that

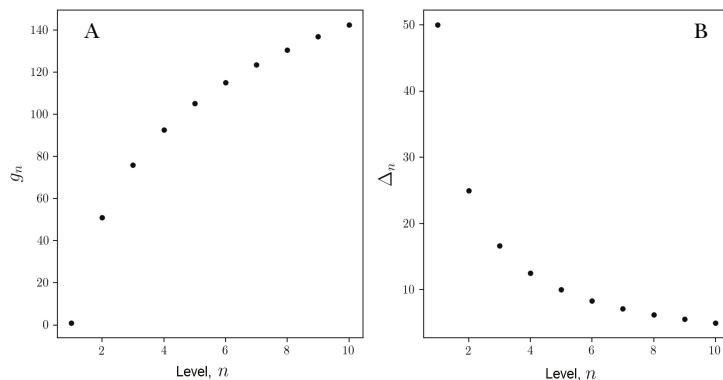
- there exists an algorithm of determination of the sets  $\mathcal{C}^0$  and  $\mathcal{C}^+$ ;
- the vector of optimal controls  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots)'$  for the problem  $\mathcal{P}^c$  is given by the following expression

$$u_n = \begin{cases} 0, & \text{if } n \in \mathcal{C}^0, \\ (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \frac{c_{\max} + \sum_{k \in \mathcal{C}^+} f_k}{e^{-\rho(t-t_0)} + \sum_{k \in \mathcal{C}^+} f_k (\lambda_{k+1} - \lambda_k)} - 1, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (30)$$

In the next paragraph we will analyse the properties of the numerical solution of the boundary value problem (11c)–(14c), where the optimal control is defined by (30).

#### 4.3. Example 3. Numerical solution in the case of investment effectiveness heterogeneity with respect to size

*Example 3a. Decreasing returns to scale.* In this example we analyse an evolution of a system with the production function  $g_n$  and its increment  $\Delta_n$  of the form shown in Fig. 8.

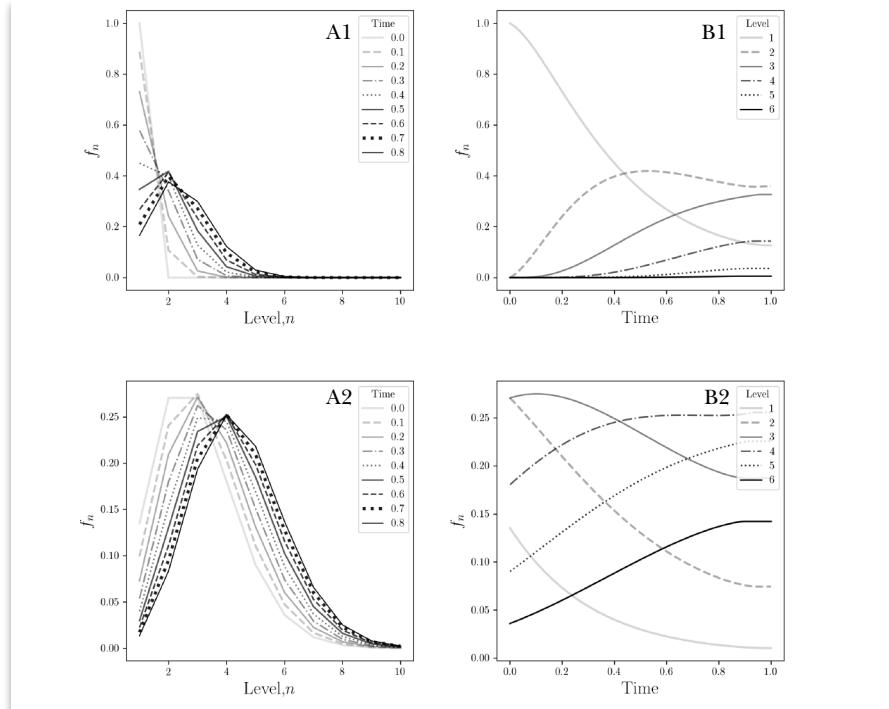


**Figure 8**

Relationship between the capital-labor ratio level  $n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , and A: output ( $g_n$ ) or B: increment ( $\Delta_n = g_{n+1} - g_n$ ) in the Example 3a

Evolution of the system in the case of two different initial distributions of firms over the capital-labor ratio levels is shown in Fig. 9. The first row in this figure (Fig. 9 (A1 and B1)) corresponds to the case in which at the

time  $t=0$  all firms are at the first capital-labor ratio level. The second one (Fig. 9 (A2 and B2)) illustrates the evolution of the distribution in the case when the initial distribution is Poissonian with the parameter equal to 2. In both cases it is obvious that distributions widen in time. From Fig. 9 (B1 and B2) it is clear that transitions appear from every non-empty level. The reason for such a dynamics is obvious. As the effectiveness of an investment drops with increasing size (see the properties of the function  $\chi(\cdot)$ ) it is optimal to distribute total investment over different levels. Therefore, investment effectiveness decreasing with respect to size can be one of possible explanations for the observable capital-labor diversity growth.



**Figure 9**

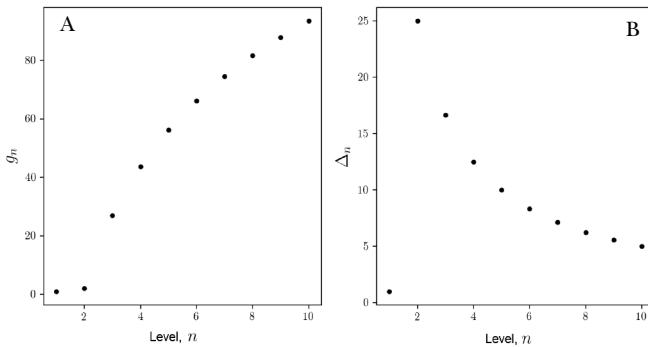
*Evolution of the distribution of the firms by the capital-labor ratio levels in the Example 3a. A1, A2: at different times; B1, B2: Temporal evolution of the firms' fractions  $f_n(t)$ ,  $n \in \mathbb{N}$ . The two lines correspond to the cases with different initial conditions*

*Example 3b. Production function with non-monotonic increments.* In the Example 3b we analyse an evolution of a system in which increments of the production function are non-monotonic. As described in the Paragraph 2.5, in the case of a linear dependence of capital increase on investment size (problem  $\mathcal{P}'$ ) a solution of the problem in continuous time does not exist. In the corresponding discrete numerical approximation (Example 2) one observes an unnatural evolution.

One of the possible modifications of the formulation of the initial problem proposed in the Paragraph 2.5 is in introduction of some positive

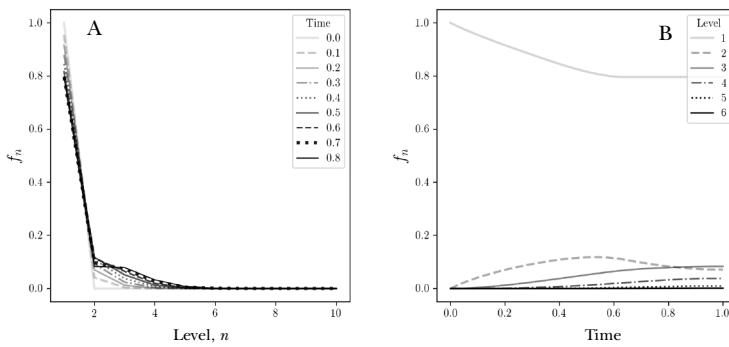
exogenous constant  $u$  and of an additional constraint on  $u_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$   $u_n < u$ . However, such a modification does not seem reasonable. The case of heterogeneous investment effectiveness described in the previous paragraph provides a more natural realisation of the similar idea. That is, in the case of decreasing effectiveness of investment with respect to its size an investment of enormous size can't be optimal. Therefore, qualitatively, in this case the investment size on the optimal trajectory is bounded automatically.

Let us analyse the numerical solution of the problem  $\mathcal{P}^c$  in which the production function  $g_n$  (and its increments  $\Delta_n$ ) have the form shown in Fig. 10. The Fig. 11 displays the evolution of the distribution  $\{f_n(t), n \in \mathbb{N}\}$ . We see that the dynamics is characterised only by sequential transitions so that, e.g., there are no transitions from the first level to the third one. The optimal solution is described by some non-trivial distribution of the firms over different levels.



**Figure 10**

Relationship between the capital-labor ratio level  $n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , and A: output ( $g_n$ ) or B: its increment ( $\Delta_n = g_{n+1} - g_n$ ) in the Example 3b



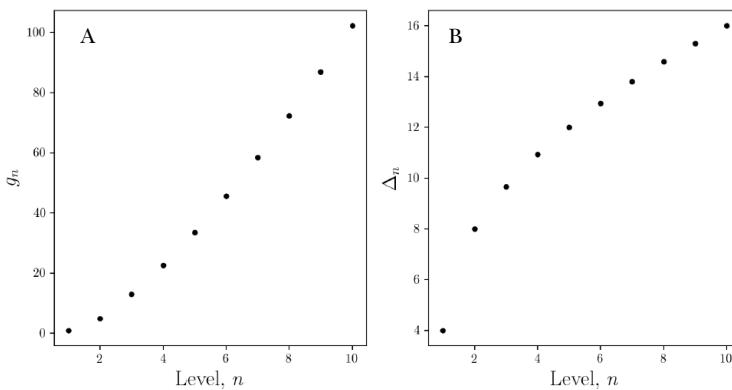
**Figure 11**

Evolution of the distribution of the firms by the capital-labor ratio levels in the Example 3b. A: in different time-points; B: Time-evolution of the firms' fractions  $f_n(t)$ ,  $n \in \mathbb{N}$

*Example 3c. Increasing returns to scale.* As mentioned in Introduction, the arguments put forward by K. Arrow in his seminal paper (Arrow, 1962) motivate an interest to study the case in which  $g_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  is characterised by increasing returns to scale. It should be noted that, as it follows from the results of Section 2.5, the basic model  $\mathcal{P}'$  is in this case not applicable. However, introduction of decreasing investment effectiveness with respect to its size makes such an analysis possible.

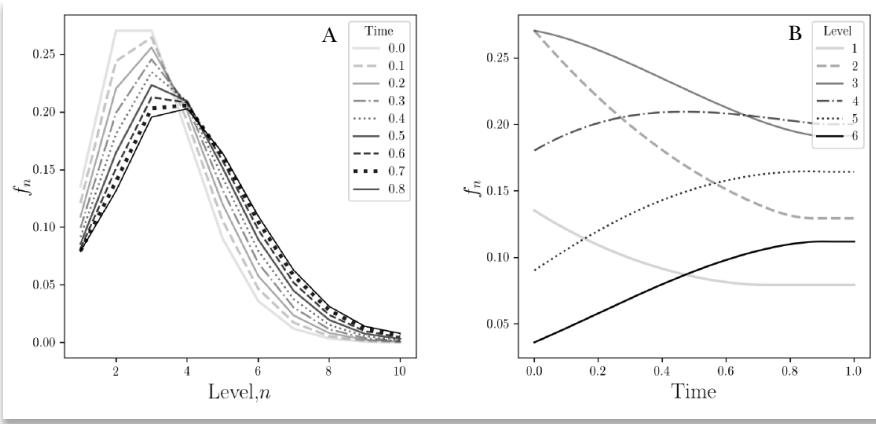
In this section the results of numerical solution of the problem  $\mathcal{P}^c$  with the production function  $g_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  shown in Fig. 12 are presented. Initial distribution of firms with respect to the capital-labor ratio levels is Poissonian with the parameter 2. Fig. 13 illustrates time evolution of the firms distribution.

Interestingly, comparison of the results of the current example and of the Example 3a (see Fig. 9 (A2, B2)) shows that increasing returns to scale may cause stronger distribution widening than in the case of decreasing returns. This is clearly seen in Fig. 14, where time evolution of the mean capital-labor ratio level ( $k(t) = \sum_{n=1}^{\infty} n f_n(t)$ ) and the variance ( $V_k(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (n - k(t))^2 f_n(t)$ ) for the two cases are presented. As it shown in Fig. 14A, the mean capital-labor ratio is greater for the case with decreasing returns, whereas the variance is greater for the case with increasing returns (Fig. 14B). The reason for this is that increasing returns lead to a growth of incentives for transitions from the levels in the right tail of the distribution resulting in a relative growth of the variance.

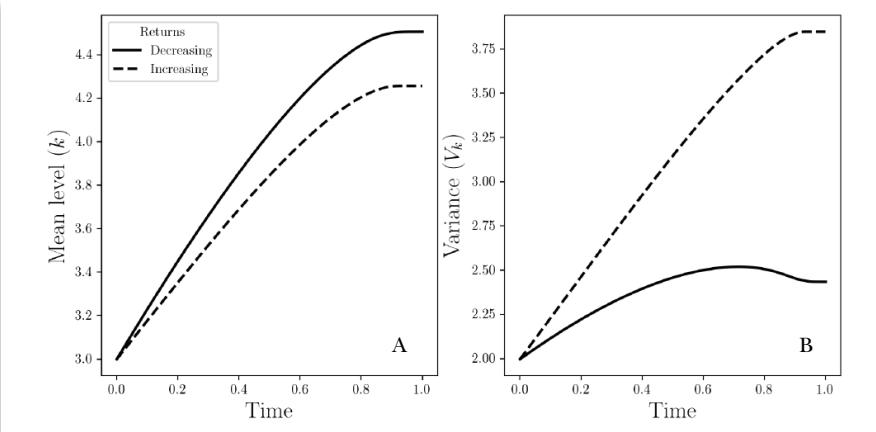


**Figure 12**

Relationship between the capital-labor ratio level  $n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , and A: output ( $g_n$ ) or B: its increment ( $\Delta_n = g_{n+1} - g_n$ ) in the Example 3c

**Figure 13**

*Evolution of the distribution of the firms by the capital-labor ratio levels in the Example 3c. A: in different time-points; B: Time-evolution of the firms' fractions  $f_n(t)$ ,  $n \in \mathbb{N}$*

**Figure 14**

*Evolution of A mean capital-labor ratio level  $k(t)$  and B variance of capital-labor ratio levels  $V_k(t)$  in two cases: the case of decreasing returns (Example 3a) and the case of increasing ones (Example 3c)*

## 5. Conclusion

The model describing evolution of the distribution of firms on an efficient path with respect to capital-labor ratio is presented. The most interesting feature of the model is in providing a possible explanation for the observable growth of the firms variability with respect to capital-labor ratio levels.

The present paper covers only a part of an analysis that should be done. In particular, we focused only on a simplified version of the central planner's problem proposed in (Polterovich, 2017). We do not formulate and analyze a decentralized analogue of the model. However, follow-

ing (Lucas, Moll, 2014), we consider the two versions as distinct challenging problems. Formulation and analysis of a decentralised version and a comparison of the two approaches represent perspective directions for the future research.

As a concluding remark, we would like to stress that the role of the capital-labor ratio is of special interest in two contexts representing possible directions for future model extension. The first one, described in the recent papers (Furman et al., 2016; Aghion et al., 2017; Korinek, Stiglitz, 2017), is related to studying an impact of the progress in artificial intelligence with the focus on the problem of substitution of human labor with the machine one. The side effect of such a phenomenon is a growth of unemployment and inequality.

Another possible direction is related to one of the models of economic growth described in (Sargent, Rodriguez, 2000) where the capital-labor ratio  $k$  is interpreted as a ratio of some measure of effective capital to labor  $k = E\bar{K} / L$ , where  $\bar{K}$  is a physical amount of capital units and  $E$  stands for capital effectiveness. With capital effectiveness increasing with time, the ratio  $k$  does grow. Therefore, a growth of the capital-labor ratio may be viewed as a consequence of that of the effectiveness of each unit of capital.

Additionally, it should be noted that the setting used in the present study is stylised and does not allow to address some important issues, in particular:

- an influence of the network of firms communications structure on the process of knowledge diffusion;
- an account of depreciation in the process of physical capital accumulation.

These topics also represent perspective directions for future research.

## APPENDIX

### A. Proofs

#### A.1. Change of variable in the problem $\mathcal{P}$

1. Let us assume that  $\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{u}}$  maximises the Hamiltonian  $\mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{u})$  of  $\mathcal{P}'$  with respect to  $\mathbf{u}$ . Turning to the problem in which  $u_n$  is replaced by  $\phi(F_n, s_n)$ , let us denote the Hamiltonian of this problem by  $\mathcal{H}_\phi$  and assume that  $\mathbf{s} = \hat{\mathbf{s}}$  maximises it.

Let us assume that  $\phi(F_n, \hat{s}_n) \neq \tilde{u}_n$ . Then

$$\mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \phi(F_n, \hat{s}_n)) = \mathcal{H}_\phi(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \hat{\mathbf{s}}) > \mathcal{H}_\phi(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \phi^{-1}(\tilde{u}_n | F_n)) = \mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \tilde{\mathbf{u}}),$$

which contradicts to the fact that  $\tilde{\mathbf{u}}$  maximises the Hamiltonian problem  $\mathcal{P}'$ .

2. Let us show that such a replacement does not change the differential equations on state and costate variables. For the state variables  $(f_n, n \in \mathbb{N})$  this follows from the following expression:

$$\dot{f}_n = \frac{\partial \mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \tilde{\mathbf{u}})}{\partial \lambda_n} = \frac{\partial \mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \phi(F_n, \hat{s}_n))}{\partial \lambda_n} = \frac{\partial \mathcal{H}_\phi(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \hat{\mathbf{s}})}{\partial \lambda_n}.$$

The differential equations for the costate variables ( $\lambda_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$ ) in the problem  $\mathcal{P}'$  have the following form:

$$\dot{\lambda}_n = -\partial\mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \tilde{\mathbf{u}}) / \partial f_n. \quad (31)$$

If  $u_n$  is replaced by  $\phi(F_n, s_n)$  the following expression describes the evolution of the costate variables:

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}_n &= -\frac{\partial\mathcal{H}_\phi(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \tilde{\mathbf{s}})}{\partial f_n} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\partial\mathcal{H}_\phi(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{s})}{\partial s_n} \Big|_{\tilde{s}_n} \frac{\partial \tilde{s}_n}{\partial f_n} = -\frac{\partial\mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{u})}{\partial f_n} \Big|_{\mathbf{u}=\tilde{\mathbf{u}}} - \\ &- \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\partial\mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{u})}{\partial u_n} \Big|_{\mathbf{u}=\tilde{\mathbf{u}}} \frac{\partial\phi(F_n, s_n)}{\partial f_n} \Big|_{\mathbf{s}=\tilde{\mathbf{s}}} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\partial\mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{u})}{\partial u_n} \Big|_{\mathbf{u}=\tilde{\mathbf{u}}} \frac{\partial\phi(F_n, s_n)}{\partial s_n} \Big|_{\mathbf{s}=\tilde{\mathbf{s}}} \frac{\partial \tilde{s}_n}{\partial f_n}. \end{aligned} \quad (32)$$

Let us note that if the solution is interior then

$$\left. \frac{\partial\mathcal{H}(\mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{u})}{\partial u_n} \right|_{\mathbf{u}=\tilde{\mathbf{u}}} = 0, \quad n \in \mathbb{N},$$

i.e. (30) is equivalent to (31). If the solution is on the boundary  $\phi(F_n, s_n) = 0$  (or  $u_n = 0$ ) then

$$\frac{d}{df_n} \phi(F_n, s_n) = \frac{\partial\phi}{\partial f_n} + \frac{\partial\phi}{\partial s_n} \frac{\partial s_n}{\partial f_n} = 0,$$

i.e. expressions (30) and (31) are also equivalent.

### A.2. Existence of the function $\alpha(t)$

From (17) it follows that  $\dot{\lambda}_n / g_n = \dot{\lambda}_k / g_k \forall n, k \in \mathbb{N}$ , i.e.  $\lambda_n / g_n - \lambda_k / g_k = \text{const}$ . Moreover, from the transversality condition (14') it follows that

$$\lambda_n(T) / g_n = \lambda_k(T) / g_k = 0,$$

therefore

$$\lambda_n(\tau) / g_n = \lambda_k(\tau) / g_k \quad \forall n, k \in \mathbb{N}, \quad \tau \in [t, T].$$

Put differently, there exists the function  $\alpha(\tau)$ ,  $\tau \in [t, T]$ , such as  $\lambda_n(\tau) = g_n \alpha(\tau) \forall n \in \mathbb{N}, \forall \tau \in [t, T]$ .

### A.3. Transitions over the level

Let us fix the value of  $f_{n+1}(t)$  at time  $t$ :  $f_{n+1}(t) = \varepsilon$ . The evolution of the firms fractions at the levels  $n+1$  and  $n+2$  is described by the following equations:  $\dot{f}_{n+1} = -u_{n+1}f_{n+1} + u_n f_n$ ,  $\dot{f}_{n+2} = -u_{n+2}f_{n+2} + u_{n+1}f_{n+1}$ .

Let us also introduce the following condition  $\dot{f}_{n+1} = 0$ , which holds if  $u_{n+1}(\varepsilon) = u_n f_n / \varepsilon$ , then  $\dot{f}_n = -u_n f_n + u_{n-1} f_{n-1}$ ,  $\dot{f}_{n+1} = 0$ ,  $\dot{f}_{n+2} = -u_{n+2} f_{n+2} + u_n f_n$ . For all  $\varepsilon$  one can find the corresponding  $u_{n+1}(\varepsilon)$ . Therefore, in a limiting case  $\varepsilon \rightarrow 0$  a transition looks like a transition from the level  $n$  to the level  $n+2$ . However, in such a case  $u_{n+1} \rightarrow \infty$ , in other words, the exact solution is unattainable.

#### A.4. Model with investment heterogeneity with respect to capital-labor ratio levels

The Hamiltonian and the differential equations for the state and costate variables for the problem  $\mathcal{P}^b$  are given by the following expressions:

$$\mathcal{H} = e^{-\rho(t-t_0)} U(c(\mathbf{f}, \mathbf{u})) + \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n (-v_n u_n f_n + v_{n-1} u_{n-1} f_{n-1}), \quad (10b)$$

$$\dot{f}_n = -u_n v_n f_n + u_{n-1} v_{n-1} f_{n-1}, \quad (11b)$$

$$\dot{\lambda}_n = -\left( e^{-\rho(t-t_0)} U'(c(\mathbf{f}, \mathbf{u})) (g_n - u_n) + u_n v_n (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \right), \quad (12b)$$

$$f_n(0) = \text{fix}, \quad (13b)$$

$$\lambda_n(T) = 0, \quad (14b)$$

$$u_n \geq 0, \quad n \in \mathbb{N}.$$

The first order conditions on the optimal control maximizing the Hamiltonian take the following form:

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_n} = e^{-\rho(t-t_0)} U'(c(\mathbf{f}, \mathbf{u})) (-f_n) + (\lambda_{n+1} - \lambda_n) v_n f_n \leq 0. \quad (15b)$$

The analysis below is similar to the one for the problem  $\mathcal{P}^i$  (see Paragraph 2.2) and we use the same notation as in Paragraph 2.2.

If  $f_n = 0$  the condition (15b) holds for arbitrary values of  $u_n$ . Without loss of generality we assume that in this case  $u_n = 0$ .

Let us analyse the case of  $f_n > 0$ . The first order conditions (15b) can be rewritten in the following form  $v_n (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \leq \Psi(\cdot)$ , with strict equality for  $u_n > 0$ . The last expression leads to the following conclusions:

- if  $u_n > 0$  then  $n \in \operatorname{Argmax}_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} v_m (\lambda_{m+1} - \lambda_m)$ ;
- the differential equation for  $\lambda_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  takes the following form  $\dot{\lambda}_n = -g_n \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda})$ .

Therefore, there exists  $\alpha(t)$  (see Appendix 6.2) such that  $\lambda_n(t) / g_n = \alpha(t)$ ,  $n \in \mathbb{N}$  and  $\alpha(T) = 0$ .

Analogously to Paragraph 2.2, the solution is characterised by the following properties:

- if  $n \in \operatorname{Argmax}_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} v_m \Delta_m$  then  $u_n \geq 0$ , else  $u_n = 0$ ;
- the optimal value of the consumption  $c^*$  can be obtained from the following expression

$$c^* = \begin{cases} e^{-\rho(t-t_0)} U'(c^*) = \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} v_m \Delta_m, & \text{if } U'(c_{\max}) < e^{\rho(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} v_m \Delta_m; \\ c_{\max}, & \text{otherwise;} \end{cases}$$

- the vector of optimal control  $\mathbf{u}$ , as previously, fulfills the following condition  $\mathbf{u}: \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n) f_n = c^*$ .

The differential equation for  $\alpha(t)$  has the following form:

$$\dot{\alpha} = -\Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}) \equiv \begin{cases} -e^{-\rho(t-t_0)} U'(c_{\max}), & \text{if } U'(c_{\max}) < e^{\rho(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} v_m \Delta_m; \\ -\alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} v_m \Delta_m, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Summarising, one observes that the solution in the case of heterogeneous investment effectiveness with respect to capital-labor ratio level is qualitatively equivalent to the solution of  $\mathcal{P}'$ , but the parameter  $\Delta_n$  is replaced with the product  $v_n \Delta_n$ .

#### A.5. Concavity of the Hamiltonian in the problem $\mathcal{P}^c$

The Hamiltonian of a problem  $\mathcal{P}^c$  is given by the expression (10c) which can be rewritten in the following form:

$$\mathcal{H} = e^{-\rho(t-t_0)} U \left( \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n) f_n \right) + \sum_{n=1}^{\infty} (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \chi(u_n) f_n.$$

We confine our analysis to particular expressions for  $U(\cdot)$  and  $\chi(\cdot)$ :  $U(x) = \ln(x)$ ,  $\chi(x) = \ln(1+x)$ .

In this case  $U \left( \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n) f_n \right) \equiv \ln \left( \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n) f_n \right)$  has the following Hessian matrix  $\mathbf{H}$ :

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} -f_1^2 / S & -f_1 f_2 / S & \dots & -f_1 f_n / S \\ -f_1 f_2 / S & -f_2^2 / S & \dots & -f_2 f_n / S \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -f_1 f_n / S & -f_2 f_n / S & \dots & -f_n^2 / S \end{pmatrix}, \quad (33)$$

where  $S = \left( \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n) f_n \right)^2$ . Therefore for any vector  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ :  $\mathbf{x}^T \mathbf{H} \mathbf{x} = -(f_1 x_1 + \dots + f_n x_n)^2 / S \leq 0$ , i.e. the Hessian matrix  $\mathbf{H}$  is negative semi-definite, which means the concavity of the function  $\ln \left( \sum_{n=1}^{\infty} (g_n - u_n) f_n \right)$  with respect to  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots)$ .

Therefore, if  $\forall n \in \mathbb{N}: u_n > 0 \rightarrow (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n \geq 0$ , then the Hamiltonian (10c) is concave, as it is the sum of several concave functions.

In the case of  $f_n = 0$  the above property does hold. Let us analyse the case of  $f_n > 0$ . The first order conditions in the problem of maximisation of the Hamiltonian with respect to  $u_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  have the following form:

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_n} = -e^{-\rho(t-t_0)} U'(c(\mathbf{f}, \mathbf{u})) f_n + (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n \chi'(u_n) \leq 0,$$

with equality in the case when  $u_n > 0$ . Let us analyse the case when  $u_n > 0$ , as  $\chi(0) = 0$  then the term  $(\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n \chi(u_n)$  does not appear in the Hamiltonian when  $u_n = 0$ . From the first order conditions it follows that  $\chi'(u_n)(\lambda_{n+1} - \lambda_n) = \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda})$ . Analysing the case  $\chi(x) = \ln(x+1)$  one obtains  $\lambda_{n+1} - \lambda_n = \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda})(u_n + 1) > 0$ . Therefore, the Hamiltonian is concave with respect to  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots)$ .

#### A.6. Optimal control in the model with investment effectiveness heterogeneity with respect to size

In Appendix 6.5 it was shown that in the case when:

- $U(x) = \ln(x)$ ;
- $\chi(x) = \ln(x+1)$ ;

- $f_n > 0$ ;
- $u_n > 0$ ;

the following simplification of the first order conditions can be obtained:

$$\lambda_{n+1} - \lambda_n = \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda})(u_n + 1). \quad (34)$$

Therefore, if  $u_n, u_k > 0$  than

$$\frac{u_k + 1}{u_n + 1} = \frac{\lambda_{k+1} - \lambda_k}{\lambda_{n+1} - \lambda_n}.$$

Hence, the consumption  $c(\mathbf{f}, \mathbf{u})$  is determined with the following expression:

$$\begin{aligned} c &\equiv c_{max} - \sum_{n=1}^{\infty} u_n f_n = c_{max} - \sum_{n: u_n > 0} \left( (u_{n_0} + 1) \frac{\lambda_{n+1} - \lambda_n}{\lambda_{n_0+1} - \lambda_{n_0}} - 1 \right) f_n = \\ &= c_{max} + \sum_{n: u_n > 0} f_n - \frac{u_{n_0} + 1}{\lambda_{n_0+1} - \lambda_{n_0}} - \sum_{n: u_n > 0} (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n, \end{aligned}$$

where  $n_0$  is some level for which  $u_{n_0} > 0$ .

Substituting the last expression into the first order conditions (34) one obtains the expression for any  $u_n > 0$ :

$$u_n = (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \frac{c_{max} + \sum_{n: u_n > 0} f_n}{e^{-\rho(t-t_0)} + \sum_{n: u_n > 0} (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n} - 1. \quad (35)$$

Therefore, to obtain the values of  $u_n$  one should first determine the set of levels with positive controls  $\mathcal{C}^+ = \{n \in \mathbb{N} : u_n > 0\}$ . The values of these controls are determined by (35). For convenience, let us also denote by  $\mathcal{C}^0$  the set of levels with zero controls, i.e.  $\mathcal{C}^0 = \{n \in \mathbb{N} : u_n = 0\} = \mathbb{N} \setminus \mathcal{C}^+$ . Obviously, the level  $n$  corresponding to negative value  $\lambda_{n+1} - \lambda_n$  lies in  $\mathcal{C}^0$ :  $\{n \in \mathbb{N} : \lambda_{n+1} - \lambda_n < 0\} \subseteq \mathcal{C}^0$ . Therefore, one should determine which levels  $n \in \mathbb{N}$  with non-negative values of  $(\lambda_{n+1} - \lambda_n)$  lie in  $\mathcal{C}^0$  and which in  $\mathcal{C}^+$ .

Let us assume that the set  $\mathcal{C}^+$  is known and also that  $k_0 \in \mathbb{N}$  is such that  $u_{k_0} = 0$ ,  $f_{k_0} > 0$ ,  $(\lambda_{k_0+1} - \lambda_{k_0}) \geq 0$  and  $k_+ \in \mathbb{N}$  is such that  $u_{k_+} > 0$ . One can notice, that from the first order conditions it follows that  $\lambda_{k_0+1} - \lambda_{k_0} < \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}) = (\lambda_{k_++1} - \lambda_{k_+}) / (u_{k_+} + 1) < \lambda_{k_++1} - \lambda_{k_+}$ . Therefore, if

$$u_{k_+} = (\lambda_{k_++1} - \lambda_{k_+}) \frac{c_{max} + \sum_{n \in \mathcal{C}^+} f_n}{e^{-\rho(t-t_0)} + \sum_{n \in \mathcal{C}^+} (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n} - 1 > 0,$$

then<sup>10</sup>

$$(\lambda_{k_++1} - \lambda_{k_+}) \frac{c_{max} + \sum_{n \in \mathcal{C}^+} f_n + f_{k_0}}{e^{-\rho(t-t_0)} + \sum_{n \in \mathcal{C}^+} (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n + (\lambda_{k_0+1} - \lambda_{k_0}) f_{k_0}} - 1 > u_{k_+} > 0,$$

which means that if one "occasionally" adds the level  $k_0$  (corresponding to zero control) to the set  $\mathcal{C}^+$ , the values of true positive controls will remain positive. This remark leads to the following algorithm of determination of  $\mathcal{C}^0$  and  $\mathcal{C}^+$ .

10 This follows immediately from inequalities specified below. Let  $a > b > 0$ ,  $x > y > 0$ . Then  $(a+x)/(b+y) > (a+x)/(b+y) > a/b$ . In the main text the following mapping is used:

$$a = (\lambda_{k_++1} - \lambda_{k_+}) (c_{max} + \sum_{n \in \mathcal{C}^+} f_n), \quad b = e^{-\rho(t-t_0)} + \sum_{n \in \mathcal{C}^+} (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n, \quad x = (\lambda_{k_++1} - \lambda_{k_+}) f_{k_0}, \quad y = (\lambda_{k_0+1} - \lambda_{k_0}) f_{k_0}.$$

```

 $i \leftarrow 0;$ 
 $\mathcal{C}^{0(0)} \leftarrow \{n \in \mathbb{N} : \lambda_{n+1} - \lambda_n < 0\};$ 
 $\mathcal{C}^{+(0)} \leftarrow \mathbb{N} \setminus \mathcal{C}^0;$ 
 $u_n^{(0)} = \begin{cases} 0, & \text{if } n \in \mathcal{C}^{0(0)}, \\ (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \frac{c_{max} + \sum_{n \in \mathcal{C}^{+(0)}} f_n}{e^{-\rho(t-t_0)} + \sum_{n \in \mathcal{C}^{+(0)}} (\lambda_{n+1} - \lambda_n) f_n} - 1, & \text{otherwise;} \end{cases}$ 
 $\text{while } \exists n \in \mathcal{C}^{+(i)} : u_n^{(i)} < 0 \text{ do}$ 
 $\quad \mathcal{C}^{0(i+1)} \leftarrow \{n : u_n^{(i)} < 0\} \cup \mathcal{C}^{0(i)};$ 
 $\quad \mathcal{C}^{+(i+1)} \leftarrow \mathcal{C}^{+(i)} \setminus \mathcal{C}^{0(i+1)};$ 
 $\quad u_n^{(i+1)} = \begin{cases} 0, & \text{if } n \in \mathcal{C}^{0(i+1)}, \\ (\lambda_{n+1} - \lambda_n) \left( c_{max} + \sum_{n \in \mathcal{C}^{+(i+1)}} f_n \right) - 1, & \text{otherwise;} \end{cases}$ 
 $\quad i \leftarrow i + 1.$ 
 $\text{end}$ 
 $\mathcal{C}^0 \leftarrow \mathcal{C}^{0(i)};$ 
 $\mathcal{C}^+ \leftarrow \mathcal{C}^{+(i)};$ 
 $u_n \leftarrow u_n^{(i)}.$ 

```

The algorithm output determines the sets  $\mathcal{C}^0$  and  $\mathcal{C}^+$  which makes it possible to determine the value of  $u_n$  for any  $n \in \mathbb{N}$  from the formulae (29).

### B. Solution in the case of decreasing returns to scale

Let us show how the boundary value problem (11')–(14') can be rewritten in the form of the system of non-linear equations.

To simplify the analysis we will analyse the logarithmic utility  $U(c) = \ln(c)$ . Let:

- the initial distribution have the form  $f_n(0) = f_n^0$ ,  $n \in \mathbb{N}$ ;
- $f_1^0 > 0$  (in other case we can renumber the levels);
- $t_0 = 0$ .

The boundary value problem for  $\mathcal{P}'$  is defined by (21)–(24).

Let us divide the time interval  $[0, T]$  into a set of disjoint intervals:  $[0, t_1], [t_1, t_2], \dots, [t_s, T]$ , where  $t_i$  is the moment when all firms from the levels lower than  $(i+1)$  are moved to the level  $(i+1)$ . When  $t \in [t_{i-1}, t_i]$   $\Delta_{m^*(t)}$  is equal to  $\Delta_i$ .

We will refer to  $t_s$  as to the “stop time”, i.e.  $t > t_s : u_n(t) = 0 \quad \forall n \in \mathbb{N}$ . The moments  $t_1, \dots, t_{s-1}$  we will call “transition time points”.

From (20) it follows that  $\alpha(\tau) = C_i e^{-\Delta_i \tau}$ ,  $\tau \in [t_{i-1}, t_i]$ ,  $i \leq s$ , where  $C_i$  is some constant. To ensure the continuity of  $\alpha(t)$  the following

condition on  $C_i$ ,  $i \leq s$  should hold  $C_i e^{-\Delta_i t_{i-1}} = C_{i-1} e^{-\Delta_{i-1} t_{i-1}}$ , or, equivalently,  $C_i = C_1 e^{(\Delta_2 - \Delta_1)t_1} e^{(\Delta_3 - \Delta_2)t_2} \dots e^{(\Delta_i - \Delta_{i-1})t_{i-1}}$ . In addition let us note that  $f_{i+1}(t) + f_i(t) = \sum_{k=1}^{i+1} f_k^0$ ,  $t \in [t_{i-1}, t_i]$ .

The evolution of the fraction of the firms on the level  $i$  takes the following form:  $\dot{f}_i = -f_i \Delta_i + F_i + (C_i \Delta_i)^{-1} e^{(\Delta_i - \rho)\tau}$ ,  $\tau \in [t_{i-1}, t_i]$ , where  $F_i = \sum_{k=i+2}^{\infty} f_k^0 g_k + g_{i+1} \sum_{k=1}^{i+1} f_k^0$ . The solution of the inhomogeneous linear equation (B) is given by the following expression:

$$f_i = \frac{F_i}{\Delta_i} + G_i e^{-\Delta_i \tau} + \frac{(C_i \Delta_i)^{-1}}{2\Delta_i - \rho} e^{(\Delta_i - \rho)\tau},$$

where  $G_i$  is a constant that is determined from the following condition:  $f_i(t_{i-1}) = \sum_{k=1}^i f_k^0$ . The transition time point  $t_i$  can be found from the following condition  $t_i : f_i(t_i) = 0$ .

The stop time  $t_s$  is determined by the following condition:

$$C_i e^{-\Delta_i t_s} \Delta_i = \frac{e^{-\rho t_s}}{c_{\max}(t_s)} = \frac{e^{-\rho t_s}}{\sum_{k=i+2}^{\infty} g_k f_k^0 + g_i f_i(t_s) + g_{i+1} f_{i+1}(t_s)},$$

or, equivalently,

$$\Delta_i \left\{ C_i \left( \sum_{k=i}^{\infty} g_k f_k^0 + g_i \sum_{k=1}^{i-1} f_k^0 \right) e^{-(2\Delta_i - \rho)t_s - \Delta_i t_{i-1}} + \left( e^{-\Delta_i(t_s - t_{i-1})} - 1 \right) / (2\Delta_i - \rho) \right\} = 1.$$

When  $t > t_s$  the differential equation on  $\alpha(t)$  has the following form  $\dot{\alpha} = -e^{-\rho t} / c_{\max}(t_s)$ ,  $\tau \in [t_s, T]$ , from which it follows  $\alpha(\tau) = e^{-\rho \tau} / (\rho c_{\max}(t_s)) + C^T$ , where  $C^T$  can be found from the transversality condition  $\alpha(T) = 0$ :  $C^T = e^{-\rho T} / (\rho c_{\max}(t_s)) + C^T$ . In addition, to ensure continuity of the function  $\alpha(t)$  in  $t = t_s$  the following condition should hold  $C_i e^{-\Delta_i t_s} = (e^{-\rho t_s} - e^{-\rho T}) / \rho c_{\max}(t_s)$ , or, considering (B),  $e^{-\rho T} = e^{-\rho t_s} (1 - \rho / \Delta_i)$ .

Therefore, the solution of boundary value problem (21)–(24) is the same as one of the following system of non-linear equations:

$$f_1(C_1, t_1) = 0; \quad f_2(C_1, t_1, t_2) = 0; \quad \dots; \quad f_{i-1}(C_1, t_1, \dots, t_{i-1}) = 0;$$

$$C_i e^{-\Delta_i t_s} = e^{-\rho t_s} / c_{\max}(t_s); \quad e^{-\rho T} = e^{-\rho t_s} (1 - \rho / \Delta_i); \quad t_s < t_i.$$

The number of equations in the above system is determined by the parameters of the problem.

### C. Solution in the case with exogenous TFP growth

The problem with two growth factors, exogenous TFP and endogenous capital-labor ratio level (problem  $\mathcal{P}^a$ ), can be formalised by the following series of equations:

$$W = \int_{t_0}^T e^{-\rho(t-t_0)} U(c(t)) dt \rightarrow \max_{u_n(\cdot), n \in \mathbb{N}}, \quad (2a)$$

$$c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (e^{\gamma(t-t_0)} g_n - u_n(t)) f_n(t), \quad (3a)$$

$$\frac{df_n(d)}{dt} = -u_n f_n + u_{n-1} f_{n-1}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (5a)$$

$$f_n(0) = \text{fix}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (6a)$$

$$u_n(t) \geq 0. \quad (7a)$$

The analysis of this case is completely analogous to the one presented in Section 2.2. The solution is characterised by the following properties:

- if  $n \in \text{Arg max}_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m$  then  $u_n \geq 0$ , else  $u_n = 0$ ;
- optimal value of consumption  $c^*$  can be obtained from the following expression

$$c^* = \begin{cases} U'^{-1}\left(e^{\rho(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m\right), & \text{if } U'(c_{\max}) < e^{\rho(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m; \\ c_{\max}, & \text{otherwise;} \end{cases}$$

where  $c_{\max} = \sum_{n=1}^{\infty} e^{\gamma(t-t_0)} g_n f_n$ ;

- the vector of optimal control  $\mathbf{u}$  fulfils the following condition  

$$\mathbf{u} : \sum_{n=1}^{\infty} (e^{\gamma(t-t_0)} g_n - u_n) f_n = c^*.$$

The differential equation for  $\alpha(t) \equiv \lambda_n(t) / g_n \forall n \in \mathbb{N}$  has the following form:

$$\dot{\alpha} = -e^{\gamma(t-t_0)} \Psi(t, \mathbf{f}, \boldsymbol{\lambda}) \equiv \begin{cases} -e^{(\gamma-\rho)(t-t_0)} U'(c_{\max}), & \text{if } U'(c_{\max}) < e^{\rho(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m; \\ -e^{\gamma(t-t_0)} \alpha \max_{m \in \mathbb{N}: f_m > 0} \Delta_m, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

## REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА

- Acemoglu D., Cao D.** (2015). Innovation by entrants and incumbents. *Journal of Economic Theory*, 157, 255–294.
- Aghion P., Howitt P.** (1998). *Endogenous growth theory*. Cambridge, London: MIT Press.
- Aghion P., Jones B. F., Jones C.I.** (2017). Artificial intelligence and economic growth. *NBER Working Paper Series*, 23928, 56.
- Aleksandrova A.Y.** (2015). Running wave speed analysis in one Polterovich-Henkin model modification. *Proceedings of MIPT*, 7 (4), 11–16 (in Russian).
- [Александрова А.Ю. (2015). Исследование скорости бегущей волны в одной модификации модели Полтеровича-Хенкина // Труды Московского физико-технического института, 7 (4), 11–16.]
- Arrow K.J.** (1962). The economic implications of learning by doing. *The Review of Economic Studies*, 29 (3), 155–173.
- Blanchard O.J., Fischer S., Blanchard O.A.** (1989). *Lectures on macroeconomics*. Cambridge, London: MIT press.
- Furman J., Holdren J.P., Munoz C., Smith M., Zients J.** (2016). *Artificial intelligence, automation, and the economy*. December. Washington: United States Executive Office of the President.

- Henkin G.** (2012). Burgers type equations, Gelfand's problem and Schumpeterian dynamics. *Journal of Fixed Point Theory and Applications*, 11 (2), 199–223.
- Henkin G., Polterovich V.** (1999). A difference-differential analogue of the burgers equation and some models of economic development. *Discrete and Continuous Dynamical Systems*, 5 (4), 697–728.
- Henkin G.M., Polterovich V.M.** (1991). Shumpeterian dynamics as a non-linear wave theory. *Journal of Mathematical Economics*, 20, 551–590.
- König M.D., Lorenz J., Zilibotti F.** (2016). Innovation vs. imitation and the evolution of productivity distributions. *Theoretical Economics*, 11 (3), 1053–1102.
- Korinek A., Stiglitz J.E.** (2017). Artificial intelligence and its implications for income distribution and unemployment. *NBER Working Paper*, 24174, 1–44.
- Leonardi M.** (2007). Firm heterogeneity in capital-labor ratios and wage inequality. *The Economic Journal*, 117, 375–398.
- Lucas R.E., Moll B.** (2014). Knowledge growth and the allocation of time. *Journal of Political Economy*, 122 (1), 1–51.
- Luttmer E.G.J.** (2012). Eventually, noise and imitation implies balanced growth. *Federal Reserve Bank of Minneapolis Working Paper*, (699), 1–30.
- Polterovich V.** (2017). The theory of endogenous economic growth and equations of mathematical physics. *The Journal of the New Economic Association*, 2 (34), 193–201 (in Russian). [Полтерович В.М. (2017). Теория эндогенного экономического роста и уравнения математической физики // Журнал Новой экономической ассоциации, 2 (34), 193–201.]
- Polterovich V., Henkin G.** (1990). An evolutionary model with interaction between development and adoption of new technologies. *Matekon*, 26(3), 44–64.
- Sargent T.C., Rodriguez E.R.** (2000). Labor or total factor productivity: Do we need to choose? *International Productivity Monitor*, 1, 41–44.
- Schumpeter J.A.** (1961). The theory of economic developments: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. Harvard: Harvard University Press.
- Wright T.P.** (1936). Factors affecting the cost of airplanes. *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3 (4), 122–128.

Received 10.12.2019

Поступила в редакцию 10.12.2019

**А.В. Леонидов**

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва; (НИУ)  
Московский физико-технический институт, Долгопрудный

**Е.Е. Васильева**

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва; (НИУ)  
Московский физико-технический институт, Долгопрудный

**Шумпетерианская эволюция  
распределения фирм по величине  
капиталовооруженности**

**Аннотация.** В соответствии с идеей Й. Шумпетера существует два ключевых драйвера экономического роста. В ряде работ эта идея реализована в формализме кинетических уравнений. В этих работах предполагается, что общая факторная производительность (ОФП) – единственный фактор эффективности работы фирм. Более полным является описание процесса экономического развития, включающее разные факторы эффективности, например ОФП и капиталовооруженность. В данной работе сделан предварительный шаг к построению модели с двумя факторами. Рассмотрена модель центрального планирования, эндогенный рост в которой обеспечивается капиталовооруженностью. Представленная модель описывает эволюцию распределения фирм по уровням капиталовооруженности вдоль оптимальной траектории в форме дифференциально-разностного аналога уравнения Бюргерса. Показано, что в случае, когда эффективность инвестиций не зависит от объема, а производство описывается убывающей отдачей от масштаба, фирмы концентрируются на одном уровне капиталовооруженности. Однако, в предположении убывания эффективности инвестиций с ростом объема, ширина распределения фирм по уровням капиталовооруженности увеличивается во времени. Кроме того, показано, что данный результат может сохраняться для случая возрастающей отдачи от масштаба.

**Ключевые слова:** *шумпетерианская динамика, экономический рост, капиталовооруженность, распределение фирм, уравнение Бюргерса.*

Классификация JEL: O33, E22, C61, C65.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-1

### С.М. Анцыз

Институт математики им. С.Л. Соболева, Новосибирск;  
Новосибирский национальный исследовательский государственный  
университет, Новосибирск

### С.М. Лавлинский

Институт математики им. С.Л. Соболева, Новосибирск;  
Новосибирский национальный исследовательский государственный  
университет, Новосибирск; Забайкальский государственный  
университет, Чита

### А.А. Панин

Институт математики им. С.Л. Соболева, Новосибирск;  
Новосибирский национальный исследовательский государственный  
университет, Новосибирск

### А.В. Плясунов

Институт математики им. С.Л. Соболева, Новосибирск;  
Новосибирский национальный исследовательский государственный  
университет, Новосибирск

## Двухуровневые модели формирования инвестиционной и налоговой политики в ресурсном регионе<sup>1</sup>

**Аннотация.** В статье изучается механизм формирования инвестиционной и налоговой политики в ресурсном регионе, в рамках которого государство дает налоговые льготы и оказывает помочь инвестору в создании инфраструктуры и реализации части природоохранных мероприятий. Для этого формулируется модель двухуровневого математического программирования и на реальных данных Забайкальского края изучаются свойства равновесных решений и программ освоения минерально-сырьевой базы, разработанных на их основе. Результаты моделирования говорят о необходимости учета комплементарности мер инвестиционной и налоговой политики в процессе стратегического планирования. В общем случае для стимулирования частных инвестиций государство должно использовать полный набор инструментов – строить инфраструктуру, реализовывать часть необходимых природоохранных мероприятий и предоставлять некоторым сырьевым проектам налоговые льготы определенного уровня. Методология формирования такой политики должна быть основана на анализе предложений инвесторов, общих планах развития территории и поиске компромисса интересов бюджета, населения и частного инвестора. Область применения результатов исследования – разработка программы освоения минерально-сырьевой базы, включающей планы развития производственной инфраструктуры и формирования пакетов инвестиционных предложений, определяющих размеры предоставляемых налоговых льгот.

**Ключевые слова:** программа освоения минерально-сырьевой базы, инвестиционная политика, налоговые льготы, производственно-инфраструктурные проекты, раздел ренты, двухуровневые задачи математического программирования.

**Классификация JEL:** C61, Q32, Q58, H32.

**DOI:** 10.31737/2221-2264-2020-48-4-2

<sup>1</sup> Авторы благодарны анонимному рецензенту, замечания которого позволили радикально улучшить текст статьи. Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 19-010-00910 и 20-010-00151).

## 1. Введение

В современных российских условиях проблема устойчивого развития ресурсного региона приобретает специфические черты, требующие дополнительных инструментов воздействия на инвестора. Ключевую роль здесь играют меры инвестиционной и налоговой политики, предпринимаемые государством для стимулирования инвестиционной активности бизнеса.

Для большинства сибирских и северных регионов характерна ситуация, когда инвестор не может реализовать инвестиционный проект, поскольку для этого нет необходимой инфраструктуры, а государство не хочет вкладывать деньги в инфраструктурные проекты, пока нет уверенности в том, что эта инфраструктура будет загружена. Для сырьевых территорий с экстремальными природно-климатическими условиями на первый план зачастую выходят проблемы, связанные с затратами на реализацию необходимых природоохранных мероприятий, объем которых дестимулирует потенциального инвестора.

Налоговые льготы – эффективный рычаг подъема уровня заинтересованности инвестора в реализации проекта. В процессе оценки рентабельности проекта освоения месторождения узким местом является налоговая нагрузка. Это связано с нестабильностью ставок налогообложения и порядка его администрирования. В этих условиях налоговые льготы обеспечивают дополнительные возможности достижения компромисса интересов инвестора и государства. В ряде случаев это дает возможность обеспечить достаточную рентабельность даже в периоды низких цен.

Практический опыт говорит о том, что государство, решая вышеперечисленные проблемы, применяет традиционные инструменты поддержки бизнеса. Используя средства Инвестиционного фонда РФ, оно строит производственную инфраструктуру (см., например, проект «Создание транспортной инфраструктуры для освоения минерально-сырьевых ресурсов юго-востока Читинской области» (Glazyrina et al., 2014)), финансирует реализацию большого комплекса природоохранных мероприятий, связанных со строительством водохранилища Богучанской ГЭС в проекте «Комплексное развитие Нижнего Приангарья» (Lavlinskii, 2010).

Среди практических мер налоговой политики, используемых в недропользовании, основная роль отведена налоговым льготам. Практика предоставления налоговых преференций в нефтегазовых регионах поставлена на поток, но зачастую именно она порождает сомнения в выполнении льготами своего предназначения и в предоставлении их тем, кому они действительно нужны (Токарев, 2000; Герман, Макарова, 2017). Налоговый режим соглашения о разделе продукции, механизма которого разработан специально для применения в нестабильных экономиках, по ряду причин так и не стал разумным дополнением системы лицензионных соглашений (Johnston, 1994; Лавлинский, 2000).

Проблема анализа взаимосвязи между различными мерами государственной политики и региональным экономическим ростом широко освещается в литературе. Основной урок, который можно извлечь из обзора литературы по региональному развитию, заключается в том, что какой-то один стимул или вид деятельности по развитию не может привести к успеху программы или проекта (Lall, 1999). В этих условиях исследование комплементарности мер государственной поддержки – важное направление поиска, в рамках которого необходимо определить принципы согласования планов инвестиций в инфраструктуру и налоговых льгот (Chhibber, Dailami, 1990).

Задача формирования механизмов стимулирования частных инвестиций и оценка их результативности до сих пор не решена в России. Устоявшаяся практика принятия таких решений в недропользовании оперирует, в основном, политическими аргументами и простыми оценками эффективности принимаемых решений, основанными на анализе технологических проектов и текущих сырьевых цен. Априорная уверенность в том, что всякая комбинация инструментов поддержки бизнеса всегда приносит положительный результат, не имеет под собой оснований, если мы ставим задачу соблюдения интересов не только частного бизнеса, но и общества в целом.

Эту задачу невозможно решить в отрыве от проблем стратегического планирования, ядром которого является формирование программы освоения минерально-сырьевой базы (МСБ). В рамках такой программы необходимо выбрать проекты создания производственной инфраструктуры, стимулирующие развитие территории и привлечение инвесторов. Кроме того, должны быть определены возможные объемы дополнительных налоговых льгот и помощи инвестору в природоохранном строительстве. Вкупе планируемые действия должны обеспечивать соблюдение основных принципов устойчивого развития и получение обществом возможно большей части ренты как стоимости, созданной природой.

Каким должен быть механизм стимулирования частных инвестиций, объединяющий меры инвестиционной и налоговой политики государства и заложенный в основу программы освоения природных ресурсов территории?

Имеющийся практический опыт говорит о высоком уровне сложности этой задачи даже на среднесрочных временных горизонтах. А если говорить о долгосрочном горизонте и проблемах устойчивого развития, то, вообще говоря, нужен специальный экономико-математический инструментарий формирования политики и программы освоения, построенной на ее основе, а также анализ свойств ожидаемой траектории развития территории с точки зрения обеспечения компромисса интересов государства, населения и частного инвестора (Лавлинский, 2008).

Эта проблема находится в центре внимания настоящей работы. Основная цель – разработка и апробация модельного инструментария

поддержки процесса принятия управленческих решений в области формирования инвестиционной и налоговой политики в ресурсном регионе. Такой инструментарий – основа практической методологии, позволяющей решить, в каких условиях предпочтительны налоговые льготы и в каких – предпочтительны инвестиции государства в инфраструктурные и природоохранные проекты, включая ответ на вопрос, для кого они предпочтительны (бюджет, инвестор, население региона).

Предлагаемый подход основан на аппарате двухуровневого программирования (Dempe, 2002) и учитывает особенности иерархии взаимодействия государства и частного инвестора в минерально-сырьевом секторе. Результаты исследования говорят о необходимости учета комплементарности мер государственной поддержки в ресурсном регионе. В общем случае в процессе разработки стратегии освоения МСБ государство должно формировать инвестиционную и налоговую политику, используя полный набор инструментов – строя инфраструктуру, реализуя часть необходимых природоохранных мероприятий и давая некоторым сырьевым проектам налоговые льготы определенного уровня. Пропорции использования отдельных мер инвестиционной и налоговой политики могут быть определены в результате решения двухуровневой задачи математического программирования, информационная база которой строится на основе анализа предложений инвесторов и общих планов развития территории. Это позволяет достичь компромисса интересов бюджета, населения, частных инвесторов и сформировать программу освоения природно-ресурсного комплекса, эффективную в долгосрочном плане.

## 2. Модельный инструментарий

Как выбрать меры инвестиционной и налоговой политики в рамках долгосрочной стратегии развития конкретного сырьевого региона? Объем и направления государственных инвестиций в инфраструктуру определяется на основе анализа открывающихся рентабельных для инвестора проектов освоения месторождений и мультипликативных эффектов строящейся инфраструктуры в несырьевом секторе региональной экономики (Weisbrod, Lynch, Meyer, 2009; Lakshmanan, 2011; Mackie, Worsley, Eliasson, 2014).

Налоговые льготы – один из наиболее распространенных способов государственного стимулирования инвестиционной деятельности. Однако при установлении льгот, которые уменьшают доходы бюджета, необходимо оценить их эффективность и значимость для инвесторов. Виды налоговых льгот и их влияние на процесс инвестирования исследовались в ряде работ (Cummins, Hassett, Hubbard, 1996; Hall, Jorgenson, 1967; Feldstein, Flemming, 1971; Vergara, 2010; Romer C., Romer D., 2010; Yagan, 2015). Использованные в них модели в основном посвящены анализу влияния налогов на соотношение выгод и издержек от инвестирования. Некоторые авторы моделируют дополнитель-

ный канал влияния налогов на инвестиции в условиях ограниченного доступа к финансированию и показывают, как снижение налоговой нагрузки способно положительно повлиять на инвестиции за счет увеличения денежного потока (Fazzari, Hubbard, Petersen et al., 1988).

Для развивающихся экономик налоговые льготы могут как создавать стимулы к инвестированию, так и препятствовать осуществлению инвестиций (Broadway, Anwar, 1992; Klemm, Parys, 2012; Zolt, 2015). В работах российских исследователей (Karzanova, 2002; Васильева, Гурвич, Субботин, 2003) акцент делается на отдельных элементах эмпирического анализа влияния налогов на инвестиции компаний, что позволяет лишь косвенно оценить влияние налогов на инвестиции.

По мнению ряда авторов, для полноценного ответа на вопрос о том, как изменение налоговой системы влияет на уровень инвестиций, нужна модель общего равновесия (Zwick, Mahon, 2017; Лазарян, Черноталова, 2017). Авторы настоящей статьи разделяют эту позицию и видят свою задачу в разработке модели формирования инвестиционной и налоговой политики государства в ресурсном регионе на основе поиска общего равновесия, в рамках которого достигается компромисс интересов всех участвующих сторон – государства, населения и инвестора.

Согласно сложившейся практики принятия управлеченческих решений в минерально-сырьевом комплексе (МСК) для моделирования особенностей процесса нахождения такого компромисса может быть использован подход, основанный на двухуровневом программировании (Dempe, 2002). Лидером (верхний уровень) здесь выступает государство, дающее налоговые льготы и запускающее природоохранные и инфраструктурные проекты в соответствии с выбранной инвестиционной и налоговой политикой. Это не только развивает экономику территории, но и устраняет проблему дополнительных затрат инвестора, связанных с привязкой проектов к территории, открывая возможность рентабельного освоения месторождений. В роли Последователя (нижний уровень) выступает частный инвестор, который рационально выбирает программу освоения МСБ в ответ на проводимую государством политику.

Входные и выходные параметры такой модели могут быть описаны следующим образом. Основные объекты в модели – наборы инфраструктурных и производственных проектов, реализуемых государством и частным инвестором соответственно, а также совокупность экологических (природоохранных) проектов, необходимых для компенсации экологических потерь. Дополнительно на входе модели задаются возможные варианты налоговых преференций для производственных проектов.

На выходе модели мы получаем программу развития территории (набор запускаемых инфраструктурных и производственных проектов), механизм раздела затрат в процессе реализации экологических

проектов между государством и инвестором и сценарий льготирования по отдельным производственным проектам.

Формальное описание модели может быть представлено следующим образом. Введем обозначения:  $NP$ ,  $NI$  и  $NE$  – число производственных, инфраструктурных и экологических проектов соответственно;  $NM$  – число возможных уровней налоговых льгот;  $T$  – горизонт планирования;  $i=1, \dots, NP$ ;  $j=1, \dots, NI$ ;  $k=1, \dots, NE$ ;  $m=1, \dots, NM$ ;  $t=1, \dots, T$ .

Производственный проект  $i$  в году  $t$ :  $CFP_{it}$  – поток наличности проекта;  $EPP_{it}$  – стоимостная оценка экологического ущерба от реализации проекта;  $DBP_{it}$  – бюджетные доходы от реализации проекта;  $ZPP_{it}$  – доходы населения (заработка плата) в проекте;  $TP_{imt}$  – объем налоговой льготы уровня  $m$ .

Инфраструктурный проект  $j$  в году  $t$ :  $ZI_{jt}$  – затраты на реализацию проекта;  $EPI_{jt}$  – стоимостная оценка экологического ущерба от реализации проекта;  $VDI_{jt}$  – доходы государства от развития экономики территории при реализации проекта, непосредственно не связанные с недропользованием;  $ZPI_{jt}$  – доходы населения (заработка плата) в проекте.

Экологический проект  $k$  в году  $t$ :  $ZE_{kt}$  – затраты на реализацию проекта;  $EDE_{kt}$  – стоимостная оценка доходов населения, полученных в результате реализации проекта;  $ZPE_{kt}$  – заработка плата, полученная в процессе реализации проекта.

$\mu_{ij}$  – индикатор технологической связности производственных и инфраструктурных проектов, равный 1, если для реализации производственного проекта  $i$  необходима реализация инфраструктурного проекта  $j$ , и равный 0 в остальных случаях.

$v_{ik}$  – индикатор связности производственных и экологических проектов, равный 1, если реализация производственного проекта  $i$  требует реализации экологического проекта  $k$ , и равный 0 в остальных случаях.

$DG$ ,  $DI$  – дисконты государства и инвестора соответственно;  $BudG_i$ ,  $BudI_i$  – бюджетные ограничения государства и инвестора соответственно.

Будем использовать следующие булевые переменные:  $x_j = 1$ , если государство реализует инфраструктурный проект  $j$ , иначе  $x_j = 0$ ;  $y_k = 1$ , если государство реализует экологический проект  $k$ , иначе  $y_k = 0$ ;  $\bar{y}_k = 1$ , если государство готово реализовать экологический проект  $k$ , иначе  $\bar{y}_k = 0$ ;  $\phi_{im} = 1$ , если государство предоставляет производственному проекту  $i$  льготу уровня  $m$ , иначе  $\phi_{im} = 0$ ;  $\bar{\phi}_{im} = 1$ , если государство готово предоставить производственному проекту  $i$  льготу уровня  $m$ , иначе  $\bar{\phi}_{im} = 0$ ;  $z_i = 1$ , если инвестор запускает производственный проект  $i$ , иначе  $z_i = 0$ ;  $u_k = 1$ , если инвестор запускает экологический проект  $k$ , иначе  $u_k = 0$ .

Модель формирования инвестиционной и налоговой политики может быть представлена в виде следующей двухуровневой задачи математического программирования.

*Задача государства.* Максимизировать чистый приведенный доход государства и населения

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^{NP} (DBP_{it} + ZPP_{it} - EPP_{it}) z_i - \sum_{i=1}^{NP} \sum_{m=1}^{NM} TP_{imt} \phi_{im} + \right. \\ & \quad \left. + \sum_{j=1}^{NI} (VDI_{jt} + ZPI_{jt} - EPI_{jt} - ZI_{jt}) x_j + \right. \\ & \quad \left. + \sum_{k=1}^{NE} (EDE_{kt} + ZPE_{kt} - ZE_{kt}) y_k + \sum_{k=1}^{NE} (EDE_{kt} + ZPE_{kt}) u_k \right] / (1+DG)^t \Rightarrow \max \end{aligned} \quad (1)$$

при условиях:

$$\sum_{j=1}^{NI} ZI_{jt} x_j + \sum_{k=1}^{NE} ZE_{kt} \bar{y}_k \leq BudG_t, \quad t = 1, \dots, T, \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^{NM} \bar{\phi}_{im} \leq 1, \quad i = 1, \dots, NP, \quad (3)$$

$$x_j, \bar{y}_k, \bar{\phi}_{im} \in \{0;1\}, \quad j = 1, \dots, NI; \quad k = 1, \dots, NE; \quad i = 1, \dots, NP; \quad m = 1, \dots, NM, \quad (4)$$

$$(y, z, u, \phi) \in F^*(x, \bar{y}, \bar{\phi}), \quad (5)$$

где  $F^*(x, \bar{y}, \bar{\phi})$  – множество оптимальных решений задачи инвестора.

*Задача инвестора.* Максимизировать суммарный чистый приведенный доход

$$\sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^{NP} \left( CFP_{it} z_i + \sum_{m=1}^{NM} TP_{imt} \phi_{im} \right) - \sum_{l=1}^{NE} ZE_{lt} u_l \right] / (1+DI)^t \Rightarrow \max \quad (6)$$

при условиях:

$$-\sum_{i=1}^{NP} \left( CFP_{it} z_i + \sum_{m=1}^{NM} TP_{imt} \phi_{im} \right) + \sum_{l=1}^{NE} ZE_{lt} u_l \leq BudI_t, \quad (7)$$

$$\sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^{NP} \left( CFP_{it} z_i + \sum_{m=1}^{NM} TP_{imt} \phi_{im} \right) - \sum_{l=1}^{NE} ZE_{lt} u_l \right] / (1+DI)^t \geq 0, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^{NP} (ZPP_{it} - EPP_{it}) z_i + \sum_{j=1}^{NI} (ZPI_{jt} - EPI_{jt}) x_j + \right. \\ & \quad \left. + \sum_{k=1}^{NE} (EDE_{kt} + ZPE_{kt}) (y_k + u_k) \right] / (1+DG)^t \geq 0, \end{aligned} \quad (9)$$

$$x_j \geq z_i \mu_{ij}, \quad i = 1, \dots, NP; \quad j = 1, \dots, NI, \quad (10)$$

$$y_k + u_k \geq z_i v_{ik}, \quad i = 1, \dots, NP; \quad k = 1, \dots, NE, \quad (11)$$

$$y_k + u_k \leq 1, \quad k = 1, \dots, NE, \quad (12)$$

$$y_k + u_k \leq \sum_{i=1}^{NP} z_i v_{ik}, \quad k = 1, \dots, NE, \quad (13)$$

$$y_k \leq \bar{y}_k, \quad k = 1, \dots, NE, \quad (14)$$

$$\phi_{im} \leq \bar{\phi}_{im}, \quad i = 1, \dots, NP, \quad m = 1, \dots, NM, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & y_k, z_i, u_k, \phi_m \in \{0;1\}, \quad i = 1, \dots, NP; \quad k = 1, \dots, NE; \\ & j = 1, \dots, NI; \quad m = 1, \dots, NM. \end{aligned} \quad (16)$$

Целевая функция государства представляет собой чистый дисконтированный доход пары «государство – население»<sup>2</sup> и состоит из трех частей (1). Первая часть складывается из доходов государства и населения от производственных проектов с учетом экологических потерь, связанных с их реализацией, и налоговых льгот всех уровней; вторая и третья части – с реализацией инфраструктурных и экологических проектов.

Ограничения (2) гарантируют, что затраты государства на инфраструктуру и экологию не выйдут за рамки бюджета. Ограничения (3) запрещают государству предоставлять сразу несколько налоговых льгот разного уровня одному проекту. Ограничения (5) означают, что инвестор действует оптимальным для себя образом.

Доход частного инвестора определяется целевой функцией (6). Из (7) следует, что затраты инвестора в каждый год не превышают бюджета с учетом доходов от реализации инвестиционных проектов и налоговых льгот. Выполнение (9) говорит о достижении компромисса между интересами населения и частного инвестора – полученная заработка плата и доходы от реализации экологических проектов пре- восходят стоимостную оценку негатива от загрязнения окружающей среды. Получение нормальной прибыли инвестором обеспечивает (8). Ограничения (10)–(12) определяют технологическую связность проектов и невозможность реализации одних и тех же экологических проектов одновременно инвестором и государством. Ограничение (13) блокирует запуск автономного экологического проекта без запуска какого-либо из связанных с ним производственных проектов, а (14)–(15) гарантируют реализацию государством только включенных в бюджет экологических проектов и использование инвестором только предложенных льгот.

Таким образом, Лидер (государство) решает задачу верхнего уровня, пытаясь найти компромисс между интересами населения и доходами бюджета, а рентоориентированный инвестор (Последователь) стремится получить максимальную рентабельность на основе сигналов о выбиралась инвестиционной и налоговой политике государства.

Рентная оценка конкретного месторождения – это *NPV* проекта освоения с дисконтом государства за вычетом *NPV* соответствующего экологического проекта. Конструкция целевой функции государства построена так, чтобы в первом слагаемом были отражены доходы бюджета, а в третьем – затраты на реализацию экологических проектов, взятых на себя государством. Это обстоятельство позволяет говорить о том, что, решая задачу, мы в определенной степени решаем проблему максимизации части ренты, получаемой государством, и, таким образом, находим компромисс интересов участвующих сторон – государства, получающего максимально возможную часть ренты; частного

<sup>2</sup> Постановка (1)–(16) объединяет интересы государства и населения в одной целевой функции и, вообще говоря, не позволяет разделить эффекты, полученные бюджетом и населением. Отчасти такое положение дел компенсируется ограничением (9), блокирующим так называемые «грязные» проекты и обеспечивающим возможность дохода населения. Для того чтобы разделить бюджет и население, можно перейти на верхнем уровне к двухкритериальной задаче с целевой функцией дохода населения в виде левой части (9) и целевой функцией государства, собирающей только бюджетные эффекты.

инвестора, максимизирующего свой дисконтированный доход; населения территории, благодаря которому служат новые рабочие места и получаемые в проектах доходы, а потерями – экологический негатив.

### **3. Результаты численного эксперимента**

Информационная база модели (1)–(16) формируется с помощью специализированных прогнозных моделей, позволяющих в достаточной степени детально описать процессы реализации проектов всех видов (Лавлинский, 2008). Для инфраструктурных и природоохранных проектов на основе проектной документации строятся графики затрат  $ZI_{jt}$ ,  $ZE_{kt}$ ; для проектов освоения месторождений в моделях – прогнозы рыночных цен и объемов реализации продукции. Прогнозы капитальных и эксплуатационных затрат всех видов рассчитываются на основе ТЭО проекта и фиксируют полный объем технологически необходимых затрат. Это позволяет получить графики кэшфло  $CFP_{it}$  и доходов бюджета  $DBP_{it}$ , в которых учтены все виды налоговых платежей и технологических затрат, отраженных в ТЭО проекта.

Для демонстрации методики использования описанного инструментария в работе используется специальный модельный полигон, прообразом которого является набор из 50 месторождений полиметаллических руд Забайкальского края. В примере реализуется 50 экологических и 10 инфраструктурных проектов (железная дорога, ЛЭП, автомобильные дороги), построенных таким образом, чтобы при реализации полной инфраструктурной и природоохранной программы все проекты освоения месторождений могли быть запущены. Для каждого из месторождений предусмотрено 5 уровней льгот по налогу на прибыль в размере 20; 40; 60; 80; 100% региональной части налога. Параметр  $TP_{imt}$  определяется на основе прогноза базы по налогу на прибыль в имитационной модели процесса освоения месторождения (Лавлинский, 2008). Для решения задачи (1)–(16) используется оригинальный гибридный алгоритм, основанный на локальном спуске и пакете CPLEX (Lavlinskii, Panin, Plyasunov, 2015, 2016).

Методика численного эксперимента основана на анализе изменения свойств решений задачи (1)–(16) при вариации основных параметров модели. К таким свойствам отнесены значения целевых функций государства и инвестора; число запущенных инфраструктурных и производственных проектов; пропорции раздела затрат на реализацию природоохранных проектов между государством и инвестором; число производственных проектов, реализуемых с налоговыми льготами, и средний уровень таких льгот; доля ренты, полученная государством в виде налогов. Этот перечень позволяет экономически содержательно интерпретировать последствия выбранной инвестиционной и налоговой политики и определить ожидаемые тенденции при изменении ключевых параметров модели. На этой основе уже можно говорить о факторах предпочтительности разных комбинаций инструментов

поддержки в зависимости от условий реализации программы освоения МСБ и экологических эффектов.

Наряду с исходной двухуровневой моделью будем рассматривать стандартную задачу математического программирования с переменными  $x, y, z, u, \phi \in \{0; 1\}$ , целевой функцией государства (1) и ограничениями (2), (3), (7)–(13), (16). Решение такой одноуровневой задачи определяет максимальное значение функционала государства в двухуровневой модели. Это обстоятельство позволяет рассматривать одноуровневую модель как предельный случай двухуровневой и использовать решение одноуровневой задачи в качестве идеального ориентира, описывающего поведение рационально действующего государства, принимающего решения за инвестора.

На рис. 1–2 приведены результаты расчетов, в которых анализировалась чувствительность решения задачи к изменению ключевых параметров модели – дисконтов инвестора и государства. В расчетах ставки дисконтирования государства и инвестора менялись от 1 до 11% и от 11 до 21% соответственно. На полученной расчетной сетке параметров сравнивались показатели четырех моделей – базового варианта инвестиционной политики (помощь государства в инфраструктурном и природоохранном строительстве, налоговые льготы отсутствуют) в двухуровневой (A) и одноуровневой (B) постановках, а также двух- и одноуровневых моделей базовой инвестиционной политики, дополненной налоговыми льготами (C, D).

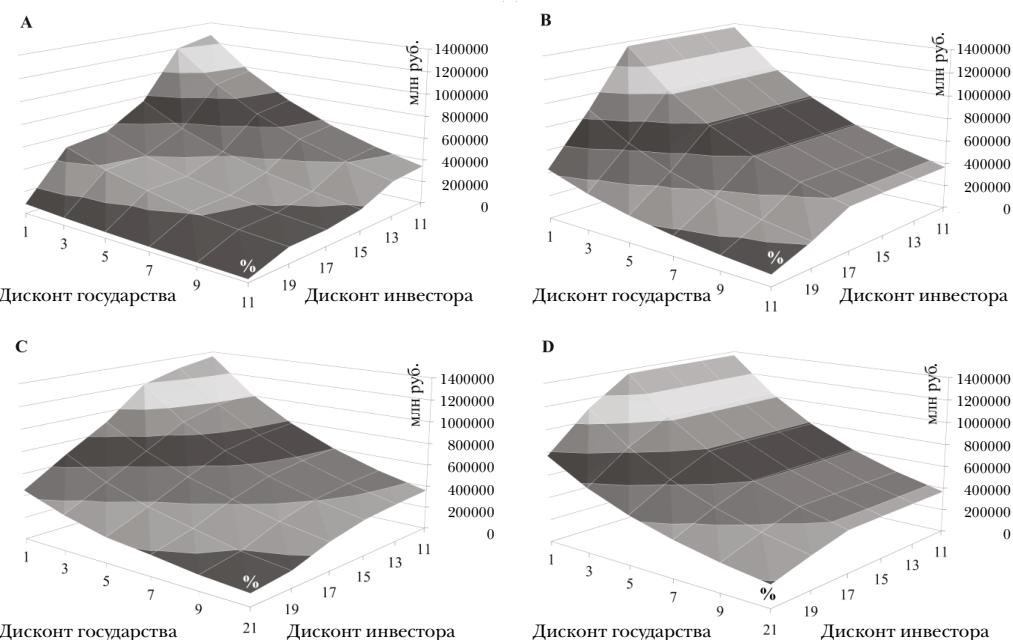
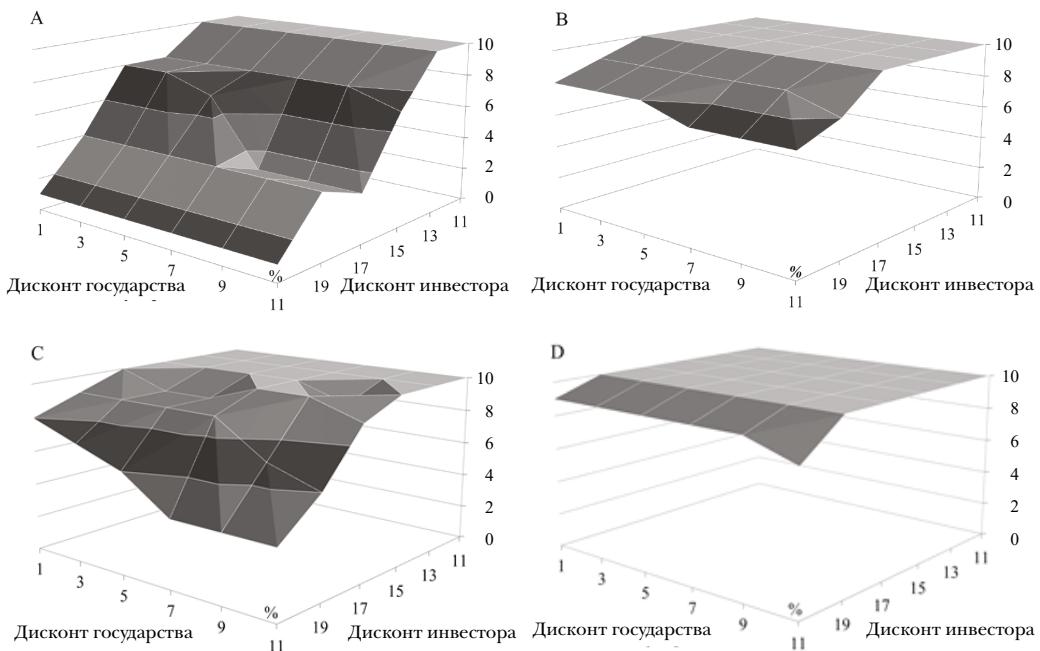


Рис. 1

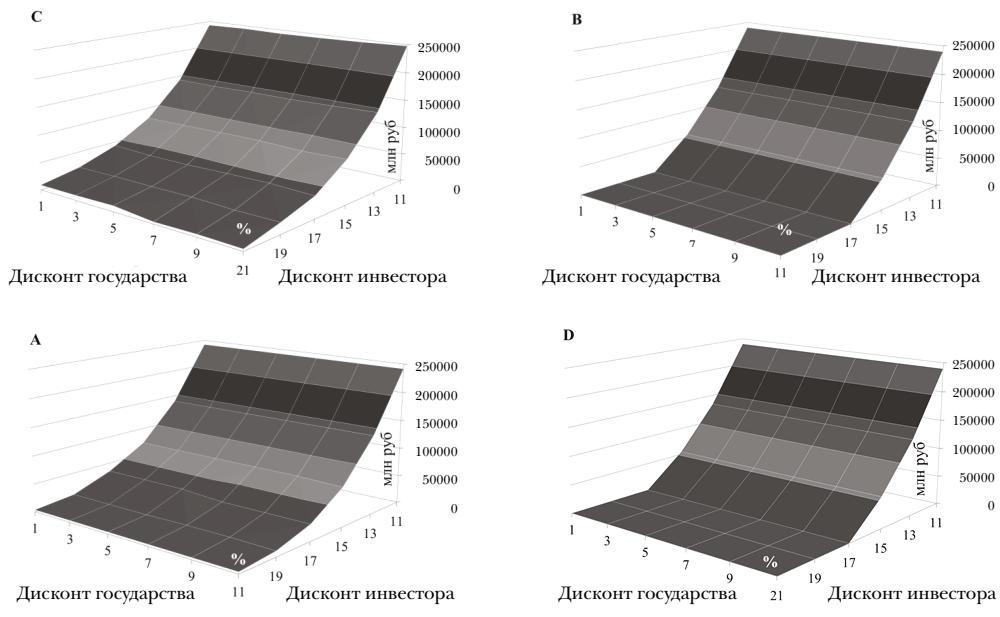
*Целевая функция государства*

Проиллюстрируем результаты взаимодействия отдельных мер инвестиционной и налоговой политики в рабочих диапазонах ставки дисконтирования участников. С точки зрения целевой функции государства дополнение базовой инвестиционной политики налоговыми льготами в двухуровневой постановке обеспечивает прирост эффективности, наиболее существенный в области высоких значений ставок дисконтирования (см. рис. 1). При этом налицо взаимовлияние мер инвестиционной и налоговой политики – введение механизма льгот влечет за собой целесообразность более интенсивного инфраструктурного строительства и обеспечивает большую устойчивость его фронта (рис. 2) в модели С при росте ставки дисконтирования инвестора. Для одноуровневой постановки действие льгот в наибольшей степени проявляется для высоких дисконтов инвестора, обеспечивая здесь существенно большие значения функционала государства.

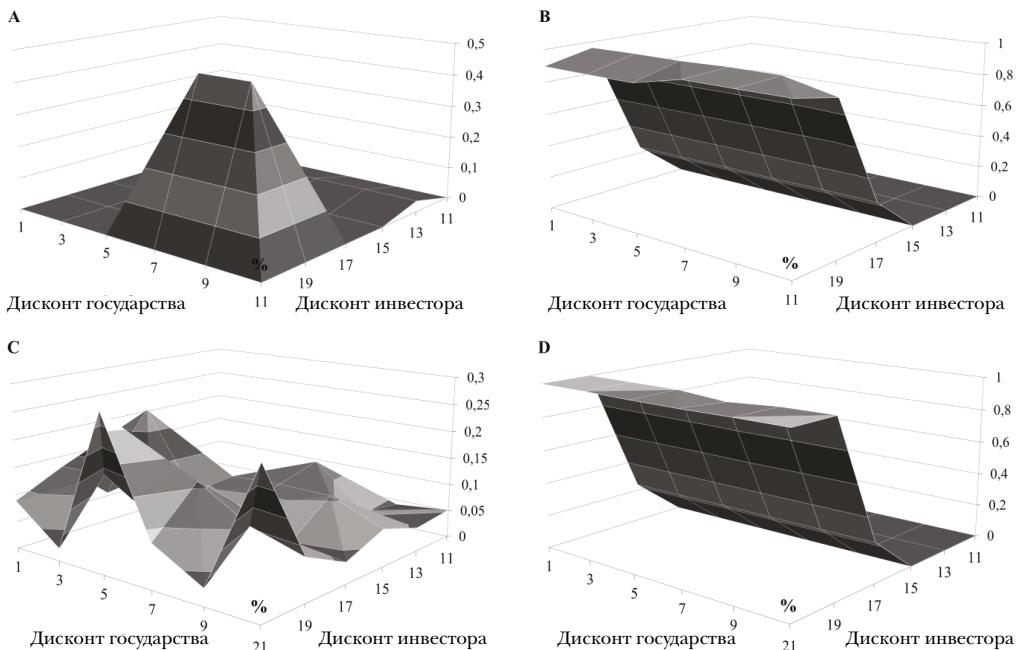
На рис. 3 видно, что двухуровневая постановка (А, С) при прочих равных условиях дает прирост целевой функции инвестора по сравнению с одноуровневой (В, Д). Эффект налоговых льгот инвестором в наибольшей степени ощущается в двухуровневой постановке. В отличие от одноуровневых моделей В, Д, в которых информированное о производственных возможностях государство при высоких дисконтах инвестора просто зануляет его  $NPV$ , механизм последовательного выбора обеспечивает инвестору положительный доход для области его высоких дисконтов и дополнительный прирост его при использовании налоговых льгот.

**Рис. 2**

*Число реализованных инфраструктурных проектов*

**Рис. 3**

Целевая функция инвестора

**Рис. 4**

Доля государства в экологических затратах

Каким образом государство сочетает второй рычаг инвестиционной политики (помощь в реализации природоохранных проектов) и налоговые льготы? В одноуровневых постановках выбор рычагов инвестиционной и налоговой политики мало зависит от дисконта государства. Оно начинает помогать инвестору, стартуя со средних значений дисконта инвестора и быстро наращивая помощь в экологии до максимального уровня в области высоких дисконтов (рис. 4 (модели В, D)). Государство начинает использовать льготы только для самых больших дисконтов инвестора, выбирая от трети до половины проектов освоения месторождений (табл. 1 (модель D)), и назначает практически максимальный уровень льгот (табл. 2 (модель D))<sup>3</sup>.

В двухуровневых моделях государство более сложным образом применяет оба рычага помощи инвестору на всем диапазоне ставок дисконтирования. И здесь мы видим, как совместное использование мер инвестиционной и налоговой политики позволяет поднять эффективность отдельных составляющих политики – введение механизма льгот стимулирует расширение государственного фронта природоохранного строительства (рис. 4 (модели А, С)). При этом число льгот растет с увеличением ставки дисконтирования инвестора только до определенного уровня (табл. 1, 2 (модель С)).

**Таблица 1**

Ставки дисконтирования партнеров и число производственных проектов, получивших льготы

	Модель С						Модель D					
	11	13	15	17	19	21	11	13	15	17	19	21
1	3	8	28	30	41	37	0	0	0	0	15	24
3	5	7	26	31	42	32	0	0	0	0	16	24
5	4	7	26	32	42	41	0	0	0	0	15	23
7	5	5	27	32	42	32	0	0	0	0	16	23
9	5	10	25	33	37	12	0	0	0	0	15	25
11	9	9	26	31	39	15	0	0	0	0	14	22

*Источник:* расчеты авторов.

**Таблица 2**

Ставки дисконтирования партнеров и средний уровень полученных льгот

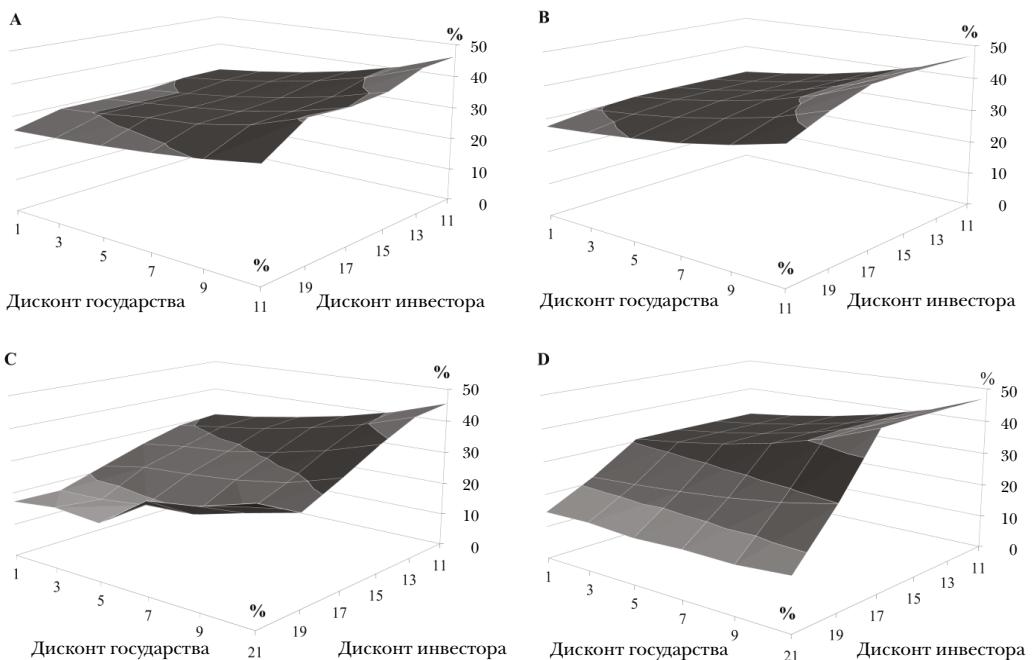
	Модель С						Модель D					
	11	13	15	17	19	21	11	13	15	17	19	21
1	0,33	0,40	0,39	0,60	0,58	0,65	0	0	0	0	0,97	0,88
3	0,3	0,40	0,42	0,55	0,62	0,63	0	0	0	0	0,91	0,88
5	0,36	0,37	0,44	0,57	0,57	0,65	0	0	0	0	0,97	0,94
7	0,31	0,40	0,44	0,62	0,59	0,63	0	0	0	0	0,90	0,94
9	0,34	0,36	0,50	0,56	0,66	0,48	0	0	0	0	0,95	0,92
11	0,32	0,42	0,43	0,58	0,68	0,59	0	0	0	0	0,96	0,87

*Источник:* расчеты авторов.

<sup>3</sup> Максимальный уровень льгот – 1, это соответствует льготе в объеме 100% региональной части налога на прибыль.

На рис. 5 представлена зависимость результатов раздела природно-ресурсной ренты в различных постановках. В одноуровневых моделях с ростом ставки дисконтирования государства растет и доля ренты, полученная им в виде налоговых платежей. Зависимость доли государства от ставки дисконтирования инвестора устроена более сложным образом. Для невысоких значений государству удается удерживать фиксированный уровень, но во второй половине рабочего диапазона ставки дисконтирования инвестора доля ренты государства начинает падать (рис. 5 (модели В, D)). Темп такого падения особенно велик в модели D, в которой с увеличением дисконта инвестора, помимо более высокой интенсивности помощи государства в реализации природоохранных проектов (см. рис. 3 (модель В, D)), используются льготы, отсутствующие в модели В.

В двухуровневой постановке без налоговых льгот А с ростом ставки дисконтирования инвестора падает доля ренты государства независимо от его дисконта. Введение налоговых льгот приводит к росту темпа падения доли ренты государства по сравнению с моделью А. В области высоких ставок дисконтирования инвестора для государства оказывается важным противопоставить высокой ставке дисконтирования инвестора свою достаточно высокую ставку собственника недр.

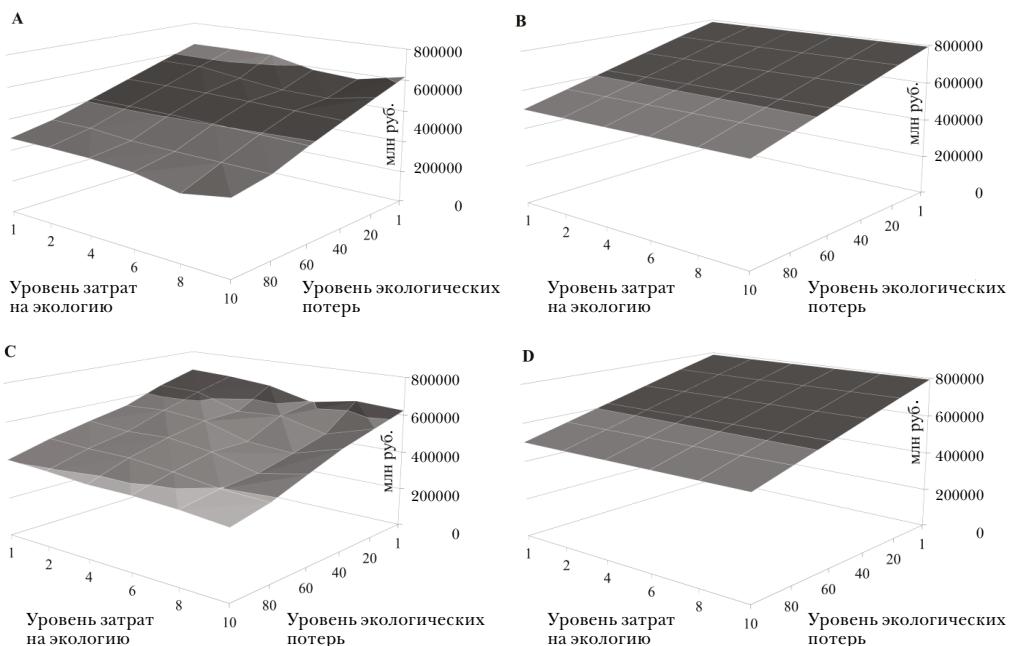
**Рис. 5**

*Доля ренты, полученная государством*

На рис. 6–7 приведены результаты расчетов, в которых анализировалась чувствительность решения задачи к изменению других ключевых параметров модели – уровней затрат на экологию (реализацию природоохранных проектов) и экологических потерь (стоимостной оценки экологического ущерба). Единичный уровень затрат на реализацию природоохранных проектов и ущерба различен по месторождениям и зависит от объема капиталовложений соответствующего проекта освоения. Ставки дисконтирования государства и инвестора зафиксированы на уровне средних значений ( $DG=5\%$ ,  $DI=15\%$ ), и исследуется зависимость основных результатов освоения МСБ от экологических параметров модели.

Оказывается, что для таких значений ставок дисконтирования государство в одноуровневых моделях В, Д не дает льгот и не оказывает помощи в реализации экологических проектов. Это обусловлено тем, что в этом случае государство реализует полную инфраструктурную программу<sup>4</sup>, зная о том, что инвестор без каких-либо налоговых преференций сможет сам освоить полный набор месторождений, взяв на себя все экологические затраты и оставшись в области положительного  $NPV(8)$ .

Соответствующим образом выглядят функционалы государства и инвестора для одноуровневых моделей на рис. 6 и 7 (модели В, Д). У государства значение целевой функции не зависит от уровня экологи-



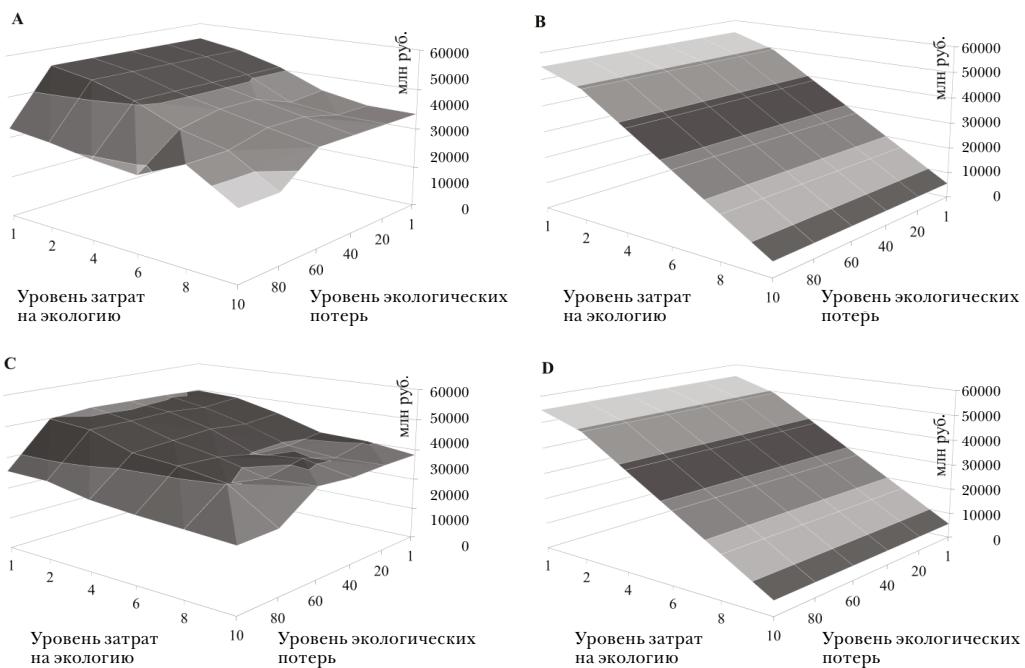
**Рис. 6**

*Экологические параметры модели и целевая функция государства*

<sup>4</sup> Реализует все 10 инфраструктурных проектов, открывая возможность для освоения всех 50 месторождений.

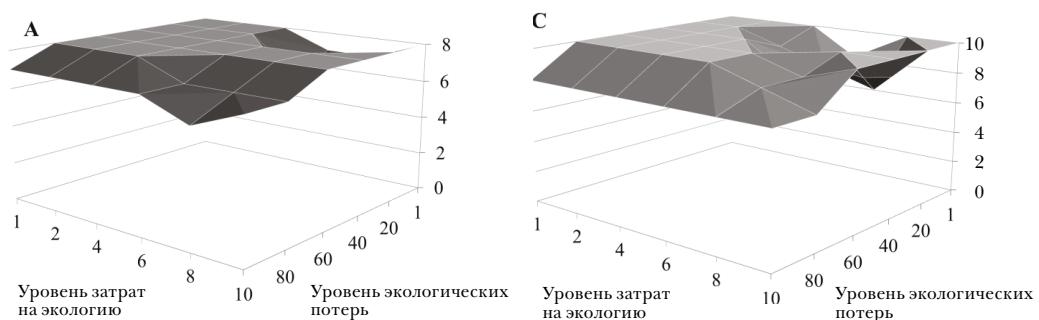
ческих затрат и падает линейным образом с ростом уровня экологических потерь; у инвестора – не зависит от уровня экологических потерь и падает линейным образом с ростом уровня экологических затрат.

В двухуровневой постановке А государство сокращает инфраструктурную программу для всех значений экологических параметров, особенно для высоких уровней затрат на экологию и экологических потерь (рис. 8 (модель А)). В модели С использование механизма налоговых льгот<sup>5</sup> позволяет государству увеличить число запускаемых инфраструктурных проектов и объем помощи в охране природы (рис. 9). Это подтверждает комплементарность мер инвестиционной и налоговой



**Рис. 7**

Экологические параметры модели и целевая функция инвестора



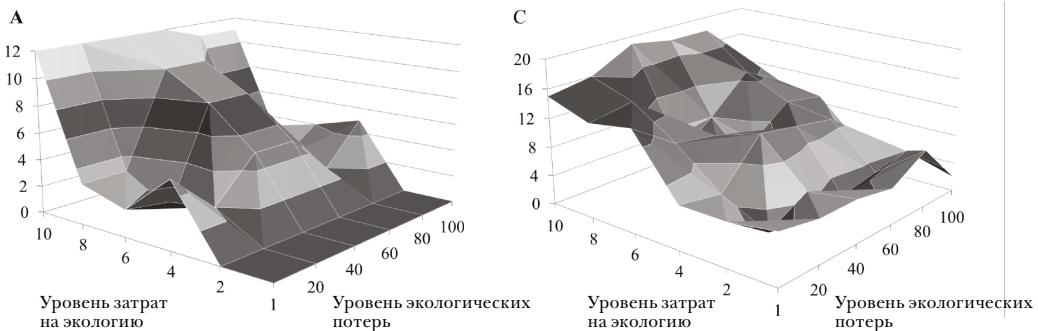
**Рис. 8**

Экологические параметры модели и число инфраструктурных проектов, запущенных государством

<sup>5</sup>Льготы среднего уровня получают примерно половина проектов освоения месторождений.

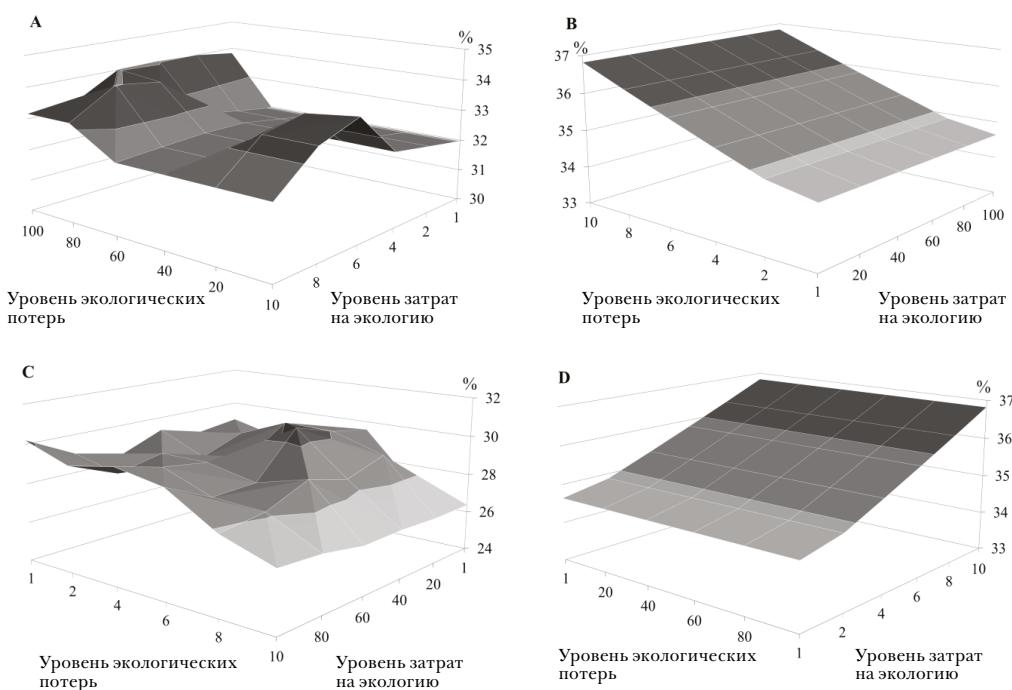
политики и отражается не только на его существенно выросшем функционале (см. рис. 6 (модели А, С)), но и на значении целевой функции инвестора, увеличившемся благодаря подключению механизма льгот (см. рис. 7 (модели А, С)).

Программа помощи инвестору также определяет результаты раздела ренты, представленные на рис. 10. Для одноуровневых постановок, в которых государство не оказывает помощи и не дает льгот, доля ренты, полученная государством, не зависит от уровня экологических потерь и линейно растет с увеличением затрат на природоохраные проекты<sup>6</sup>.



**Рис. 9**

Число природоохранных проектов, запущенных государством



**Рис. 10**

Экологические параметры модели и доля ренты государства

<sup>6</sup> Поскольку все экологические затраты несет инвестор, то их рост ведет к увеличению налогов, поступающих государству, а значит, и доли ренты государства.

В модели А государство уже начинает оказывать помощь в охране природы, и это приводит к тому, что часть бюджета и налоговых поступлений оно вынуждено направить на экологические затраты и тем самым уменьшить свою долю ренты. В модели С к помощи инвестору в экологии государство добавляет налоговые льготы, которые также сокращают поток налоговых платежей и долю государства в природно-ресурсной ренте (см. рис. 10 (модели А, С)).

#### 4. Обсуждение результатов

Основные выводы, сделанные по результатам моделирования, могут быть сформулированы следующим образом.

1. В процессе стратегического планирования государству необходимо учитывать комплементарность мер инвестиционной и налоговой политики в ресурсном регионе. Государственные инвестиции в инфраструктуру, природоохранные мероприятия и налоговые льготы взаимно усиливают влияние отдельных мер государственной политики на уровень частных инвестиций и эффективность принимаемых управленческих решений.

2. В общем случае в процессе разработки стратегии освоения МСБ ресурсного региона государство должно формировать инвестиционную и налоговую политику, используя полный набор инструментов (строя инфраструктуру, реализуя часть необходимых природоохранных мероприятий и давая некоторым сырьевым проектам налоговые льготы определенного уровня). Методология формирования такой политики должна быть основана на анализе предложений инвесторов вкупе с общими планами развития территории и строиться на основе поиска общего равновесия (компромисса интересов бюджета, населения и частного инвестора).

3. В условиях регионов с благоприятным инвестиционным климатом и развитыми институтами в МСК, совокупно обеспечивающими невысокую ставку дисконтирования потенциального инвестора, для всех участников предпочтительны инвестиции государства в инфраструктурные проекты. Их запуск в условиях ресурсного региона генерирует мультипликативные эффекты в несырьевом секторе, расширяет перечень рентабельных объектов недропользования на территории и стимулирует приход инвестора.

4. С ухудшением инвестиционного климата более эффективными для бюджета и населения становятся инвестиции в природоохранные проекты и налоговые льготы. Интенсивность их применения целесообразно наращивать лишь до некоторого уровня, определяемого сложившимися в регионе условиями работы в сырьевом секторе.

5. Экологические инвестиции государства наиболее предпочтительны для бюджета и населения в проектах освоения месторождений, связанных с необходимостью масштабных природоохранных мероприятий. Высокий уровень экологического ущерба (экологических потерь)

в проектах освоения негативно воздействует не только на бюджет и население, но и на инвестора в регионах с неблагоприятным инвестиционным климатом.

6. Налоговые льготы – не только эффективный рычаг подъема рентабельности для проектов инвестора, но и способ увеличения доходов бюджета. Несмотря на то что прямой эффект использования налоговых льгот – это недополученные доходы бюджета по отдельным объектам, интегральный эффект в программе освоения МСБ в целом может перекрывать прямые потери за счет расширения круга осваиваемых объектов при рациональном выборе льготируемых проектов.

7. В процессе принятия инвестиционного решения государство должно использовать достаточно высокую ставку дисконтирования собственника недр. Это необходимо для того чтобы достичь компромисса интересов, в рамках которого инвестор в проектах достигает нужного уровня рентабельности, а государство получает возможно большую часть ренты как части стоимости, созданной природой.

Предлагаемый подход может служить основой практической методологии, позволяющей не только решить, в каких условиях предпочтительны налоговые льготы, а в каких – инвестиции государства в инфраструктурные и природоохранные проекты, но и сформировать конкретные параметры экономической политики, определяющие долгосрочный план развития территории. На такой методологической основе уже можно строить цифровые технологии стратегического планирования и в перспективе подойти к решению центральной проблемы большей части сырьевых регионов России – разработке комплексного сценария освоения МСБ, включающего планы развития производственной инфраструктуры и формирования пакетов инвестиционных предложений, определяющих возможные размеры предоставляемых налоговых льгот.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Васильева А.А., Гурвич Е.Т., Субботин В.Е.** (2003). Эффект реформирования налога на прибыль. В сб.: «1000 лучших предприятий России: информационно-аналитическое издание». М.: Экспертный институт. [Vasilyeva A.A., Gurvich E.T., Subbotin V.E. (2003). The effect of reforming income tax. In: *1000 best enterprises of Russia: Information-analytical publication*. Moscow: Expert Institute (in Russian).]
- Герман А.А., Макарова В.А.** (2017). Влияние налоговых льгот на инвестиционную деятельность российских корпораций // *Известия ДВФУ. Экономика и управление*. № 4. С. 73–82. [German A.A., Makarova V.A. (2017). The impact of tax incentives on the investment activities of Russian corporations. *News of FEFU. Economics and Management*, 4, 73–82 (in Russian).]
- Лавлинский С.М.** (2000). Соглашение о разделе продукции и устойчивое развитие сырьевой территории // *Экономика и математические методы*. Т. 36. Вып. 3. С. 49–56. [Lavlinsky S.M. (2000). Production sharing agreement and

- sustainable development of the resource region. *Economics and Mathematical Methods*, 3 (36), 49–56 (in Russian).]
- Лавлинский С.М.** (2008). Модели индикативного планирования социально-экономического развития ресурсного региона. Новосибирск: Изд-во СО РАН. [*Lavlinsky S.M. (2008). Indicative planning models of socio-economic development of the resource region. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (in Russian).*]
- Лазарян С.С., Черноталова М.А.** (2017). Влияние налоговой политики на уровень инвестиций частного сектора // *Финансовый журнал*. № 3. С. 71–84. [*Lazaryan S.S., Chernotalova M.A. (2017). The impact of tax policy on the level of private sector investment. Financial Journal*, 3, 71–84 (in Russian).]
- Токарев А.** (2000). Налоговое регулирование нефтегазового сектора: региональные аспекты. Новосибирск: Изд-во СО РАН. [*Tokarev A. (2000). Tax regulation of the oil and gas sector: Regional aspects. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (in Russian).*]
- Boadway R., Anwar S.** (1992). How tax incentives affect decisions to invest in developing countries. *Policy Research Working Paper Series 1011*. The World Bank.
- Chhibber A., Dailami M.** (1990). Fiscal policy and private investment in developing countries: Recent evidence on key selected issues. *Policy Research Working Paper Series 559*. The World Bank.
- Cummins J.G., Hassett K.A., Hubbard R.G.** (1996). Tax reforms and investment: A cross-country comparison. *Journal of Public Economics*, 62 (1), 237–273.
- Dempe S.J.** (2002). *Foundations of bilevel programming*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Fazzari S.M., Hubbard R.G., Petersen B.C., Blinder A.S., Poterba J.M.** (1988). Financing constraints and corporate investment. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 141–206.
- Feldstein M.S., Flemming J.S.** (1971). Tax policy, corporate saving and investment behavior in Britain. *Review of Economic Studies*, 38 (4), 415–434.
- Glazyrina I.P., Kalgina I.S., Lavlinskii S.M.** (2014). Public-private partnership in the mineral resources complex of Zabaikalskii Krai: Problems and prospects. *Geography and Natural Resources*, 35 (4), 359–364.
- Hall R.E., Jorgenson D.W.** (1967). Tax policy and investment behavior. *American Economic Review*, 57 (3), 391–414.
- Johnston D.** (1994). *International petroleum fiscal regimes and production sharing contracts*. Tulsa, Oklahoma: PennWell.
- Karzanova I.V.** (2002). Estimation of effect of taxation on real sector investment in Russia: Calculation of marginal effective tax rates. *Economic Journal of the Higher School of Economics*, 2, 225–250.
- Klemm A., Parys S.** (2012). Empirical evidence on the effects of tax incentives. *International Tax and Public Finance*, 19 (3), 393–423.
- Lakshmanan T.R.** (2011). The broader economic consequences of transport infrastructure investments. *Journal of Transport Geography*, 19 (1), 1–12.
- Lall S.V.** (1999). The role of public infrastructure investments in regional development:

- Experience of Indian states. *Economic and Political Weekly*, 34 (12), 717–725.
- Lavlinskii S.M.** (2010). Public-private partnership in a raw-material region: Ecological problems, models and prospects. *Studies on Russian Economic Development*, 21 (1), 71–79.
- Lavlinskii S.M., Panin A.A., Plyasunov A.V.** (2015). A two-level planning model for Public-Private Partnership. *Automation and Remote Control*, 76 (11), 1976–1987.
- Lavlinskii S.M., Panin A.A., Plyasunov A.V.** (2016). Comparison of models of planning the public-private partnership. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*, 10 (3), 1–17.
- Mackie P., Worsley T., Eliasson J.** (2014). Transport appraisal revisited. *Research in Transportation Economics*, 47, 3–18.
- Romer C.D., Romer D.H.** (2010). The macroeconomic effects of tax changes: Estimates based on a new measure of fiscal shocks. *American Economic Review*, 100 (3), 763–801.
- Vergara R.** (2010). Taxation and private investment: Evidence for Chile. *Applied Economics*, 42 (6), 717–725.
- Weisbrod G., Lynch T., Meyer M.** (2009). Extending monetary values to broader performance and impact measures: Transportation applications and lessons for other fields. *Evaluation and Program Planning*, 32, 332–341.
- Yagan D.** (2015). Capital tax reform and the real economy: The effects of the 2003 dividend tax cut. *American Economic Review*, 105 (12), 3531–3563.
- Zolt E.** (2015). Paper for workshop on tax incentives and base protection. New York, 23–24 April. Available at: <http://www.un.org>
- Zwick E., Mahon J.** (2017). Tax policy and heterogeneous investment behavior. *American Economic Review*, 107 (1), 217–248.

Поступила в редакцию 05.03.2019

Received 05.03.2019

**Antzys S.M.**

Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk; Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia

**Lavlinskii S.M.**

Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk; Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk; Transbaikal State University, Chita, Russia

**Panin A.A.**

Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk; Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia

**Pljasunov A.V.**

Sobolev Institute of Mathematics, Novosibirsk; Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia

## **Bilevel models of investment and tax policy formation in the resource region<sup>7</sup>**

**Abstract.** An analysis is presented of the mechanism of investment and tax policy formation in the resource region, whereby the government provides tax incentives and supports the investor in infrastructure development and, to some extent, in the implementation of mandatory environmental measures. The analysis builds on the bilevel Boolean programming problems. The actual data and dimensions of the model test site capture the specificity of the modeled object and make possible a practical study of the properties of equilibrium solutions. The simulation results indicate the need to take into account the complementarity of investment and tax policies in the strategic planning process. In general, to stimulate private investment, the state should use a full set of tools – to build infrastructure, implement part of the necessary environmental protection measures and provide certain commodity projects with tax incentives of a certain level. The methodology for the formation of such a policy should be based on an analysis of investors' proposals, general plans for the development of the territory and a search for a compromise of the interests of the budget, population and private investor. The field of application of the research results is the development of a scenario for the development of local natural resources, including infrastructure development plans and investment proposal packages containing rules for granting tax incentives.

**Keywords:** mineral resources development program, investment policy, tax incentives, infrastructure development projects, sharing of natural-resource rents, bilevel mathematical programming problems.

JEL Classification: C61, Q32, Q58, H32.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-2

<sup>7</sup> The authors are grateful to the reviewer, whose comments made it possible to radically improve the text of the article. This article was prepared with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (projects 19-010-00910 and 20-010-00151).

С.А. Смоляк  
ЦЭМИ РАН, Москва

## Пуассоновский процесс деградации машин: применение к стоимостной оценке

**Аннотация.** Процесс деградации (ухудшения технико-экономических характеристик) машины описывается случайным процессом, в котором отказы происходят с постоянной интенсивностью, и при каждом отказе интенсивность приносимых машиной выгод уменьшается на случайную величину. Если машина стала приносить отрицательные выгоды, она выбывает из эксплуатации. Получены явные выражения для среднего срока службы машины и коэффициента вариации срока службы. Стоимость машины определяется методом дисконтирования потоков выгод от ее предстоящего использования. Это позволяет связать стоимость машины с интенсивностью тех выгод, которые она приносит. В тех случаях, когда информация о размере приносимых машиной выгод отсутствует, оценщики опираются на возраст машины. Однако машины одного возраста могут находиться в разном состоянии и потому иметь разную стоимость. Предложены формулы для расчета коэффициентов годности, отражающие среднее уменьшение стоимости машин с возрастом. Чтобы учесть влияние налога на прибыль, налога на имущество и инфляции, в построенной модели достаточно скорректировать ставку дисконтирования. Проверено, что предложенные зависимости достаточно хорошо согласуются с данными о рыночных ценах двух видов строительных машин.

**Ключевые слова:** машины, рыночная стоимость, выгоды, оценка, возраст, обесценение, коэффициенты годности, деградация, отказы, простейший поток.

Классификация JEL: C44, C52, D46, D81, M11.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-3

### 1. Введение. Основные понятия

При управлении использованием активов и совершении сделок с ними нередко требуется оценка их рыночной стоимости (РС). В общем случае РС объекта отражает его полезность для участников рынка. Более строгое понятие «рыночная стоимость» определяется и разъясняется в Международных стандартах оценки (МСО 2017)<sup>1</sup>, иное определениедается в российском законодательстве (ФЗ-135<sup>2</sup>). Для наших целей это понятие можно определить короче: РС объекта на определенную дату (дату оценки) – это его цена в (реальной или гипотетической) сделке, совершающейся на эту дату на открытом и конкурентном рынке между типичными участниками. При этом типичными считаются участники рынка, ведущие себя расчетливо, проводящие надлежащий маркетинг и хорошо осведомленные о характере, свойствах и способах использования объекта, а также о состоянии рынка на дату оценки. Обычно участники рынка не в полной мере удовлетворяют этим требованиям, поэтому цены реальных сделок отклоняются от РС – такие отклонения обычно рассматриваются как случайные величины. В данной статье предлагается решение одной из задач, возникающих при оценке РС машин и оборудования (далее – машин).

<sup>1</sup> «Международные стандарты оценки 2017». Российское общество оценщиков.

<sup>2</sup> Федеральный Закон «Об оценочной деятельности в Российской Федерации» от 29 июля 1998 г. № 135-ФЗ (с последующими изменениями и дополнениями).

Новые и подержанные машины обращаются на разных рынках и оцениваются по-разному (Оценка машин..., 2018).

Новые машины продаются производителями и дилерами на первичном рынке. Все новые машины одной марки (этим термином мы обозначаем также модели и модификации) можно считать точными копиями друг друга, а их РС определяется исходя из сложившихся на первичном рынке цен. Этот этап оценки обычно каких-то принципиальных затруднений не вызывает. Однако иногда на дату оценки новые машины такой марки отсутствуют на первичном рынке, тогда для оценки применяют доходный и сравнительный подходы.

При доходном подходе РС машины определяется на основе доходов от ее предстоящего использования (см. разд. 3). На практике эти доходы обычно считаются неизменными во времени (Оценка машин..., 2018, разд. 7.1) либо меняющимися по заданному закону до достижения заданного срока службы. Вероятностный характер процесса функционирования машины и характеристики ее надежности при этом не учитываются.

При сравнительном подходе вначале отбираются представленные на рынке аналогичные машины других марок того же вида. РС машины при этом определяется на основе цен этих аналогов, в которые вносятся необходимые корректировки. Мы не будем подробно на этом останавливаться, укажем лишь, что различия в дате и условиях сделки обычно учитываются экспертурно (Смоляк, 2016; Справочник оценщика..., 2019), а для учета различий в технических характеристиках (мощность, размеры) строятся регрессионные зависимости (Оценка машин..., 2018). Однако различия в характеристиках надежности при этом не учитываются вообще, возможно, из-за отсутствия соответствующей информации в паспортах машин и офертах.

Подержанные машины обращаются на вторичном рынке. Такая машина обычно не имеет точных аналогов и оценивать ее удобно исходя из стоимости новой машины той же марки. Обычно это делается одним из двух эквивалентных способов. При первом способе, используемом российскими оценщиками, стоимость новой машины уменьшается на сумму или процент обесценения (износа, depreciation), определяемый по различным формулам (Оценка машин..., 2018; Справочник оценщика..., 2019). При втором способе, принятом в США (АН 582..., 1981), стоимость новой машины умножается на коэффициент или процент годности (относительной стоимости, Percent Good Factor), значения которого даются в специальных таблицах, например в (2019 Cost Index...; 2020 Personal property manual..., 2020; АН 581..., 2019). При этом проценты обесценения и годности дополняют друг друга до 100%.

Машины, которые далее нецелесообразно или невозможно использовать по назначению, должны выбывать из эксплуатации – утилизироваться. При утилизации машина рассматривается как совокупность отдельных элементов (деталей и узлов, пригодных к дальнейшему

использованию, металлом). Рыночная стоимость этих элементов за вычетом стоимости работ по демонтажу машины и доставки отдельных ее элементов к месту продажи образует утилизационную стоимость машины.

В общем случае коэффициент годности машины зависит от ее технического состояния. Однако адекватных измерителей технического состояния, приемлемых для оценщиков, пока не предложено, поэтому чаще всего оценщики характеризуют его возрастом машины (в теории надежности состояние машин описывают наработкой, однако сведения о ней часто фальсифицируются и покупатели машин на российском рынке им не доверяют). Поскольку машины одного возраста обычно различаются по техническому состоянию, для их оценки используют средний коэффициент годности/износа. Нередко его считают равным относительному возрасту машины – отношением возраста к среднему сроку службы. Однако такой метод не учитывает утилизационной стоимости машин, не позволяет оценивать машины за пределами среднего срока службы и часто не согласуется с фактическими ценами достаточно старых машин. Более обоснованные результаты получаются, если по рыночным данным строить регрессионные зависимости цен машин от возраста. Подобные зависимости предлагались во многих источниках, например в (Мышанов, Рослов, 2007; Оценка машин..., 2018), однако почти все они не учитывали ухудшения их технико-экономических характеристик в процессе эксплуатации (деградацию) и надежность машин. Например, в (АН 582..., 1981; Лейфер, Кашникова, 2008; Справочник оценщика..., 2019) описаны зависимости, учитывающие вероятностный характер срока службы, однако при этом распределение срока службы задавалось экзогенно, а деградация машины не учитывалась. В (Смоляк, 2008) предлагалось семейство зависимостей, прямо учитывающих деградацию машин, но при заданном сроке их службы. Задачи стоимостной оценки машин в условиях неопределенности процесса их эксплуатации стали исследоваться сравнительно недавно. Некоторые экономико-математические модели для этой цели предложены, например, в (Аркин и др., 2006; Смоляк, 2012, 2014, 2018).

Моделированию деградации машин (и иных технических систем) посвящено огромное число публикаций (Li, Pham, 2005; Nakagawa, 2007; Wang et al., 2011; Lin et al., 2014; и др.). Основное внимание в них уделялось влиянию деградации на надежность машины, статистическому моделированию процесса и оптимизации эксплуатационных параметров (например, периодичности ремонтов и замен элементов). При этом принималось, что в ходе эксплуатации машины меняется только интенсивность отказов, но не производительность машины или операционные затраты. Поэтому критерии оптимизации носили затратный характер (скажем, средние затраты на эксплуатацию и ремонт за единицу времени) и применить такие модели для оценки РС реальных машин оказалось невозможным. Какие-либо модели, коли-

чественно учитывающие и надежность, и деградацию машин при их стоимостной оценке, пока еще не предложены.

Между тем динамика производительности и операционных затрат существенно влияет на РС машины. Дело в том, что согласно стандартам оценки РС объекта на дату оценки отражает выгоды, которые он будет приносить при последующем использовании. В данном случае под выгодами от использования машины в некотором периоде мы будем понимать РС производимого ею в этом периоде продукта за вычетом операционных затрат на производство этого продукта<sup>3</sup> (включая затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт, но не включая налога на прибыль). Так определенные выгоды отражают стоимость права пользования машины в соответствующем периоде, а в терминологии Л.В. Канторовича, принятой в теории оптимального планирования – прокатную оценку машины (Канторович, 1960, с. 102; Лившиц, 1971, с. 38). Естественно, что в ходе деградации выгоды от использования машины уменьшаются, а процесс их уменьшения носит вероятностный характер. В теории вероятностей такие случайные процессы именуются субординаторами. С этих позиций представляется актуальной разработка и исследование моделей стоимостной оценки машин, деградация которых описывается субординаторами. В данной статье предлагается модель такого рода. В ней машина рассматривается как единое целое (а не совокупность отдельных элементов, каждый из которых деградирует по-своему) и не учитывается влияния дорогостоящих капитальных ремонтов. Несмотря на упрощенное описание процесса использования машин, модель позволяет получить некоторые аналитические и численные зависимости, пригодные для практической оценки рыночной стоимости подержанных машин. Кроме того, впредь до разд. 7, будем считать, что инфляция и налог на прибыль отсутствуют.

## **2. Основные положения модели**

Предметом нашего рассмотрения будут машины одной марки, обладающие определенными, указываемыми далее свойствами. Чтобы отличать их от других упоминаемых в тексте машин, мы будем использовать термин МАШИНА.

Предполагается, что все МАШИНЫ предназначены для производства какого-то одного продукта (работы или услуги) и в процессе эксплуатации используются по назначению. Этот продукт необходим участникам рынка, т.е. обладает для них полезностью, а следовательно, имеет и свою РС. Для некоторых машин (скажем, такси) производимый продукт обращается на рынке и его РС можно оценить по данным рыночных сделок. В других случаях машины можно сдавать в аренду на определенный срок. РС такой услуги носит название рыночной арендной платы (МСО 2017, МСО 104, п. 40), и она может быть оценена исходя из сложившихся на рынке арендных ставок. На равновес-

<sup>3</sup> Определяемый показатель выгод может рассматриваться и как приносимый машиной (доналоговый) денежный поток, упоминаемый в стандартах оценки. По экономическому содержанию и величине он близок к EBITDA (прибыли до уплаты налогов и процентов и начисления амортизации), применяемому в оценке бизнеса. Однако EBITDA находят по фактическим данным предприятия, тогда как выгоды от использования машин таким способом определить уже нельзя.

ном рынке оба варианта должны быть равновыгодными для владельцев, поэтому выгоды от эксплуатации машины в некотором периоде должны совпадать с рыночной арендной платой таких же машин за такой же период (естественно, за вычетом операционных затрат, осуществляемых арендодателем). Однако большинство машин производят отдельные операции в едином технологическом процессе. РС каждой операции можно оценить, рассматривая гипотетическую, или даже реальную, сделку, в ходе которой один участник, осуществляющий технологический процесс, покупает у другого участника работу по выполнению этой операции<sup>4</sup>.

К сожалению, оценивать производимый машинами продукт указанными способами затруднительно, особенно если этот продукт носит агрегированный характер (энергия, перемещение грунта, шлифовка деталей, продажа билетов и т.п.). Иной способ оценки этой РС будет изложен в разд. 7.

Процесс эксплуатации МАШИНЫ будем рассматривать в непрерывном времени. Состояние МАШИНЫ мы характеризуем интенсивностью приносимых ею выгод (ИВ), т.е. суммой выгод, приносимых МАШИНОЙ в малую единицу времени. Она определяется формулой  $ИВ = \rho W - C$ , где  $W$  – производительность МАШИНЫ,  $C$  – интенсивность ее операционных затрат,  $\rho$  – РС единицы производимого продукта. Если на дату оценки у МАШИНЫ  $ИВ=z$ , то за малое время  $dt$  она принесет выгоды в размере  $zdt$ .

Процесс деградации мы связываем с потоком случайных скрытых отказов, приводящих к случайным последствиям, и описываем сложным пуассоновским процессом.

В процессе эксплуатации проводятся технические обслуживания и текущие ремонты (ТОиР) МАШИНЫ. Это позволяет, по возможности, поддерживать ее состояние, так что интенсивность приносимых МАШИНОЙ выгод ( $z$ ) не меняется. Время от времени с интенсивностью  $\lambda$  происходят случайные отказы. Их можно вообще не заметить или частично устранить их последствия при текущем ремонте, однако в том и в другом случае эксплуатационные характеристики МАШИНЫ ухудшаются (в том числе за счет увеличения затрат на ТОиР). Принимается, что после отказа ИВ уменьшается на неотрицательную случайную величину  $\xi$ , не зависящую от истории эксплуатации МАШИНЫ и имеющую функцию распределения  $P\{\xi \leq x\} = 1 - e^{-\alpha x}$  и плотность  $\alpha e^{-\alpha x}$ , где  $\alpha$  – некоторый положительный параметр. При этом среднее уменьшение ИВ в единицу времени в данной модели будет постоянной величиной  $1/\alpha$ . МАШИНА, у которой ИВ после отказа осталась положительной, продолжает эксплуатироваться. Такой отказ будем называть поломкой. МАШИНУ, у которой после отказа ИВ стала отрицательной, далее эксплуатировать нецелесообразно, поэтому будем считать, что через непродолжительное время она утилизируется. Подобный отказ будем называть фатальным (отказы, после которых

<sup>4</sup> Выполнение отдельных операций может иногда передаваться сторонним фирмам на аутсорсинг.

машину физически невозможно или экономически нецелесообразно использовать по назначению, в теории надежности именуют ресурсными). Утилизационную стоимость МАШИН временно, впредь до разд. 7, будем считать нулевой.

Суммируя изложенное, можно сказать, что в нашей модели последствия отказов МАШИНЫ, если только они не оказались фатальными, накапливаются до тех пор, пока не достигнут уровня, при котором использование МАШИНЫ по назначению становится нецелесообразным и она утилизируется, принося нулевые выгоды.

До сих пор единицы измерения выгод считались произвольными. Однако далее нам будет удобно принять их такими, чтобы ИВ у новой (возраста 0 лет) МАШИНЫ стала равной 1.

### **3. Зависимость РС машины от ее состояния**

Согласно МСО в условиях неопределенности РС актива на дату оценки отражает ожидаемые (взвешенные по вероятностям) выгоды от его последующего использования. Для стоимостной оценки машин соответствующий принцип ожидания выгод, упоминаемый, но не раскрываемый в МСО, удобно сформулировать так (Смоляк 2014, 2016): РС машины на дату оценки равна математическому ожиданию суммы дисконтированных выгод от наиболее эффективного использования ее в течение прогнозного периода и ее РС в конце периода.

Отметим, что оценка РС машины при этом предполагает оптимизацию ее использования по критерию максимума суммы дисконтированных выгод. Естественно, что решение при этом оказывается не таким, как в теории надежности, где использование машины оптимизируется по затратным критериям (см. выше).

В общем случае РС машины зависит от того, на какую дату она оценивается и каково ее техническое состояние на эту дату. В данной модели предполагается отсутствие инфляции, а состояние МАШИНЫ характеризуется переменной  $z$ , поэтому РС МАШИНЫ не зависит от того, на какую дату она определяется. Мы будем считать ее некоторой (неизвестной) функцией от одной переменной  $V(z)$ . Технические и экономические соображения показывают, что эта функция должна быть непрерывной и убывающей, а при  $z=0$  – обращаться в нуль. Найдем явное выражение для нее.

Для этого рассмотрим МАШИНУ, находящуюся в состоянии  $z$  на дату оценки, и выясним, как изменится ее РС за малое время  $dt$ . Если она не откажет, то останется в том же состоянии и будет иметь ту же стоимость  $V(z)$ . Если же произойдет отказ (вероятность этого –  $\lambda dt$ ), то ИВ примет новое случайное значение  $u = z - \xi$ , распределенное на луче  $(-\infty, z)$  с плотностью  $\alpha e^{\alpha(u-z)}$ . При  $u > 0$  МАШИНА будет иметь РС  $V(u)$ , в случае фатального отказа РС МАШИНЫ обратится в нуль.

Применим принцип ожидания выгод к нашей МАШИНЕ и малому периоду времени  $dt$  после даты оценки. Учитывая, что

МАШИНА за время  $dt$  при отсутствии отказа принесет (доаналоговые) выгоды в сумме  $zdt$ , а при фатальном отказе — нулевые выгоды, и обозначив через  $r$  доаналоговую ставку дисконтирования, мы получим основное уравнение модели:

$$V(z) = zdt + (1 - rdt) \left[ (1 - \lambda dt)V(z) + \lambda dt \int_0^z \alpha e^{\alpha(u-z)} V(u) du \right]. \quad (1)$$

Отсюда, с точностью до малых более высокого порядка, находим

$$\begin{aligned} 0 &= -V(z) + zdt + [1 - (r + \lambda)dt]V(z) + \lambda\alpha e^{-az} d \int_0^z e^{\alpha u} V(u) du = \\ &= dt \left\{ z e^{az} - (r + \lambda) e^{az} V(z) + \lambda \alpha \int_0^z e^{\alpha u} V(u) du \right\} e^{-az}, \end{aligned}$$

поэтому

$$z e^{az} - (r + \lambda) e^{az} V(z) + \lambda \alpha \int_0^z e^{\alpha u} V(u) du = 0.$$

Дифференцируя это равенство по  $z$  и умножая на  $e^{-az}$ , имеем  $1 + az - r\alpha V(z) - (r + \lambda) V'(z) = 0$ . Решая это уравнение при условии  $V(0) = 0$ , получим

$$V(z) = \frac{z}{r} - \frac{\lambda}{\alpha r^2} \left[ 1 - e^{-raz/(r+\lambda)} \right]. \quad (2)$$

Отметим, что  $V(z) \approx z/(r+\lambda)$  при  $z$ , близких к нулю, но  $V(z) \approx z/r - \lambda/(\alpha r^2)$  при больших  $z$ . Интересно, что стоимость  $z/r$  имела бы МАШИНУ, постоянно дающая выгоды с неизменной интенсивностью  $z$ . Поэтому второй член в формуле (2) приближенно отражает частоту отказов и масштаб их последствий.

Поскольку у новой МАШИНЫ, по определению,  $z = 1$ , то из (2) находится ее стоимость

$$V(1) = \frac{1}{r} - \frac{\lambda}{\alpha r^2} \left[ 1 - e^{-ra/(r+\lambda)} \right]. \quad (3)$$

#### 4. Остаточный срок службы машины

Обозначим через  $\tau(z)$  случайный остаточный срок службы МАШИНЫ, находящейся в состоянии  $z$ . Распределение этой случайной величины однозначно определяется производящей функцией ее моментов  $\varphi(p, z) = E[e^{pt(z)}]$ . Найдя эту функцию, можно определить и другие характеристики этой случайной величины, в том числе и среднее значение  $T(z)$ , и дисперсию  $D(z)$  остаточного срока службы МАШИНЫ. Отметим, что указанные функции непрерывны только при  $z > 0$ , а при  $z = 0$  имеют разрыв по следующей причине.

Пусть  $z$  стремится к нулю, оставаясь положительным ( $z \searrow 0$ ). Здесь наилучшим способом использования МАШИНЫ будет продолжение ее эксплуатации, однако вероятность того, что очередной отказ окажется фатальным, будет возрастать, стремясь к единице. Это значит, что средний остаточный срок службы МАШИНЫ будет сближаться со временем ее работы до отказа. В нашем случае отказы происходят с интенсивностью  $\lambda$ , так что среднее время работы МАШИНЫ до отказа составляет конечную величину  $1/\lambda$ . Поэтому при  $z \searrow 0$  средний

остаточный срок службы МАШИНЫ  $T(z)$  будет стремиться к  $1/\lambda$ . В то же время при  $z < 0$  МАШИНУ выгодно немедленно утилизировать, и поэтому здесь  $T(z) = 0$ . По той же причине будет разрывной и функция  $\varphi(p, z)$ . Чтобы найти  $\varphi(p, z)$ , повторим те же рассуждения, что и при выводе формулы (1).

Рассмотрим МАШИНУ, находящуюся в состоянии  $z > 0$  на дату оценки. За малое время  $dt$  она может не отказать и тогда останется в том же состоянии, но остаточный (от даты оценки) срок ее службы увеличится на  $dt$ . Однако с вероятностью  $1dt$  может произойти отказ. Тогда ИВ МАШИНЫ примет новое случайное значение  $u = z - \xi$ . Ему будет отвечать и новый остаточный срок службы, равный  $\tau(u)$  при  $u > 0$  или 0 при  $u < 0$ . Отсюда вытекает, что

$$\begin{aligned}\varphi(p, z) &= E\left[e^{p\tau(z)}\right] = E\left[\left(1 - \lambda dt\right)e^{p[\tau(z)+dt]} + \lambda dt \int_0^z \alpha e^{\alpha(u-z)} e^{p\tau(u)} du + \lambda e^{-\alpha z} dt\right] = \\ &= (1 - \lambda dt)(1 + pdt)E\left[e^{p\tau(z)}\right] + \lambda \alpha e^{-\alpha z} dt \int_0^z e^{\alpha u} E\left[e^{p\tau(u)}\right] du + \lambda e^{-\alpha z} dt = \\ &= \varphi(p, z) + dt \left\{ (p - \lambda) e^{\alpha z} \varphi(p, z) + \lambda \alpha \int_0^z e^{\alpha u} \varphi(p, u) du + \lambda \right\} e^{-\alpha z}.\end{aligned}$$

Такое равенство возможно только если

$$(p - \lambda) e^{\alpha z} \varphi(p, z) + \lambda \alpha \int_0^z e^{\alpha u} \varphi(p, u) du + \lambda = 0. \quad (4)$$

По непрерывности, это уравнение будет справедливо и при  $z=0$ , если понимать  $\varphi(p, 0)$  как предел  $\varphi(p, z)$  при  $z \searrow 0$ . Для решения уравнения (4) обозначим  $\int_0^z e^{\alpha u} \varphi(p, u) du = G(p, z)$  и заметим, что  $\varphi(p, z) = e^{-\alpha z} G'_z(p, z)$ . Это позволяет представить равенство (4) как дифференциальное уравнение  $(p - \lambda) G'_z(p, z) + \lambda \alpha G(p, z) + \lambda = 0$ . Его решением с краевым условием  $G(p, 0) = 0$  будет  $G(p, z) = \{e^{\lambda \alpha z / (\lambda - p)} - 1\} / \alpha$ . Но тогда при всех  $z > 0$  будет  $\varphi(p, z) = e^{-\alpha z} G'_z(p, z) = \{\lambda / (\lambda - p)\} e^{p\alpha z / (\lambda - p)}$ . Отсюда можно найти и плотность распределения остаточного срока службы. Она выражается через функцию Бесселя первого рода и может быть представлена степенным рядом

$$p(z, t) = \lambda e^{-\alpha z - \lambda t} I_0\left(2\sqrt{\lambda \alpha z t}\right) = \lambda e^{-\alpha z - \lambda t} \sum_{n \geq 0} \left[ (\lambda \alpha z t)^n / n!^2 \right].$$

Дифференцируя производящую функцию моментов  $\varphi(p, z)$  по  $p$  и полагая  $p=0$ , можно найти математическое ожидание остаточного срока службы и его квадрата, а также дисперсию ( $D$ ) и коэффициент вариации ( $v$ ) этого срока. Производя вычисления, получаем:

$$\begin{aligned}T(z) &= E[\tau(z)] = \varphi'_p(0, z) = (1 + \alpha z) / \lambda; \\ E[\tau^2(z)] &= \varphi''_{pp}(0, z) = (2 + 4\alpha z + \alpha^2 z^2) / \lambda^2; \\ D[\tau(z)] &= E[\tau^2(z)] - T^2(z) = (1 + 2\alpha z) / \lambda^2; \\ v[\tau(z)] &= \sqrt{D[\tau(z)] / T(z)} = \sqrt{1 + 2\alpha z} / (1 + \alpha z).\end{aligned}$$

Отсюда видно, что  $T(z) \rightarrow 1/\lambda$  при  $z \searrow 0$ , о чем говорилось выше.

Заметим теперь, что для новой МАШИНЫ  $z = 1$ , а остаточный срок службы совпадает с полным. Поэтому из полученных формул при  $z=1$  можно выразить математическое ожидание  $T$  и коэффициент вариации  $v$  (полного) срока службы МАШИН через  $\alpha$  и  $\lambda$ :

$$T = (1 + \alpha) / \lambda, \quad v = \sqrt{1 + 2\alpha} / (1 + \alpha). \quad (5)$$

Установить значения  $\alpha$  и  $\lambda$  в общем случае затруднительно.

Однако для некоторых видов машин это удается сделать, используя результаты их испытаний на долговечность и имеющиеся сведения о сроках их службы. Укажем, в частности, на (Острайковский, 2003, табл. 12.5), откуда можно получить оценку коэффициента вариации сроков службы различных машин, и (Справочник оценщика..., 2019), разделы 5.2 и 5.3 которого посвящены оценкам средних сроков службы. Подобная информация позволяет оценить средний срок службы машин  $T$  и коэффициент вариации срока службы  $v$ . В таком случае искомые параметры  $\alpha$  и  $\lambda$  можно определить с помощью равенств (5):

$$\alpha = \left(1 - v^2 + \sqrt{1 - v^2}\right) / v^2; \quad \lambda = \left(1 + \sqrt{1 - v^2}\right) / T v^2. \quad (6)$$

При доходном подходе к оценке активов часто применяется метод прямой капитализации. При этом стоимость актива находят делением приносимого им годового дохода на коэффициент капитализации или, что эквивалентно, умножением этого дохода на обратную величину – рентный мультипликатор (*rent multiplier*). Значения коэффициента капитализации, или рентного мультипликатора ( $R$ ), не зависящие от единиц измерения стоимостных показателей, определяются по данным о доходах и стоимости аналогичных активов. Некоторые авторы рекомендуют этот метод и для оценки машин, выбирая в качестве аналогов машины той же марки близкого возраста. В нашей модели рентный мультипликатор  $R$  естественно определять как отношение РС МАШИНЫ к интенсивности приносимых ею выгод. Из формулы (2) следует, что  $R$  зависит от состояния МАШИНЫ:

$$R = R(z) = \frac{V(z)}{z} = \frac{1}{r} \left[ 1 - \frac{\lambda}{r\alpha z} \left( 1 - e^{-r\alpha z/(r+\lambda)} \right) \right]. \quad (7)$$

Мы рассчитали зависимости  $R(z)$  для  $r=0,08$  при нескольких комбинациях значений среднего срока службы (в годах)  $T$  и  $v$ . Соответствующие значения  $\alpha$  и  $\lambda$  определялись по формулам (6). На рис. 1 представлены результаты этих расчетов.

Нетрудно убедиться, что  $R$  снижается с ухудшением состояния МАШИНЫ (уменьшением

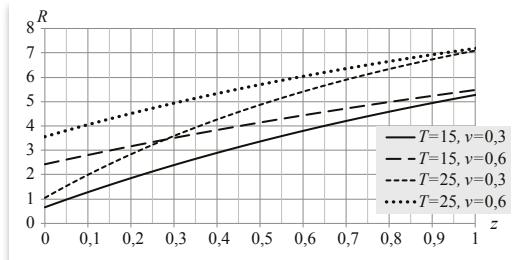


Рис. 1

Зависимости рентного мультипликатора МАШИНЫ от ИВ ( $z$ ) для  $r=0,08$  и ряда комбинаций значений  $T$  и  $v$

ИВ) и значимо растет с увеличением среднего срока службы и коэффициента вариации срока службы. Однако МАШИНЫ одного возраста могут находиться в разных состояниях и приносить соответственно разные выгоды. Поэтому и рентные мультипликаторы, и коэффициенты капитализации у них могут существенно различаться. Поэтому оценивать машины методом прямой капитализации представляется нецелесообразным.

### **5. Зависимости стоимости и коэффициентов годности машины от возраста**

В разд. 4 стоимость МАШИНЫ выражалась через ее состояние. Но обычно оценщик знает только возраст оцениваемой машины, но не может оценить стоимость производимой продукции, а значит, и размер приносимых выгод. Однако машины одного возраста, как правило, различаются по своему техническому состоянию и, следовательно, по стоимости. Поэтому оценщики обычно отбирают группу машин той же марки и примерно того же возраста с известными ценами и находят среднюю цену этих машин. Мы поступим так же и будем искать регрессионную зависимость стоимости МАШИН от их возраста или, что то же самое, среднюю стоимость работоспособных (неутилизированных) МАШИН каждого возраста  $t$ . Заметим, что если нам известен возраст МАШИНЫ  $t$ , мы знаем, что  $t$  лет назад она была новой, т.е. имела ИВ = 1. А тогда нам надо найти среднюю стоимость работоспособных МАШИН, которые  $t$  лет назад имели ИВ=1. К сожалению, сразу решить эту задачу не удается и приходится решать более общую задачу: найти среднюю стоимость работоспособных МАШИН, которые  $t$  лет назад имели ИВ =  $z$ .

Для этого обозначим через  $G_z^t$  группу работоспособных на дату оценки МАШИН, которые имели  $t$  лет назад ИВ =  $z$ , а через  $V(z, t)$  – среднюю их стоимость. Установим связь между  $V(z, t)$  и  $V(z, t+dt)$ .

С этой целью рассмотрим МАШИНЫ группы  $G_z^{t+dt}$ . Как мы видели ранее, вероятность того, что какая-нибудь МАШИНА с ИВ =  $z$  проживет еще время  $dt$ , равна  $1 - \lambda e^{-\alpha z} dt$ . Однако у МАШИН этой группы фатальных отказов не было и для них указанная (условная) вероятность равна 1. Поэтому для каждой из этих МАШИН возможны две ситуации:

- 1) с вероятностью  $(1 - \lambda dt) / (1 - \lambda e^{-\alpha z} dt)$  за время  $dt$  МАШИНА не откажет, ее ИВ не изменится, и она перейдет в группу  $G_z^t$ ;
- 2) произойдет поломка МАШИНЫ, после чего с вероятностью  $\left[ \lambda dt / (1 - \lambda e^{-\alpha z} dt) \right] \alpha e^{\alpha(u-z)} du$  ее ИВ попадет в малый интервал  $(u, u+du)$  на отрезке  $(0, z)$ , а МАШИНА перейдет в группу  $G_u^t$ .

В таком случае средняя стоимость МАШИН группы  $G_z^{t+dt}$  (с точностью до малых более высокого порядка) составит

$$\begin{aligned} V(z, t + dt) &= \frac{1 - \lambda dt}{1 - \lambda e^{-\alpha z} dt} V(z, t) + \frac{\lambda dt}{1 - \lambda e^{-\alpha z} dt} \int_0^z \alpha e^{\alpha(u-z)} V(u, t) du = \\ &= V(z, t) - \lambda dt (1 - e^{-\alpha z}) V(z, t) + \lambda \alpha dt \int_0^z e^{\alpha(u-z)} V(u, t) du. \end{aligned}$$

Из этого вытекает, что

$$\partial V(z, t) / \partial t = -\lambda (1 - e^{-\alpha z}) V(z, t) + \lambda \alpha \int_0^z e^{\alpha(u-z)} V(u, t) du.$$

Если в этом равенстве обозначить  $\int_0^z e^{\alpha(u-z)} V(u, t) du = R(z, t)$ , его можно заменить системой уравнений

$$\begin{cases} \partial V(z, t) / \partial t = -\lambda (1 - e^{-\alpha z}) V(z, t) + \lambda \alpha R(z, t); \\ \partial R(z, t) / \partial z = V(z, t) - \alpha R(z, t). \end{cases} \quad (8)$$

Учитывая, что стоимость  $V(z)$  МАШИНЫ, находящейся на дату оценки в состоянии  $z \geq 0$ , определяется формулой (2). Поэтому краевыми условиями для системы (8) будут

$$V(z, 0) = V(z) \text{ при } z \geq 0, R(0, t) = 0. \quad (9)$$

Поскольку в начале эксплуатации  $z=1$ , то средняя стоимость МАШИН возрастает  $t$  лет в этих обозначениях составит  $V(1, t)$ , а при  $t=0$  – совпадет со стоимостью новой МАШИНЫ  $V(1)$ . Поэтому средний коэффициент годности для МАШИН возраста  $t$  лет будет составлять

$$k(t) = V(1, t) / V(1, 0) = V(1, t) / V(1). \quad (10)$$

## 6. Экспериментальные расчеты

Решение системы (8)–(10), т.е. искомые коэффициенты годности  $k(t)$ , мы получали численными методами. Следуя рекомендациям (Справочник оценщика..., 2019), мы строили зависимости средних коэффициентов годности МАШИН от их относительного возраста ( $\tau$ ) – отношения возраста ( $t$ ) к среднему сроку службы ( $T$ ).

Была проведена серия расчетов для  $T=10...25$  лет,  $v=0,2...0,7$ . Оказалось, что зависимости средних коэффициентов годности от относительного возраста  $k(\tau)$  практически не зависят от среднего срока службы. Такие зависимости для  $r=0,08$  и ряда значений коэффициента вариации срока службы ( $v$ ) приведены на рис. 2.

Оказалось также, что ставка дисконтирования слабо влияет на коэффициенты годности – зависимости при  $r=0,08$  и  $r=0,16$  на графиках почти неразличимы. Отметим в связи с этим, что зависимости коэффи-

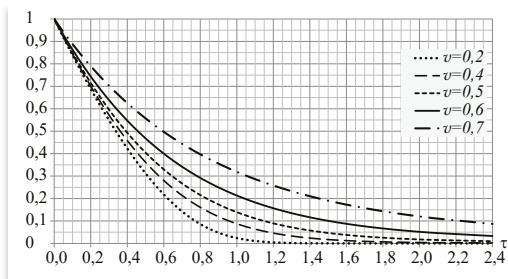


Рис. 2

Зависимости среднего коэффициента годности от относительного возраста МАШИН при разных коэффициентах вариации срока службы

циентов годности от относительного возраста рекомендовались и в (Справочник оценщика..., 2019), однако там они описывались иными аналитическими выражениями.

## 7. Более реалистичные допущения

При построении предложенной модели был сделан ряд серьезных и не слишком реалистичных допущений. Оказывается, что их можно существенно смягчить, сделав модель пригодной для практического применения.

**Оценка РС производимого продукта.** Ранее мы предположили, что владелец МАШИНЫ может измерять интенсивность выгод, которые она приносит, и определять, в какой момент она стала отрицательной. Но для этого, как минимум, надо знать РС единицы производимого МАШИНОЙ продукта ( $p$ ). Полученные формулы позволяют ее оценить.

Ранее ИВ новой МАШИНЫ была принята за единицу, а стоимость новой МАШИНЫ в этих единицах ( $V(1)$ ) определялась формулой (2). Обозначим через  $B_0$  ИВ новой МАШИНЫ в рублях в год<sup>5</sup>. Тогда  $B_0 = pW_0 - C_0$ , где  $W_0$  – производительность новой МАШИНЫ,  $C_0$  – интенсивность ее операционных затрат<sup>6</sup>, выраженная в рублях в год.

Поэтому стоимость новой МАШИНЫ в рублях будет равна  $V_0 = B_0 V(1)$ . Но мы решаем задачу оценки подержанной МАШИНЫ, а при ее решении стоимость новой МАШИНЫ предполагается известной (о методах оценки новых машин говорилось во введении). Поэтому из полученных формул можно вначале определить величину  $B_0 = V_0 / V(1)$ , а затем и неизвестную РС единицы производимого продукта  $p = [V_0 / V(1) + C_0] / W_0$ .

На практике производительность машин и затраты по их эксплуатации периодически измеряются. Поэтому, теоретически, владелец МАШИНЫ может оценивать и интенсивность приносимых ею выгод, а значит, и выявлять ситуации, когда она становится отрицательной (в этих ситуациях удельные операционные затраты  $C/W$  будут превышать  $p$ ).

**Учет утилизационной стоимости.** Утилизационную стоимость МАШИН, обозначим ее  $U$ , мы считали нулевой, хотя на самом деле она невелика, но отлична от нуля. В таком случае решение об утилизации машины при отрицательных выгодах от ее эксплуатации будет ошибочным. Действительно, рассмотрим МАШИНУ, у которой РС =  $V > U$ . Обозначим через  $z$  ее ИВ. Наиболее эффективным будет использовать ее по назначению в течение малого периода  $dt$ . Тогда она принесет выгоды в сумме  $zdt$ , а в конце периода ее стоимость либо останется прежней (если не будет отказа), либо (в случае отказа) не вырастет. Отсюда, в соответствии с принципом ожидания выгод,

<sup>5</sup> В этом случае используемый нами измеритель состояния МАШИНЫ  $z$  оказывается отношением ее ИВ к ИВ новой МАШИНЫ ( $B_0$ ).

<sup>6</sup> На практике оценщики обычно определяют годовые операционные затраты применительно к нормальному графику технического обслуживания и ремонта и в предположении о неизменности характеристик машины на протяжении года. Это может служить хорошей оценкой для  $C$ . Кроме того, значения  $W_0$  и  $C_0$  могут быть установлены на основе паспортных данных новой МАШИНЫ.

имеем  $V \leq zdt + (1 - rdt)V = V + (z - rV)dt$ . Такое неравенство возможно, только если  $z \geq rV \geq rU$ . Таким образом, любая МАШИНА, стоимость которой превышает утилизационную, должна приносить выгоды с интенсивностью не меньшей, чем  $rU$ . Поэтому фатальными должны считаться отказы, после которых ИВ МАШИНЫ становится меньше  $rU$ . Соответственно должен измениться и нижний предел в интеграле, входящем в формулу (1).

По сути, сейчас мы решали одну из задач оптимального управления использованием машин в условиях случайных отказов, а именно – задачу выбора оптимального момента вывода машины из эксплуатации. Такого типа задачи в теории надежности обычно решаются по критерию минимизации средних (в том или ином смысле) затрат (см., например, (Arts, 2017; Hwang, Samat, 2019)). Однако такой критерий не в полной мере отвечает коммерческим интересам фирм, владеющих машинами. В нашем случае оптимальное решение направлено на максимизацию стоимости фирмы, что более оправдано с экономических позиций.

Полученное решение явно противоречит стандартам оценки, где сказано: «Экономически целесообразный срок полезного использования (economic life) указывает на то, как долго актив может приносить финансовую прибыль или создавать нефинансовые выгоды при его текущем использовании» (МСО 2017, МСО 105, п. 80.3). Другими словами, согласно МСО экономически целесообразный срок полезного использования актива должен завершаться, когда он начинает приносить отрицательные выгоды. Как мы видели, это утверждение ошибочно (для таких активов, как нефтяные месторождения, это было показано еще в (Смоляк, 2005)).

Введем теперь специальные обозначения для скорректированных стоимостей МАШИН и их ИВ:  $\tilde{V} = V - U$ ,  $\tilde{z} = z - rU$ , тогда  $V = \tilde{V} + U$ ,  $z = \tilde{z} + rU$ . Если сделать такие замены в формуле (1), мы увидим, что она останется без изменения с той лишь разницей, что стоимости и интенсивности выгод заменятся на скорректированные. Соответствующие изменения произойдут и в последующих формулах. Средние сроки службы при этом не изменятся, но формула (10) позволит определить только скорректированные коэффициенты годности  $\tilde{k}(t) = \tilde{V}(t)/\tilde{V}(0)$ , относящиеся к машинам с нулевой утилизационной стоимостью. Настоящие же коэффициенты годности получим, переходя от скорректированных стоимостей к настоящим:

$$k(t) = \frac{V(t)}{V(0)} = \frac{\tilde{V}(t) + U}{V(0)} = \frac{\tilde{V}(0)\tilde{k}(t) + U}{V(0)} = \frac{[V(0) - U]\tilde{k}(t) + U}{V(0)}.$$

Обозначив относительную утилизационную стоимость МАШИН  $U/V(0)$  через  $u$ , можно получить ту же формулу, что и в (Смоляк, 2005, 2016):

$$k(t) = (1 - u)\tilde{k}(t) + u. \quad (11)$$

Отметим простой экономический смысл формулы (11). В ней, по существу, стоимость **МАШИНЫ** разложена на две составляющие: первая отражает стоимость **МАШИНЫ** как средства производства продукта, а вторая – ее стоимость как объекта утилизации. При этом с увеличением возраста вторая составляющая не меняется, а первая меняется так, как было бы, если бы утилизационная стоимость машины была нулевой.

Другими, наименее реалистичными, были допущения об отсутствии инфляции и налога на прибыль. Оказывается, их также можно ослабить.

Начнем с того, что стандарты оценки (МСО 2017) допускают оценку активов с применением различных видов денежных потоков и соответствующих ставок дисконтирования. В частности, можно использовать и реальные (очищенные от влияния инфляции) доналоговые (до уплаты налога на прибыль) денежные потоки, дисконтируя их по реальной доналоговой ставке<sup>7</sup>. Поэтому, формально, построенная модель должна быть применима и при наличии налога на прибыль и инфляции. Ниже мы уточняем и обосновываем этот вывод.

**Учет инфляции.** Посмотрим сначала, как практически учитывают инфляцию оценщики. Необходимость в этом возникает, например, при оценке новой машины определенной марки, если такие машины (точные копии оцениваемой) ранее продавались, но на дату оценки на рынке отсутствуют. В подобных ситуациях оценщик анализирует сложившуюся динамику цен этих машин и формирует разумный прогноз этих цен на дату оценки. Иногда имеющихся данных недостаточно, и тогда используются данные о ценах аналогичных машин других марок или индексы цен машин более широкой группы, например ценовые индексы по соответствующей товарной группе, публикуемые Росстатом (Оценка машин..., 2018). Все это позволяет с той или иной точностью установить темп роста цен на новые машины оцениваемой марки в ближайшей перспективе.

Однако все подержанные машины – разные, и оценить темп роста их цен даже в ретроспективном периоде невозможно (равно как и оценить динамику среднего веса 30-летних пассажиров электричек). В то же время потенциальные покупатели подержанных машин всегда рассматривают и альтернативу покупки новой машины на первичном рынке, и продавцы с этим вынуждены считаться. В такой ситуации оценщики принимают, что на вторичном рынке цены растут так же, как и на первичном<sup>8</sup>, а коэффициенты годности не меняются. Инфляцию, при которой цены всех объектов одной группы растут пропорционально, мы называем групповой (group-specific inflation) (Смоляк, 2014, 2016; Smolyak, 2012). Соответствующий темп роста цен можно назвать темпом групповой инфляции.

<sup>7</sup> Номинальную доналоговую безрисковую годовую ставку оценщики обычно выводят из кривой бескупонной доходности государственных облигаций, публикуемой ЦБ РФ (см., например, [https://cbr.ru/hd\\_base/zcyc\\_params/](https://cbr.ru/hd_base/zcyc_params/)). Исключив из нее темп общей инфляции в стране по формуле Фишера, можно получить реальную доналоговую безрисковую годовую ставку.

<sup>8</sup> Для рынка квартир это уже не так.

Таким образом, на практике оценщики, по существу, опираются на допущение о групповом характере инфляции для машин одной марки (а нередко и для более широкой группы машин одного типа или назначения), по крайней мере в течение года. Подобное допущение не является чем-то необычным. Так, при оценке зданий, помещений и оценке эффективности строительных и иных реальных инвестиционных проектов приходится учитывать рост цен на жилые и офисные помещения и рост затрат на строительно-монтажные работы. В этих целях в расчеты закладываются некоторые средние фактические или прогнозируемые темпы роста указанных цен и затрат. Но это как раз и означает, что темпы роста цен на любые (а не только сооружаемые по проекту) жилые и офисные помещения или любые виды строительно-монтажных работ предполагаются одинаковыми.

О групповом характере инфляции свидетельствует и такой факт. В США для оценки машин и оборудования используют публикуемые властями штатов таблицы процентов годности, например (2019 Cost Index..., 2019; 2020 Personal Property Manual..., 2020). Эти таблицы ежегодно пересматриваются, однако сами значения процентов годности для каждого вида машин изменяются незначительно.

В условиях групповой инфляции интенсивности приносимых машинами выгод будут меняться таким же темпом, что и их стоимости. Но, как говорилось в начале раздела, измеритель состояния МАШИН в нашей модели является, по сути, отношением ИВ МАШИНЫ к ИВ новой МАШИНЫ, а изменение цен на это отношение не влияет. Поэтому при групповой инфляции состояния МАШИН будут меняться так же, как при ее отсутствии. Но если стоимости всех МАШИН со временем изменяются с одним и тем же темпом  $i$ , то уравнение (1) (с точностью до малых более высокого порядка) принимает вид

$$\begin{aligned} V(z) &= Bzdt + (1 - rdt)(1 + idt) \left[ (1 - \lambda dt)V(z) + \lambda dt \int_0^z \alpha e^{\alpha(u-z)} V(u) du \right] = \\ &= Bzdt + (1 - pdt) \left[ (1 - \lambda dt)V(z) + \lambda dt \int_0^z \alpha e^{\alpha(u-z)} V(u) du \right], \end{aligned} \quad (13)$$

где  $p = r - i$  – ставка дисконтирования, скорректированная на групповую инфляцию. Подобная ставка сходна с обычно используемой реальной ставкой по своему экономическому содержанию, но может отличаться по величине, так как при определении реальной ставки вычитается темп общей инфляции в стране, который не обязательно совпадает с темпом роста цен на машины.

Как мы видим, формула (13) отличается от (1) только ставкой дисконтирования. Поэтому в условиях групповой инфляции стоимости машин будут описываться тем же уравнением (1) со ставкой дисконтирования, скорректированной с учетом инфляции.

**Налог на прибыль** в модели не учтен. Его можно включить в состав денежного потока, но тогда для дисконтирования должна при-

меняться посленалоговая номинальная ставка (МСО 2017). Если воспользоваться тем же подходом, что и в (Смоляк, 2012; Smolyak, 2012), то оказывается, что в результате основное уравнение модели не изменится, и даже ставка  $r$  останется доналоговой, как и требуют стандарты оценки.

**Учет адвальорных затрат.** В состав операционных затрат включаются расходы на страхование, налог на имущество (которым в ряде стран облагаются машины и оборудование) и иные, зависящие от стоимости машины (адвальорные). Их удобно характеризовать эффективной ставкой — отношением суммы этих затрат к рыночной стоимости машины. Такая ставка невелика (обычно до 3%, в некоторых штатах США — до 4%). Адвальорные затраты уменьшают налогооблагаемую прибыль и размер выгод, но их сумма зависит от состояния машины, что в нашей модели не учтено. Оказывается, что при определении выгод эти затраты можно не учитывать (как бы исключив их из состава операционных), если применить подход, предложенный в (Смоляк, 2012; Smolyak, 2012). При этом основное уравнение модели сохранится, но ставку дисконтирования понадобится увеличить на эффективную ставку адвальорных затрат. На этом основании принятую в наших расчетах ставку дисконтирования  $r = 0,08$  можно считать реалистичной (тем более что зависимости  $k(\tau)$  мало зависят от изменения этой ставки).

## 8. Проверка адекватности построенной модели

Разумеется, многие реальные машины не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к МАШИНАМ в нашей модели. Владельцы не всегда следят за экономическими характеристиками машин и не всегда правильно назначают момент вывода их из эксплуатации. Тем не менее большинство владельцев машин стараются использовать их по возможности экономически рационально. Это позволяет считать, что динамика средних коэффициентов годности машин будет примерно такой же, как и в нашей модели. Мы попытались проверить эту гипотезу на примере бульдозеров Б10М ЧТЗ и экскаваторов ЭО 2621В. Для машин этих марок расчеты проводились в следующем порядке.

Вначале на основе цен первичного рынка оценивалась стоимость новых машин, а на основе цен на металлом и подержанные детали машин — утилизационная стоимость машин. Отсюда выводилась и относительная утилизационная стоимость машин ( $u$ ). Для бульдозеров Б10М ЧТЗ она составила примерно 0,07, для экскаваторов ЭО 2621В — 0,08.

По данным вторичного рынка сформировались выборки цен 188 бульдозеров и 190 экскаваторов разного возраста. Разделив цену каждой машины на стоимость новой машины той же марки, мы определяли относительные цены машин.

Перебирались различные сочетания среднего срока службы машин  $T$  и коэффициента вариации срока службы  $v$ . При каждом соче-

тании решалась система (8)–(9) и рассчитывались средние коэффициенты годности по формуле (10). Однако поскольку эти коэффициенты отвечают нулевой утилизационной стоимости, они пересчитывались по формуле (11).

Определялось среднеквадратичное отклонение относительных цен машин разного возраста от соответствующих коэффициентов годности.

Выбиралось сочетание значений  $T$  и  $v$ , при котором это среднеквадратичное отклонение оказывалось бы наименьшим.

Результаты этой процедуры и оптимальные сочетания параметров  $T$  и  $v$  показаны на рис. 3–4.

Оказалось также, что построенные зависимости цен машин от возраста обеспечивают не меньшую точность аппроксимации, чем традиционные (степенные или экспоненциальные) регрессионные зависимости или указанные в (Справочник оценщика..., 2019).

Заметим, что средний срок службы бульдозеров Б10М ЧТЗ и экскаваторов ЭО 2621В, по расчетам, составил 11 лет. Амортизационный срок их службы в Республике Беларусь – 8 и 10 лет соответственно. В РФ эти машины попадают в четвертую амортизационную группу, которой отвечают сроки полезного использования от 5 до 7 лет. Как мы видим, средние сроки службы здесь превышают амортизационные, хотя процент превышения меньше рекомендованного в справочнике (Справочник оценщика..., 2019, табл. 5.2.1.1).

В обоих случаях коэффициент вариации срока службы  $v$  оказался около 0,6. В (Лейфер, Кашникова, 2008) со ссылкой на издания 1980-х годов утверждается, что обычно для машин, используемых в РФ, он должен составлять 0,3, ..., 0,4. Более подробная таблица коэффициентов вариации, учитывающая особенности производства и эксплуатации машин, была приведена в нормативном документе 1983 г. (РД 26-01-143-83<sup>9</sup>, табл. 3 спарочного приложения 3) и с некоторыми изменениями повторена в учебниках XXI века (Острайковский, 2003; Питухин, Шиловский, Костюкевич, 2010; Гринчар, Чалова, Фомин, 2014). Из нее

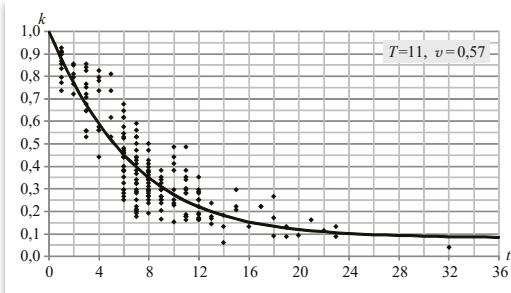


Рис. 3

Относительные цены и средние коэффициенты годности бульдозеров Б10М ЧТЗ разного возраста

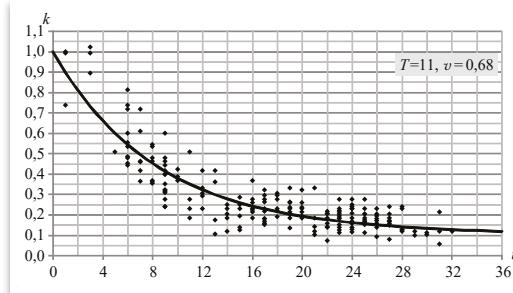


Рис. 4

Относительные цены и средние коэффициенты годности экскаваторов ЭО 2621В разного возраста

<sup>9</sup> РД 26-01-143-83. Надежность изделий химического машиностроения. Оценка надежности и эффективности при проектировании.

вытекает, что для ряда машин не слишком высокого качества изготовления, условия эксплуатации которых могут меняться в широких пределах, значения  $v$  могут превышать 0,6. На возможность больших коэффициентов вариации срока службы обращалось внимание и в (Смоляк, 2017). О том же свидетельствует и наличие на вторичном рынке относительно большого числа работоспособных машин (тракторов, экскаваторов, бульдозеров, дорожных катков, седельных тягачей и др.), возраст которых в 3–4 раза превышает амортизационный срок службы (см. рис. 3–4). Представляется, что сроки службы многих видов машин (по крайней мере эксплуатирующихся в российских условиях) на самом деле имеют высокие коэффициенты вариации, правда при этом распределения сроков службы имеют более тяжелые хвосты по сравнению с распределением Вейбулла–Гнеденко, на которое ориентировались авторы (Лейфер, Кашникова, 2008) и РД 26-01-143-83. Нельзя не отметить, что для описания отказов машин и их элементов многие авторы используют именно распределение Вейбулла–Гнеденко, подтверждая это фактическими данными. Однако в подавляющем большинстве таких публикаций речь идет лишь об отказах отдельных (хотя и наиболее важных) элементов машин – узлов и деталей, но не о фатальных (ресурсных) отказах машины в целом. Это объясняется тем, что для более или менее надежного установления вида распределения фатальных отказов потребовалось бы длительное наблюдение за сотнями машин с начала их эксплуатации, что практически невозможно.

## 9. Заключение

Предложенная модель позволяет выяснить влияние пуассонского процесса деградации машин на их стоимость и срок службы, а также установить необходимую оценщикам зависимость средних коэффициентов годности от возраста. Случайный процесс деградации при этом характеризуется двумя параметрами, что можно считать преимуществом модели. Если деградация реальных машин определенной марки носит примерно такой характер, то параметры процесса можно оценить, не проводя каких-либо испытаний на надежность, а опираясь на данные о рыночных ценах машин разного возраста. Анализ модели лишний раз подтверждает выявленную ранее нецелесообразность применения метода прямой капитализации для оценки машин.

Принятую в статье модель процесса деградации машины нельзя считать достаточно адекватной – его можно описать и случайными процессами иного типа. Однако изложенный подход к установлению зависимостей коэффициентов годности от возраста будет применим и в таких ситуациях.

В предложенной модели учтено только ухудшение технического состояния машин в процессе эксплуатации, но не учтено, что они могут проходить капитальные ремонты, после которых техническое состояние существенно улучшается, а стоимость повышается. Это сущ-

ственныи недостаток модели. Теоретически устраниить его можно. В теории надежности широко используются предложенные Кидзимой две концепции виртуального (эффективного) возраста, позволяющие моделировать процесс эксплуатации объектов и учитывающие последствия их ремонта (Kijima, 1989). По-видимому, эти концепции можно объединить с предложенной моделью деградации и построить зависимости коэффициентов годности машин от их виртуального (эффективного) возраста. Это позволило бы существенно повысить точность стоимостных оценок – ведь значительный разброс цен машин одного возраста во многом обусловлен нерегулярностью проведения капитальных ремонтов. К сожалению, реализация этой идеи сталкивается с двумя трудностями. Во-первых, нет надежной информации о том, как меняются производительность реальных машин и их операционные затраты после капитального ремонта при разных длительностях предыдущего межремонтного цикла. Это не позволяет хотя бы ориентировочно оценить калибровочные параметры моделей Кидзимы. Во-вторых, о продаваемых на российском рынке машинах обычно не известна история их капитальных ремонтов. Это не позволяет оценить виртуальный (эффективный) возраст продаваемых машин и, следовательно, сопоставить их цены с рассчитанными по модели стоимостями. Поэтому модели процессов деградации машин, учитывающие капитальные ремонты, вряд ли в ближайшее время можно будет использовать для стоимостной оценки.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Аркин В.И., Сластников А.Д., Смоляк С.А.** (2006). Оценка имущества и бизнеса в условиях неопределенности (проблемы «хвоста» и «начала») // *Аудит и финансовый анализ*. №1. С. 81–92. [**Arkin V.I., Slastnikov A.D., Smolyak S.A.** (2006). Valuation of property and business under uncertainty (problems of the “tail” and “beginning”). *Audit and Financial Analysis*, 1, 81–92 (in Russian).]
- Гринчар Н.Г., Чалова М.Ю., Фомин В.И.** (2014). Основы надежности машин. Часть 1: Учебное пособие. М.: МГУПС. [**Grinchar N.G., Chalova M.Yu., Fomin V.I.** (2014). *The basics of machine reliability*. Part 1: Study Guide. Moscow: MGUPS (in Russian).]
- Канторович Л.В.** (1960). Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. М.: Изд-во АН СССР. [**Kantorovich L.V.** (1960). *Economic calculation of the best use of resources*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR (in Russian).]
- Лейфер Л.А., Кашикова П.М.** (2008). Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. № 1 (76). С. 66–79. [**Leifer L.A., Kashnikova P.M.** (2008). Determination of the residual life of machines and equipment based on probabilistic models. *Property Relations in the Russian Federation*, 1 (76), 66–79 (in Russian).]

- Лившиц В.Н.** (1971). Выбор оптимальных решений в технико-экономических расчетах. М.: Экономика. [*Livchits V.N.* (1971). *Selection of optimal solutions in technical and economic calculations*. Moscow: Ekonomika (in Russian).]
- Остreyковский В.А.** (2003). Теория надежности: Учебник для вузов. М.: Высшая школа. [*Ostreykovsky V.A.* (2003). *Reliability theory: A textbook for high schools*. Moscow: Higher School (in Russian).]
- Оценка машин и оборудования: учебник (2018). М.А. Федотова, А.П. Ковалев и др. 2-е изд. М.: ИНФРА-М. [*Machinery and equipment valuation: Textbook* (2018). Fedotova M. et al. Ed. 2nd. Moscow: INFRA-M (in Russian).]
- Питухин А.В., Шиловский В.Н., Костюкевич В.М.** (2010). Надежность лесозаготовительных машин и оборудования: Учебное пособие. СПб.: Лань. [*Pitukhin A.V., Shilovsky V.N., Kostyukevich V.M.* (2010). *Reliability of forestry machines and equipment: Textbook*. St. Petersburg: Lan' (in Russian).]
- Мышанов А.И., Рослов В.Ю.** (2007). Модифицированный метод сроков жизни для расчета износа оборудования // *Вопросы оценки*. № 2. С. 64–68. [*Myshanov A.I., Roslov V.Yu.* (2007). Modified lifetime method for calculating equipment depreciation. *Voprosy Otsenki*, 2, 64–68 (in Russian).]
- Смоляк С.А.** (2005). О некоторых проблемах оптимизации разработки нефтяных месторождений. В сб.: «Анализ и моделирование экономических процессов». Под ред. В.З. Беленьского. Вып. 2. М.: ЦЭМИ РАН. С. 115–138. [*Smolyak S.A.* (2005). On some problems in optimization of working out of oil sources. In: *Analysis and modeling of economic processes*. V.Z. Belenky (ed.). Issue 2. Moscow: CEMI Russian Academy of Sciences, 115–138 (in Russian).]
- Смоляк С.А.** (2008). Проблемы и парадоксы оценки машин и оборудования. М.: РИО МАОК. [*Smolyak S.A.* (2008). *Problems and paradoxes of machinery and equipment valuation*. Moscow: RIO MAOK (in Russian).]
- Смоляк С.А.** (2012). Стохастическая модель для оценки износа машин // *Экономика и математические методы*. Т. 48. № 1. С. 56–66. [*Smolyak S.A.* (2012). A stochastic model for assessing machinery depreciation. *Economics and Mathematical Methods*, 48, 1, 56–66 (in Russian).]
- Смоляк С.А.** (2014). Зависимость стоимости машин от возраста: проблемы и модели // *Аудит и финансовый анализ*. № 5. С. 138–150. [*Smolyak S.A.* (2014). The dependence of the market values of machinery and equipment items on their age: Problems and mathematical models. *Audit and Financial Analysis*, 5, 138–150 (in Russian).]
- Смоляк С.А.** (2016). Стоимостная оценка машин и оборудования. М.: Опцион. [*Smolyak S.A.* (2016). *Machinery and equipment valuation*. Moscow: Option Publishing House (in Russian).]
- Смоляк С.А.** (2017). О вероятностных моделях для оценки остаточного срока службы и износа машин и оборудования // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. № 2(185). С.75–87. [*Smolyak S.A.* (2017). On probabilistic models for assessing the residual life and depreciation of machinery and equipment. *Property Relations in the Russian Federation*, 2 (185), 75–87 (in Russian).]

- Смоляк С.А.** (2018). Стоимостная оценка машин в условиях неопределенности их технико-экономических характеристик // *Аудит и финансовый анализ*. № 5. С. 52–60. [Smolyak S.A. (2018). Valuation of machines under uncertainty of their technical and economic characteristics. *Audit and Financial Analysis*, 5, 52–60 (in Russian).]
- Справочник оценщика машин и оборудования. Корректирующие коэффициенты и характеристики рынка машин и оборудования (2019). Под ред. Л.А. Лейфера. Изд. 2-е. Нижний Новгород: Приволжский центр методического и информационного обеспечения оценки. [*Handbook of appraiser of machinery and equipment. Correction factors and characteristics of the market of machinery and equipment* (2019). Leifer L.A. (ed.) 2nd. ed. Nizhny Novgorod: Volga Center for Methodological and Informational Evaluation (in Russian).]
- 2019 Cost index & depreciation schedules (2019). Raleigh: North Carolina Department of Revenue.
- 2020 Personal property manual (2020). Arizona Department of Revenue. Available at: [https://azdor.gov/sites/default/files/media/PROPERTY\\_pp-manual.pdf](https://azdor.gov/sites/default/files/media/PROPERTY_pp-manual.pdf)
- AH 581. Assessor's Handbook, Section 581 (2019). Equipment and fixtures index, percent good and valuation factors. California State Board of Equalization. January.
- AH 582. Assessor's Handbook, Section 582 (1981). The explanation of the derivation of equipment percent good factors. California State Board of Equalization. February. Reprinted August 1997.
- Arts J.J. (2017). Maintenance modeling and optimization. (BETA publicatie: Working Papers. Vol. 526). Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Hwang J.Q., Samat H.A. (2019). IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 530 012048.
- Kijima M. (1989). Some results for repairable systems with general repair. *Journal of Applied Probability*, 26 (1), 89–122.
- Li W., Pham H. (2005). Reliability modeling of multi-state degraded systems with multi-competing failures and random shocks. *IEEE Transactions on Reliability*, 54 (2), 297–303.
- Lin Y.H., Li Y.F., Zio E. (2014). Integrating random shocks into multi-state physics models of degradation processes for component reliability assessment. *IEEE Transactions on Reliability*, 64 (1), 154–166.
- Nakagawa T. (2007). Shock and damage models in reliability theory. Berlin: Springer Verlag.
- Smolyak S.A. (2012). Models for estimating depreciation in plants, machinery, and equipment: Analysis and proposals. *Journal of Property Tax Assessment & Administration*, 9, 3, 47–86.
- Wang Z., Huang H.-Z., Li Y., Xiao N.-C. (2011). An approach to reliability assessment under degradation and shock process. *IEEE Transactions on Reliability*, 60 (4), 852–863.

*Поступила в редакцию 30.01.2020**Received 10.01.2020*

**S.A. Smolyak**Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy  
of Sciences, Moscow, Russia

## **The Poisson process of machinery degradation: Application to valuation**

**Abstract.** The machinery degradation process is described by a random process in which failures occur with constant intensity, and with each failure the rate of benefits generated by the machinery item reduces by a random amount. If the machinery item begins to generate negative benefits, it is subject to decommissioning. We get explicit expressions for the average life of the machinery items and the coefficient of variation of the service life. Machine's value is determined by discounting the flow of benefits from its future use. This allows to link this value with the rate of benefits that the machinery item brings. In cases where there is no information on the amount of such benefits, appraisers rely on the machine's age. However, different machinery items of the same age may be found in a different condition and therefore are characterized by different values. We offer formulas for calculating the percent good factors reflecting the average decrease in the equipment's value with age. To take into account the effects of income tax, property tax and inflation, it suffices to adjust the discount rate in the constructed model. It has been verified that the proposed dependencies are in a fairly good agreement with market price data for two different types of construction equipment.

**Keywords:** *machinery, market value, benefits, valuation, age, depreciation, percent good factors, degradation, failures, exponential failure distribution.*

JEL Classification: C44, C52, D46, D81, M11.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-3

# Исследование российской экономики



**С.М. Иващенко**

Источники долгосрочного роста  
секторов российской экономики

**А.С. Строков**

**Д.С. Терновский**

**В.Ю. Поташников**

**А.А. Потапова**

Оценка экологических  
экстерналий как последствий  
расширения внешнеторговой  
деятельности

С.М. Иващенко

Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург;  
Научно-исследовательский финансовый институт Минфина РФ,  
Москва; Факультет экономики СПбГУ, Санкт-Петербург

## Источники долгосрочного роста секторов российской экономики<sup>1</sup>

**Аннотация.** Теоретические модели обычно предполагают стационарность отраслевой структуры экономики. Отношение показателей (из шести) для произвольных двух из 14 отраслей (секторов) российской экономики в большинстве случаев оказывается нестационарным. Ранг коинтеграции показателей внутри отдельной отрасли различается кардинально. В статье построена модель динамического стохастического частичного экономического равновесия (ДСЧЭР) с пятью источниками стохастического тренда: общая производительность факторов; эффективность инвестиций; предложение труда; цены на инвестиционные товары; цены на промежуточные товары. Модель ДСЧЭР представляет собой описание фирм в стиле моделей динамического стохастического общего экономического равновесия (ДСОЭР-моделей), а остальная экономика задается экзогенными правилами. Модель была оценена для каждого из 14 секторов российской экономики. Любые два сектора значительно отличаются по ключевым параметрам (коэффициенты производственной функции, выбытия капитала, эластичности спроса). С точки зрения сноса в источниках стохастического тренда лишь три из 182 или восемь из 91 (в зависимости от спецификации теста) различаются незначимо. Разложения дисперсии тренда радикально отличаются по отраслям и переменным. Таким образом, использование агрегированных данных в теоретических моделях ведет к потере существенной информации.

**Ключевые слова:** стохастический тренд, единичный корень, отрасль, сектор.

Классификация JEL: C32; E32.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-4

### Введение

Многие макроэкономические модели строятся на агрегированных данных. Ярким примером этого являются динамические стохастические модели общего экономического равновесия (ДСОЭР). Они широко применяются центральными банками и другими официальными организациями по всему миру (Tovar, 2009). Основное достоинство ДСОЭР-моделей состоит в том, что они объясняют динамику переменных в терминах теоретической модели (основанной на предпочтениях и технологиях) и позволяют обойти проблему критики Лукаса (Lucas, 1976). Это делает ДСОЭР-модели ключевым инструментом для выработки решений государства не только в области денежной, но и фискальной политики (Андреев, Полбин, 2018; Вотинов, Елкина, 2018).

Многие временные ряды макроэкономической статистики являются переменными единичного корня, т.е. характеризуются наличием стохастического тренда в своей динамике. Если посмотреть на дезагрегированные данные, например, в разрезе по секторам, можно увидеть,

<sup>1</sup> Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-010-01185) «Структурные изменения в экономике России: роль человеческого капитала и инвестиций».

что соответствующие стохастические тренды некоинтегрируемы. Это означает, что их доли могут сколь угодно далеко уходить от начального состояния и свойства стохастического тренда в агрегированных данных могут меняться.

Проблему существования тренда в ДСОЭР-моделях периодически решают эконометрическими средствами (Полбин, 2014; Ascari, Castelnovo, Rossi, 2011; Smets, Wouters, 2003). Однако это ведет к существенному падению качества оценок параметров (Иващенко, 2019). Более правильный и аккуратный подход предполагает введение в модель стохастического тренда. Есть три основных способа введения тренда в ДСОЭР-модели: через общую производительность факторов (Иващенко, 2013; Chaudourne, Feve, Guay, 2014; Diebold, Schorfheide, Shin, 2017); через инвестиции (Schmitt-Grohé, Uribe, 2011; Justiniano, Primiceri, Tambalotti, 2011) и труд (Chang, Doh, Schorfheide, 2007). Введение трендов, специфических для отраслей в рамках ДСОЭР-моделей, чрезвычайно проблематично или вообще невозможно. Соответственно, во всех упомянутых выше моделях отношение показателей двух отраслей (где присутствует более одной отрасли производства) является стационарным процессом.

ДСОЭР-модели крайне редко используют отраслевые данные и содержат что-либо дополнительное, кроме разделения на торгуемый и неторгуемый сектора, как в (Akkoyun, Arslan, Kilinc, 2017). Изредка добавляется что-либо вроде энергетического или добывающего сектора для экономик, где он играет важную роль (Ojeda, Parra-Polania, Vargas, 2014; Tan, 2017). Лишь в нескольких работах авторы используют более дробное разбиение экономики на сектора (Иващенко, 2016; Onatski, Ruge-Murcia, 2013). Это связано с ростом сложности как построения, так и оценки параметров модели при увеличении в ней числа секторов.

Таким образом, есть признаки потери существенной информации от применения агрегированных данных, с одной стороны, а с другой, возникают существенные сложности в построении ДСОЭР-моделей, содержащих множество секторов. Решением этой проблемы является построение модели динамического стохастического частичного экономического равновесия (ДСЧЭР), т.е. модели, где поведение одного сектора описывается подробно (аналогично тому, как это делается для ДСОЭР-моделей), а остальные сектора задаются экзогенными правилами. Это позволит оценить модель для каждого сектора российской экономики, а также легко вводить в модель дополнительные стохастические тренды, которые сложно вводить в рамках стандартной ДСОЭР-модели, и можно получить ответ об источниках долгосрочного развития отраслей российской экономики.

Целью данной работы является анализ источников стохастических трендов в секторах российской экономики и сравнение отраслей с этой точки зрения. Для этого вначале будет проведен эконометрический анализ данных по секторам российской экономики с точки зрения

стохастических трендов. Затем будет построена модель динамического стохастического частичного экономического равновесия. На следующем этапе данная ДСЧЭР-модель будет оценена для каждого сектора российской экономики, после чего – проведено сравнение полученных результатов.

### **1. Данные и эконометрический анализ**

Для расчетов были взяты ежеквартальные данные со II квартала (q2) 2003 г. по II квартал (q1) 2019 г. Для каждого сектора используются следующие ряды.

Темпы роста реальной ( $obs_{dYF,t}$ ) и номинальной ( $obs_{dPFYF,t}$ ) добавленной стоимости; темп роста занятости ( $obs_{dLF,t}$ ); темп роста номинальной заработной платы ( $obs_{dWF,t}$ ) и отношение заработной платы в данном секторе к средней заработной плате по экономике ( $obs_{WwW,t}$ ); отношение номинальных инвестиций в основной капитал к добавленной стоимости ( $obs_{IFYF,t}$ ); индекс цен на продукцию инвестиционного назначения ( $obs_{dPl,t}$ ).

Два ряда – общие для всех секторов: процентные ставки Mosprime 3m ( $obs_{RH,t}$ ) и дефлятор ВВП ( $obs_{dP,t}$ ). Отметим, что, за исключением данных о добавленной стоимости и ВВП, ряды данных начинаются с 2005<sub>q1</sub> или с 2005<sub>q2</sub>. Российские данные доступны в разной группировке отраслей для различных интервалов рассматриваемого периода. Соответственно, приходится использовать наиболее подробную группировку, в результате чего сформировался следующий список отраслей: сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (AB); добыча полезных ископаемых (C); обрабатывающие производства (D); производство и распределение электроэнергии, газа и воды (E); строительство (F); оптовая и розничная торговля, ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования (G); транспорт и связь (I); гостиницы и рестораны (H); финансовая деятельность (J); операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг (K); государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование (L); образование (M); здравоохранение и предоставление социальных услуг (N); прочие коммунальные, социальные и персональные услуги (O).

В некоторые периоды данные присутствуют одновременно в разных группировках, причем информация в них не совпадает, поэтому для таких периодов производится усреднение с линейно меняющимися весами. Например, данные о номинальной добавленной стоимости за 2011 г. можно найти в данных с 2003 по 2011 г. и с 2011 по 2016 г. Темпы роста за II квартал – это 75% показателя из 2003–2011 гг. и 25% – из 2011–2016 гг., а для IV квартала 2011 г. – это уже 75% показателя 2011–2016 гг. и 25% – показателя 2003–2011 гг. Из всех рядов было устранено влияние сезонности с помощью процедуры *tramo/seats* (Gomez, Maravall, 1996).

Рассмотрим 14 отраслей и данные, позволяющие восстановить шесть рядов (оказывающихся в большинстве моделей процессами единичного корня) для каждого сектора: реальная добавленная стоимость ( $Y$ ), номинальная добавленная стоимость ( $PY$ ), занятость ( $L$ ), заработная плата ( $W$ ), номинальные инвестиции ( $P\bar{I}$ ), индекс цен инвестиционных товаров ( $P_I$ ). Обычно предполагается, что отношение для двух отраслей каждого из показателей является стационарным процессом (Иващенко, 2016; Petrella, Santoro, 2011; Gawthorpe, 2019). Аналогичное предположение в неявном виде содержится в моделях межотраслевого баланса при использовании траектории сбалансированного роста (Szylt, 1985; Мараховский, 2006). Проверим это при помощи теста ADF для каждой пары отраслей и каждого из шести показателей. Для выбора числа лагов применяется информационный критерий Акаике (AIC). Нуевой гипотезой ADF-теста будет подтверждение факта, что ряд является процессом единичного корня. Такой порядок гипотез (в условиях выборки умеренной длины) может способствовать выбору нулевой гипотезы. Поэтому также используется KPSS-тест, для которого нулевая гипотеза – это стационарность рассматриваемого ряда. Сводные результаты приведены в табл. 1 (более подробно см. в Приложении, табл. А1–А6).

**Таблица 1**

Число стационарных пар (из 91 комбинации отраслей), согласно тестам ADF и KPSS

Показатель	Тест	
	ADF	KPSS
Индекс цен инвестиционных товаров	6	29
Реальная добавленная стоимость	5	38
Номинальная добавленная стоимость	10	57
Занятость	28	37
Заработная плата	12	48
Номинальные инвестиции	21	27

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что логарифм отношения соответствующих показателей для двух отраслей крайне редко оказывается стационарным. Согласно ADF-тесту – это наивысший показатель у занятости, и он составляет менее трети комбинаций отраслей. Если мы смотрим на KPSS-тест, то число стационарных отношений возрастает, но лишь для двух показателей чуть более половины пар отраслей будут стационарными. Это означает, что отношение любого показателя у двух отраслей скорее всего окажется процессом единичного корня, который может сколь угодно далеко уйти от начального состояния. Таким образом, данные явно отвергают распространенную теоретическую гипотезу (Gawthorpe, 2019; Petrella,

Santoro, 2011; Szyld, 1985; Иващенко, 2016; Мараховский, 2006) о наличии стационарной отраслевой структуры, вокруг которой существуют колебания. Теоретически можно было бы оценить ранг коинтеграции для всех отраслей для каждого отдельного показателя. Однако длина выборки порядка 56 периодов при 14 отраслях делает такой тест слишком ненадежным.

Рассмотрим соотношения любого из рассматриваемых показателей для нескольких отраслей по отдельности. Казалось бы, динамика добычи полезных ископаемых ( $C$ ), обрабатывающих производств ( $D$ ) и отрасли транспорта и связи ( $I$ ) должны быть связаны, т.е. отношение показателей должно быть стационарным. Но для реальной добавленной стоимости мы не можем отвергнуть гипотезу о нестационарности (лучшее значение  $p\text{-value} = 9,3\%$  для отношения у отраслей  $D$  и  $I$ ). С занятостью картина аналогична: невозможно отвергнуть гипотезу, что отношение числа занятых в отраслях  $I$  и  $D$  нестационарно (эта пара отраслей имеет  $p\text{-value} = 16,2\%$ , а это – лучшее значение для ADF-теста). То есть даже для связанных отраслей с точки зрения теории (Gawthorpe, 2019; Petrella, Santoro, 2011; Szyld, 1985; Иващенко, 2016; Мараховский, 2006) их относительные показатели могут со временем сколь угодно далеко уходить от начального состояния.

Разберем последствия нестационарности отношения показателей для пары отраслей. Критика Лукаса свидетельствует о необходимости микроэкономических оснований (Lucas, 1976). ДСОЭР-модели сочетают микроэкономические основания с высоким качеством прогнозов, что достигается благодаря формальной системе оценки параметров. Однако расчеты по ДСОЭР-моделям строятся на аппроксимации решения методом возмущения (Tovar, 2009). Это означает, что переменные модели не должны сильно отклоняться от точки, в которой строится аппроксимация. Сочетание балансовых ограничений (например, для труда) с нестационарностью отношения показателей (занятости в различных отраслях) показывает, что переменные модели могут сколь угодно далеко уходить от начальной точки, в которой строится аппроксимация. Таким образом, построение модели с микроэкономическими основаниями и использованием существующих методов аппроксимации решения, разбиением на отрасли и отражением ключевых статистических характеристик данных оказывается невозможным. Более того, эта проблема была бы существенной уже при нестационарности отношения нескольких пар показателей, а наблюдается нестационарность большинства показателей.

Можно взглянуть на рассматриваемые показатели с других позиций. Анализ показал независимое развитие большинства отраслей (отношение показателей нестационарно), но насколько связаны показатели внутри отрасли?

Попробуем получить ответ на вопрос, сколько источников единичного корня необходимо, чтобы объяснить совместную дина-

мику переменных. Для этого оценим ранг коинтеграции внутри каждой отрасли. Длина выборки, учитывая, что имеется шесть рядов на отрасль, позволяет использовать не более двух лагов в VAR-модели при тестировании на ранг коинтеграции. Результаты представлены в табл. 2. Информационный критерий Акаике (AIC) отдает предпочтение модели с одним лагом для большинства отраслей, однако приведены результаты теста Йохансана для обоих возможных вариантов числа лагов.

Ранги коинтеграции радикально различаются по отраслям российской экономики. Наибольший ранг коинтеграции равен пяти, он соответствует, например, случаю стационарности всех реальных переменных и единичного корня в ценах. Распространенная схема в ДСОЭР-моделях, когда существует единичный корень общей производительности факторов и ценовой компоненты, дал бы ранг коинтеграции, равный четырем, но в российских данных такой ранг наблюдается только в двух отраслях. А минимальный ранг коинтеграции, равный

**Таблица 2**

Ранг коинтеграции шести наблюдаемых рядов по каждой отрасли

Сектор	Ранг коинтеграции		AIC	
	1 лаг	2 лага	1 лаг	2 лага
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (AB)	5	4	<b>-23,83</b>	-24,20
Добыча полезных ископаемых (C)	4	4	-23,28	<b>-23,05</b>
Обрабатывающие производства (D)	3	4	<b>-27,42</b>	-28,76
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды (E)	3	6	<b>-28,96</b>	-29,81
Строительство (F)	2	3	<b>-20,85</b>	-21,94
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования (G)	2	1	-25,04	<b>-24,61</b>
Транспорт и связь (I)	3	3	<b>-28,98</b>	-29,41
Гостиницы и рестораны (H)	1	3	-24,76	<b>-24,47</b>
Финансовая деятельность (J)	3	3	<b>-23,30</b>	-23,85
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг (K)	2	1	<b>-25,45</b>	-25,46
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование (L)	1	4	<b>-27,61</b>	-28,85
Образование (M)	4	3	<b>-29,23</b>	-30,55
Здравоохранение и предоставление социальных услуг (N)	2	3	-26,94	<b>-26,43</b>
Прочие коммунальные, социальные и персональные услуги (O)	3	3	-23,45	<b>-23,20</b>

**Примечание.** В таблице полужирным шрифтом выделены лучшие значения информационного критерия.

единице, предполагает пять источников единичного корня в модели (включая ценовую компоненту), что превышает максимум, встречающийся в ДСОЭР-моделях.

## 2. Модель

В рамках модели ДСЧЭР подробно описываются фирмы, а остальная экономика, взаимодействующая с ними,— экзогенными соотношениями. Это позволяет вводить источники единичного корня, не согласовывая их между отраслями и другими агентами. В данной модели присутствует пять источников единичного корня:  $Z_{Y,t}$  — общая производительность факторов;  $Z_{L,t}$  — эффективность преобразования инвестиций в капитал;  $Z_{I,t}$  — предложение труда;  $Z_{P_{I,t}}$  — цены на инвестиционные товары;  $Z_{P_{Q,t}}$  — цены на промежуточные товары. Это соответствует минимальному рангу коинтеграции (1 — для шести переменных), наблюдающемуся у секторов  $G$  и  $L$  (см. табл. 2).

Фирмы решают задачу

$$E \left( \sum_{t=0}^{\infty} \left( \prod_{k=0}^{t-1} R_k \right)^{-1} \left( D_t - T_{Y,t} P_{ind,t} \phi_P \left( \frac{P_{F,t}}{P_{F,t-1}} - 1 \right)^2 - T_{Y,t} P_{ind,t} \phi_P \left( \frac{L_{F,t}}{L_{F,t-1}} - 1 \right)^2 \right) \right) \rightarrow \max_{\substack{D, P, Y, \\ K, I, L, Q}}, \quad (1)$$

при ограничениях:

$$Y_{F,t} = \left( P_{F,t} / P_{Ind,t} \right)^{-\theta_F} (Y_{D,t}), \quad (2)$$

$$D_t + P_{I,t} I_t + P_{Q,t} Q_t + W_t L_{F,t} = P_{F,t} Y_{F,t} (1 - \tau_t), \quad (3)$$

$$Y_{F,t} = Z_{YY,t} (Z_{Y,t} L_{F,t})^{\alpha_L} (K_{t-1})^{\alpha_K} (Q_t)^{1-\alpha_L-\alpha_K}, \quad (4)$$

$$K_t = (1-\delta) K_{t-1} + Z_{I,t} I_t \left( 1 - \phi_K \left[ I_t / \left( K_{t-1} e^{I_{K,t} - (\bar{I} - \bar{k} - \bar{I}_K)} \right) - 1 \right]^2 \right), \quad (5)$$

где  $R_t$  — процентная ставка;  $P_{ind,t}$  — уровень цен в отрасли (поскольку фирмы гомогенны, то он совпадает в равновесии с ценой, устанавливаемой каждой фирмой);  $T_{Y,t}$  — стохастический тренд, соответствующий спросу и выпуску отрасли;  $P_{F,t}$  — цены устанавливаемые фирмой на свою продукцию;  $L_{F,t}$  — объем труда, используемого фирмой;  $Y_{F,t}$  — выпуск фирмы;  $P_{I,t}$  — цена инвестиционных товаров;  $P_{Q,t}$  — цена промежуточных товаров;  $I_{K,t}$  — отвечает за приращение стохастического тренда, соответствующего капиталу;  $Z_{YY,t}$ ,  $Z_{I,t}$ ,  $Z_{Y,t}$  — экзогенные процессы.

Целевая функция (1) состоит из дисконтированного потока дивидендов, негибкости по Ротембергу, цен и занятости. Негибкость в целевой функции отражает расхождение целей собственника и менеджмента фирм, в то время как альтернативный подход интерпретации их в качестве реальных издержек создает проблемы сопоставления статистических данных с переменными модели. Ограничение на спрос (2) является стандартным, происходящим из CES агрегирующей функции при совокупном спросе на товары отрасли ( $Y_{D,t}$ ). Бюджетное ограничение (3) указывает на то, что фирмы тратят средства на дивиденды

( $D_t$ ), приобретение инвестиционных товаров ( $P_{I,t} I_t$ ), приобретение промежуточных товаров ( $P_{Q,t} Q_t$ ) и заработную плату ( $W_t L_{F,t}$ ), а источником средств является выручка ( $P_{F,t} Y_{F,t}$ ) за вычетом налогов ( $\tau_t$ ). Производственная функция (4) – это функция Коба–Дугласа с тремя факторами производства:  $L_{F,t}$ ,  $K_t$  и  $Q_t$ . Ограничение на эволюцию капитала (5) содержит негибкость инвестиций и меняющуюся во времени эффективность преобразования инвестиций в капитал, аналогичный (Schmitt-Grohe, Uribe, 2011):

Отметим, что нельзя игнорировать столь существенный фактор, как налоги. Например, в 2018 г. налоги (доходы бюджета) составили 35,6% ВВП, а для некоторых отраслей – намного больше (к сожалению, отсутствуют наблюдаемые переменные по налоговым поступлениям с разбивкой по отраслям). Игнорирование этого факта привело бы к существенному завышению прибыли и радикальному завышению мотивов для инвестирования.

Все остальные уравнения модели экзогенные. Спрос на продукцию отрасли задается уравнением

$$Y_{D,t} = \left( P_{Ind,t} / P_t \right)^{-\theta_D} \left( e^{-\theta_D \overline{P_{Ind}}} Z_{D,t} \right) e^{T_{Y,t}}, \quad (6)$$

имеющим вид, аналогичный получающемуся при CES-агрегировании. Спрос зависит от относительного уровня цен и экзогенного процесса ( $Z_{D,t}$ ), а предложение труда описывается уравнениями:

$$(N_t - L_{F,t}) W_t = Z_{LL,t} Z_{L,t}, \quad (7)$$

$$\log(N_t / t_{L,t}) = \gamma_n \log(N_{t-1} / t_{L,t-1}) + (1 - \gamma_n) (\gamma_{nw} \log(W_{R,t}) + Z_{N,t}), \quad (8)$$

$$W_{R,t} = Z_{WiW,t}. \quad (9)$$

Уравнение (7) показывает, что спрос на свободное время (в денежном выражении) – это комбинация экзогенных процессов (стационарного  $Z_{LL,t}$  и источника единичного корня  $Z_{L,t}$ ); (8) – объем рабочей силы, применяемой в отрасли, содержит эффект сглаживания, экзогенный процесс  $Z_{N,t}$  и влияние относительного уровня заработных плат (в отрасли по отношению к экономике в целом); (9) – относительный уровень заработных плат, который является наблюдаемой переменной, что позволяет различать экзогенный процесс  $Z_{N,t}$  и  $Z_{WiW,t}$ . Наблюдающееся различие в уровне заработных плат между отраслями свидетельствует об отсутствии свободного перетока рабочей силы между отраслями, вероятно, в силу различий между условиями труда и квалификационными требованиями. Соответственно, уравнение (8) описывает ограниченный переток рабочей силы.

Уравнения эволюции цен:

$$\log(P_t / P_{t-1}) = \frac{\gamma_{PF}}{1 + \gamma_{PF}} \log(P_{F,t} / P_{F,t-1}) + \frac{1}{1 + \gamma_{PF}} Z_{P,t} = \gamma_{PF} \log \left( \frac{P_{F,t} P_{t-1}}{P_t P_{F,t-1}} \right) + Z_{P,t}, \quad (10)$$

$$\log(P_{I,t} / P_t) = Z_{PI,t} Z_{PI,t}, \quad (11)$$

$$\log(P_{Q,t} / P_t) = Z_{PQQ,t} Z_{PQ,t}. \quad (12)$$

Общий уровень цен в экономике  $P_t$  задается взвешенным средним инфляции в отрасли и экзогенным процессом  $Z_{P,t}$ , а относительные цены инвестиционных и промежуточных товаров – комбинациями стационарного и нестационарного экзогенных процессов (стационарные –  $Z_{PQ,t}$ ,  $Z_{PQQ,t}$ , и источники единичного корня –  $Z_{Pl,t}$ ,  $Z_{PQ,t}$ ).

В рамках ДСЧЭР динамика цен каждой отрасли не влияет на общий уровень цен напрямую. Есть как существенные аргументы в пользу такого подхода, так и против него. С недостатками все очевидно: общий уровень цен должен соответствовать усреднению всех цен, а значит, и цен товаров отдельной отрасли. А поскольку вес отрасли – ненулевой, то динамика ее цен должна влиять на инфляцию. Однако нестационарность отношения выпусков, а также цен отраслей означают, что вклад цен в отдельной отрасли в общий уровень цен будет меняться во времени (причем он может сколь угодно далеко уйти от начального). Поэтому необходимо ввести вес отрасли, являющейся процессом единичного корня (вероятно, со сносом), что сделает крайне сложным (или невозможным) преобразование переменных к стационарному виду. А без этого метод возмущения, используемый для нахождения аппроксимации поведения модели, перестанет адекватно работать. К тому же, существование импорта уменьшает влияние цен производителей отрасли на общий уровень цен. Все это стимулировало в рамках модели ДСЧЭРпренебречь прямым влиянием цен отрасли на общий уровень цен, но при этом ввести влияние изменения цен в отрасли на инфляцию.

Правила эволюции процентных ставок и эффективных ставок налогов:

$$\ln(R_t) = \gamma_R \ln(R_{t-1}) + (1 - \gamma_R) \left( Z_{R,t} + \gamma_{RP} (\bar{p}_t - \bar{p}) + \gamma_{RY} (z_{D,t} - \eta_{0,D,t}) \right), \quad (13)$$

$$\tau_t = \gamma_T \tau_{t-1} + (1 - \gamma_T) \left( \gamma_{TY} (z_{D,t} - \eta_{0,D,t}) + z_{T,t} \right). \quad (14)$$

Правило (13) аналогично правилу Тейлора, но в нем применяется разрыв выпуска отрасли (а не экономики в целом). Аналогично – в правиле для налогов есть компонента сглаживания, экзогенный шок и разрыв выпуска отрасли.

Влияние выпуска отрасли на динамику процентной ставки отличается от стандартного правила Тейлор, применяемого в ДСОЭР-моделях. Во-первых, влияние всех остальных отраслей зашито в шоке денежной политики  $Z_{R,t}$ , так как в рамках ДСЧЭР наблюдается только одна отрасль. Более того, выпуск отрасли определяется экзогенным спросом на ее продукцию, т.е. стандартное воздействие разрыва выпуска разбивается на набор из экзогенных отраслевых разрывов. Во-вторых, процентные ставки по отраслям могут немного различаться (в связи с отраслевыми лимитами банков), а используемый наблюдаемый показатель может интерпретироваться как оценка для характер-

ной отраслевой ставки (несмещенный, но с ошибками измерений).

Все экзогенные процессы описываются процессами AR(1) с параметризацией вида

$$z_{*,t} = \eta_{l,*} z_{*,t-1} + (1 - \eta_{l,*}) \eta_{0,*} + \varepsilon_{*,t}. \quad (15)$$

Модель (1)–(15) написана в терминах нестационарных переменных. Однако задача (1)–(5) порождает условия оптимальности, содержащие рациональные ожидания. Эти задачи аналогичны возникающим при работе с ДСОЭР-моделями, для которых находится аппроксимация решения методом возмущений. Однако для этого необходимо перейти к стационарным переменным. Стационарные переменные обозначаются соответствующей малой буквой и являются логарифмами отношений переменной к соответствующему стохастическому тренду. В модели присутствует пять источников единичного корня (процессы  $Z_{Y,t}$ ,  $Z_{I,t}$ ,  $Z_{L,t}$ ,  $Z_{PQ,t}$ ,  $Z_{PL,t}$ ) и множество стационарных экзогенных процессов (остальные  $Z_{*,t}$ ), но многие уравнения – например бюджетное ограничение (3) или производственная функция (4) – связывают тренды различных переменных.

Уравнения взаимосвязи источников единичного корня с трендами переменных:

$$t_{I,t} = T_{Q,I} z_{I,t} + T_{Q,Y} z_{Y,t} + z_{L,t} + (1 + T_{Q,PQ}) z_{PQ,t} + (T_{Q,PI} - 1) z_{PL,t}, \quad (16)$$

$$t_{K,t} = (1 + T_{Q,I}) z_{I,t} + T_{Q,Y} z_{Y,t} + z_{L,t} + (1 + T_{Q,PQ}) z_{PQ,t} + (T_{Q,PI} - 1) z_{PL,t}, \quad (17)$$

$$\begin{aligned} t_{L,t} = & (T_{Q,I} \alpha_L - \alpha_K) z_{I,t} / \alpha_L + (T_{Q,Y} - 1) z_{Y,t} + z_{L,t} + \\ & + (1 + T_{Q,PQ} - T_{W,PQ}) z_{PQ,t} + (T_{Q,PI} - T_{W,PI}) z_{PL,t}, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} t_{Y,t} = & T_{Q,I} z_{I,t} + T_{Q,Y} z_{Y,t} + z_{L,t} + (T_{Q,PQ} + \alpha_L + \alpha_K - \alpha_L T_{W,PQ}) z_{PQ,t} + \\ & + (T_{Q,PI} - \alpha_K - \alpha_L T_{W,PI}) z_{PL,t}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$t_{W,t} = \alpha_K z_{I,t} / \alpha_L + z_{Y,t} + (T_{W,PQ}) z_{PQ,t} + (T_{W,PI} - 1) z_{PL,t}, \quad (20)$$

$$t_{Q,t} = T_{Q,I} z_{I,t} + T_{Q,Y} z_{Y,t} + z_{L,t} + T_{Q,PQ} z_{PQ,t} + T_{Q,PI} z_{PL,t}, \quad (21)$$

$$t_{PQ,t} = z_{PQ,t}, \quad (22)$$

$$t_{PL,t} = z_{PL,t}, \quad (23)$$

$$t_{PF,t} = (1 - \alpha_L - \alpha_K + \alpha_L T_{W,PQ}) z_{PQ,t} + (\alpha_K + \alpha_L T_{W,PI}) z_{PL,t}. \quad (24)$$

Уравнения связи наблюдаемых переменных (описаны в разд. 1) с переменными модели:

$$obs_{dYF,t} = \log \left( \frac{e^{p_{F,t-1} + y_{F,t} + t_{Y,t}} - e^{p_{Q,t-1} + q_t + t_{Q,t}}}{e^{p_{F,t-1} + y_{F,t-1}} - e^{p_{Q,t-1} + q_{t-1}}} \right), \quad (25)$$

$$obs_{dPYF,t} = \log \left( \frac{e^{p_{F,t} + y_{F,t}} - e^{p_{Q,t} + q_t}}{e^{p_{F,t-1} + y_{F,t-1}} - e^{p_{Q,t-1} + q_{t-1}}} \right) + p_t + t_{PF,t} + t_{Y,t}, \quad (26)$$

$$obs_{IFYF,t} = p_{I,t} + i_{F,t} - \log(e^{p_{F,t} + y_{F,t}} - e^{p_{Q,t} + q_t}), \quad (27)$$

$$obs_{dPLF,t} = p_{I,t} - p_{I,t-1} + p_t + t_{PL,t}, \quad (28)$$

$$obs_{dLF,t} = l_{F,t} - l_{F,t-1} + t_{L,t}, \quad (29)$$

$$obs_{dWF,t} = w_t - w_{t-1} + p_t + t_{W,t}, \quad (30)$$

$$obs_{WiW,t} = w_{R,t}, \quad (31)$$

$$obs_{RH,t} = r_t, \quad (32)$$

$$obs_{dP,t} = p_t. \quad (33)$$

### 3. Результаты

Параметры модели были оценены для 14 секторов российской экономики, для чего численно был найден максимум апостериорной плотности. Стандартные отклонения вычислены на основе нормальной аппроксимации. Расчет проводился при помощи пакета dynare на основе аппроксимации первого порядка (Adjemian, Bastani, Juillard et al., 2011). Априорные распределения для всех отраслей одинаковы и приведены в Приложении, табл. А7. Для стандартных отклонений шоков используется обратное γ-распределение, а для остальных параметров – распределение Гаусса. Ключевые параметры, характеризующие производственную функцию, приведены в табл. 3, а все оценки – в Приложении в табл. А8.

**Таблица 3**

Оценки отдельных параметров модели

Сектор	$\alpha_K$ %	$\alpha_L$ %	$\delta_K$ %	$\theta_D$	$\theta_F$
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (AB)	2,53	21,44	2,45	4,00	8,08
Добыча полезных ископаемых (C)	1,44	33,69	1,46	5,71	7,98
Обрабатывающие производства (D)	14,05	28,01	2,36	4,00	8,26
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды (E)	1,00	18,06	2,43	4,00	10,32
Строительство (F)	40,42	25,11	2,37	4,00	8,57
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования (G)	22,21	33,73	2,31	8,80	9,25
Транспорт и связь (I)	35,53	18,49	2,07	4,00	10,15
Гостиницы и рестораны (H)	32,17	24,11	1,39	4,00	9,84
Финансовая деятельность (J)	32,33	37,89	0,69	4,00	11,28
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг (K)	41,56	32,87	1,82	4,00	8,41
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование (L)	63,24	1,00	1,54	5,82	11,47
Образование (M)	29,30	31,79	2,00	4,00	8,57
Здравоохранение и предоставление социальных услуг (N)	44,87	41,67	1,79	6,02	7,99
Прочие коммунальные, социальные и персональные услуги (O)	44,09	41,07	1,23	4,14	10,11

Некоторые оценки коэффициентов заметно отличаются от получающихся, исходя из доли расходов на соответствующий фактор производства. Это связано с негибкостью факторов производства, и в частности с капиталом, принадлежащим фирмам, со стоимостью инвестиционных товаров, имеющих иную детерминированную компоненту тренда, а не цены продукции фирм. Прямые оценки коэффициентов производственной функции дают намного более широкие доверительные интервалы, в которые подобные оценки легко попадают.

Можно заметить, что рассматривая только наиболее ключевые параметры модели, отрасли экономики выглядят непохожими. Фактически доля капитала в производственной функции колеблется от 1 до 63,24%; доля труда – от 1 до 41,67%. Две наиболее похожие отрасли – отрасли *N* и *O*. Для этой пары тест Вальда на равенство коэффициентов ( $\alpha_K$  и  $\alpha_L$ ) между отраслями дает значение *p-value* = 8,32%. Следующая по близости пара – *AB* и *E*, она дает *p-value* = 0,16% теста Вальда. Если добавить коэффициенты  $\theta_F$  и  $\theta_D$ , то значение *p-value* у пары *AB-E* возрастает до 1,98%, но все равно остается незначимым, а у пары *N-O* падает фактически до 0.

В данном случае применялся тест на равенство коэффициентов в первой отрасли (*N* или *AB*) коэффициентам во второй отрасли (*O* или *E* соответственно), т.е. использовалась дисперсия оценок для первой рассматриваемой отрасли (*N* или *AB*). Если изменить порядок отраслей, то *p-value* будут заметно ближе к 0. Если бы оценки параметров можно было считать независимыми, то дисперсии складывались бы и тогда наиболее схожими отраслями оказались бы *AB* и *E*. И в таком случае *p-value* составит 6,10%, т.е. гипотеза о равенстве пяти пар параметров не отвергается. Однако для любой другой пары отраслей она отвергается. Таким образом, уже на стадии оценок параметров можно заметить статистически значимое различие двух любых отраслей (за одним исключением).

Аналогично можно взглянуть на детерминированную составляющую трендов (снос), представленных в табл. 4. Тут также наблюдаются существенные различия отраслей – отличия затрагивают даже знак сноса. Например, в *F* объем рабочей силы быстро снижается, а в секторе *E* или *O* – быстро растет. Эффективность преобразования инвестиций в капитал в секторе *C* или *F* растет, а в секторе *H* или *O* – быстро снижается.

Однако можно найти пару отраслей, где различия в параметрах сноса статистически незначимы. Это отрасли *K* и *I* с *p-value* = 46,17%. В данном варианте теста порядок пары отраслей имеет значение (используется дисперсия ошибок первой отрасли). При обратном порядке – *p-value* = 0,04%, т.е. дело в высокой дисперсии оценок отрасли *K*. Однако учитывая, что рассматривается 182 пары отраслей, и если потребовать не 5%-ного уровня значимости в отдельном тесте, а иметь 5%-ную вероятность и ошибочно отвергнуть нулевую гипотезу (о равен-

**Таблица 4**

Оценки сноса источников единичного корня, %

Сектор	$\eta_{0,I}$	$\eta_{0,L}$	$\eta_{0,pI}$	$\eta_{0,pQ}$	$\eta_{0,Y}$
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство ( <i>AB</i> )	0,055	0,021	-0,926	5,629	2,306
Добыча полезных ископаемых ( <i>C</i> )	0,718	-0,185	-0,306	0,471	-0,135
Обрабатывающие производства ( <i>D</i> )	-0,746	-0,171	-0,900	0,591	0,311
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды ( <i>E</i> )	-0,242	0,360	-0,575	0,183	0,589
Строительство ( <i>F</i> )	1,118	-0,287	-0,124	10,080	-0,922
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования ( <i>G</i> )	-0,986	0,028	-0,796	-11,226	-0,518
Транспорт и связь ( <i>I</i> )	0,061	-0,184	-0,839	0,633	0,999
Гостиницы и рестораны ( <i>H</i> )	-1,840	0,130	-0,254	1,190	1,686
Финансовая деятельность ( <i>J</i> )	-0,603	-0,038	-0,315	2,595	0,184
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг ( <i>K</i> )	-0,639	0,052	-0,737	0,406	1,637
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование ( <i>L</i> )	0,022	0,316	-0,247	-2,139	-1,462
Образование ( <i>M</i> )	-0,170	0,138	-0,706	-1,053	-0,402
Здравоохранение и предоставление социальных услуг ( <i>N</i> )	-0,488	0,160	0,419	-0,903	-0,871
Прочие коммунальные, социальные и персональные услуги ( <i>O</i> )	-1,805	0,447	-0,803	0,992	0,534

стве параметров между отраслями), то уровень значимости для индивидуального теста смещается к значению  $1 - 0,95^{182} > 0,999$ . И в таком случае даже эта пара будет незначимой. Если считать, что оценки параметров не зависимы между отраслями, то число статистически неразличимых пар отраслей возрастает до семи (*AB*–*I*, *AB*–*K*, *D*–*E*, *D*–*I*, *E*–*I*, *E*–*K*, *I*–*K*). При этом максимальный *p-value* = 87,08% (у пары *I*–*K*). При корректировке уровня значимости на число тестов он возрастает до  $1 - 0,95^{91} \approx 0,99$ . Таким образом, с точки зрения детерминированной компоненты источников тренда, почти все пары отраслей оказываются значимо различными.

Посмотрим на вклад каждого источника стохастического тренда в дисперсию тренда отдельной переменной. Подобное разложение дисперсии для тренда реальной добавленной стоимости представлено в табл. 5.

Из данных, представленных в табл. 5, следует, что основной источник стохастического тренда в ДСОЭР-моделях – общая производительность факторов производства. В условиях наличия множества

**Таблица 5**

Разложение дисперсии для тренда реальной добавленной стоимости

Сектор	$\varepsilon_I$	$\varepsilon_L$	$\varepsilon_{pI}$	$\varepsilon_{pQ}$	$\varepsilon_Y$
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство ( <i>AB</i> )	0,21	0,97	0,90	97,92	0,00
Добыча полезных ископаемых ( <i>C</i> )	3,29	94,98	0,87	0,86	0,00
Обрабатывающие производства ( <i>D</i> )	71,39	0,08	0,03	28,49	0,00
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды ( <i>E</i> )	0,02	0,00	9,62	90,36	0,00
Строительство ( <i>F</i> )	0,10	0,39	33,70	65,81	0,00
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования ( <i>G</i> )	98,47	1,53	0,00	0,00	0,00
Транспорт и связь ( <i>I</i> )	17,06	81,56	0,41	0,95	0,02
Гостиницы и рестораны ( <i>H</i> )	62,33	17,97	19,68	0,01	0,01
Финансовая деятельность ( <i>J</i> )	75,70	23,23	1,07	0,00	0,00
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг ( <i>K</i> )	1,42	63,70	34,87	0,01	0,00
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование ( <i>L</i> )	0,00	98,81	0,28	0,91	0,00
Образование ( <i>M</i> )	86,27	11,99	1,73	0,00	0,01
Здравоохранение и предоставление социальных услуг ( <i>N</i> )	0,01	0,00	0,00	99,99	0,00
Прочие коммунальные, социальные и персональные услуги ( <i>O</i> )	28,38	71,62	0,00	0,00	0,00

источников тренда общая производительность факторов оказывается наименее важным фактором для всех отраслей. Так же можно заметить существенные различия между отраслями. В одной части отраслей ключевыми факторами являются стоимость промежуточных товаров (для *N* и *AB*), а в других – эффективность преобразования инвестиций в капитал (для *D*, *J* и *M*), также есть отрасли, где нет доминирующего воздействия одного из факторов на динамику тренда реального выпуска (*H*).

Если посмотреть на реальные инвестиции, данные по которым представлены в табл. 6, можно увидеть некоторое смещение факторов. Например, инвестиции в сельском хозяйстве объясняются в основном доступностью рабочей силы и немного – эффективностью инвестиций. А цены промежуточных товаров, определяющие доминирующую долю дисперсии тренда выпуска, объясняют лишь небольшую долю динамики тренда инвестиций. Так, например, для сектора добычи полезных ископаемых ключевую роль и в выпуске, и в инвестициях играет объем предложения труда.

Можно ожидать, что доля тренда инвестиций, вызванная шоками цен инвестиционных товаров или эффективности инвести-

**Таблица 6**

Разложение дисперсии для тренда реальных инвестиций

Сектор	$\varepsilon_I$	$\varepsilon_L$	$\varepsilon_{pl}$	$\varepsilon_{pQ}$	$\varepsilon_Y$
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (AB)	17,03	77,41	3,56	1,99	0,00
Добыча полезных ископаемых (C)	3,27	94,35	2,37	0,00	0,00
Обрабатывающие производства (D)	55,76	0,06	0,01	44,17	0,00
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды (E)	0,82	0,08	46,78	52,25	0,06
Строительство (F)	0,23	0,94	97,68	1,15	0,00
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования (G)	98,46	1,53	0,01	0,00	0,00
Транспорт и связь (I)	11,66	55,74	31,90	0,69	0,01
Гостиницы и рестораны (H)	40,90	11,79	47,28	0,02	0,01
Финансовая деятельность (J)	74,24	22,78	2,97	0,00	0,00
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг (K)	0,92	41,40	57,66	0,02	0,00
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование (L)	0,00	90,31	4,54	5,14	0,00
Образование (M)	86,29	12,00	1,71	0,00	0,01
Здравоохранение и предоставление социальных услуг (N)	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
Прочие коммунальные, социальные и персональные услуги (O)	28,37	71,61	0,01	0,00	0,00

ций, должна возрасти. Однако лишь для четырех отраслей объясняющая способность эффективности инвестиций увеличилась (при переходе от выпуска к объему инвестиций). Для цен инвестиционных товаров увеличение затронуло большинство секторов (11 из 14). То есть в случае трендов влияние факторов не столь прямо связано с их источниками. Рассмотрим факторы, задающие динамику тренда занятости, представленные в табл. 7.

Можно ожидать, что доминирующую роль в тренде занятости будут играть шоки объема рабочей силы. Для многих отраслей это так, но для пары отраслей данный шок объясняет лишь малую часть тренда занятости, и это — отрасли D, E и N. Проанализируем эти три случая подробнее.

В случае сектора N доминирующую роль в тренде занятости играют шоки цен промежуточных товаров. Это связано с высокой дисперсией и автокорреляцией соответствующего шока. И для данного сектора легко представить пример, иллюстрирующий реализацию подобной механики. Цены на проведение ДНК-тестов и сложных медицинских симптомов снижаются, но это отражается в снижении стоимости проме-

**Таблица 7**

Разложение дисперсии для тренда занятости

Сектор	$\varepsilon_t$	$\varepsilon_L$	$\varepsilon_{pI}$	$\varepsilon_{pQ}$	$\varepsilon_Y$
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство ( <i>AB</i> )	31,84	48,02	10,46	9,67	0,01
Добыча полезных ископаемых ( <i>C</i> )	3,52	94,23	0,19	2,06	0,00
Обрабатывающие производства ( <i>D</i> )	11,70	0,16	0,18	87,72	0,24
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды ( <i>E</i> )	0,30	0,09	13,26	86,35	0,00
Строительство ( <i>F</i> )	2,22	1,15	95,06	1,56	0,00
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования ( <i>G</i> )	10,28	89,26	0,00	0,00	0,45
Транспорт и связь ( <i>I</i> )	50,70	35,88	5,05	8,34	0,04
Гостиницы и рестораны ( <i>H</i> )	11,97	49,73	38,29	0,01	0,00
Финансовая деятельность ( <i>J</i> )	44,48	55,14	0,35	0,00	0,02
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг ( <i>K</i> )	10,12	50,97	38,88	0,01	0,01
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование ( <i>L</i> )	15,69	62,42	2,14	19,74	0,01
Образование ( <i>M</i> )	71,46	26,96	1,49	0,02	0,06
Здравоохранение и предоставление социальных услуг ( <i>N</i> )	0,81	0,00	0,00	99,19	0,00
Прочие коммунальные, социальные и персональные услуги ( <i>O</i> )	3,99	96,01	0,00	0,00	0,00

жуточных товаров. Это снижение стоимости стимулирует увеличение как объема услуг сектора здравоохранения, так и закупку оборудования (для анализа ДНК) и увеличение персонала для новых видов медицинских анализов.

В случае сектора *D* механика другая. Тут ключевую роль играют цены промежуточных товаров и эффективность инвестиций, что легко объяснимо. В зависимости от цен на промежуточные товары происходит разная степень их обработки, что влияет на необходимый объем персонала и капитала (более 40% тренда инвестиций объясняется ценами промежуточных товаров). Однако эффективность инвестиций существенно влияет на добавленную стоимость и, конечно, на объем самих инвестиций.

Для сектора *E* естественно доминирующее влияние промежуточных товаров, включая газ и нефтепродукты.

Таким образом, у различных секторов и характеризующих их переменных оказываются различные источники стохастического тренда. Объединение же данных со столь различной динамикой должно приводить к существенной потере информации.

#### 4. Заключение

Теоретические модели обычно предполагают стационарность отраслевой структуры экономики. Были рассмотрены данные по секторам российской экономики. Отношение показателей для двух отраслей в большинстве случаев оказывается нестационарным. Взаимосвязь показателей внутри отдельной отрасли также кардинально различается, в частности с точки зрения ранга коинтеграции.

Была построена модель ДСЧЭР с пятью источниками стохастического тренда. Модель оценена для 14 секторов российской экономики. Оказалось, что два любых сектора значимо отличаются с точки зрения ключевых параметров (коэффициенты производственной функции, выбытия капитала, эластичности спроса). С точки зрения сноса в источниках стохастического тренда лишь три из 182 или восемь из 91 (в зависимости от спецификации теста) отличаются незначимо.

Отрасли существенно отличаются с точки зрения объясняющей способности различных источников стохастического тренда отдельного показателя. Более того, для разных переменных соответствующие разложения кардинально отличаются, как, например, для здравоохранения. Таким образом, использование агрегированных данных влечет за собой потери существенной информации и поэтому необходимо развивать многосекторные теоретические модели (сохраняя требования наличия микроэкономических оснований и отражения ключевых свойств временных рядов).

#### ПРИЛОЖЕНИЕ

Для таблиц А1–А6 выше диагонали приведены p-value ADF-теста, ниже диагонали – статистика KPSS-теста (5% – критическое значение 0,146).

**Таблица А1**

ADF- и KPSS-тесты для логарифма отношения индексов цен инвестиционных товаров

	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
<i>AB</i>		0,256	0,036	0,486	0,874	0,254	0,583	0,030	0,121	0,256	0,877	0,003	1,000	0,841
<i>C</i>	0,197		0,487	0,267	0,053	0,098	0,547	0,843	0,151	0,014	0,041	0,656	0,965	0,367
<i>D</i>	0,046	0,196		0,577	0,533	0,501	0,123	0,035	0,635	0,663	0,656	0,083	0,977	0,274
<i>E</i>	0,201	0,126	0,214		0,426	0,627	0,835	0,420	0,235	0,202	0,172	0,694	0,914	0,342
<i>F</i>	0,223	0,119	0,221	0,211		0,352	0,773	0,840	0,363	0,210	0,906	0,540	0,978	0,520
<i>G</i>	0,143	0,174	0,166	0,146	0,202		0,873	0,088	0,198	0,416	0,639	0,521	0,927	0,207
<i>I</i>	0,099	0,163	0,130	0,175	0,235	0,117		0,103	0,083	0,501	0,499	0,218	0,767	0,053
<i>H</i>	0,049	0,222	0,058	0,208	0,250	0,135	0,112		0,459	0,689	0,547	0,351	1,000	0,381
<i>J</i>	0,146	0,160	0,182	0,142	0,217	0,082	0,094	0,191		0,294	0,086	0,922	1,000	0,538
<i>K</i>	0,202	0,120	0,202	0,152	0,114	0,187	0,203	0,233	0,181		0,143	0,656	0,860	0,312
<i>L</i>	0,196	0,118	0,203	0,118	0,219	0,169	0,204	0,244	0,176	0,163		0,655	0,876	0,246

**Окончание таблицы А1**

	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
<i>M</i>	0,077	0,186	0,134	0,217	0,224	0,141	0,115	0,065	0,176	0,199	0,205		0,983	0,516
<i>N</i>	0,216	0,234	0,236	0,250	0,250	0,229	0,244	0,230	0,256	0,241	0,247	0,253		1,000
<i>O</i>	0,082	0,187	0,120	0,199	0,235	0,115	0,091	0,097	0,210	0,205	0,211	0,120	0,250	

**Таблица А2**

ADF- и KPSS-тесты для логарифма отношения реальной добавленной стоимости

	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
<i>AB</i>		0,409	0,617	0,785	0,484	0,740	0,461	0,582	0,512	0,592	0,672	0,423	0,466	0,373
<i>C</i>	0,111		0,591	0,013	0,727	0,942	0,825	0,845	0,526	0,319	0,006	0,574	0,333	0,145
<i>D</i>	0,096	0,140		0,211	0,675	0,936	0,093	0,511	0,894	0,854	0,152	0,070	0,097	0,536
<i>E</i>	0,106	0,228	0,114		0,597	0,778	0,059	0,583	0,734	0,831	0,027	0,455	0,009	0,650
<i>F</i>	0,169	0,158	0,152	0,146		0,768	0,517	0,506	0,731	0,460	0,509	0,448	0,529	0,554
<i>G</i>	0,127	0,225	0,245	0,219	0,118		0,831	0,996	0,375	0,011	0,656	0,733	0,631	0,971
<i>I</i>	0,101	0,202	0,200	0,185	0,135	0,236		0,421	0,812	0,702	0,266	0,508	0,299	0,966
<i>H</i>	0,101	0,188	0,202	0,165	0,125	0,257	0,151		0,740	0,515	0,393	0,491	0,454	0,935
<i>J</i>	0,115	0,206	0,207	0,189	0,103	0,074	0,190	0,171		0,257	0,789	0,734	0,603	0,948
<i>K</i>	0,116	0,196	0,197	0,175	0,128	0,200	0,160	0,122	0,121		0,924	0,979	0,953	0,995
<i>L</i>	0,111	0,067	0,135	0,144	0,163	0,240	0,213	0,207	0,218	0,226		0,355	0,251	0,261
<i>M</i>	0,107	0,127	0,084	0,122	0,163	0,249	0,200	0,207	0,201	0,226	0,138		0,899	0,308
<i>N</i>	0,110	0,131	0,111	0,096	0,159	0,240	0,206	0,197	0,208	0,220	0,146	0,116		0,374
<i>O</i>	0,094	0,104	0,174	0,126	0,175	0,248	0,198	0,234	0,234	0,230	0,108	0,102	0,115	

**Таблица А3**

ADF- и KPSS-тесты для логарифма отношения номинальной добавленной стоимости

	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
<i>AB</i>		0,475	0,173	0,224	0,759	0,386	0,438	0,240	0,099	0,435	0,169	0,434	0,268	0,337
<i>C</i>	0,135		0,039	0,163	0,599	0,561	0,010	0,475	0,091	0,491	0,079	0,301	0,169	0,083
<i>D</i>	0,156	0,081		0,200	0,936	0,856	0,046	0,844	0,320	0,751	0,218	0,326	0,202	0,150
<i>E</i>	0,141	0,088	0,087		0,283	0,104	0,620	0,286	0,380	0,393	0,539	0,347	0,530	0,223
<i>F</i>	0,227	0,166	0,176	0,104		0,489	0,821	0,724	0,557	0,368	0,209	0,244	0,534	0,870
<i>G</i>	0,174	0,126	0,203	0,063	0,137		0,651	0,009	0,099	0,222	0,002	0,078	0,009	0,895
<i>I</i>	0,133	0,077	0,066	0,138	0,187	0,212		0,355	0,431	0,971	0,916	0,814	0,684	0,409
<i>H</i>	0,176	0,122	0,200	0,057	0,137	0,082	0,240		0,031	0,046	0,037	0,300	0,015	0,088
<i>J</i>	0,170	0,145	0,188	0,083	0,107	0,111	0,204	0,101		0,064	0,170	0,133	0,151	0,297
<i>K</i>	0,184	0,136	0,170	0,099	0,101	0,121	0,240	0,143	0,089		0,438	0,567	0,293	0,983
<i>L</i>	0,166	0,105	0,121	0,084	0,117	0,044	0,212	0,092	0,137	0,182		0,554	0,127	0,770
<i>M</i>	0,165	0,115	0,133	0,072	0,113	0,069	0,214	0,055	0,092	0,131	0,139		0,185	0,663
<i>N</i>	0,160	0,097	0,122	0,066	0,126	0,044	0,207	0,070	0,139	0,205	0,086	0,151		0,467
<i>O</i>	0,135	0,060	0,067	0,126	0,173	0,208	0,115	0,272	0,209	0,240	0,180	0,208	0,193	

**Таблица А4**

ADF- и KPSS-тесты для логарифма отношения занятости

	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
<i>AB</i>		0,018	0,083	0,823	0,088	0,053	0,030	0,015	0,417	0,024	0,276	0,009	0,214	0,000
<i>C</i>	0,151		0,181	0,110	0,043	0,000	0,667	0,001	0,012	0,253	0,059	0,000	0,000	0,000
<i>D</i>	0,128	0,210		0,899	0,870	0,970	0,162	0,787	0,522	0,030	0,144	0,238	0,861	0,766
<i>E</i>	0,249	0,219	0,209		0,136	0,635	0,617	0,855	0,133	0,731	0,248	0,916	0,920	0,632
<i>F</i>	0,165	0,128	0,224	0,085		0,074	0,492	0,517	0,001	0,108	0,136	0,556	0,226	0,072
<i>G</i>	0,151	0,048	0,234	0,197	0,133		0,840	0,551	0,042	0,009	0,024	0,029	0,526	0,208
<i>I</i>	0,061	0,142	0,101	0,220	0,206	0,142		0,174	0,803	0,009	0,543	0,104	0,658	0,577
<i>H</i>	0,110	0,121	0,219	0,216	0,185	0,155	0,138		0,417	0,000	0,787	0,004	0,363	0,000
<i>J</i>	0,190	0,167	0,249	0,061	0,092	0,194	0,223	0,228		0,334	0,044	0,577	0,498	0,074
<i>K</i>	0,074	0,133	0,176	0,208	0,214	0,141	0,097	0,086	0,241		0,559	0,000	0,086	0,518
<i>L</i>	0,192	0,172	0,182	0,159	0,067	0,133	0,176	0,169	0,067	0,168		0,741	0,000	0,423
<i>M</i>	0,119	0,120	0,194	0,229	0,162	0,123	0,124	0,084	0,192	0,074	0,206		0,705	0,000
<i>N</i>	0,181	0,161	0,230	0,182	0,089	0,145	0,174	0,206	0,129	0,180	0,110	0,244		0,016
<i>O</i>	0,147	0,069	0,201	0,204	0,120	0,072	0,172	0,134	0,152	0,148	0,157	0,148	0,093	

**Таблица А5**

ADF- и KPSS-тесты для логарифма отношения номинальной заработной платы

	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
<i>AB</i>		0,170	0,283	0,755	0,020	0,158	0,073	0,000	0,150	0,346	0,684	0,152	0,531	0,630
<i>C</i>	0,183		0,100	0,453	0,088	0,000	0,158	0,634	0,001	0,554	0,961	0,640	0,277	0,730
<i>D</i>	0,151	0,180		0,518	0,720	0,374	0,224	0,083	0,001	0,442	0,485	0,118	0,011	0,628
<i>E</i>	0,099	0,239	0,185		0,049	0,286	0,375	0,167	0,098	0,304	0,807	0,044	0,160	0,637
<i>F</i>	0,088	0,224	0,202	0,108		0,478	0,254	0,282	0,029	0,536	0,435	0,137	0,052	0,520
<i>G</i>	0,219	0,225	0,212	0,190	0,170		0,090	0,468	0,419	0,377	0,591	0,122	0,745	0,652
<i>I</i>	0,105	0,180	0,119	0,140	0,172	0,218		0,301	0,001	0,397	0,888	0,253	0,182	0,646
<i>H</i>	0,147	0,146	0,083	0,152	0,158	0,225	0,067		0,001	0,301	0,824	0,892	0,000	0,464
<i>J</i>	0,102	0,173	0,121	0,145	0,220	0,216	0,080	0,054		0,623	0,882	0,677	0,193	0,686
<i>K</i>	0,196	0,220	0,211	0,181	0,142	0,111	0,181	0,201	0,186		0,309	0,306	0,207	0,456
<i>L</i>	0,128	0,203	0,181	0,125	0,117	0,110	0,157	0,175	0,154	0,086		0,879	0,971	0,504
<i>M</i>	0,101	0,166	0,124	0,067	0,091	0,133	0,104	0,126	0,108	0,154	0,209		0,655	0,273
<i>N</i>	0,061	0,125	0,076	0,065	0,086	0,155	0,057	0,059	0,060	0,176	0,194	0,153		0,106
<i>O</i>	0,111	0,159	0,134	0,085	0,086	0,112	0,108	0,127	0,114	0,176	0,090	0,081	0,127	

**Таблица А6**

ADF- и KPSS-тесты для логарифма отношения номинальных инвестиций

	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
<i>AB</i>		0,103	0,031	0,234	0,387	0,768	0,499	0,125	0,119	0,774	0,435	0,165	0,000	0,999
<i>C</i>	0,060		0,477	0,236	0,944	0,960	0,649	0,001	0,037	0,982	0,868	0,292	0,000	0,649
<i>D</i>	0,052	0,072		0,760	0,509	0,959	0,822	0,122	0,065	0,902	0,365	0,268	0,001	1,000

**Окончание таблицы А6**

	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
<i>E</i>	0,193	0,194	0,210		0,631	0,996	0,075	0,044	0,587	0,791	0,648	0,270	0,000	0,918
<i>F</i>	0,169	0,186	0,171	0,219		0,722	0,427	0,390	0,003	0,056	0,001	0,533	0,350	0,879
<i>G</i>	0,183	0,172	0,204	0,253	0,094		0,999	0,824	0,063	0,328	0,000	0,963	0,910	1,000
<i>I</i>	0,194	0,172	0,247	0,118	0,206	0,247		0,000	0,484	0,873	0,490	0,001	0,000	0,937
<i>H</i>	0,156	0,126	0,166	0,105	0,182	0,212	0,068		0,285	0,580	0,483	0,000	0,000	0,000
<i>J</i>	0,105	0,103	0,096	0,200	0,177	0,086	0,196	0,141		0,246	0,000	0,896	0,000	0,743
<i>K</i>	0,150	0,193	0,164	0,211	0,115	0,071	0,190	0,196	0,078		0,000	0,547	0,341	0,992
<i>L</i>	0,146	0,165	0,152	0,214	0,110	0,086	0,194	0,169	0,148	0,095		0,596	0,687	0,733
<i>M</i>	0,196	0,176	0,215	0,081	0,195	0,241	0,083	0,077	0,169	0,222	0,186		0,000	0,994
<i>N</i>	0,174	0,143	0,219	0,083	0,201	0,257	0,085	0,082	0,201	0,208	0,192	0,109		0,990
<i>O</i>	0,231	0,231	0,244	0,171	0,215	0,244	0,199	0,186	0,206	0,235	0,207	0,232	0,180	

**Таблица А7**

Априорное распределение параметров

Параметр	LB	UB	E	std	Параметр	LB	UB	E	std
std $\varepsilon_D$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,P}$	0	0,05	0,015	0,01
std $\varepsilon_I$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,PI}$	-5	5	0	1,25
std $\varepsilon_L$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,PL}$	-0,05	0,05	0	0,01
std $\varepsilon_{LL}$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,PQ}$	-5	5	0	1,25
std $\varepsilon_N$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,PQQ}$	-0,05	0,05	0	0,01
std $\varepsilon_P$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,R}$	0	0,05	0,015	0,01
std $\varepsilon_{pl}$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,T}$	0	1	0,18	1,25
std $\varepsilon_{pII}$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,WIW}$	-5	5	0	1,25
std $\varepsilon_{pQ}$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,Y}$	-0,05	0,05	0	0,01
std $\varepsilon_{pQQ}$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{0,YY}$	-5	5	0	1,25
std $\varepsilon_R$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{1,D}$	-0,999	0,999	0	0,25
std $\varepsilon_T$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{1,I}$	-0,999	0,999	0	0,25
std $\varepsilon_{WIW}$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{1,L}$	-0,999	0,999	0	0,25
std $\varepsilon_Y$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{1,LL}$	-0,999	0,999	0	0,25
std $\varepsilon_{YY}$	0	100	0,001	$\infty$	$\eta_{1,N}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\alpha_K$	0,01	0,99	0,3	0,05	$\eta_{1,P}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\alpha_L$	0,01	0,99	0,3	0,05	$\eta_{1,PI}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\delta_K$	0	0,05	0,025	0,01	$\eta_{1,PL}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\varphi_K$	0	1000	10	125,00	$\eta_{1,PQ}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\varphi_L$	0	1000	10	125,00	$\eta_{1,PQQ}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\varphi_P$	0	1000	10	125,00	$\eta_{1,R}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\gamma_{nw}$	-5	5	0	1,25	$\eta_{1,T}$	-0,999	0,999	0	0,25

**Окончание таблицы А7**

Параметр	LB	UB	E	std	Параметр	LB	UB	E	std
$\gamma_n$	-0,999	0,999	0,8	0,25	$\eta_{1,WiW}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\gamma_{PF}$	0	0,5	0,1	0,25	$\eta_{1,Y}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\gamma_{RP}$	0	5	1	0,63	$\eta_{1,YY}$	-0,999	0,999	0	0,25
$\gamma_{RY}$	-5	5	0	1,25	$\theta_D$	4	20	8	2,00
$\gamma_R$	-0,999	0,999	0,8	0,25	$\theta_F$	4	20	8	2,00
$\gamma_{TY}$	-5	5	0	1,25	$T_{Q,I}$	-5	5	0	1,25
$\gamma_T$	-0,999	0,999	0,8	0,25	$T_{Q,PI}$	-5	5	0	1,25
$\bar{l}$	-5	5	-0,1	1,25	$T_{Q,PQ}$	-5	5	0	1,25
$\eta_{0,D}$	-5	5	0	1,25	$T_{Q,Y}$	-5	5	0	1,25
$\eta_{0,I}$	-0,05	0,05	0	0,01	$T_{W,PI}$	-5	5	0	1,25
$\eta_{0,L}$	-0,05	0,05	0	0,01	$T_{W,PQ}$	-5	5	0	1,25
$\eta_{0,N}$	-5	5	0	1,25					

**Примечание.** В табл. А7–А8 приняты следующие обозначения: std –стандартное отклонение; LB и UB – нижняя и верхняя границы соответственно, E – математическое ожидание.

**Таблица А8****Оценки параметров**

Пара- метр	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>
std $\varepsilon_D$	6,646E-02	5,687E-01	2,037E-02	1,816E-02	5,680E-02	4,126E-02	2,859E-02
std $\varepsilon_I$	6,171E-02	1,994E-03	3,315E-02	2,703E-02	8,751E-03	8,764E-02	3,962E-04
std $\varepsilon_L$	2,315E-02	5,965E-03	4,608E-04	4,580E-04	7,142E-04	6,698E-03	1,954E-02
std $\varepsilon_{LL}$	4,607E-04	4,610E-04	4,607E-04	4,565E-04	4,608E-04	4,607E-04	4,622E-04
std $\varepsilon_N$	4,607E-04	4,607E-04	4,607E-04	4,604E-04	4,607E-04	4,607E-04	4,610E-04
std $\varepsilon_p$	2,808E-02	2,806E-02	2,526E-02	2,873E-02	7,384E-03	2,639E-02	3,056E-02
std $\varepsilon_{pl}$	3,052E-02	3,383E-02	4,604E-04	2,479E-02	2,902E-02	4,609E-04	3,072E-02
std $\varepsilon_{pII}$	4,604E-04	4,617E-04	3,218E-02	1,574E-02	4,507E-04	3,118E-02	4,604E-04
std $\varepsilon_{pQ}$	3,075E-01	7,522E-03	5,398E-03	1,340E-01	6,429E-01	4,607E-04	5,132E-03
std $\varepsilon_{pQQ}$	1,139E-02	3,129E-02	4,045E-02	4,611E-04	4,607E-04	4,213E-02	1,752E-02
std $\varepsilon_R$	1,248E-02	7,495E-03	9,714E-03	1,173E-02	1,240E-02	1,018E-02	1,072E-02
std $\varepsilon_T$	4,599E-04	4,434E-04	4,607E-04	4,607E-04	4,606E-04	4,607E-04	4,607E-04
std $\varepsilon_{WiW}$	1,430E-02	1,030E-02	1,362E-02	9,374E-03	1,819E-02	1,866E-02	1,525E-02
std $\varepsilon_Y$	4,622E-04	4,615E-04	4,616E-04	4,601E-04	4,608E-04	4,606E-04	4,623E-04
std $\varepsilon_{YY}$	4,598E-04	4,601E-04	1,601E-02	5,905E-03	5,078E-02	1,833E-02	1,311E-02
$\alpha_K$	2,533E-02	1,441E-02	1,405E-01	1,000E-02	4,042E-01	2,221E-01	3,553E-01
$\alpha_L$	2,144E-01	3,369E-01	2,801E-01	1,806E-01	2,511E-01	3,373E-01	1,849E-01
$\delta_K$	2,448E-02	1,455E-02	2,356E-02	2,435E-02	2,372E-02	2,312E-02	2,072E-02
$\varphi_K$	7,375E+01	3,653E-01	1,379E+00	7,977E+01	2,067E-01	3,998E+01	5,005E-01
$\varphi_L$	1,843E-11	1,351E+02	2,741E-12	6,764E-02	6,524E-01	3,365E-11	1,618E-11
$\varphi_P$	8,360E-02	3,326E-09	5,700E-01	4,098E-02	3,265E-10	3,430E-11	7,392E+00

## Продолжение таблицы А8

Параметр	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>
$\gamma_{nw}$	1,964E+00	-9,628E-01	9,518E-01	6,453E-01	-1,146E+00	3,230E-01	-6,863E-01
$\gamma_n$	9,492E-01	9,608E-01	8,128E-01	6,102E-01	2,303E-01	9,319E-01	3,389E-01
$\gamma_{PF}$	2,712E-01	9,566E-02	5,000E-01	1,647E-09	5,000E-01	5,000E-01	5,000E-01
$\gamma_{RP}$	2,723E-12	1,013E-10	1,116E-11	1,079E-11	1,250E-10	3,852E-11	5,997E-11
$\gamma_{RY}$	1,133E-02	-9,132E-03	-2,042E-01	6,799E-02	-1,062E-02	-4,019E-02	-1,265E-01
$\gamma_R$	5,887E-01	4,220E-01	5,102E-01	5,600E-01	5,804E-01	5,049E-01	5,462E-01
$\gamma_{TY}$	3,024E-01	1,816E-02	2,461E+00	3,014E+00	-3,302E+00	8,751E-01	2,764E+00
$\gamma_T$	1,160E-01	-3,075E-02	5,846E-01	7,864E-01	1,151E-01	3,624E-01	8,525E-01
$\bar{l}$	2,193E-01	-1,266E+00	-5,006E-02	-6,106E-01	-1,385E+00	-6,322E-02	-1,205E+00
$\eta_{0,D}$	1,339E-04	-1,165E+00	7,353E-04	1,375E-04	4,215E-03	1,389E-06	2,210E-03
$\eta_{0,I}$	5,480E-04	7,179E-03	-7,455E-03	-2,416E-03	1,118E-02	-9,862E-03	6,081E-04
$\eta_{0,L}$	2,094E-04	-1,851E-03	-1,711E-03	3,599E-03	-2,867E-03	2,813E-04	-1,843E-03
$\eta_{0,N}$	2,193E-01	1,208E+00	-5,006E-02	5,105E-01	1,284E+00	-6,322E-02	1,105E+00
$\eta_{0,P}$	2,479E-02	2,230E-02	2,427E-02	2,403E-02	2,032E-02	2,475E-02	1,871E-02
$\eta_{0,pl}$	-9,263E-03	-3,062E-03	-8,996E-03	-5,753E-03	-1,241E-03	-7,965E-03	-8,388E-03
$\eta_{0,pll}$	2,714E-09	-6,598E-05	1,797E-08	-1,363E-08	1,102E-06	1,184E-08	1,010E-08
$\eta_{0,pQ}$	5,629E-02	4,710E-03	5,908E-03	1,833E-03	1,008E-01	-1,123E-01	6,329E-03
$\eta_{0,pQQ}$	3,691E-09	-1,145E-03	4,740E-08	3,807E-08	1,142E-07	-1,770E-08	1,113E-07
$\eta_{0,R}$	1,880E-02	2,059E-02	1,911E-02	1,956E-02	1,993E-02	1,875E-02	1,908E-02
$\eta_{0,T}$	7,140E-11	8,915E-01	5,242E-02	4,626E-12	1,344E-10	6,293E-12	3,873E-11
$\eta_{0,wiw}$	-5,610E-01	7,452E-01	-6,252E-02	1,084E-01	-3,829E-02	-2,286E-01	1,991E-01
$\eta_{0,Y}$	2,306E-02	-1,353E-03	3,110E-03	5,886E-03	-9,217E-03	-5,181E-03	9,992E-03
$\eta_{0,YY}$	-1,408E-04	2,083E-01	-7,381E-04	-1,374E-04	-8,130E-03	1,835E-06	-2,259E-03
$\eta_{1,D}$	9,674E-01	6,140E-01	3,807E-01	2,761E-01	7,786E-01	9,347E-01	6,942E-01
$\eta_{1,I}$	4,096E-01	9,929E-01	3,305E-01	7,639E-01	1,823E-01	9,039E-04	9,990E-01
$\eta_{1,L}$	-8,042E-03	9,983E-01	-1,874E-04	-1,903E-03	9,990E-01	2,398E-01	5,441E-01
$\eta_{1,LL}$	5,286E-10	-4,081E-04	2,267E-07	3,217E-03	-5,514E-04	2,626E-08	-1,473E-03
$\eta_{1,N}$	4,054E-07	-9,596E-06	-6,973E-06	7,390E-04	-2,270E-04	1,037E-05	-5,406E-04
$\eta_{1,P}$	2,157E-01	3,183E-01	3,787E-01	2,543E-01	7,958E-01	2,890E-01	6,429E-01
$\eta_{1,pl}$	2,289E-01	1,486E-01	-7,718E-04	3,517E-01	2,787E-01	2,775E-04	1,657E-01
$\eta_{1,pll}$	6,286E-05	-5,435E-04	9,292E-01	9,692E-01	6,192E-03	9,007E-01	9,523E-04
$\eta_{1,pQ}$	1,793E-01	-1,128E-01	-8,527E-02	-1,921E-02	1,724E-01	3,872E-06	3,693E-01
$\eta_{1,pQQ}$	9,524E-01	8,840E-01	9,105E-01	-4,292E-04	-2,766E-05	8,117E-01	8,156E-02
$\eta_{1,R}$	3,793E-01	5,481E-01	5,459E-01	4,382E-01	3,662E-01	4,450E-01	3,456E-01
$\eta_{1,T}$	-3,050E-03	1,797E-02	6,097E-08	-1,633E-05	3,749E-05	5,685E-06	6,332E-06
$\eta_{1,wiw}$	9,938E-01	9,947E-01	8,946E-01	9,945E-01	9,503E-01	9,412E-01	9,501E-01
$\eta_{1,Y}$	4,688E-04	1,298E-04	-3,230E-04	1,138E-03	1,358E-04	1,776E-03	-3,206E-04
$\eta_{1,YY}$	-3,413E-04	5,707E-04	6,336E-01	5,127E-01	9,990E-01	8,994E-01	9,990E-01
$\theta_D$	4,000E+00	5,706E+00	4,000E+00	4,000E+00	4,000E+00	8,795E+00	4,000E+00

## Продолжение таблицы А8

Параметр	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>I</i>
$\theta_F$	8,079E+00	7,979E+00	8,264E+00	1,032E+01	8,574E+00	9,246E+00	1,015E+01
$T_{Q,I}$	-1,605E-01	-1,141E+00	3,896E-01	3,475E-02	-8,883E-01	6,318E-01	-1,202E+00
$T_{Q,PI}$	8,416E-01	5,234E-01	6,116E-01	1,414E+00	-4,395E+00	-1,085E-01	4,345E-01
$T_{Q,PQ}$	-9,881E-01	-9,514E-01	1,247E+00	-9,136E-01	-9,729E-01	-1,032E+00	-5,323E-01
$T_{Q,Y}$	1,747E-01	5,521E-01	-2,145E-01	8,653E-01	1,086E+00	-6,241E-02	-7,434E-01
$T_{W,PI}$	4,971E-01	6,591E-01	-4,602E-01	1,199E+00	4,175E-01	1,686E-03	7,148E-01
$T_{W,PQ}$	-2,135E-02	2,059E+00	2,599E-01	-2,211E-02	-1,511E-03	-8,404E-02	2,500E+00
Параметр	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
$std \epsilon_D$	9,794E-03	1,234E-01	1,362E-02	2,838E-02	6,215E-03	2,003E-01	5,213E+00
$std \epsilon_I$	1,883E-02	2,045E-02	1,020E-02	2,050E-04	1,312E-02	1,017E-03	2,516E-02
$std \epsilon_L$	1,850E-02	1,951E-02	2,264E-02	6,110E-02	1,651E-02	4,070E-04	6,693E-02
$std \epsilon_{LL}$	4,606E-04	4,611E-04	4,625E-04	4,579E-04	4,856E-04	4,600E-04	4,609E-04
$std \epsilon_N$	4,606E-04	4,615E-04	4,638E-04	4,605E-04	4,654E-04	4,244E-04	4,611E-04
$std \epsilon_P$	2,503E-02	3,275E-02	2,656E-02	3,018E-02	3,111E-02	2,874E-02	3,331E-02
$std \epsilon_{pl}$	2,904E-02	2,983E-02	2,999E-02	2,933E-02	3,054E-02	4,337E-04	4,585E-04
$std \epsilon_{pII}$	4,602E-04	4,600E-04	4,584E-04	4,591E-04	4,710E-04	3,737E-02	3,052E-02
$std \epsilon_{pQ}$	4,607E-04	4,607E-04	4,606E-04	1,131E-03	4,619E-04	3,147E-02	4,612E-04
$std \epsilon_{pQQ}$	4,335E-02	1,363E-01	1,635E-01	2,740E-02	3,589E-02	4,604E-04	8,447E-02
$std \epsilon_R$	1,072E-02	1,146E-02	1,150E-02	1,351E-02	1,495E-02	1,308E-02	1,233E-02
$std \epsilon_T$	4,613E-04	4,607E-04	4,607E-04	4,606E-04	4,607E-04	4,611E-04	4,607E-04
$std \epsilon_{WiW}$	2,306E-02	4,079E-02	3,562E-02	2,652E-02	1,693E-02	2,542E-02	2,804E-02
$std \epsilon_Y$	4,614E-04	4,617E-04	4,612E-04	4,592E-04	4,719E-04	3,908E-04	4,609E-04
$std \epsilon_{YY}$	2,256E-02	2,794E-02	3,549E-02	8,826E-03	1,468E-02	4,891E-03	3,162E-02
$\alpha_K$	3,217E-01	3,233E-01	4,156E-01	6,324E-01	2,930E-01	4,487E-01	4,409E-01
$\alpha_L$	2,411E-01	3,789E-01	3,287E-01	1,001E-02	3,179E-01	4,167E-01	4,107E-01
$\delta_K$	1,391E-02	6,872E-03	1,816E-02	1,543E-02	2,003E-02	1,793E-02	1,231E-02
$\Phi_K$	8,239E-02	1,046E-01	1,706E-01	1,530E-01	3,712E-01	1,170E+00	1,612E-01
$\Phi_L$	8,290E-03	1,071E+00	7,573E-02	1,033E+01	3,781E-11	5,234E-02	3,660E-01
$\Phi_P$	1,854E-01	3,308E+01	8,720E+00	7,285E+00	1,058E+01	1,175E-10	2,355E+01
$\gamma_{nw}$	-5,069E-01	-5,170E-01	-8,754E-01	-5,334E-01	-3,732E-01	-2,634E-01	-9,559E-01
$\gamma_n$	5,872E-01	6,821E-02	-5,568E-02	6,847E-01	3,813E-01	5,439E-01	-8,988E-02
$\gamma_{PF}$	5,000E-01	5,000E-01	5,000E-01	5,000E-01	5,000E-01	5,939E-11	1,754E-01
$\gamma_{RP}$	1,528E-11	3,368E-11	2,507E-11	6,876E-10	4,422E-11	3,592E-09	4,413E-10
$\gamma_{RY}$	1,223E-02	4,434E-04	2,840E-02	8,108E-02	3,681E-02	2,722E-03	-9,239E-05
$\gamma_R$	5,023E-01	5,392E-01	5,387E-01	6,109E-01	6,462E-01	6,021E-01	5,751E-01
$\gamma_{TY}$	-2,478E+00	1,055E+00	-3,176E+00	3,027E+00	3,842E+00	2,069E-04	3,522E+00
$\gamma_T$	-3,064E-02	9,967E-01	4,061E-01	6,828E-01	5,649E-01	9,932E-01	9,051E-01

## Окончание таблицы А8

Параметр	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
$\bar{l}$	-3,780E-01	-4,442E-01	-1,002E+00	-1,777E+00	-1,994E+00	-2,239E-01	-1,176E+00
$\eta_{0,D}$	2,800E-04	-1,151E-01	2,190E-03	-6,383E-01	-1,264E-02	6,390E-03	-1,269E+00
$\eta_{0,I}$	-1,840E-02	-6,028E-03	-6,388E-03	2,228E-04	-1,702E-03	-4,881E-03	-1,805E-02
$\eta_{0,L}$	1,303E-03	-3,757E-04	5,246E-04	3,161E-03	1,377E-03	1,598E-03	4,468E-03
$\eta_{0,N}$	2,746E-01	3,899E-01	9,010E-01	1,943E+00	1,900E+00	-1,921E-01	1,511E+00
$\eta_{0,P}$	2,547E-02	2,483E-02	2,298E-02	2,358E-02	2,114E-02	2,356E-02	2,420E-02
$\eta_{0,pI}$	-2,542E-03	-3,148E-03	-7,371E-03	-2,469E-03	-7,059E-03	4,185E-03	-8,031E-03
$\eta_{0,pII}$	-2,537E-08	-3,528E-06	7,719E-08	-3,647E-04	-2,480E-06	-1,021E-06	-2,006E-04
$\eta_{0,pQ}$	1,190E-02	2,595E-02	4,062E-03	-2,139E-02	-1,053E-02	-9,035E-03	9,923E-03
$\eta_{0,pQQ}$	-3,013E-08	-3,729E-06	1,253E-07	-1,931E-04	-6,428E-07	2,869E-06	-6,046E-05
$\eta_{0,R}$	1,981E-02	2,040E-02	1,959E-02	2,239E-02	2,523E-02	1,878E-02	2,022E-02
$\eta_{0,T}$	1,313E-11	4,893E-11	5,938E-01	2,244E-11	2,181E-01	9,999E-01	2,069E-10
$\eta_{0,WW}$	-4,125E-01	8,363E-01	1,789E-01	1,777E-01	-3,365E-01	-2,358E-01	-2,069E-01
$\eta_{0,Y}$	1,686E-02	1,836E-03	1,637E-02	-1,462E-02	-4,021E-03	-8,711E-03	5,337E-03
$\eta_{0,YY}$	-2,154E-04	1,204E-01	-2,198E-03	5,607E-01	2,725E-02	-7,201E-03	5,750E-01
$\eta_{1,D}$	9,950E-01	9,975E-01	2,591E-01	9,990E-01	9,990E-01	7,711E-01	-2,644E-01
$\eta_{1,I}$	-2,391E-01	-1,755E-01	2,898E-01	9,096E-01	7,356E-01	9,990E-01	3,207E-01
$\eta_{1,L}$	-1,963E-01	-5,285E-02	3,848E-03	-1,704E-01	2,227E-01	8,938E-02	-3,973E-02
$\eta_{1,LL}$	-1,800E-04	-5,178E-04	-1,386E-03	6,906E-04	-1,723E-02	5,849E-04	-1,277E-04
$\eta_{1,N}$	-6,990E-05	-1,274E-03	-2,376E-03	1,161E-06	-3,054E-03	4,212E-02	-1,563E-04
$\eta_{1,P}$	2,228E-01	1,788E-01	3,945E-01	1,955E-01	6,746E-01	3,516E-01	2,671E-01
$\eta_{1,pI}$	1,817E-01	2,449E-01	6,375E-02	1,401E-01	1,679E-01	4,870E-02	-2,120E-04
$\eta_{1,pII}$	-4,008E-04	2,389E-04	5,501E-04	1,924E-03	-4,377E-03	9,960E-01	9,259E-01
$\eta_{1,pQ}$	2,072E-04	4,953E-05	5,140E-04	9,990E-01	7,141E-04	9,990E-01	-8,350E-04
$\eta_{1,pQQ}$	6,607E-01	3,990E-01	8,433E-01	2,176E-01	7,540E-01	2,051E-04	2,220E-01
$\eta_{1,R}$	3,705E-01	3,665E-01	3,391E-01	3,463E-01	3,635E-01	3,878E-01	3,539E-01
$\eta_{1,T}$	1,177E-04	-5,107E-09	-1,646E-05	-2,523E-05	1,446E-05	-4,088E-02	8,312E-07
$\eta_{1,WW}$	9,590E-01	8,567E-01	8,243E-01	8,848E-01	9,697E-01	9,313E-01	8,977E-01
$\eta_{1,Y}$	4,438E-04	-1,768E-05	-2,630E-04	-2,166E-04	-1,695E-03	1,322E-01	-7,061E-05
$\eta_{1,YY}$	9,977E-01	9,946E-01	9,990E-01	9,614E-01	6,440E-01	8,248E-01	9,164E-01
$\theta_D$	4,000E+00	4,000E+00	4,000E+00	5,818E+00	4,000E+00	6,024E+00	4,141E+00
$\theta_F$	9,841E+00	1,128E+01	8,408E+00	1,147E+01	8,570E+00	7,990E+00	1,011E+01
$T_{Q,I}$	1,812E+00	1,698E+00	3,176E-01	1,492E-01	2,346E+00	1,820E-01	1,588E+00
$T_{Q,PI}$	-2,789E-01	7,706E-01	1,110E-01	5,305E-01	7,939E-01	3,196E-02	-1,065E+00
$T_{Q,PQ}$	6,315E-01	-6,594E-01	8,566E-02	-4,149E-01	-4,967E-01	1,874E-01	1,441E-01
$T_{Q,Y}$	8,622E-01	1,219E-01	3,326E-01	-5,675E-01	-7,335E-01	-3,693E-01	3,804E-01
$T_{W,PI}$	2,816E-01	8,212E-01	7,689E-01	9,183E-01	9,225E-01	6,808E-01	-1,117E+00
$T_{W,PQ}$	1,011E+00	1,784E-01	3,434E-01	-7,938E-01	-5,221E-01	8,667E-01	1,416E+00

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Андреев М.Ю., Полбин А.В.** (2018). Влияние фискальной политики на макроэкономические показатели в DSGE-моделях // *Научно-исследовательский финансовый институт. Финансовый журнал*. № 3. С. 21–33. [Andreev M.Yu., Polbin A.V. (2018). Influence of fiscal policy on macroeconomic performance within DSGE-models. *Financial Research Institute. Financial Journal*, 3, 21–33 (in Russian).]
- Вотинов А.И., Елкина М.А.** (2018). Фискальное стимулирование российской экономики: оценка в рамках простой DSGE-модели с фискальным блоком // *Научно-исследовательский финансовый институт. Финансовый журнал*. № 6. С. 83–96. [Votinov A.I., Elkina M.A. (2018). Estimation of fiscal stimulus efficiency in Russian economy: Simple DSGE model with government sector. *Financial Research Institute. Financial Journal*, 6, 83–96 (in Russian).]
- Иващенко С.М.** (2013). Динамическая стохастическая модель общего экономического равновесия с банковским сектором и эндогенными дефолтами фирм // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 3 (19). С. 27–50. [Ivashchenko S. (2013). Dynamic stochastic general equilibrium model with banks and endogenous defaults of firms. *Journal of the New Economic Association*, 3 (19), 27–50 (in Russian).]
- Иващенко С.М.** (2016). Многосекторная модель динамического стохастического общего экономического равновесия Российской экономики // *Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 6. Экономика*. Вып. 3. С. 176–202. [Ivashchenko S.M. (2016). Multiple sectors DSGE model of Russia. *St. Petersburg University Journal of Economic Studies. Series 6. Economic Studies*, 3, 176–202. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2016.310 (in Russian).]
- Иващенко С.М.** (2019). Модели ДСОЭР: проблема трендов // *Научно-исследовательский финансовый институт. Финансовый журнал*. № 2. С. 81–95. DOI: 10.31107/2075-1990-2019-2- 81–95 [Ivashchenko S.M. (2019). DSGE models: Problem of trends. *Financial Research Institute. Financial Journal*, 2, 81–95. DOI: 10.31107/2075-1990-2019-2-81-95 (in Russian).]
- Мараховский А.С.** (2006). Межотраслевая балансовая модель как эффективный инструмент индикативного планирования сбалансированного роста // *Вестник Ставропольского государственного университета*. Вып. 44. С. 49–56. [Marahovsky A.S. (2006). Input-output balance model as efficient instrument of indicative planning of balance growth. *Vestnik of Stavropol State University*, 44, 49–56 (in Russian).]
- Полбин А.В.** (2014). Эконометрическая оценка структурной макроэкономической модели российской экономики // *Прикладная эконометрика*. № 33 (1). С. 3–29. [Polbin A.V. (2014). Econometric estimation of a structural macroeconomic model for the Russian economy. *Applied Econometrics*, 33, 1, 3–29 (in Russian).]
- Adjemian S., Bastani H., Juillard M., Karamé F., Mihoubi F., Perendia G., Pfeifer J., Ratto M., Villemot S.** (2011). Dynare: Reference manual, version 4. *Dynare Working Papers*, 1, CEPREMAP.
- Akkoyun H., Arslan Y., Kilinc M.** (2017). Risk sharing and real exchange rates: The

- role of non-tradable sector and trend shocks. *Journal of International Money and Finance*, 73, PA, 232–248.
- Ascari G., Castelnovo E., Rossi L.** (2011). Calvo vs. Rotemberg in a trend inflation world: An empirical investigation. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 35, 11, 1852–1867.
- Chang Y., Doh T., Schorfheide F.** (2007). Non-stationary hours in a DSGE model. *Journal of Money, Credit and Banking*, 39, 6, 1357–1373.
- Chaudourne J., Feve P., Guay A.** (2014). Understanding the effect of technology shocks in SVARs with long-run restrictions. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 41, C, 154–172.
- Diebold F.X., Schorfheide F., Shin M.** (2017). Real-time forecast evaluation of DSGE models with stochastic volatility. *Journal of Econometrics*, 201, 2, 322–332.
- Gawthorpe K.** (2019). Input-output DSGE model for the Czech Republic. *Prague Economic Papers 2019*, 5, 612–630.
- Gomez V., Maravall A.** (1996). Programs TRAMO and SEATS, instruction for user. *Banco de Espana*, 1–133.
- Justiniano A., Primiceri G., Tambalotti A.** (2011). Investment shocks and the relative price of investment. *Review of Economic Dynamics*, 14, 1, 101–121.
- Lucas R.E.** (1976). Econometric policy evaluation: A critique. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 1, 1, 19–46.
- Ojeda J., Parra-Polania J., Vargas C.** (2014). Natural-resource booms, fiscal rules and welfare in a small open economy. *Borradores de Economia from Banco de la Republica de Colombia*, 807, 1–32.
- Onatski A., Ruge-Murcia F.** (2013). Factor analysis of a large DSGE model. *Journal of Applied Econometrics*, 28, 6, 903–928.
- Petrella I., Santoro E.** (2011). Input-output interactions and optimal monetary policy. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 35, 11, 1817–1830.
- Schmitt-Grohe S., Uribe M.** (2011). Business cycles with a common trend in neutral and investment-specific productivity. *Review of Economic Dynamics*, 14, 1, 122–135.
- Smets F., Wouters R.** (2003). An estimated dynamic stochastic general equilibrium model of the euro area. *Journal of the European Economic Association*, 1, 5, 1123–1175.
- Szyld D.B.** (1985). Conditions for the existence of a balanced growth solution for the Leontief dynamic input-output model. *Econometrica*, 53, 6, 1411–1419.
- Tan H.B.** (2017). Monetary policy and energy price shocks. *The B.E. Journal of Macroeconomics*, 17, 2, 27.
- Tovar C.E.** (2009). DSGE models and central banks. *Economics. The Open-Access, Open-Assessment EJournal*, 3 (16), 1–31.

*Поступила в редакцию 17.11.2019**Received 17.11.2019*

**S.M. Ivashchenko**

The Institute of Regional Economy Problems (Russian Academy of Sciences), Saint Petersburg; Financial Research Institute, Ministry of Finance, Russian Federation, Moscow; Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

**Long-term growth sources for sectors  
of Russian economy**

**Abstract.** Theoretical models suggest stationary structure of sectors. Sometimes this suggestion is hidden (balanced growth). The ratio of variables for 2 sectors is unit root at the most cases (for 14 Russian sectors and 6 variables per sector). The lowest share of stationary ratios is 5/91 for real value added with ADF test (KPSS test for the same variable leads to 38/91 stationary ratios). The cointegration rank differs across sectors in wide ranges (from 1 for trade (G) or government administration (L) till 5 for agriculture (AB)). The dynamic stochastic partial equilibrium (DSPE) model is created. It is model of firms in DSGE-style and description of the rest economy by exogenous rules. The model is estimated for each of 14 sectors. The model includes 5 sources of stochastic trends: TFP; labor supply; investments efficiency; investments prices; prices of intermediate goods. Any 2 sectors significantly differ by key parameters (production function shares, capital depreciation, and demand elasticity). The drift of unit root sources differs across sectors (including sign). Only few pairs of sectors differ insignificantly (3/182 or 8/91 depending on test specification). The variance decomposition of trends (for various variables) is computed. It varies in wide ranges across sectors and variables. Thus, usage of aggregate data in theoretical model leads to loose of large amount of information.

**Keywords:** *stochastic trend, unit root, industry, sector*.

JEL Classification: C32, E32.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-4

**А.С. Строков**

Центр агропродовольственной политики ИПЭИ РАНХиГС, Москва

**Д.С. Терновский**

Центр агропродовольственной политики ИПЭИ РАНХиГС, Москва

**В.Ю. Поташников**

Центр экономического моделирования энергетики и экологии ИПЭИ РАНХиГС, Москва

**А.А. Потапова**

Центр агропродовольственной политики ИПЭИ РАНХиГС, Москва

## **Оценка экологических экстерналий**

### **как последствий расширения**

### **внешнеторговой деятельности<sup>1</sup>**

**Аннотация.** Настоящее исследование показывает, как может развиваться экономика природных ресурсов с учетом экстерналий. В нашем случае анализировался экспорт сельскохозяйственных и лесных товаров из России в Китай, а экстерналии оценивались через выбросы парниковых газов от указанных видов деятельности. Мы разработали пять сценариев развития России до 2030-х и 2050-х годов с учетом возможности развития отечественного производства сои, рапса и кукурузы, а также деревообрабатывающей промышленности, расширения торговли с Китаем. После расчетов по модели частичного равновесия мы ввели корректировку размера возможной прибыли от расширения торговли с учетом монетарной оценки общественной стоимости выбросов парниковых газов в размере 68 долл. за 1 т выбросов CO<sub>2</sub>. Данный метод позволяет более точно оценить экономические потери от экстенсивного развития, с учетом монетарно рассчитанных экстерналий. Наши расчеты показали, что использование природных ресурсов должно быть связано с экологическими программами, в том числе с возможностью выведения из оборота части территорий, что позволит снизить выбросы парниковых газов или способствовать достижению баланса эмиссий и поглощений эквивалента CO<sub>2</sub>, что в данном случае является показателем снижения отрицательных экстерналий.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, экспорт продовольствия, экспорт дре-весины, парниковые газы, общественное благосостояние.

**Классификация JEL:** Q51, Q17.

**DOI:** 10.31737/2221-2264-2020-48-4-5

### **1. Введение**

Развитие сельскохозяйственного и лесопромышленного производства неизбежно затрагивает экономические интересы широкого круга лиц, в том числе и не связанных непосредственно с аграрной сферой, что обусловлено активным использованием общих природных ресурсов (вода, воздух) и двусторонним переводом земельных ресурсов из общих (леса, луга и т.п.), в частные (пашни и т.п.), и наоборот.

Проблему изменения объема блага для экономических агентов, не участвующих в его производстве, отражает категория внешних эффектов (экстерналий), введенная в научный оборот А. Пигу (Pigou, 1920).

<sup>1</sup> Работа над калибровкой и совершенствованием российского модуля модели GLOBIOM производилась в рамках государственного задания РАНХиГС. Выражаем признательность научным сотрудникам Центра исследования сельскохозяйственных ресурсов (Пекин, Китай) Бай Жаохай и Хао Зао за советы по обоснованию сценариев, а также научному директору проекта FABLE Сети устойчивого развития ООН (SDSN) Алин Мосниер – за общие идеи и советы, как адаптировать модель GLOBIOM.

Внешние эффекты являются одним из проявлений провалов рынка, не позволяя рыночному равновесию достигнуть Парето-эффективности, что проявляется в пере- (отрицательные экстерналии) или недопроизводстве (положительные экстерналии) экономических благ.

Очевидно, что в случае расширения сельскохозяйственного и лесопромышленного производства необходимо преимущественно говорить об отрицательных потребительских предельных внешних эффектах для населения территорий, другими словами, эффекты, которые сразу экономически оценить сложно, но в будущем они увеличат издержки. Причиной возникновения внешних эффектов при этом станет отсутствие закрепленных прав собственности на ресурсы, выступающие в этом случае свободными неэкономическими благами. В свою очередь, устранение экстерналий связано с трансформацией свободных благ в естественные ресурсы совместного потребления (*common-pool resources*, CPR), а также с возникновением конкуренции за их качество.

Снижение производства отрицательных внешних эффектов осуществляется на основе их интернализации – включения их оценочного размера в затраты участников рыночной транзакции через налоговую нагрузку (пигуанский налог) (Baumol, 1972), закрепление прав собственности (теорема Коуза), объединения производителей и потребителей экстерналий (интеграция и кооперация). Проблема использования пигуанского налога включает несколько теоретических аспектов, характеризующих его эффективность: объект обложения и его влияние на объем производства, направления распределения полученных ресурсов, вклад пигуанского налога в совокупную налоговую нагрузку и замещениеискажающих налогов (Carlton, Loury, 1980; Kohn, 1986).

Практическая значимость введения углеродного налога в размере 5–15 долл. за 1 т выбросов CO<sub>2</sub> (налог на выбросы от сжигания топлива) вместе с разного рода изменениями в природоохранном законодательстве демонстрировали последствия на протяжении последних 20 лет в странах Латинской Америки (примеры Колумбии и Коста-Рики), что к настоящему времени привело к сокращению площади вырубки лесов и/или увеличению площади посадок лесных насаждений и сохранения естественных природных ландшафтов (Barbier, Lozano et al., 2020). Есть исследования, где оцениваются последствия от внедрения углеродного налога в 20 долл. за 1 т эмиссии CO<sub>2</sub> непосредственно в сельском хозяйстве (Frank, Havlik, Stehfest et al., 2019). Однако мы предлагаем иной метод – оценка социальной стоимости углерода, поскольку более высокая общественная стоимость (относительно углеродного налога) позволяет лучше увидеть, насколько уязвимы природные экосистемы без должных мер государственного регулирования. Забегая вперед, скажем, что в наших расчетах социальная стоимость углерода предлагается в размере 68 долл. за 1 т эквивалента CO<sub>2</sub> в ценах 2018 г. (см. раздел 4).

Р. Коуз доказал незначимость внешних эффектов в ситуации, когда права собственности хорошо описаны и работают; поведение субъектов рынка рационально, а трансакционные издержки минимальны (Coase, 1960). Применительно к экономике, сосредоточенной на добыче природных ресурсов, можно утверждать, что такой подход будет действенным только в двух случаях. Во-первых, при закреплении права собственности на негативные воздействия на окружающую среду и формирование рынка таких прав с минимизацией трансакционных издержек на их переход. Во-вторых, при спецификации права собственности и включения в цену перехода общественного в частное благо (например, перевода земель поселений в сельскохозяйственные) всех возможных издержек населения через механизм общественного выбора. Ранее на примере увеличения спроса на молоко в Китае исследовано его косвенное влияние на изменение землепользования (трансформацию угодий с последующим увеличением эмиссии парниковых газов (ПГ) от роста поголовья скота) в Новой Зеландии – как ведущего экспортера молочных продуктов в Китай (Bai, Fee, Ma et al., 2018). Оценка переноса Китаем части эмиссий на продовольственный и лесной сектор России еще не проводилась. Кроме того, мы провели дополнительные расчеты по оценке социальной стоимости эмиссий ПГ, поскольку учитываем последствия эксплуатации природных ресурсов (поля, луга, леса), которые могут иметь высокую общественную стоимость – как отражение высокой рекреационной ценности этих ресурсов.

В настоящем исследовании мы использовали вариант оценки отрицательных экстерналий через спецификацию и оценку прав собственности на негативные изменения окружающей среды – общественная стоимость эмиссий парниковых газов. Это показано на примере расширяющегося экспорта сельскохозяйственных и лесных товаров из России в Китай. Кроме того, нами сделана оценка возможных изменений площади используемых земель (только для сельскохозяйственных и лесопромышленных целей), отрицательные эффекты для которых не могут быть измерены в существующих системах учета экологических последствий, но должны быть учтены на основе динамики общественного мнения в соответствии с последствиями принимаемых экономических решений. Проведенное нами исследование позволит ответить на вопрос, насколько можно увеличивать производство и есть ли возможность выйти на путь устойчивой интенсификации сельского хозяйства и гармоничного развития (рост производства с минимальными негативными последствиями для окружающей среды).

## 2. Анализ текущих трендов экспорта из России в Китай

В последние годы политические отношения между Россией и Китаем укрепляются, расширяются экономическое и торговое сотрудничество (Lukin, 2018; Malle, 2017). Китай рассматривается

как одно из направлений развития экспорта России; Дальний Восток и Байкальский регион играют ключевую роль в обеспечении торговых потоков. Страны заинтересованы в реализации новых проектов, включая экспорт в Китай российской сои и развитие транспортно-логистических возможностей (Дятловская, 2019). Для этого разработана «Программа развития российско-китайского сотрудничества в торгово-экономической и инвестиционной сферах на Дальнем Востоке Российской Федерации на 2018–2024 годы». Кроме того, приграничное положение Дальнего Востока России способствует масштабной трудовой миграции из Китая для занятости в аграрном бизнесе (Зуенко, 2015; Jiayi, 2018), в том числе граждане Китая выступают как арендаторы сельскохозяйственных земель. Стремясь к получению максимальной прибыли и увеличению урожайности, они используют различные химикаты и пестициды, что приводит к тяжелым экологическим последствиям (Муратшина, 2015). Лесные пожары летом 2019 г. также получили широкий резонанс и могут быть связаны с расширением экспорта лесоматериалов из России в Китай<sup>2</sup>. Все это обуславливает злободневность нашей темы и необходимость комплексного исследования экономических и экологических последствий сотрудничества двух стран.

Экспорт сельскохозяйственной и пищевой продукции из России в Китай ежегодно увеличивается, особенно значительный рост отмечается после 2014 г. (рис. 1). Если в 2008 г. стоимость товаров всего аграрного сектора, направленных в Китай, составляла 0,2 млрд долл., то в 2018 г. она достигла уже 2,5 млрд долл. (суммарно, по кодам ТН ВЭД, 1–24 группы). Поставки лесоматериалов из России в Китай в период с 2008 по 2015 г. находились на стабильном уровне и составляли около 2–2,5 млрд долл. США (только 44-я группа ТН ВЭД). Однако в последние годы отмечается резкое увеличение экспорта данной продукции, в 2018 г. он составил 3,5 млрд долл.

**Рис. 1**

*Экспорт сельскохозяйственной и пищевой продукции, древесины и лесоматериалов из России в Китай, млрд долл. СПА (текущие цены)*

*Источник:* составлено по данным International Trade Center (ITC).

В настоящей статье мы более подробно рассмотрим экологические последствия от увеличения экспорта сои, рапса и кукурузы, а также лесоматериалов, поскольку данная деятельность приводит к прямым изменениям в ландшафте территорий, особенно вблизи границ с Китаем, увеличивает площадь разработки природных ресурсов за счет введения в оборот или новой пашни, или новых территорий для лесозаготовок. Это приводит к эрозии почв, увеличению площади вырубок (не увеличивая при этом пло-

<sup>2</sup> Интервью министра природных ресурсов и экологии Дмитрия Кобылкина «Ведомостям» от 14 августа 2019 г. (<https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2019/08/14/808841-intervyu-ministra-prirodnih-resursov>).

щади искусственных лесонасаждений), что увеличивает эмиссию ПГ и сокращает площадь естественных территорий поглотителей (абсорбентов)  $\text{CO}_2$ . В будущем эти факторы могут помешать России выполнить свои обязательства по сокращению (или неувеличению) выбросов  $\text{CO}_2$  в рамках Парижского соглашения по климату<sup>3</sup>.

Россия экспортирует в Китай масличные культуры в виде расщительного масла, шрота (или жмыха), а также в целом виде. Большую часть составляют соевые бобы, экспорт которых за последние годы увеличился более чем в два раза и в 2018 г. достиг 865 тыс. т<sup>4</sup>. Более скромные значения отмечаются в отношении семян рапса, в 2018 г. их экспорт в Китай составил около 150 тыс. т. Китай является главным импортером российских соевых бобов, на него приходится 90% экспорта данной культуры России, а также семян рапса, более трети из которых отправляется в Китай.

Рост экспорта масличных культур в последние годы вносит изменения в посевные площади России. В Центральном федеральном округе (ФО) соя занимает всего 6% пахотных земель региона. В то время как в Дальневосточном ФО данная культура покрывает более 70% пахотных земель. Данная ситуация не типична для России, так как большая часть посевных площадей страны занята зерновыми, особенно пшеницей. Но тенденции последних лет вносят корректировки в процесс расширения посевных площадей под масличными культурами, что выгодно с экономической точки зрения, но не всегда оправдано с точки зрения экологии, чем зачастую пренебрегают производители сельхозпродукции, поскольку экологические экстерналии не всегда заметны при коротком горизонте планирования бизнеса. Ежегодно происходит рост рентабельности масличных культур (от 60 до 80% по сравнению с 20–40% для пшеницы). Более стабильный и высокий доход привел к увеличению доли масличных культур в пахотных землях России с 8% (в 2008 г.) до 16% (в 2018 г.). В погоне за увеличением дохода не учитываются экологические последствия возделывания масличных monocultures, которое часто приводит к нарушению севооборота и снижению плодородия почвы (Шелепа, Глаз, Узловенко и др., 2013, с. 16). Следовательно, необходимо разрабатывать научно обоснованные методы оценки, включающие экономическую и экологическую компоненту, т.е. последствия для окружающей среды.

Таким образом, мы предлагаем интегрированно рассмотреть экономический и экологический аспекты торгового сотрудничества между Россией и Китаем. В статьедается оценка последствиям изменений в землепользовании и выбросов парниковых газов, которые могут произойти, если Россия продолжит увеличивать экспорт продукции сельского и лесного хозяйства в Китай. Для решения этой задачи использовалась модель частичного равновесия GLOBIOM.

<sup>3</sup> «Парижское соглашение согласно Рамочной конвенции об изменении климата» (Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change). Принято в Париже 12 декабря 2015 г.

<sup>4</sup> В России производство соевых бобов также ежегодно увеличивается. В 2014 г. оно составляло 2,6 млн т, в 2018 г. – 4,3 млн т, причем около 2 млн т Россия экспортирует в чистом виде, а 1,1 млн т из них – бобы, переработанные в соевое масло.

### 3. Модель GLOBIOM и сценарии расширения экспорта российской агропродовольственной продукции в Китай

Разработка GLOBIOM<sup>5</sup> представляет собой глобальную рекурсивную динамическую модель частичного равновесия, объединяющую сельскохозяйственный, биоэнергетический и лесной сектора экономики (Haylik, Valin, Mosnier et al., 2014). В этой модели производители конкурируют между собой за ресурсы для производства продукции сельского и лесного хозяйства, а также биотоплива. С помощью этой модели решается задача максимизации общественного благосостояния при условии технологических и ресурсных ограничений. Одновременно общественное благосостояние складывается из излишка потребителя и излишка производителя. В модели функция производства продукции представлена в виде функции Леонтьева; спрос задается экзогенно – через функцию спроса с постоянной эластичностью, линеаризуемой с помощью кусочно-линейной функции.

В модели GLOBIOM максимизируемое общественное благосостояние определяется как разность интеграла резервной цены потребителя и издержек производителя:

$$\max Welfare_t = \sum_{r,y} \int_{D_{r,t,y}^{min}}^{D_{r,t,y}} a_{r,y} D_{r,t,y}^{1/\varepsilon_{r,y}} d D_{r,t,y} - (WaterIrr_t^{\text{cost}} + LandUse_t^{\text{cost}} + Process_t^{\text{cost}} + TradeMargin_t^{\text{cost}} + GHG_t^{\text{Tax}}), \quad (1)$$

где  $r$  – регион;  $y$  – продукция (для конечного и промежуточного потребления), включая более 30 видов продукции животноводства и растениеводства, лесоматериалы и продукты их переработки, биотопливо первого и второго поколения;  $D_{r,t,y}$  – конечное потребление;  $a_{r,y}$  – константа интегрирования;  $\varepsilon_{r,y}$  – эластичность конечного спроса по цене;  $D_{r,t,y}^{min}$  – минимальный предел интегрирования, необходимый для решения проблемы существования несобственного интеграла при неэластичном спросе в районе нуля;  $WaterIrr_t^{\text{cost}}$  – издержки на орошение в растениеводстве;  $LandUse_t^{\text{cost}}$  – издержки на обработку земельных ресурсов;  $TradeMargin_t^{\text{cost}}$  – издержки на международную торговлю;  $Process_t^{\text{cost}}$  – издержки на производство и  $GHG_t^{\text{Tax}}$  – выплата налогов на эмиссию CO<sub>2</sub><sup>6</sup>.

Необходимо отметить, что разработка GLOBIOM ввиду междисциплинарности использует данные других моделей. Входные данные по лесному хозяйству, включая издержки производства, формируются в Глобальной модели лесного хозяйства G4M (Kindermann et al., 2006), результаты решения которой включены в GLOBIOM. Выбор производителя – сажать и/или вырубать леса – рассчитывается путем

<sup>5</sup> Модель GLOBIOM в настоящее время является открытым ресурсом (описание структуры модели, коды и скрипты модели GLOBIOM доступны по адресу: [https://iiasa.github.io/GLOBIOM\\_FABLE/](https://iiasa.github.io/GLOBIOM_FABLE/)). Отметим, что перед тем, как использовать модель для четырех сценариев этой статьи, авторы внесли дополнения в код модели, чтобы темпы роста сельского и лесного хозяйства России в модельных расчетах соответствовали историческому тренду 2000–2017 гг. Изменения касались характера землепользования, продуктивности пашни и земель для ведения лесоводства, объемов валовых сборов основных растениеводческих культур и расходов на корма и продовольственного потребления (статистическая база модели построена по принципу народнохозяйственных балансов товарной продукции), а также уточнения оценок торговых потоков.

<sup>6</sup> В модели есть возможность введения углеродного налога и оценки экономических и экологических последствий от его введения, но в настоящей статье мы этот метод не использовали. В разд. 4 мы покажем, что вводя общественную стоимость CO<sub>2</sub> уже после вычислений по рассчитанным в модели сценариям.

сравнения рассчитанной в модели чистой прибыли от ведения лесохозяйственного или сельскохозяйственного производства. Расширение площади лесов происходит, когда лесоводство становится выгоднее сельского хозяйства (на определенной территории), и этому соответствуют природно-климатические условия. Вырубка лесов происходит в тех случаях, когда прибыль от сельского хозяйства, суммированная с прибылью сваленного леса (или произведенных лесных продуктов), превосходит монетарно выраженную стоимость девственных (нетронутых) лесов.

Изменение землепользования в модели G4M гармонизировано с земельным спросом в GLOBIOM на ведение сельскохозяйственной деятельности. G4M стимулирует развитие устойчивого управления лесным хозяйством с учетом спроса на древесину со стороны GLOBIOM на уровне отдельных регионов (стран). Введение цены на углерод создает альтернативу для владельцев леса, чтобы получать прибыль не только от вырубки лесов для производства древесины, но и для того чтобы генерировать доход от поддержания естественных лесов и соблюдать определенную ротацию с эксплуатируемыми лесами, чтобы в конечном итоге гармонизировать площадь вырубленного леса с площадями под прирост новых лесных территорий или восстановление уже вырубленных плантаций.

Издержки производства продукции определяются, согласно модели Леонтьева, как потребление факторов производства, пропорциональное производству конечной продукции. В свою очередь, учитываемые в модели издержки международной торговли являются функцией от внешнеторгового оборота по всем видам продукции с учетом постоянной эластичности объема международной торговли по издержкам, а выплаты налогов на эмиссию CO<sub>2</sub> пропорциональны эмиссии парниковых газов с учетом действующих ставок налогов.

Структура источников парниковых газов в сельском хозяйстве в модели GLOBIOM соответствует методологии Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)<sup>7</sup>. В сельском хозяйстве модель представляет решения и последствия, выраженные в выбросах парниковых газов, за счет изменения систем управления и/или характера землепользования (интенсивный путь против экстенсивного). В лесном секторе модель дает информацию о потенциалах вырубки лесов (или увеличения площади посадки лесов), интенсивности лесной промышленности и темпов роста площади, свободной от лесных посадок. Таким образом, модель GLOBIOM позволяет исследовать различные сценарии развития сельского хозяйства и изменения землепользования, а также просчитывать сценарии экстенсивного и интенсивного развития сельского и лесного хозяйства.

Ранее модель GLOBIOM использовалась для оценок реалистичности достижения различных целей устойчивого развития мирового сельского и лесного хозяйства, включая возможности противодействия

<sup>7</sup> См. материалы сайта <https://www.ipcc-nccc.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

ствия глобальному потеплению (Van Meijl et al., 2018) и изменения землепользования (ранняя версия модели приведена в (Havlik et al., 2013)). Отдельные страновые расчеты с использованием этой модели показали возможности улучшения аграрной политики во Франции с целью снижения выбросов ПГ конкретно от выращивания молочного скота (Mosnier et al., 2019), а также возможности России и Украины повышать интенсификацию сельского хозяйства и вывод части земель из оборота с целью снижения эмиссии ПГ (Deppermann et al., 2018). Отличие нашей работы от последней состоит в улучшении калибровки модели относительно моделирования ретроспективного периода 2000–2017 гг., а также изменение торговых потоков для увеличения экспортных поставок из России в Китай при различных экстенсивных и/или интенсивных сценариях развития растениеводства.

При оценке экологических последствий расширения экспорта российской агропродовольственной продукции в Китай мы использовали пять сценариев развития, различающихся между собой как содержанием торговой политики, стоящей за их формированием, так и характером развития отечественного сельскохозяйственного производства. Количественные характеристики выделенных сценариев представлены в Приложении, табл. П1.

Первый сценарий предусматривает объем торговых отношений, максимально запрашиваемый страной-импортером (в частности, предполагается довольно смелое утверждение, что Россия может экспортировать в Китай около 10 млн т эквивалента соевых бобов<sup>8</sup>). Второй сценарий предполагает расширение объемов экспорта в максимально возможном объеме с учетом ресурсных ограничений (отличия от первого сценария – в объемах торговли соей и лесом).

Третий и четвертый сценарии содержат незначительные изменения объемов экспорта и более сбалансированный рост производства соответственно интенсивного (без расширения посевов) и экстенсивного типа (с учетом расширения посевов). Данные сценарии интересны тем, что, согласно Национальному кадастру о выбросах парниковых газов<sup>9</sup> (далее Нацкадастр), распашка новых земель приводит к значительному выбросу эквивалента CO<sub>2</sub>, что сильно нарушает сложившийся баланс углерода в почве. Так, в среднем в России эмиссия с ежегодно возделываемой пашни оценивается в 1,5–2 т эквивалента CO<sub>2</sub> с 1 га пашни в целом за 1 год, а распашка новых земель (залежь, заброшенная пашня или любой другой вид земель с травяным естественным покрытием) приводит к выбросам 34 т эквивалента CO<sub>2</sub> с 1 га пашни. В России подобные случаи зафиксированы в Нацкадастре начиная с 2011 г. и являются самыми крупными вспышками эмиссий только в сельском хозяйстве и секторе землепользования за последние 10 лет. Подобных практик рекомендуется избегать, чтобы Россия могла достичь запланированных договоренностей по Парижскому климатическому соглаше-

<sup>8</sup> Справка: в настоящее время около 2 млн т, с учетом переработанных в масло семян.

<sup>9</sup> «Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (1990–2017 гг.)». Институт глобального климата и экологии им. Ю.А. Израэля.

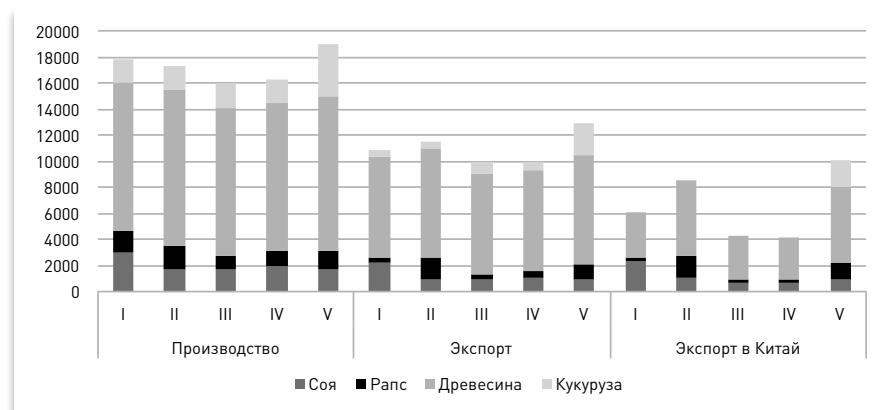
нию 2015 г. Отсюда – и интерес к подобным сценариям, где нет распашки новых земель и, соответственно, выбросы ПГ меньше, и оценке их взаимосвязи с идеями увеличения экспорта.

Пятый сценарий учитывает, что с 2030 г. Россия начинает экспортировать в Китай кукурузу. Это связано с тем, что с 2030 г. в модели есть глобальный тренд сокращения эмиссий от наиболее значительных аграрных источников, в нашем случае это – крупный рогатый скот. И, соответственно, страны наращивают поголовье свиней и птицы для замещения говядины мясом свиней и птицы, что в конечном счете приводит к меньшим выбросам. Для стран-экспортеров это становится возможностью наращивать экспорт не только сои, но и кукурузы, которая входит в состав соответствующих комбикормов. Отсюда – такой возможный сценарий диверсификации экспорта из России в Китай.

Для расчета стоимости произведенной и экспортируемой продукции использовались средние цены экспортных поставок в Китай в 2018 г. для соевых бобов, семян рапса, кукурузы и необработанной древесины. Структура среднегодовой стоимости производства и экспорта за 2020–2050 гг. по предложенным сценариям представлена на рис. 2.

На рис. 2 видно, что стоимость произведенной древесины примерно в два раза больше, чем совокупная стоимость сои, рапса и кукурузы. В то же время все четыре вида продукции экспортируются в значительном количестве, в том числе в Китай, т.е. результаты расчетов по модели адекватны современным трендам и показателям внешней торговли России с Китаем.

Сценарий максимального экспорта (сценарий 1) предусматривает наибольшие объемы как производства, так и экспорта сельскохо-



**Рис. 2**

*Среднегодовые объемы производства в России и экспорта продукции: соевые бобы, рапс, древесина, кукуруза за период 2020–2050 гг. (в сопоставимых ценах 2018 г., тыс. долл. США)*

*Источник:* расчеты авторов с использованием модели GLOBIOM.

зяйственной продукции. Сценарий поддержки экспорта (сценарий 2) позволяет повысить стоимость сельскохозяйственной продукции, экспортируемой в Китай, сохранив общий объем экспорта при сокращении объема производства. При этом структура экспорта существенно меняется в пользу рапса при сокращении стоимости произведенной и экспортированной сои.

Сценарии интенсивного и экстенсивного роста (сценарии 3 и 4) предусматривают значительное сокращение экспорта сельскохозяйственной продукции при преобладании сои в его структуре. Следует отметить, что более низкий объем производства при интенсивном росте не влияет на объем экспорта сельскохозяйственной продукции в Китай. Сценарий диверсификации (сценарий 5) по объемам производства и торговли похож на сценарий 2, но здесь добавляется экспорт кукурузы.

Производство и экспорт древесины, в том числе в Китай, эквивалентны во всех сценариях, за исключением сценария поддержки экспорта (сценарий 2), который предполагает рост указанных показателей.

#### **4. Анализ результатов сценарного моделирования**

Экологические последствия расширения экспорта российской агропродовольственной продукции в Китай, оцененные в ходе моделирования по выделенным сценариям, мы сгруппировали в два блока: изменения режима землепользования и изменения эмиссии парниковых газов.

Как было указано выше, общественные издержки при изменении режима землепользования не имеют стоимостной оценки, но общественная реакция на них должна учитываться при разработке мер экономической политики. Наши расчеты показывают значительное различие между выделенными сценариями, которое охватывает не только земли сельскохозяйственного назначения и эксплуатируемые леса, но и прочие земли, используемые в том числе в рекреационных целях (табл. 1).

Сценарий максимального экспорта (сценарий 1) предполагает наиболее существенные изменения в режиме землепользования – рост площади пахотных земель и эксплуатируемых лесов на 41,3 и 20,2% соответственно. Подобный рост имеет существенные экономические (связанные с сокращением пастбищ) и социальные (связанные с сокращением прочих земель) последствия. Так, площадь лесов, не используемых для производства древесины, сокращается на 3,0%, а площадь земель с естественным покровом – на 1,3%. Положительной (с экономической точки зрения) стороной подобного сценария выступает возвращение в оборот неиспользуемых земель – 10 млн га, или 49% прироста пашни. Однако именно здесь и происходят максимальные выбросы ПГ – за счет распашки новых земель, что с экологической точки зрения является негативным моментом. В нашем исследовании он трактуется

как отрицательная экстерналия, поскольку рост выбросов ПГ вносит существенный вклад в изменение климата, последствия которого трудно прогнозировать, в том числе и экономически, следовательно, это – некий риск развития системы.

**Таблица 1**

Результаты моделирования изменения режима землепользования в России в 2050 г. по сравнению с 2020 г.

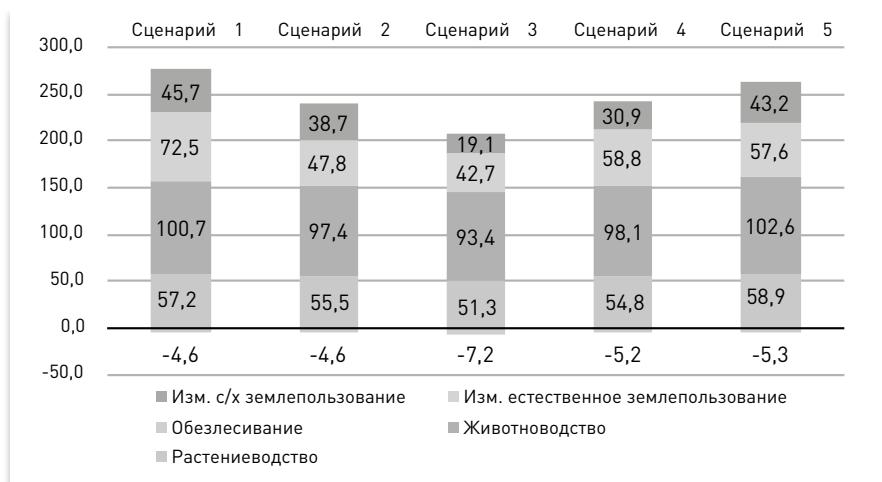
Сценарий	Пашни	Пастбища	Эксплуатируемые леса	Прочие земли (лес)	Прочие земли
<b>Абсолютный прирост, тыс. га</b>					
1	20 373	-4020	18 946	-18 946	-6434
2	13 676	-2267	18 860	-18 860	-3155
3	3651	-11 954	18 860	-18 860	11 096
4	10 363	-1889	18 860	-18 860	-1452
5	9392	-2500	18 860	-18 860	1987
<b>Темп прироста, %</b>					
1	41,3	-6,3	20,2	-3,0	-1,3
2	27,8	-3,6	20,1	-2,9	-0,6
3	7,5	-18,7	20,1	-2,9	2,3
4	21,3	-3,0	20,1	-2,9	-0,3
5	19,0	-3,9	20,1	-2,9	0,4

*Источник:* расчеты авторов с использованием модели GLOBIOM.

Таким образом, можно говорить, что предложенные сценарии существенно различаются своими последствиями, связанными с изменением режима землепользования, однако только сценарий роста экспорта на основе интенсификации производства позволяет получить положительный внешний эффект, связанный с возрастанием площади земель с естественным покровом (сценарий 3). Таким образом, в сценарии 3 (с отличающейся интенсификацией) производство меньше на 11%, чем в самом крупном сценарии (сценарий 1), а эмиссии ПГ меньше на 27%.

Последствия расширения экспорта в Китай, выражющиеся в росте эмиссии парниковых газов, в соответствии с выделенными сценариями представлены на рис. 3.

Сопоставим данные на рис. 3 (эмиссии ПГ) с данными на рис. 2, где мы указывали денежную выручку от производства и экспорта. Мы увидим, что сценарий 3 характеризуется уменьшением как производства, так и объемов выбросов ПГ, т.е. этот сценарий выглядит наиболее устойчивым с точки зрения сочетания экономических и экологических последствий. Попробуем обосновать этот вывод более детально.

**Рис. 3**

*Среднегодовые выбросы ПГ в сельском хозяйстве России по видам источников эмиссий в зависимости от различных сценариев в 2020–2050 гг., млн т CO<sub>2</sub> эквивалента*

**Примечание.** Модель GLOBIOM в части выбросов ПГ сформирована по тем же принципам, что отчеты МГЭИК и Национальный кадастр выбросов из антропогенных источников. Это означает, что со знаком «плюс» показан нетто-эмитент источник, а со знаком «минус» – нетто-поглотитель. В нашем случае все источники являются эмитентами, кроме источника «обезлесивание», который дан со знаком «минус», т.е. поглощает некоторый объем эквивалента CO<sub>2</sub>. Это естественное состояние тех экосистем, которые остаются не используемыми в хозяйственной деятельности и, по сути, означают прирост биомассы, что прямым образом увеличивают поглотительную способность. В нашем случае это лучшим образом выражено в сценарии 3, где – наименьший объем производства и наименьшая площадь введенных в оборот земель.

*Источник:* расчеты авторов с использованием модели GLOBIOM.

Наименьший объем выбросов предусматривает сценарий 3 – 199,4 млн т углекислого газа в год. Следовательно, он выглядит наиболее привлекательным с экологической точки зрения, поэтому сопоставляем с ним другие сценарии. Выбросы по сценарию 1 – наибольшие и составляют 136% от сценария 3. Размеры выбросов по сценариям 2 и 4 меньше – они составляют соответственно 118 и 119% от сценария 3.

Далее нам необходимо связать наши расчеты по модели частичного равновесия с концепцией экстерналий. Это позволит дать адекватную стоимостную оценку экономического развития при разных сценариях при учете экологической составляющей. Экстерналии, связанные с эмиссией парниковых газов, при росте производства могут быть оценены на основе информации об общественной стоимости углерода (Social cost of carbon, SCC). Для количественной оценки мы брали усредненную по десятилетиям 2020–2050 гг. стоимость при ставке дисконтирования (PRTP) в 3%, используемую в докладе<sup>10</sup> Межведомственной рабочей группы по общественной стоимости углерода США, приведенную к ценам 2018 г. на основании данных об инфляции Бюро ста-

<sup>10</sup> Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866 (September 2016 Revision). Washington: Interagency Working Group on the Social Cost of Carbon.

тистики департамента труда США. Таким образом, среднегодовая стоимость эмиссии (общественная стоимость) составила 68 долл. США за 1 т CO<sub>2</sub> (в среднем за период 2020–2050 гг.). Норма прибыли (отношение прибыли к выручке) была нами принята на уровне 15% на основании оптимистичных экспертных оценок<sup>11</sup>.

**Таблица 2**

Оценка стоимости эмиссии ПГ и производства сельскохозяйственной и лесной продукции в России, в постоянных ценах 2018 г. в тыс. долл. США

Номер сценария	Общественная стоимость эмиссии ПГ	Прирост (относительно 3 сценария 3 как наименее прибыльного)	Прибыль от производства	Прибыль от экспорта	Прибыль от производства за вычетом прироста стоимости эмиссии (3 – 2)	Прибыль от экспорта за вычетом прироста стоимости эмиссии (4 – 2)
1	2	3	4	5	6	
1	18 532	5199	2681	2570	-2519	-2629
2	15 892	2559	2594	2748	35	189
3	13 333	0	2399	2268	2399	2268
4	16 057	2724	2440	2337	-285	-387
5	17 400	4068	2837	3239	-1231	-829

*Источник:* расчеты авторов.

**Примечание.** Данные таблицы рассчитаны только по объемам и ценам на продукцию – сои, рапса, лесоматериалов, кукурузы. Стоимость эмиссии (столбец 1) рассчитывалась как среднее из произведений средней общественной стоимости углерода в ценах 2018 г. и среднего объема эмиссии за соответствующее десятилетие 2020–2050 гг. Столбец 3 (прибыль от производства) рассчитывался путем умножения стоимости произведенной продукции на 0,15 (ожидаемую норму прибыли). Стоимость производства была взята из соответствующих прогнозов по сценариям за 2020, 2030, 2040 и 2050 г., а затем (для простоты) рассчитывалась как средняя по России за 2020–2050 гг. Прибыль от экспорта рассчитывалась с помощью экспортной цены конкретного вида продукции в Китай в 2018 г. и нормы прибыли в 25% (установили экспертно).

Проведенные расчеты (табл. 2) показывают, что с учетом отрицательных экстерналий, оцениваемых как общественная стоимость эмиссии парниковых газов, значительная положительная прибыль как от производства, так и от экспорта наблюдается только в сценарии интенсивного роста. В сценариях расширения экспорта она или близка к нулю, или отрицательна.

Наибольшая прибыль от производства за вычетом эмиссий (столбец 5) получается в сценарии 3, поскольку в этом сценарии производство и экспорт сопровождаются минимальной распашкой новых земель (со стороны сельского хозяйства) и максимальной поглотительной способностью ПГ лесных насаждений (со стороны лесного хозяйства). Следовательно, с монетарной точки зрения здесь достигнуто наи-

<sup>11</sup> Справка: в период 2016–2018 гг. среднегодовая рентабельность в отрасли лесоводства и лесозаготовок России была на уровне 6–11%, а в сельском хозяйстве – на уровне 12–16%. Данные о продажах организаций (Росстат, 2020) по соответствующим отраслям.

лучшее сочетание экономического роста и стоимости эмиссий. Вместе с тем сценарий 3 нам также кажется привлекательным с точки зрения экономического и экологического баланса, поскольку здесь выводятся из оборота почти 11 млн га земель (см. табл. 1, показатель «Прочие земли»), что, вероятно, приведет к секвестру углерода, как уже было на постсоветском пространстве, когда было выведено из оборота почти 40 млн га пашни (за период 1990–2007 гг., по данным Росстата)<sup>12</sup>. Последний аспект также важен для углеродного баланса в будущем периоде, поскольку Россия подписала Парижское соглашение по климату 2015 г., в настоящий момент обсуждается проект ФЗ «О государственном регулировании выбросов парниковых газов», где источникам поглощения (абсорбции или секвестра)  $\text{CO}_2$  будет уделено специальное внимание.

## 5. Дискуссия

В настоящей статье сделана попытка обосновать эффективное производство ресурсной экономики (на примере сельскохозяйственного и лесного секторов России), возможности наращивания экспорта, а также таких экологических аспектов последствий подобного развития, как выбросы парниковых газов. Такая экономическая политика подразумевает поиск путей устойчивого развития с помощью сопоставления сценариев уменьшения производства и соответствующего уменьшения эмиссий ПГ, а также возможность оценок потерь и выгод за счет ввода общественной стоимости углерода для конкретного вида землепользования и выбросов. Наши расчеты показали, что для сельскохозяйственного и лесного секторов экономики России есть альтернативы развития<sup>13</sup> и что небольшие сокращения в производстве и выбросах компенсируются общественной полезностью ресурсов и ландшафтов территории нашей страны. Улучшение и обоснование подобных сценариев возможно при более полной статистике по низкоуглеродным способам ведения сельского и лесного хозяйства, распространении знаний в этой сфере и совершенствовании методов оценки

<sup>12</sup> Справка: методика Национального кадастра парниковых газов по лесному хозяйству по выбросам и абсорбции ПГ учитывает поглощения  $\text{CO}_2$  на этих заброшенных землях накопительным способом с 1990 г. Так, пик поглощения был в 2005 г., когда заброшенные угодья (по методологии Нацикадастра они называются «пахотные угодья переведенные в пастбища») поглотили 116 млн т  $\text{CO}_2$ . Так как у углерода есть свои циклы и этапы поглощения и выбросов, что также учитывается в Нацикадастре, то после 2005 г. мы видим, что поглотительная способность стала снижаться (по биологическим причинам) и к 2015 г. достигла 82 млн т (подробнее см. сайт Института глобального климата – <http://www.igcse.ru/performance/publishing/reports/> и таблицы данных в стандартизированном международном формате ОФД). Поскольку площадь выведенных из оборота земель не меняется, следовательно, высока вероятность, что и в дальнейшем эти земли будут сокращать свою поглотительную способность. Ввиду особенностей развития экономики России и увеличения выбросов ПГ со стороны энергетики, обрабатывающих производств и вероятном их увеличении к 2030 г., необходимо искать возможности вывода из оборота части пашни и пастбищ, чтобы они могли способствовать нетто-поглощению части эмиссий. Точно также это касается и новых посадок леса (искусственное восстановление леса), и естественного восстановления леса, поскольку эти виды земель также являются (пока) нетто-поглотителями  $\text{CO}_2$  (0,8 млрд т нетто-поглощений против 2 млрд т  $\text{CO}_2$  – выбросов всех отраслей экономики России). Правильный учет площади таких земель и корректная фиксация динамики абсорбции  $\text{CO}_2$  позволило бы России качественно улучшить национальный углеродный баланс.

<sup>13</sup> В табл. 2 два из пяти рассчитанных сценариев оказались прибыльными, т.е., возможно, существует потенциал и других прибыльных сценариев, но для их обоснования нужны дополнительные исследования с более детальными расчетами «выгод–потери» и с учетом каких-то других экологических экстернитетов. Кроме того, в Приложении, п. 1 мы видим, что даже в сценарии 3 объемы производства в 2050 г. увеличиваются (по сравнению с 2020 г.), т.е. этот сценарий (из выбранных) лучше всего показывает соотношение производства и эмиссий.

последствий локального и глобального характера в случае, если сохранится использование условно высокоэмиссионных способов организации бизнеса и целых отраслей.

Россия не раз показывала свою заинтересованность в сокращении выбросов парниковых газов: «...сокращение выбросов до уровня не более 75% выбросов 1990 г. к 2020 г. и заявляемого INDC на 2030 г. может быть окончательно достигнуто разрыв связи между экономическим ростом и выбросами парниковых газов в атмосферу. Будет происходить сокращение выбросов парниковых газов на единицу ВВП. В то же время сокращение выбросов к 2030 г. до уровня 70–75% от выбросов 1990 г. при максимальном учете вклада лесов России не создает препятствий для социально-экономического развития и согласуется с общими целями политики землепользования и устойчивого управления лесами» (UNFCCC 2016)<sup>14</sup>. Соответствующие намерения были закреплены в официальных документах: «Указ Президента Российской Федерации от 30 сентября 2013 года» и «Распоряжение Правительства РФ от 2 апреля 2014 года № 504-р». В настоящее время обсуждается проект ФЗ «О государственном регулировании выбросов парниковых газов»<sup>15</sup>. Следовательно, переход на низкоуглеродные технологии, правильные системы учета выбросов во всех отраслях и как следствие – общее движение экономики в сторону уменьшения выбросов ПГ до сих пор актуально.

Современные дискуссии по поводу того, за счет чего (и кого) производить сокращение выбросов ПГ, в основном касаются сектора энергетики, потому что на него приходится более 80% всех эмиссий экономики России. Однако мы считаем, что необходимо изучать эмиссии и способы поглощения ПГ и другими ресурсными отраслями России, в частности сельским хозяйством и лесопромышленным комплексом, поскольку они могут являться как нетто-эмитентами, так и нетто-поглотителями ПГ, в том числе как за счет менеджмента, так и определенных технологий на освоенных землях, а также за счет возможности наращивания секвестрации (поглощения) CO<sub>2</sub> на заброшенных и/или удаленных от хозяйственной деятельности территорий. Так, по данным Нацикадастра, если в 1990 г. лесные земли России уже были нетто-поглотителем CO<sub>2</sub> на уровне 210 млн т CO<sub>2</sub> эмиссий в год, то, по данным 2016 г., поглощение увеличилось в три раза до 660 млн т CO<sub>2</sub>, хотя площадь управляемых лесов к 1990 г. выросла только на 12% (т.е. на 76 млн га)<sup>16</sup>. Выход (чистая эмиссия) CO<sub>2</sub> за счет заготовленных лесоматериалов вырос в два раза – до 5,4 млн т CO<sub>2</sub><sup>17</sup>, т.е. интенсивность лесоводства проявилась в существенном росте производства лесоматериалов.

<sup>14</sup> Официальное объяснение представителей РФ, почему Россия будет снижать эмиссии (<https://www4.unfccc.int/sites/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>).

<sup>15</sup> Проект ФЗ «О государственном регулировании выбросов парниковых газов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (подготовлен Минэкономразвития России).

<sup>16</sup> См. данные Института глобального климата в табл. 64 на с. 370 на сайте <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/>

<sup>17</sup> Там же.

Анализируя сельское хозяйство, можно привести случай животноводства России, когда за период 2005–2017 гг. производство мяса почти удвоилось за счет увеличения производства мяса свиней и птицы (по данным Росстата, только по этим двум видам мяса увеличение с 4 млн до 11 млн т живого веса), а соответствующие выбросы от животноводства (внутренняя ферментация и системы управления навозом и отходами<sup>18</sup>) не изменились. Импорт мяса свиней и птицы за это время также снизился, так что Россия не перенесла свои выбросы на другие страны. В растениеводстве примеры уменьшения эмиссий можно видеть в различных зарубежных странах при переходе на технологии беспахотной обработки почвы (Neufeldt, Kissinger, Alcamo, 2017). Если бы Россия вела учет подобных технологий и ареала использования, то можно было бы обосновывать уменьшение выбросов ПГ в земледелии.

Данные ФАО ООН показывают, что в мире в целом за период 1990–2017 гг. темпы роста эмиссий ПГ значительно меньше темпов роста производства мяса, молока и отдельных видов зерновых и масличных культур (табл. 3). Все это свидетельствует о том, что в разных странах мира принимаются различные усилия, направленные на ограничение влияния сельскохозяйственного развития на окружающую среду и сохранение возможностей достаточного производства продовольствия (Tubiello, Salvatore, Ferrara et al., 2015). А это делает проблему переноса выбросов в другие страны совсем неизбежной. Все дело в распространении знаний и долгосрочной государственной политике.

Ранее авторы (Smith et al., 2007) изучили опыт многих стран и показали, что в основном изменения аграрных политик середины 1990-х и начала 2000-х годов косвенным образом сократили выбросы ПГ (т.е. политики борьбы с перепроизводством и/или увеличением доходов фермеров в США и ЕС изначально не имели цели сокращать выбросы ПГ в сельском хозяйстве, но за годы ее реализации факти-

### Таблица 3

Сравнение объемов мирового производства сельскохозяйственной продукции и мирового выброса ПГ от сельского хозяйства и изменения землепользования

Показатель	1990 г.	2017 г.	Отношение 2017 г. к 1990, %
Выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве, млрд т CO <sub>2</sub> эквивалента	4,6	5,4	118
Выбросы парниковых газов в секторе изменения землепользования, млрд т CO <sub>2</sub> эквивалента	4,1	3,2	76
Производство мяса, млн т	179,5	334,8	187
Производство молока, млн т	542,5	831,3	153
Производство зерновых культур, млн т	1951,7	3020,3	155
Производство масличных культур, млн т	155,6	477,4	307

Источник: ФАО.

<sup>18</sup> Выбросы от внутренней ферментации сократились в результате уменьшения поголовья крупного рогатого скота за указанный период, а выбросы от систем утилизации навоза увеличились на 12%, но благодаря этой компенсации общий выброс ПГ животноводством не изменился за период 2005–2017 гг.

чески к этому привели<sup>19</sup>). В этом же исследовании есть перечень различных мер и сельскохозяйственных практик, которые являются не только ресурсосберегающими, но и позволяют производить сельскохозяйственную продукцию с меньшими выбросами ПГ. Соотношения выбросов ПГ и урожайности сельскохозяйственных культур представлены в работе (West, Gibbs, Monfreda et al., 2010). Авторы показали, что в России есть хороший потенциал для наращивания урожайности без распашки новых земель, поскольку здесь выбросы ПГ сравнительно невысоки, например, с тропическими странами, где распашка земель приводит к несопоставимому приросту выбросов относительно прироста урожайности. Кроме того, интересным является исследование (Zhang, Davidson, Mauzerall et al., 2015), в котором коэффициент эффективности использования азотных удобрений сильно различается по странам: 0,25 – в Китае, 0,5 – в постсоветских странах и более 0,6 – в Северной Америке. Увеличение этого коэффициента позволяет повысить поглощение вносимых удобрений растениями (агрикультурами) в ходе вегетации, что ведет как к росту урожайности, эффективности отдачи вложенных средств и, в конечном итоге, – к меньшим выбросам ПГ. Следовательно, можно предположить, что применение современных практик позволило бы Китаю более эффективно использовать удобрения при тех же объемах их внесения и получать почти в два раза больше урожая, что снизило бы зависимость этой страны от импорта продукции растениеводства и одновременно сократило бы выбросы ПГ и загрязнения почв избытками химикатов.

Кроме развития и адаптации современных технологий в сельском хозяйстве, важен правильный учет и оценка потенциала использования сельских и лесных ландшафтов. За последние 20 лет в этой сфере в Китае произошли изменения. В одном из исследований показано, как перепрофилирование с сельскохозяйственного производства на лесное хозяйство позволило применить удачный способ интеграции лесохозяйственного менеджмента в южных провинциях Китая с помощью выращивания новых лесов на малопродуктивных землях и развития деревообрабатывающей промышленности на уже освоенных лесных площадях. Этот прием позволил увеличить производство древесной продукции и способствовать секвестру углерода на восстановленных ландшафтах (Tong et al., 2020).

Таким образом, опыт зарубежных стран и совокупность мер экологической и ландшафтной политики позволяют совершенствовать систему оценки затраты–выгоды в случае роста экстерналий. Можно предложить ввести учет не только различных видов земель, и какие они производят выбросы и секвестр ПГ, но и изучить возможность учета разных видов сельскохозяйственных и лесных практик, ввести системы поощрения учета выбросов эмиссий ПГ на сельскохозяйственных предприятиях, в фермерских хозяйствах, а также на предприятиях лесозаготовок и деревообрабатывающей промышленности в целом. Это позво-

19 Это же касается и забрасывания пашни и пастищ в 1990-е годы в России и в других постсоветских республиках, т.е. забрасывание земель сельскохозяйственными организациями государство не компенсировало субсидиями.

лит улучшить не только данные о себестоимости и выручке от продаж продукции, но и том, какой ценой это происходит в терминах выбросов ПГ, чтобы ввести в более широкое обращение понятие «общественная цена углерода» в российском обществе.

## 6. Заключение

Современное развитие сельского и лесного хозяйства России происходит во многом благодаря растущему внешнему спросу. В настоящем исследовании мы рассмотрели несколько сценариев развития производства и экспорта на примере расширения экспорта сои, рапса, кукурузы и лесных товаров из России в Китай. Наш анализ может быть актуален для текущих договоренностей о сотрудничестве между двумя странами, которые пока что не учитывают экологических и природоохранных обязательств.

С помощью модели частичного равновесия GLOBIOM мы рассчитали пять различных сценариев роста объемов производства и торговли и изучили, как они влияют на изменение их стоимости, а также зависимость выбросов парниковых газов от интенсификации и экстенсификации землепользования в натуральном и стоимостном выражении. Сопоставляя данные производства и экспорта по сценариям с эмиссиями ПГ, мы видим, что если сопоставить рис. 1 и 2, то сценарий 3 (интенсивное развитие без увеличения посевов) показывает небольшое сокращение производства (на 11% в сравнении со сценарием максимального экспорта – сценарием 1). Но при этом сценарий 3 имеет объем выбросов ПГ на 27% меньше, чем сценарий 1. Сценарий 3 выглядит наиболее устойчивым с точки зрения сочетания экономических и экологических последствий: посевы не расширились, земли были выведены из оборота, следовательно, на них произойдет секвестр углерода, что поможет сдержать эмиссию ПГ и бороться против глобального потепления, что трактуется нами как положительная экстерналия.

Мы дали экономическое обоснование эффективности сценария 3 с помощью общественной стоимости выбросов парниковых газов (в ценах 2018 г. – 68 долл. за 1 т CO<sub>2</sub>). Наши расчеты показали, что наилучшее сочетание экономических и экологических выгод приходится на сценарий 3, согласно которому прибыль за вычетом общественной стоимости эмиссий составила 2399 тыс. долл. (против убытка в 2519 тыс. долл. – что является максимальным по сценарию 1). Это значит, что в сценарии 3 баланс производства, экспорта, распашки новых земель, выбросов ПГ в экономическом эквиваленте с учетом нормы прибыли в 15% и общественной стоимости углерода выглядит наиболее предпочтительным.

В дальнейшем необходимо будет исследовать, насколько подобная общественная стоимость подходит для экономической и экологической оценки возможных расходов на восстановление плодородия сель-

скохозяйственных почв, которые оказались выведенными из оборота, а также восстановление лесов, которые оказались заброшенными после сплошной вырубки, что приводит к риску возникновения пожаров.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

**Таблица П1**

Основные экономические показатели России по выбранным продуктам (соя, рапс, кукуруза, древесина)

Товар	Год	Сценарий				
		Максимальный экспорт 1 (высокая соя, низкий рапс, низкая древесина)	Максимальный экспорт 2 (низкая соя, высокий рапс и высокая древесина)	Устойчивое развитие – интенсивный тип	Устойчивое развитие – экстенсивный тип	Диверсификация экспорта
Производство, тыс. т						
Соя	2020	3514	3517	3561	3561	3514
	2030	8035	5135	6287	6698	5086
	2040	13 531	7207	6431	7618	7171
	2050	17 708	9017	7545	9157	9134
Рапс	2020	1534	1534	1104	1104	1534
	2030	2774	3543	2566	2566	2278
	2040	5737	7010	2851	3318	4657
	2050	5025	4411	3046	4249	4220
Древесина	2020	38 687	38 687	38 687	38 687	38 687
	2030	42 591	44 513	42 542	42 542	44 513
	2040	46 348	49 438	46 001	46 003	49 426
	2050	49 758	54 194	49 279	49 281	54 183
Кукуруза	2020	12 714	12 692	12 673	12 673	12 714
	2030	14 832	14 756	17 238	15 822	28 223
	2040	18 145	15 611	18 707	16 836	39 959
	2050	21 339	19 557	18 754	20 296	54 995
Чистый экспорт, тыс. т						
Соя	2020	1455	1452	1694	1694	1455
	2030	5633	2705	3668	3885	2789
	2040	10 476	4241	3371	4531	3813
	2050	13 833	5016	4327	5070	4301
Рапс	2020	1262	1262	692	692	1262
	2030	568	3263	545	1128	2003
	2040	1349	6748	878	1000	4349
	2050	1083	3997	1000	1300	3765

**Окончание таблицы П1**

Кукуруза	Древесина	Товар	Год	Сценарий				
				Максимальный экспорт 1 (высокая соя, низкий рапс, низкая древесина)		Максимальный экспорт 2 (низкая соя, высокий рапс и высокая древесина)		
				1	2	3	4	5
Кукуруза	Древесина	Соя	2020	25 783	25 783	26 569	26 569	25 783
			2030	28 438	31 194	29 410	29 410	31 194
			2040	31 179	34 628	31 781	31 783	34 616
			2050	33 671	38 476	34 399	34 401	38 465
		Рапс	2020	5016	4968	5295	5295	5016
			2030	5222	5110	7598	6148	19 265
			2040	6415	4613	7664	5747	27 281
			2050	4858	3135	7185	4074	34 972
Чистый экспорт из России в Китай, тыс. т								
Кукуруза	Древесина	Соя	2020	2193	2191	1694	1694	2193
			2030	5921	3152	2182	2182	3235
			2040	10 418	4319	2347	2347	3922
			2050	13 757	4996	2197	2197	4364
		Рапс	2020	1160	1161	370	370	1160
			2030	568	3263	545	545	2003
			2040	805	6748	750	750	4349
			2050	1083	3997	1000	1000	3765
Кукуруза	Древесина	Соя	2020	12 770	12 770	12 770	12 770	12 770
			2030	12 770	21 840	12 770	12 770	21 840
			2040	13 782	25 967	13 782	12 770	25 954
			2050	13 782	29 235	13 782	12 770	29 211
		Рапс	2020	0	0	0	0	0
			2030	0	0	0	0	17 957
			2040	0	0	0	0	21 336
			2050	0	0	0	0	28 130

**Таблица П2**

Площадь земель в России, учитываемых в модели GLOBIOM, тыс. га

Год	Пашня	Пастбища	Эксплуатируемые леса	Непроизводственные лесные массивы	Прочие земли
Сценарий 1					
2020	49 349	63 584	93 903	641 335	492 214
2030	54 366	61 924	100 340	634 898	491 805
2040	66 460	59 040	106 625	628 613	487 172
2050	69 722	59 564	112 849	622 390	485 780
Сценарий 2					
2020	49 197	63 338	93 903	641 335	492 607
2030	54 839	61 688	100 252	634 986	491 775
2040	58 943	61 627	106 539	628 700	490 330
2050	62 872	61 072	112 763	622 476	489 452
Сценарий 3					
2020	48 680	63 843	93 903	641 335	492 626
2030	50 530	62 994	100 252	634 986	492 935
2040	52 443	62 404	106 539	628 700	493 233
2050	52 331	51 889	112 763	622 476	503 722
Сценарий 4					
2020	48 680	63 843	93 903	641 335	492 626
2030	52 296	62 741	100 252	634 986	492 290
2040	55 011	62 201	106 539	628 700	492 213
2050	59 043	61 954	112 763	622 476	491 175
Сценарий 5					
2020	49 349	63 584	93 903	641 335	492 214
2030	56 954	61 261	100 252	634 986	491 141
2040	55 253	61 187	106 539	628 700	495 666
2050	58 741	61 083	112 763	622 476	494 201

**ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES**

- Дятловская Е.** (2019). Минэкономразвития прогнозирует четырехкратный рост экспорта сои в КНР // *Agroinvestor*. 10.06.2019. Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/31888-minekonomrazvitiya-prognoziruet-rost-eksporta/> [Dyatlovskaya E. (2019). Ministry of economy of Russia projects to increase soya beans exports to China up to 4 times. *Agroinvestor*, 10.06.2019. Available at: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/31888-minekonomrazvitiya-prognoziruet-rost-eksporta/> (in Russian).]
- Зуенко И.Ю.** (2015). Китайское присутствие в сельском хозяйстве Дальнего Востока: некоторые аспекты проблемы // *Известия Восточного*

- Института.* № 2 (26). С. 51–59. [Zuenko I.Yu. (2015). Chinese involvement in agriculture of Far East: Several aspects of the problem. *Bulletin of Eastern University*, 2 (26), 21–59 (in Russian).]
- Муратшина К.Г.** (2015). Гуманитарные и экологические риски использования труда мигрантов в сельском хозяйстве России (на примере сотрудничества с КНР) // *Вестник Бурятского государственного университета*. № 8. С. 172–182. [Muratshina K.G. (2015). Humanitarian and ecological risks using migrant labor in Russian agriculture (example of cooperation with China). *Bulletin of the Buryat State University*, 8, 172–182 (in Russian).]
- Шелепа А.С., Глаз Н.В., Узловенко Т.В., Никитин А.В., Четвертных Т.П.** (2013). Прогноз развития сельскохозяйственного производства в южных территориях Дальневосточного федерального округа до 2025 г. Хабаровск: Хабаровский государственный университет экономики и права. [Shelepa A.S., Glaz N.V., Uzlovenko T.V., Nikitin A.V., Chetvertnykh T.P. (2013). *Projections of agricultural development in South territories of Far East Federal District of Russia until 2025*. Khabarovsk: Khabarovsk State University of Economics and Law (in Russian).]
- Bai Z., Fee M.R.F., Ma L., Ledgard S., Oenema O., Velthof G.L. et al.** (2018). Global environmental costs of China's thirst for milk. *Global Change Biology*, 24, 5, 2198–2211. DOI: 10.1111/gcb.14047
- Barbier E.B., Lozano R., Rodriguez C.M., Troeng S.** (2020). Adopt a carbon tax to protect tropical forests. *Nature*, 578 (7794), 213–216. DOI: 10.1038/d41586-020-00324-w
- Baumol W.J.** (1972). On taxation and the control of externalities. *American Economic Review*, 62 (3), 307–322.
- Carlton D.W., Loury G.C.** (1980). The limitations of Pigouvian taxes as a long-run remedy for externalities. *Quarterly Journal of Economics*, 95 (3), 559–566.
- Coase R.H.** (1960). The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, 3 (1), 1–44.
- Deppermann A., Balkovich J., Bundle S.-C., Di Fulvio, F., Havlik P., Leclere D., Lesiv M., Prishchepov A.V., Schepachenko D.** (2018). Increasing crop production in Russia and Ukraine – Regional and global impacts from intensification and recultivation. *Environmental Research Letters*, 13, 2, # 025008. DOI: 10.1088/1748-9326/aaa4a4
- Frank S., Havlik P., Stehfest E., van Meijl H., Witzke P., Perez-Dominguez I., van Dijk M., Doelman J., Fellmann T., Koopman J., Tabeau A., Valin H.** (2019). Agricultural non-CO<sub>2</sub> emission reduction potential in the context of the 1.5°C target. *Nature Climate Change*, 9, 1, 66–72. DOI: 10.1038/s41558-018-0358-8
- Havlik P., Valin H., Herrero M., Obersteiner M., Schmid E., Rufino M., Mosnier A., Thornton P., Bottcher H., Conant R., Frank S., Fritz S., Fuss S., Kraxner F., Notenbaert A.** (2014). Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (10), 3709–3714.
- Havlik P., Valin H., Mosnier A., Obersteiner M., Baker J., Herrero M., Rufino M., Schmid E.** (2013). Crop productivity and the global livestock sector:

- Implications for land use change and greenhouse gas emissions. *American Journal of Agricultural Economics*, 95, 2, 442–448. DOI: 10.1093/ajae/aas085
- Jiayi Z.** (2018). Beyond natural pressures. Chinese agriculture in Russian Far East. *Routledge Handbook of Asian Borderlands*, 14, 12.
- Kindermann G.E., Obersteiner M., Rametsteiner E., McCallum I.** (2006). Predicting the deforestation-trend under different carbon-prices. *Carbon Balance and Management*, 1 (15), 17.
- Kohn R.E.** (1986). The limitations of Pigouvian taxes as a long-run remedy for externalities: comment. *Quarterly Journal of Economics*, 101 (3), 625–630.
- Lukin A.** (2018). Russia, China, and the emerging Greater Eurasia. *International Relations and Asia's Northern Tier*, 75–91.
- Malle S.** (2017). Russia and China in the 21st century. Moving towards cooperative behavior. *Journal of Eurasian Studies*, 8, 136–150.
- Mosnier C., Britz W., Julliere T., De Cara S., Jayet P.-A., Havlik P., Frank S., Mosnier A.** (2019). Greenhouse gas abatement strategies and costs in French dairy production. *Journal of Cleaner Production*, 236, article # 117589. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.07.064
- Neufeldt H., Kissinger G., Alcamo J.** (2017). No-till agriculture and climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5, 488–489.
- Pigou A.C.** (1920). *The economics of welfare*. London: Macmillan.
- Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O., Howden M., McAllister T., Pan G., Romanenkov V., Schneider U., Towprayoon S.** (2007). Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118, 1–4, 6–28.
- Tong X., Brandt M., Yue Y., Ciais P., Jepsen M., Penuelas J., Wigneron J.-P., Xiao X., Song X.-P., Horion S., Rasmussen K., Saatchi S., Fan L., Wang K., Zhang B., Chen Z., Wang Y., Li X., Fensholt R.** (2020). Forest management in southern China generates short term extensive carbon sequestration. *Nature Communications*, 11, 129. DOI: 10.1038/s41467-019-13798-8
- Tubiello F., Salvatore M., Ferrara A.** et al. (2015). The Contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990–2012. *Global Change Biology*, 21, 7, 2655–2660.
- Van Meijl H., Havlik P., Lotze-Campen H.** et al. (2018). Comparing impacts of climate change and mitigation on global agriculture by 2050. *Environmental Research Letters*, 13, 6, # 064021. DOI: 10.1088/1748-9326/aabdc4
- West P., Gibbs H., Monfreda C., Wagner J., Barford C., Carpenter S., Foley J.** (2010). Trading carbon for food: Global comparison of carbon stocks vs crop yields on agricultural land. *Proceedings of National Academy of Science*, 107, 19645–19648.
- Zhang Y., Davidson E., Mauzerall D., Searchinger T., Dumas P., Shen Y.** (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528, 51–59.

Поступила в редакцию 16.12.2019

Received 16.12.2019

**A.S. Strokov**

Center for agricultural and food policy at Russian Presidential Academy of National Economy (RANEPA), Moscow, Russia

**D.S. Ternovsky**

Center for agricultural and food policy at Russian Presidential Academy of National Economy (RANEPA), Moscow, Russia

**V.Yu. Potashnikov**

Center of economic modelling of energy sector and ecology at Russian Presidential Academy of National Economy (RANEPA), Moscow, Russia

**A.A. Potapova**

Center for agricultural and food policy at Russian Presidential Academy of National Economy (RANEPA), Moscow, Russia

## **Economical evaluation of externalities using partial equilibrium model<sup>20</sup>**

**Abstract.** Our research investigation shows the possible pathways of natural resource economy with respect of externalities. We analyzed the development of agricultural and forestry products' export from Russia to China, and the externalities were evaluated as greenhouse gas emissions. We developed five scenarios of Russian economic development until 2030 and 2050 on terms of domestic improvements in soy, rapeseed and corn production, wood production, increase of exports to China. After applying the partial equilibrium model we introduced a correct measure of possible profit by a monetary value of emitted greenhouse gas. In contrast to previous research instead of carbon tax we suggest a measure of social cost of carbon. Our estimates show that it could be effective at 68 USD per 1 metric ton of CO<sub>2</sub> equivalent. This method was supposed to evaluate correctly the economic loss from extensive development of forestry and agriculture, taking into account monetary evaluation of externalities. Our results showed that extracting natural resources should be balanced by appropriate ecological programs. This could include but should not be limited to conservation of some part of the territory, which will help to decrease overall GHG emissions, and improve the balance of emissions with respective carbon sequestration on abandoned (conserved) land, which here will be an additional indicator of reducing negative externalities.

**Keywords:** *sustainable development, export of food, export of wood, greenhouse gas emissions, welfare.*

JEL Classification: Q51, Q17.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-5

---

<sup>20</sup> The work on calibration and improvement of Russian GLOBIOM module was conducted under Government Task at RANEPA. We appreciate researchers of Center for research of agricultural development (Beijing, China) Bai Zhaohai and Hao Zhao for their suggestions in choosing particular scenarios, and to SDSN's Scientific director of FABLE project – Aline Mosnier for general ideas and comments while adapting GLOBIOM.

# Вопросы экономической политики



**А.М. Карминский  
Н.Ф. Дьячкова**

Исследование взаимосвязи  
кредитных циклов  
с изменениями кредитных  
рейтингов

А.М. Карминский  
НИУ ВШЭ, Школа финансов, Москва

Н.Ф. Дьячкова  
НИУ ВШЭ, Школа финансов, Москва

## Исследование взаимосвязи кредитных циклов с изменениями кредитных рейтингов

**Аннотация.** Цель данного исследования — выявление взаимосвязи кредитных циклов с изменениями кредитных рейтингов. Используемая методология — построение пробит-модели множественного выбора, которая включает показатель кредитного разрыва для оценки влияния кредитного цикла. Анализ основан на рассмотрении изменений оценок рейтингов на десятилетнем промежутке времени для развитых и развивающихся стран. Результаты исследования показывают, что кредитные рейтинги не только подвержены циклическим изменениям в рамках кредитного цикла, но и их динамика запаздывает по отношению к изменению циклов. С практической точки зрения эти результаты свидетельствуют о необходимости учитывать макроэкономические факторы при оценке влияния кредитных циклов для прогнозирования и управления рисками на финансовых рынках. Во время смены этапов кредитного цикла рейтинговые агентства учитывают изменение макроструктуры и параметров и соответственно меняют распределение рейтингов и пропорцию рейтинговых оценок для различных классов. На уровень кредитных рейтингов, как и на уровень кредитного разрыва, сильно влияют два макроэкономических фактора: темпы роста ВВП и кредитный спред, являющийся универсальным механизмом денежно-кредитной политики (узкий канал кредитования). Конец кредитного цикла и этап рецессии (спада) отмечается как большим числом кредитных рейтингов спекулятивного класса, так и относительной долей высоких рейтинговых оценок; кредитный канал начинает постепенно сужаться, кредитный спред резко увеличивается, доходность резко возрастает, что приводит к развитию негативных последствий для финансового рынка.

**Ключевые слова:** кредитные рейтинги, кредитный цикл, кредитный разрыв.

Классификация JEL: G21, G24, G32, E51.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-6

### 1. Введение

Мировая тенденция либерализации финансовых рынков поставила ряд нетривиальных задач в области финансового моделирования, управления рисками и их прогнозирования. Важным направлением является оценка взаимосвязи между рейтингами и их изменениями, связанными с макроэкономическими циклами (Amato, Furfine, 2003; Giese, Andersen, Bush et al., 2014). В данной работе рассматривается взаимосвязь кредитных рейтингов в зависимости от фаз кредитного цикла.

Решение этих проблем ориентировано на получение практических результатов для макропруденциального регулирования и определения требований к капиталу и контрциклическим надбавкам в соответствии с рекомендациями Базель III<sup>1</sup>. Для достижения поставленной

<sup>1</sup> Basel III. Guidance for national authorities operating the countercyclical capital buffer, December 2010 (ссылка на ознакомление с документом доступна по: <https://www.bis.org/publ/bcbs187.pdf>).

цели потребовалось выявить динамику изменений кредитных рейтингов и с помощью количественных методов установить взаимосвязь между ними для ее дальнейшего рассмотрения в прогнозировании контриклических надбавок.

В работах по этой теме показано, что рейтинги действительно подвержены существенному влиянию как бизнес-циклов, так и кредитных циклов (Kiff, Kissler, Schumacher, 2013; Poghosyan, 2015). В рамках данного исследования будет рассмотрено, как влияют на уровень рейтингов объемы выданных банковских кредитов и кредитный разрыв. При этом если первый показатель является внутренним фактором, зависящим от поведения участников финансового рынка, то второй показатель связан с внешними факторами, влияющими на переоценку стоимости различных объектов, например цен на недвижимость и проч. (Mian, Kamalesh, Amir, 2013). Данный показатель позволяет проследить динамику качественных смещений рейтингов. Подобная взаимосвязь между кредитными циклами и изменениями рейтингов требует нелинейного анализа различных экономических факторов. При этом можно рассматривать эту взаимосвязь как двустороннюю, имеющую долгосрочное влияние на развитие и поведение участников финансового рынка (Hellwig, 2018).

Рейтинги как финансовый продукт, востребованный на финансовых рынках, обладают рядом характерных черт: высокой изменчивостью во времени, несовпадением мнений различных рейтинговых агентств в оценке одного и того же эмитента, в том числе по уровню риска (Cantor, Mann, 2003; Карминский, Пересецкий, 2009). Большая часть изменений рейтингов так или иначе связана с тем, что происходит на финансовых рынках, но, как показано в работе (Карминский, Пересецкий, 2007), не связано с деградацией отдельных финансовых институтов во времени, а определяется изменениями финансовой и банковской систем в целом. При быстром росте цен на финансовых рынках рейтинги также начинают быстро расти (Loffler, 2004; Langohr H., Langohr P., 2008). Однако в ситуации, когда начинается замедление темпа роста цен и их снижение, рейтинги начинают пересматривать. При этом рейтинги снижаются только спустя некоторое время (Distinguin, Hasan, Tarazi, 2013; Lown, Morgan, 2006; Ryan, Patricia, Jeffrey, 2017). Рейтинги эмитентов подвергаются частому пересмотру у тех компаний, чье финансовое положение на рынке становится нестабильным (Karminsky, Polozov, 2016).

В статье мы также анализируем факторы, влияющие на динамику кредитных циклов развитых и развивающихся стран. Одним из таких факторов является стоимость долгового финансирования, ограниченная узким каналом кредитования для различных этапов кредитных циклов.

Сначала нами оценивается эмпирическая модель с помощью дезагрегированного показателя кредитного разрыва как соотношения

выданных банковских кредитов в каждой стране к объему ВВП в сравнении с разницей величины обоих показателей в долгосрочном тренде. Расчет показателя строится согласно правилам, изложенным в методологии Базель III. Несмотря на то что к расчету показателя кредитного цикла возникают вопросы (Пономаренко, Дерюгина, Рожкова, 2018; Arteta, Kose, Ohnsorge, 2017; Bordalo, Gennaioli, Shleifer, 2018; Мамонов и др., 2018), затрагивающие его качественное и количественное определения, используемый нами показатель кредитного разрыва считается наиболее доверительным из всех существующих и принятых метрик при рассмотрении и оценке кредитных циклов. Альтернативный подход, основанный на изменении кредитных спредов, применен в работе (Lopez-Salido, Stein, Zakrajsek, 2017). В ходе дальнейших исследований представляется актуальным сравнить эффективности и предсказательную силу обоих показателей.

Анализ собранной за период 2000–2016 гг. базы данных показывает, что изменения рейтингов компаний и коммерческих банков определяются набором факторов, отражающих общую экономическую ситуацию и особенности долгового рынка каждой страны. Далее мы оцениваем несколько видов пробит-моделей множественного выбора и аналогичных моделей с агрегированными данными в межстрановой панели с добавлением конкретных страновых макроэкономических факторов. Результатом проделанной исследовательской работы является разработка количественных и эконометрических методов, включая использование двухшаговой оценки модели и включение различных НР-фильтров кредитного разрыва в модель, для оценки взаимосвязи уровня рейтингов с этапом кредитного цикла.

В работе также исследуется влияние на рейтинги объема выданных банковских кредитов, изменения уровня кредитного спреда, уровня инфляции (CPI) и объема выпущенных государством долговых ценных бумаг. На основе эмпирических результатов выявлено, что рейтинги изменяются разнонаправленно и рассинхронизированы по времени для всего промежутка с 2000 по 2016 г.

Включенный в модель кредитный разрыв характеризует фазы страновых кредитных циклов и таких их этапов, как расширение и сокращение, которые характеризуются различным уровнем кредитования экономики. Расчеты показывают, что, хотя многие из рассмотренных факторов имеют большое значение для изменения рейтингов, сила влияния некоторых из них зависит от фазы кредитного цикла. Как показано в (Blume, Lim, MacKinlay, 1998; Amato, Furfine, 2003; Drehmann, Juselius, 2012), кредитный разрыв демонстрирует зависящее от временного масштаба поведение (краткосрочные flуктуации, среднесрочные существенные переломы в динамике, долгосрочный тренд). Авторы этих работ приходят к выводу, что для исследования кредитных циклов необходимы не только более детализированные исходные данные, но и многофакторные модели, включающие поправки на биз-

нес-цикли и их опережающее моделирование (Солнцев, Пестова и др., 2011).

Наше исследование показывает взаимосвязь между этапами кредитных циклов и изменениями кредитных рейтингов по двум основным направлениям. Во-первых, мы сформировали расширенный список макроэкономических факторов, влияющих на кредитный цикл для развитых и развивающихся стран, которые учитывают глобальный экономический спад, произошедший в 2009 г. Во-вторых, насколько нам известно, это – первое исследование, в котором сравнивается (и противопоставляется) влияние макроэкономических детерминант на разные фазы кредитных циклов. В базу данных вошли те факторы, которые имеют нелинейное влияние. Указанные в модели переменные прошли селективный отбор и были проанализированы с учетом корреляционной зависимости. Наше внимание сосредоточено как на данных об уровне выданных банковских кредитов, так и о кредитном разрыве. Данное исследование позволяет охватить более полный набор факторов, который дополняет стандартные макроэкономические переменные подобных исследований. Более того, проведенный отбор макроэкономических и финансовых показателей был основан на сравнении методологий различных рейтинговых агентств. Он позволил выявить факторы, влияющие как на рейтинги, так и на кредитный цикл. Дополнительно мы рассмотрели данные за 16-летний период для развитых и развивающихся стран и провели сравнение полученных результатов.

## **2. Методология исследования**

### **2.1. Показатель кредитного разрыва**

Впервые кредитный разрыв стали оценивать с начала 1980-х годов. Целью введения этого показателя предполагалась оценка уровня дополнительного кредитования населения. Однако возможности использования этого статистического показателя оказались гораздо шире. В работе (Hodrick, Prescott, 1997) авторы указывают на то, что показатель кредитного разрыва позволяет учесть динамику реального кредитования и проследить смену фаз кредитных циклов. Его величина определяется по формуле

$$Credit\ gap_t = C_t / Y_t - v_t, \quad (1)$$

где  $Credit\ gap_t$  – кредитный разрыв, расчетное значение для определения кредитного цикла;  $C_t$  – объем кредитов в экономике конкретной страны в момент времени  $t$  ( $t = 1, \dots, T$ );  $Y_t$  – объем ВВП в рассматриваемой стране;  $v_t$  – тренд показателя отношения кредитов к ВВП, включая циклическую компоненту.

В ряде работ (см., например, (Lown, Morgan, 2006; Kiyotaki, Moore, 1997) было показано, что изменение кредитного разрыва находится в тесной взаимосвязи с изменением этапа бизнес-цикла. Для выделения тренда кредитного цикла в динамике отношения массы кредитов

к объему ВВП обычно используется односторонний или двусторонний фильтр Ходрика–Прескотта (HP-фильтр). Однако сглаживание стандартным HP-фильтром имеет ряд недостатков, связанных с его двусторонней природой. В частности, фильтр будет сглаживать значения ряда отношений объема кредитов к ВВП так, чтобы число наблюдений выше тренда равнялось числу наблюдений ниже тренда. Это налагает определенное ограничение на возможности его применения. Однако собранные данные показывают, что на рассматриваемом отрезке времени (с 2000 по 2016 г.) в большинстве стран наблюдались сонаправленные фазы кредитного сужения или расширения.

Отметим, что выбранный метод отбора данных с использованием HP-фильтров оценивался на всей временной выборке в соответствии с методами, изложенными в Базельских рекомендациях (Basel III). Альтернативой HP-фильтрам являются полосовые фильтры (bandpass filters), включающие фильтры с двусторонней симметричностью (об этом см. в (Zarnowitz, Ozyildirim, 2006)). В то же время такие фильтры могут привести к еще большим искажениям. Эти фильтры обладают теми же недостатками, что и HP-фильтры (Julia, Andersen, 2014; Schüller, 2018). В связи с тем, что невозможно заранее определить, какой из выбранных фильтров будет лучше отражать динамику изменений кредитного цикла в различных странах, в работе кредитный разрыв рассчитывался с помощью двух фильтров – одностороннего и двустороннего HP-фильтров, их количественная оценка была добавлена в модель и проведено сравнение результатов.

Сглаженный ряд определяется путем решения экстремальной задачи, обеспечивающей сглаживание временного ряда экономического роста в пределах наблюдаемого временного диапазона значений для определения кредитного цикла (и его этапов), основанного на разнице объемов выданных кредитов:

$$\min \left\{ \text{gap}_t \right\}_{t=1}^T \left\{ \sum_{t=1}^T v_t^2 + \lambda \sum_{t=1}^T \left[ (c_t - c_{t-1}) - (c_{t-1} - c_{t-2}) \right]^2 \right\}, \quad (2)$$

где  $\text{gap}_t$  – кредитный разрыв, расчетное значение для определения кредитного цикла;  $c_t$  – временной ряд экономического роста, состоящий из отношения объема кредитов к ВВП;  $v_t$  – циклическая компонента (для измерения динамики ВВП), которая включает сезонность и нестационарность временного ряда (тренда);  $\lambda$  – константа временной динамики изменений.

Используется исторический временной ряд  $c_t$ , который состоит из суммы двух компонент, включающих динамику изменений роста валового продукта и учитывающих число выданных банковских кредитов, которые являются компонентами кредитного цикла. Выбранная процедура позволяет сглаживать данные на долгосрочном периоде наблюдений  $\{c_t\}$ , применяя расчетное значение  $\{c_t\}$  и суммы квадратов второй разницы. Отклонения от временного тренда ( $c_t$ ) показывают

пики и спады кредитного цикла *gap*, которые являются минимальными и максимальными локальными экстремумами всего временного ряда исторических значений. Различные авторы (например, (Lown, Morgan, 2006; Aikman, Haldane, Nelson, 2010)) указывают на то, что определение тренда с помощью двухстороннего HP-фильтра может несущественно отличаться от оценок трендов в реальном времени, измеренных на основе одностороннего фильтра.

Двусторонний HP-фильтр сглаживает значения ряда отношений объема кредитов к ВВП так, чтобы число наблюдений выше тренда равнялось числу наблюдений ниже тренда. Это приводит к тому, что в рассматриваемый период времени в экономике происходит стадия кредитного сжатия или, наоборот, кредитной экспансии. Однако у данного метода применения HP-фильтра существуют недостатки (Mendoza, Terrones, 2008; Aikman, Haldane, Nelson, 2010): высокая чувствительность к добавлению новых точек (end point problem), структурным сломам (structural breaks) в данных.

## 2.2. Эмпирическая модель

Для определения взаимосвязи кредитных рейтингов с этапами кредитного цикла вначале производился отбор важнейших внешних и внутренних факторов, влияющих на состояние компаний-эмитентов. Для этого исследовалась матрица корреляций показателей. Применительно к банковской сфере такой анализ ориентирован на стратегию развития и ее реализации, а также статистических данных о результатах деятельности сектора в целом.

Анализ показателей финансовых результатов деятельности банка представляет ключевой компонент процесса определения рейтинга. Особое внимание обращается на такие бизнес-факторы, как позиция на рынке, структура собственности, стратегия и управление, а также на финансовые факторы (качество активов, прибыльность, фондирование и управление ликвидностью, капитал).

Рейтинги, присвоенные на основе подходов TTC/PIT<sup>2</sup>, в долгосрочной и краткосрочной перспективе по-разному отражают риски. Предложен способ определения уровня рисков и оценки возможности предсказания вероятности банкротства на основе одного из двух указанных подходов с построением САР-кривой, а также для оценки точности присвоения кредитных рейтингов. При этом прогнозы рейтингов на основе подхода TTC обычно сглаживаются и корректируются рейтинговыми агентствами медленнее, чем поступает рыночная информация. Однако как только текущие рейтинги опускаются ниже значений, определенных на основе TTC-подхода, этот подход теряет свою приоритетность и уступает место PIT-подходу в прогнозировании вероятности дефолта эмитента.

<sup>2</sup> Присвоение кредитных рейтингов основано на различных подходах, известных как TTC («сквозь цикл», through the cycle) и PIT («в момент времени», point in time). Соответственно, оценки вероятности дефолта эмитента (промышленной компании или банка), построенные на базе разных подходов к формированию рейтинга, неэквивалентны. При TTC-подходе рейтинг эмитента отражает оценку вероятности дефолта на горизонте в 1 год и дольше, в то время как PIT-рейтинг обеспечивает краткосрочную оценку вероятности дефолта на определенный промежуток времени (до 3 месяцев).

После отбора наиболее значимых параметров нами были построены эконометрические модели множественного выбора, которые позволили учитывать межстрановые данные. В качестве объясняющих переменных, помимо финансовых, рассматривались показатели социально-демографического развития, макроэкономические и финансовые. Было специфицировано 5 типов моделей рейтингов, включающих кредитный разрыв.

Эмпирические оценки опирались на модель множественного выбора с функцией преобразования количественных шкал (multinomial probit models). В моделях применялись кредитные рейтинги компаний, которые являются категориальной переменной. Значения рейтинговых оценок оцифровываются и принимают целочисленные значения от 1 (что соответствует наивысшему рейтингу – уровня Aaa) до 25 (что обозначает дефолтный рейтинг компании – уровня D).

В моделях использовалась результирующая переменная  $Z_{j,it}$ , которая зависит от набора регрессоров, включающих объясняющие макроэкономические, финансовые и социальные показатели, которые характеризуют объекты и их среду на всем промежутке времени. По крайней мере для части объектов в выборке фиксированные эффекты на протяжении рассматриваемого промежутка времени могут изменяться. Подобное характерно для выборок, содержащих объекты в переходном состоянии. В наибольшей степени это относится к компаниям из стран с развивающимися рынками. Кроме того, замечено, что стандарты оценки положения компаний рейтинговыми агентствами со временем имеют тенденцию к ужесточению. Это также может привести к изменению с течением времени фиксированных эффектов.

Относительно объектов-компаний, находящихся в переходном состоянии, заложенные предпосылки в модели упорядоченного выбора позволяют выделить границы доверительного интервала, внутри которого будет происходить соответствующее варьирование, а потому изменения компоненты  $\alpha_i$  будут стабильными, не смещающими результат полученной оценки. Этот доверительный интервал может быть построен на основе оценок действительных значений кредитных рейтингов и их прогнозных значений.

Модель имеет вид:

$$Z_{j,it} = \beta X_{j,it} + \varepsilon_{j,it} + \alpha_{j,it}, \quad (3)$$

$$R_{j,it} = \begin{cases} 1 & \text{при } Z_{j,it} \in (-\infty, \mu_1); \\ r & \text{при } Z_{j,it} \in [\mu_{r-1}, \mu_r), r = 2, \dots, 25; \\ 25 & \text{при } Z_{j,it} \in [\mu_{24}, \infty), \end{cases} \quad (4)$$

где  $j$  – номер эмитента из страны  $i$  в момент  $t$ ;  $R_{i,t}$  – кредитный рейтинг в оцифрованном виде;  $X_{j,it}$  – вектор объясняющих переменных;  $Z_{j,it}$  – латентная результирующая объясняемая переменная, связанная с этапом кредитного цикла, сформированная на основе вектора объ-

ясняющих переменных;  $\beta$  – вектор влияния компонент объясняющих переменных;  $\mu$  – вектор параметров, делящих числовую ось на подобласти спецификации рейтинговых уровней, он включает регрессионную ошибку;  $\alpha_i$  – показатели фиксированного эффекта, характеризующего наличие постоянной компоненты, связанной с различным уровнем развития стран, для всего рассматриваемого горизонта времени, а также конкретного временного горизонта (входит в результатирующую оценку  $Z_{ji}$ );  $\varepsilon_{it}$  – регрессионная ошибка, имеющая нормальное распределение, с нулевым средним и постоянной дисперсией.

Проведенный отбор макроэкономических и финансовых переменных позволил сформировать оптимальный набор регрессоров. При построении модели множественного упорядоченного выбора были получены распределения оценок коэффициентов и, что самое важное, – абсолютная вероятность и оценка фактора на долгосрочный период. В приведенных оценках модели были выделены все объясняющие переменные, которые оказались значимыми на уровне 1, 5 и 10%. В случае если знак оценки коэффициента противоречил экономическому смыслу, состав объясняющих переменных в модели менялся, и модель повторно пересчитывалась.

В ходе статистического анализа возник вопрос эндогенности рассматриваемых факторов (например, кредитный спред, кредитный разрыв и уровень безработицы могут взаимно влиять друг на друга). Для минимизации возможных проблем, связанных с эндогенностью параметров, использовались спецификации моделей, позволяющие учесть двухэтапную оценку категориальной переменной, в которой эндогенные переменные  $X_{ii}$  были объяснены теми переменными, которые не зависят от  $Z_{ii}$  с учетом лагов.

Следующим важным шагом анализа стало построение межстрановой модели, которая давала бы приемлемое объяснение динамики зависимой переменной  $Z_{ii}$  не только в среднем по выборке, но и для России.

Выбранные методы оценивания позволили построить эконометрическую модель для различных стран с возможностью объяснения происходящих и будущих изменений в смещениях рейтингов. Главным результатом моделирования стало построение модели, оценивающей взаимосвязь изменений рейтингов с этапами кредитных циклов для различных стран, объединенных в одну временную панель. Результаты оценки различных спецификаций модели представлены в разд. 4. Знаки оценок коэффициентов соответствуют экономическим ожиданиям.

### 3. Данные

Объясняющие переменные включали макроэкономические, финансовые и социально-демографические показатели. В выборке использовались 16 переменных, включая 1 показатель на основе модельных оценок, 2 социально-демографических и 7 финансовых.

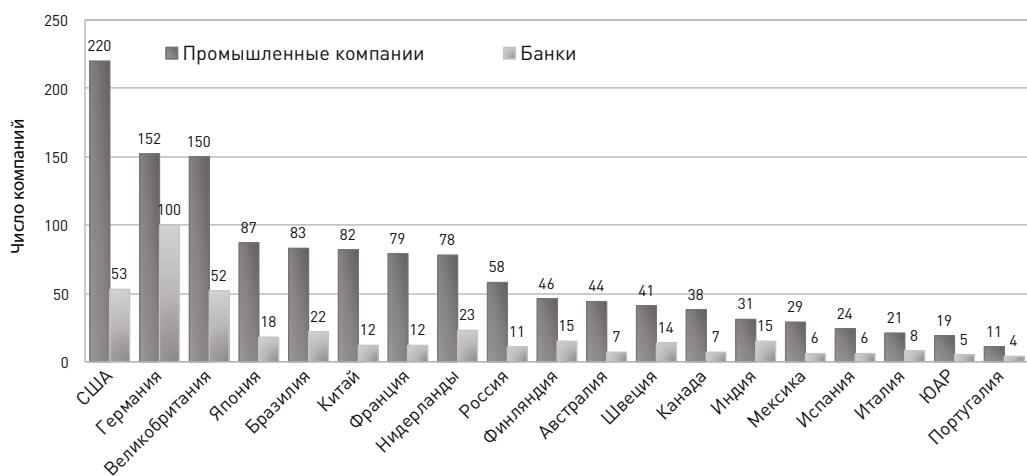
Эмпирическая выборка исследования состояла из 2449 поквартальных наблюдений, относящихся к компаниям из 19 развитых и развивающихся стран, включая Россию, за период с 2000 по 2016 г. Основными источниками при формировании выборки были базы данных Всемирного банка (World Bank), Международного валютного фонда (IMF), база финансовых данных Bloomberg.

В сформированную выборку наблюдений вошли компании-эмитенты, имеющие несколько рейтингов, присвоенных различными зарубежными рейтинговыми агентствами. В выборку включены рейтинги как инвестиционного, так и спекулятивного уровня. Чтобы полностью учесть все множество рейтинговых категорий и динамику их изменений, данные по рейтингам собрали по компаниям-эмитентам в группы с учетом их прогнозных переходных значений (т.е. позитивных и негативных прогнозов рейтингов).

После очистки данных от выбросов при фильтрации в итоговую выборку вошли 1683 эмитента, из которых 390 являются коммерческими банками, остальные – крупными нефинансовыми компаниями (рис. 1). На протяжении всего периода у каждой компании имелись, как минимум, по два наблюдения кредитного рейтинга.

Объясняющие переменные для пробит-модели включали 4 макроэкономические переменные, 2 социально-демографические и 10 финансовых показателей, один из которых являлся результатом оценки на основе других показателей.

С помощью процедуры оценки и подбора (truly omitted) переменных из основных макроэкономических факторов и значимых

**Рис. 1**

Число нефинансовых компаний и банков, имеющих рейтинги различных агентств и вошедших в выборку (по 19 странам)

Источник: расчеты авторов.

показателей компаний, вошедших в итоговую выборку в качестве объясняющих переменных, при построении различных спецификаций пробит-модели множественного выбора было отобрано 14 показателей. Рейтинговые оценки отображались на числовой шкале и были собраны в базу данных значений рейтинговых оценок. Число градаций рейтингов составило 25 (от наивысшего до низшего уровня).

#### 4. Результаты

Кредитный цикл позволяет проследить возможности расширения и сокращения доступа к кредитам в экономике с течением времени. Это, в свою очередь, косвенно влияет на бизнес-цикл различных компаний, поскольку доступ к кредитам влияет на способность компаний инвестировать и стимулировать экономический рост национальной экономики в целом. Как видно из эмпирических наблюдений, со временем эффективность кредитно-ориентированных секторов, имеющих фиксированный доход от собственной деятельности, в том числе крупных корпораций, ориентированных на постоянное поддержание своих кредитных рейтингов и, по возможности, рейтингов инвестиционного класса своих ценных бумаг, напрямую связана с этапами кредитного цикла.

Наилучшим инструментом, который позволяет идентифицировать начало кредитного цикла, является наблюдение над уровнем кредитных спредов и уровнем дефолтов по обязательствам со ставкой выше среднерыночной, обязательствами компаний, имеющими рейтинговые оценки инвестиционного класса. Их колебания ниже того или иного определенного уровня позволяют отметить начало развития периодов рецессий и обозначают условные точки перехода между различными этапами кредитного цикла.

Несмотря на то что рейтинги представляют лишь мнение рейтингового агентства, их можно использовать как один из срезов информации при принятии бизнес- и финансовых решений. В частности, использовать при принятии решений о масштабах и сроках кредитования субъектов, установлении соответствующих процентных ставок по предоставляемым кредитам, определении масштабов и характера инвестиций в развитие и поддержание производства и уровня риска финансовых вложений.

В целом с течением времени на различных фазах кредитного цикла присвоенные рейтинговыми агентствами рейтинги претерпевают существенные изменения (табл. 1). Анализ данных за десятилетие 2006–2016 гг. как по развитым, так и по развивающимся странам позволяет выделить несколько закономерных реакций кредитных рейтингов, полученных от международных рейтинговых агентств.

Первая закономерность состоит в том, что при приближении фазы кредитной рецессии доля кредитных рейтингов спекулятивного уровня становится близкой к 50–60%. Вторая закономерность, выявив-

**Таблица 1**

Распределение присвоенных кредитных рейтингов по классам в зависимости от этапа кредитного цикла

Фаза кредитного цикла	1. Начало (рост)	2. Расширение (кредитный бум)	3. Сужение (спад)	4. Рецессия (падение)
Поведение доходности на финансовых рынках	Низкое и стабильное расширение, высокие издержки	Низкие издержки, стабильное и постепенное расширение	Высокие издержки, высокая волатильность	Появление убытков, издержки становятся выше доходов
Характеристика фазы	Все рыночные показатели демонстрируют медленный и постепенный рост	Начинается фаза, когда цены на финансовые активы начинают расти быстрее, тем самым опережая информацию на финансовых рынках	Большая часть рыночных показателей перестает расти, начинается их понижение	Медленное падение
Частота выпуска кредитных рейтингов по классам оценок, %				
Высокий и инвестиционный, A-Aa, A1-A3, Baa1	10	36	38	26
Спекулятивный, Ba1-B3	62	26	50	26
Мусорный, Caa-C	28	38	12	48

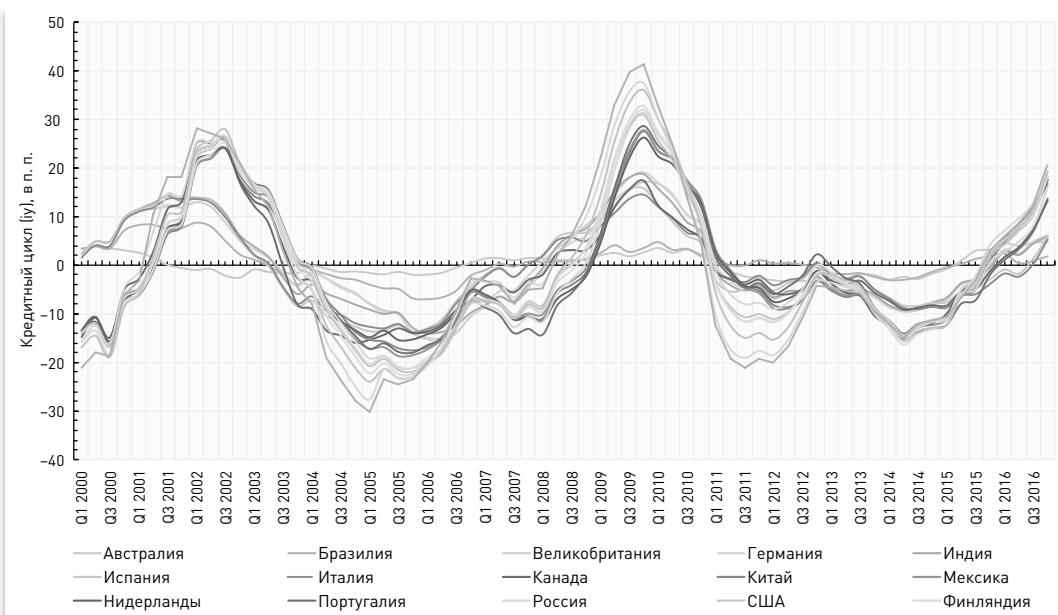
*Источник:* расчеты авторов на основе данных Bloomberg.

ленная по нашим результатам первого шага оценки, заключается в том, что рейтинги с течением времени имеют тенденцию понижаться, что связано с изменением фазы кредитного цикла.

Для анализа изменений кредитных рейтингов во взаимосвязи с этапами кредитных циклов применена двухшаговая процедура оценки. На первом шаге на основе исторического анализа кредитных спредов по выборке стран определялись этапы кредитных циклов. На втором шаге с использованием подхода из (Kiff, Kissler, Schumacher, 2013) проводилась оценка изменений кредитных рейтингов на краткосрочном (на 1 год) и долгосрочном (5 лет) периоде времени в зависимости от фазы кредитного цикла (рис. 2).

В целом, результаты моделирования кредитных рейтингов при помощи различных спецификаций пробит-модели множественного выбора указывают на высокую значимость для формирования рейтингов таких факторов, как динамики ВВП, уровня занятости населения и кредитного разрыва. Для некоторых спецификаций характерна также высокая значимость кредитного спреда.

При сопоставлении результатов оценок различных типов спецификаций, выраженных принципиальных различий в закономерностях формирования рейтинга между странами с развитыми и раз-

**Рис. 2**

Кредитный разрыв (изменение отношения выданных банковских кредитов к ВВП) для 19 стран, с использованием двустороннего фильтра Ходрика–Прескотта (ежеквартально)

Источник: расчеты авторов.

вивающимися рынками не выявлено. Всего было оценено больше 20 видов спецификаций модели для наблюдения взаимосвязи между рейтингами и кредитным циклом и было верно специфицировано 5 моделей. Выбор наиболее релевантных моделей основывался на интерпретации значимости показателей и их экономических ожиданий, а также тестирования моделей на устойчивость.

Важно отметить, что включение России в панельную выборку стран позволяет определить, насколько Россия подвержена влиянию макроэкономических факторов и соправленному изменению рейтингов. В модель по России также была добавлена специальная дамми-переменная (*xrusd*), показывающая уровень валютных активов в российских коммерческих банках. Эта переменная оказалась значима для включения России в страновую панель; она показывает, что на финансовом рынке России валютные активы играют существенную роль.

Сопоставление результатов оценивания модели типа М4 с включением данных по России и последующие спецификации модели без данных по России тем не менее показывают, что роль страновой специфики может оказаться существенной. Это влияние тем более неоднозначно, потому что поведение кредитного разрыва почти одинаково для большинства стран. Включение показателя кредитного разрыва, рассчитанного на основе применения двустороннего HP-фильтра,

существенно не улучшило результатов модели по России. Как видно из данных, представленных в табл. 2, коэффициент при данной переменной оказался незначимым.

Регрессионный анализ с включением однополосных фильтров (bandpass filters) не показывает большого различия в оценках между моделями М5 и М6. Дополнительные результаты моделирования на основе полосовых фильтров для оценки взаимосвязи кредитного разрыва и его влияния на кредитные рейтинги в различных спецификациях указывают на высокую значимость таких макроэкономических факторов, как инфляция и ВВП (см. Приложение, табл. П1).

Соответственно анализ разницы между применением различных видов фильтров не приводит к однозначному выводу относительно наилучшего выбора инструментов статистической оценки долгосрочных трендов и тех фактических оценок изменений кредитных рейтингов, происходящих как на этапе начала кредитного цикла, так и в период его перехода от фазы спада к фазе рецессии. Построенные модели, учитывающие различные фильтры для оценки кредитного цикла, показывают схожие результаты для изменений рейтингов на 10-летнем промежутке времени.

В табл. 2 представлены результаты тестирования моделей на точность предсказанных рейтинговых оценок.

Расчетные значения довольно устойчивы на краткосрочном периоде времени и имеют общие оценки понижения рейтингов в различных классах – соответственно на 30 и 40%, которые согласуются с тем, что в период рецессии уровень инвестиций падает.

Согласно эмпирическим оценкам, помимо перечисленных выше факторов, понижение рейтинговых оценок связано с макроэкономическими факторами чаще, чем с микроэкономическими. Следует отметить, что в первой и второй фазах кредитного цикла у российских эмитентов есть возможности получения высокой прибыли от валютной переоценки, которые положительно связаны с уровнем реального роста ВВП. Оценки из четырех различных спецификаций пробит-моделей, для которых были выбраны и учтены различные параметры как внешней, макроэкономической, так и внутренней среды, отражают взаимосвязь кредитного цикла и его этапов. На первом этапе построения моделей была выполнена очистка данных от выбросов с последующим устранением сезонности данных. Далее для выполнения эконометрического оценивания с учетом различных спецификаций были выбраны те регрессоры, которые отражают возможности развития и построения прогноза на имеющейся выборке оценок для различных этапов кредитного цикла. Из представленных моделей наилучшими результатами обладают М3 и М4. Совместное включение в модель таких регрессоров, как выданные кредиты всего, отношение объема кредитов к ВВП и показатель ширины канала кредитования вместе с количеством импортируемых товаров снижает точность модели.

**Таблица 2**

Полученные оценки для пяти типов спецификаций пребит-моделей множественного (M) выбора.

Обозначение переменной	Обозначение моделей с двухполосными НР-фильтрами						Результаты оценивания модели с включением однополосных фильтров	
	M1 (mixed effects)			M2 (fixed effects)				
	M3 (mixed effects)	M4 (fixed effects)	без России	с Россией	без России	с Россией		
Константа ( <i>const</i> )	-0,446**	-1,672**			-1,649*	2,744*	2,749*	
ВВП (GDP)	-2,377*	-7,948*		-6,707**	-0,043***	0,943***	0,942**	
Активы компаний ( <i>assets</i> )	-1,627***	-1,013*	-0,621**	-1,741*	-2,315***	0,059***	1,904*	
Кредитный разрыв ( <i>iy</i> )	-0,185*	-3,229***	-0,118**	-3,055***	-5,525***	-0,202	-0,050***	
Инфляция (CPI)	-1,627**	0,159*	-1,137*	0,194*			-0,059***	
Импорт ( <i>imports</i> )		-8,007**		-3,117*			0,003*	
Экспорт ( <i>exports</i> )	-6,427***	7,557**					-1,692*	
Кредитный спред ( <i>narrowrat</i> )	8,038***	2,207**	-1,007*	3,004*	-1,717**	-1,814***	-0,022*	
Уровень занятых в экономике ( <i>stir</i> )	0,003***	0,072***	0,036***	0,069**	0,032***	1,904*	1,692***	
Банковские кредиты ( <i>loans</i> )			0,110*	0,319**	-0,139*			
Объем государственных ценных бумаг ( <i>stocks</i> )	0,396***	1,758***	-1,042*	0,419***			0,244	
Валютная переоценка (только для России) ( <i>xtmxrd</i> )				-0,087***		-1,915*	-3,030*	
Дамми на Россию				-	+	-	+	
Число наблюдений	1 682	1 767	2 282	2 138	2 282	1 615	1 902	
Псевдо <i>R</i> <sup>2</sup>	0,618	0,623	0,811	0,818	0,809	0,540	0,521	

*Нотоник* – расчеты авторов.

**Примечание.** В таблице символами «\*\*\*», «», «» отмечены оценки, значимые на уровне 1, 5 и 10% соответственно.

Оценка спецификации для модели М4 с Россией и без России дает похожие результаты (табл. 3). Оценки показывают, что существует возможность использовать модель для прогнозирования в среднесрочном периоде, причем оценки обладают устойчивостью, что показали соответствующие тесты (табл. 4).

Представленные результаты тестирования из таблиц ниже для оцененных моделей имеют высокое качество оценки. Как видно из данных в табл. 3 и 4, точность предсказанных рейтинговых оценок составляет до 70 и 74%, что указывает на качественность оценок и адекватность подобранных макроэкономических факторов.

**Таблица 3**

Число верно предсказанных значений для внутривыборочного прогноза

Обозначение	M1	M2	M3	M4	M4	M5	M6
Число наблюдений	1682	1767	2282	2138	2282	1902	1902
% верно предсказанных	65,9	69,8	70,0	74,6	72,9	73,1	72,4

*Источник:* расчеты авторов.

**Таблица 4**

Результаты тестирования

Обозначение	M1	M2	M3	M4	M4	M5	M6
Число наблюдений	1 682	1 767	2 282	2 138	2 282	1 902	1 902
LR-тест, $p = p\text{-value}$	16,47 $p = 0,011$	16,98 $p = 0,009$	15,92 $p = 0,005$	15,06 $p = 0,014$	15,25 $p = 0,012$	17,01 $p = 0,004$	16,69 $p = 0,019$

*Источник:* расчеты авторов.

Относительно оценок, полученных на основе пробит-моделей упорядоченного и множественного выбора, следует учесть, что в рассматриваемой выборке оказалось компаний-эмитентов с инвестиционным рейтингом больше, чем со спекулятивными оценками.

Есть две причины рассмотреть компании с низким рейтингом и включить их в выборку. Основное обстоятельство, которое влияет на это, состоит в том, что фирмы с более низким кредитным рейтингом скорее всего будут более чувствительны к колебаниям и смене этапов кредитного цикла, чем компании-эмитенты с высокими оценками кредитных рейтингов. Следовательно, компании с более низким рейтингом могут подвергаться более интенсивному мониторингу, особенно при моделировании и смене этапов в критических точках кредитного цикла, прежде всего в условиях начала рецессии.

Расширенный набор рассмотренных переменных и включенных в пробит-модель множественного выбора с учетом макроэкономических параметров, который был взят из открытых источников

Мирового банка, позволил учесть и отметить периоды экономической активности, согласующейся с этапами кредитного цикла. Одной из главных компонент анализа стал прогнозный «разрыв роста производства», определяемый как разница между реальным ростом ВВП и его потенциальным ростом ВВП (разрыв между фактическим и прогнозным значениями). Подобный разрыв можно охарактеризовать как показатель избыточного спроса, который призван отражать, являются ли существующие макроэкономические условия относительно стабильными по сравнению с устойчивым темпом развития экономики.

Важно отметить, что полученные результаты также могут зависеть от числа компаний-эмитентов с различным уровнем рейтингов в выборке. Так, в рассматриваемой выборке компаний-эмитентов со спекулятивным рейтингом оказалось меньше, чем с инвестиционным. Не исключено, что это снижает чувствительность зависимой переменной к динамике кредитного цикла.

Также, возможно, играет свою роль то обстоятельство, что показатель кредитного разрыва имеет асимметричное распределение, в то время как другие метрики кредитного цикла имеют смещение вправо. Как показал проведенный эмпирический анализ, кредитные рейтинги несимметрично реагируют на восходящие и нисходящие фазы кредитного цикла (роста и падения).

Наличие правостороннего смещения и высокие инвестиционные оценки кредитных рейтингов указывают также на ухудшение макроэкономических параметров и замедление или отсутствие реального роста ВВП в фазе сужения кредитного цикла. В этом случае все рейтинговые оценки, представленные на финансовых рынках, имеют тенденцию к снижению в долгосрочном периоде. При этом кредитные рейтинги инвестиционного класса крупных компаний начинают переход в другие категории – более низкого и низшего спекулятивного класса (наблюдается массовое понижение) и происходит их постепенная времененная подстройка. В рамках совместных траекторий кредитных рейтингов и кредитной активности на основе кредитного разрыва можно выделить следующие этапы.

Этап 1: в начале кредитного цикла наблюдается рост объема кредитования с минимальным уровнем на фоне низких и продолжающихся снижаться кредитных рейтингов.

Этап 2: кредитная активность продолжает нарастать, уровень кредитных рейтингов также растет.

Этап 3: кредитная активность перестает расти, но кредитные рейтинги все еще повышаются.

Этап 4: начинается снижение кредитной активности – рынок стоит на пороге кредитной рецессии. Кредитные рейтинги достигают своих максимальных значений.

Этап 5: в результате кредитной рецессии происходит параллельное снижение объема выдаваемых кредитов и уровня кредитных рейтингов.

Эмпирический анализ позволил выделить различные этапы кредитного цикла и оценить изменения кредитных рейтингов как в начале кредитного цикла (на этапе оживления), так и в его конце (на этапе кредитной рецессии). Этот анализ показал, что наступление кризиса и понижения кредитных рейтингов рассинхронизированы: в момент начала кризиса кредитные рейтинги относительно высоки, и только когда начинается этап сужения кредитов, состоящий из последовательной смены фаз сужения и рецессии, кризис и переходит в активную стадию. И тогда большая часть рейтингов начинается корректироваться агентствами. Это характерно как для развитых, так и для развивающихся стран (см. Приложение, рис. П1, П2).

На основе полученных оценок кредитного разрыва можно четко идентифицировать конец одного кредитного цикла и начало следующего. Эмпирические оценки пробит-модели показывают, что при росте кредитного разрыва в течение одного квартала более чем на 2,9 п.п. начинает уменьшаться объем выданных банковских кредитов, причем зачастую одновременно наблюдаются изменения в динамике и других макроэкономических показателей, например в росте ВВП и уровне инфляции.

В процессе оценки взаимосвязи кредитных рейтингов были введены количественные инструментальные переменные кредитного цикла, позволившие выяснить, насколько возможны в долгосрочном периоде изменения кредитных рейтингов, а также прогнозировать кредитные рейтинги на основе смены фаз кредитного цикла.

## 5. Заключение

В данном исследовании рассмотрены вопросы влияния внутренних и внешних детерминант на изменения рейтингов. Мы провели эмпирический анализ взаимного влияния изменений рейтингов и динамики кредитных циклов с использованием пробит-модели множественного выбора. Модель специфицирована с учетом как страновых, так и временных особенностей для определения доли рейтингов и их изменения в зависимости от фазы кредитного цикла. Результаты моделирования являются основой для формирования прогнозных оценок тех изменений, которые происходят как на первой, так и второй фазах кредитного цикла (кредитного бума), так и в период его перехода от спада к рецессии (сужению кредитования).

Построение модели с учетом различной структуры кредитного цикла основано на отслеживании изменения рейтинговых оценок на сравнительно большом горизонте времени. Были рассмотрены вопросы взаимосвязи изменений рейтингов и кредитного разрыва с макроэкономическими факторами.

Показано, что кредитные рейтинги не только подвержены циклическим изменениям в рамках кредитного цикла, но и запаздывают по отношению к циклу: в условиях начинаящейся кредитной

рецессии рейтинги держатся на довольно высоком уровне и даже могут продолжать расти, но в условиях начинающейся фазы рецессии кредитные рейтинги постепенно снижаются.

На уровень кредитных рейтингов, как и на уровень кредитного разрыва, сильно влияют два макроэкономических фактора: темпы роста ВВП и кредитный спред, являющийся универсальным механизмом денежно-кредитной политики (узкий канал кредитования). Можно утверждать, что механизм изменения рейтингов и влияние на них кредитных циклов является существенным и зависит от изучаемых периодов времени, и на каждом из них складываются определенные условия понижения и пересмотра рейтингов с учетом особенностей конкретной страны. С практической точки зрения это свидетельствует о необходимости учитывать разные факторы при построении многофакторных моделей рейтингов в целях прогнозирования и управления рисками на международных финансовых рынках.

На основе сформированной выборки были получены результаты, характеризующие взаимосвязь между присвоенными рейтинговыми оценками и этапами кредитного цикла.

Наиболее важным и сложным этапом моделирования и формирования моделей явилось определение условия перехода между этапами кредитного цикла. Проведенный анализ посвящен рассмотрению потенциального влияния и взаимосвязи кредитных рейтингов с этапами кредитных циклов. На основе эмпирических оценок получено, что кредитные рейтинги подстраиваются под изменение кредитного цикла с течением времени. Во время смены этапов кредитного цикла рейтинговые агентства учитывают изменение макроструктуры и параметров и соответственно меняют распределение рейтингов и пропорцию рейтинговых оценок для различных классов. Показано, что:

- начало кредитного цикла сопровождается ростом и постепенным расширением кредитного канала, число высоких рейтинговых оценок незначительно и кредитный спред растет медленно;

- средний этап кредитного цикла, характеризуемый естественным расширением, соответствует тому, что на рынке появляется большое число компаний-эмитентов с довольно высокими кредитными рейтингами, кредитный спред постепенно начинает увеличиваться, финансовый рынок становится волатильным;

- конец кредитного цикла и этап рецессии (спада) отмечается как большим числом кредитных рейтингов спекулятивного класса, так и относительной долей высоких рейтинговых оценок; кредитный канал начинает постепенно сужаться, кредитный спред резко увеличивается, доходность резко возрастает, что приводит к развитию негативных последствий для финансового рынка.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

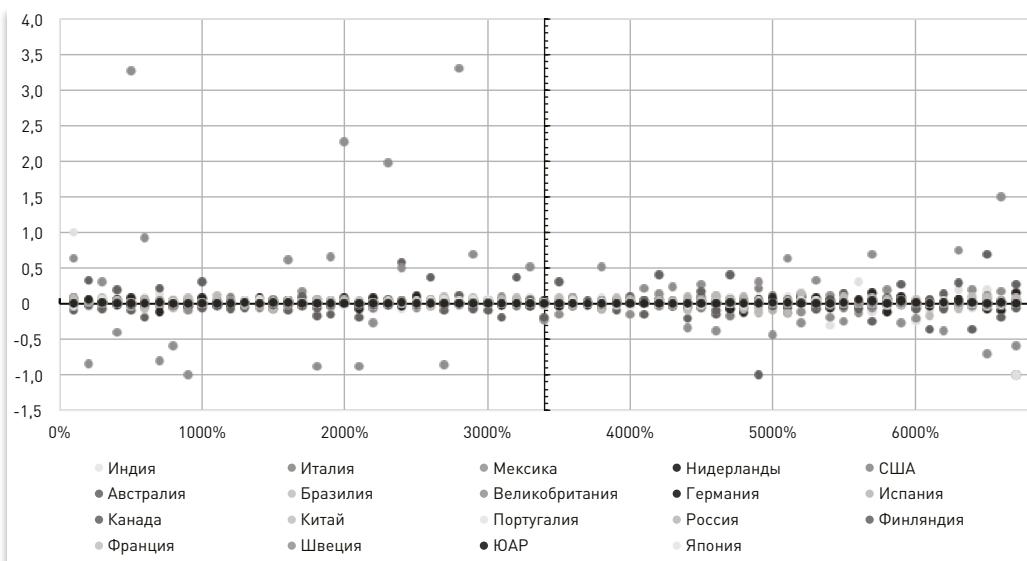


Рис. 1П

Разница изменений рейтингов по 19 странам относительно кредитного разрыва, %

Источник: расчеты авторов.

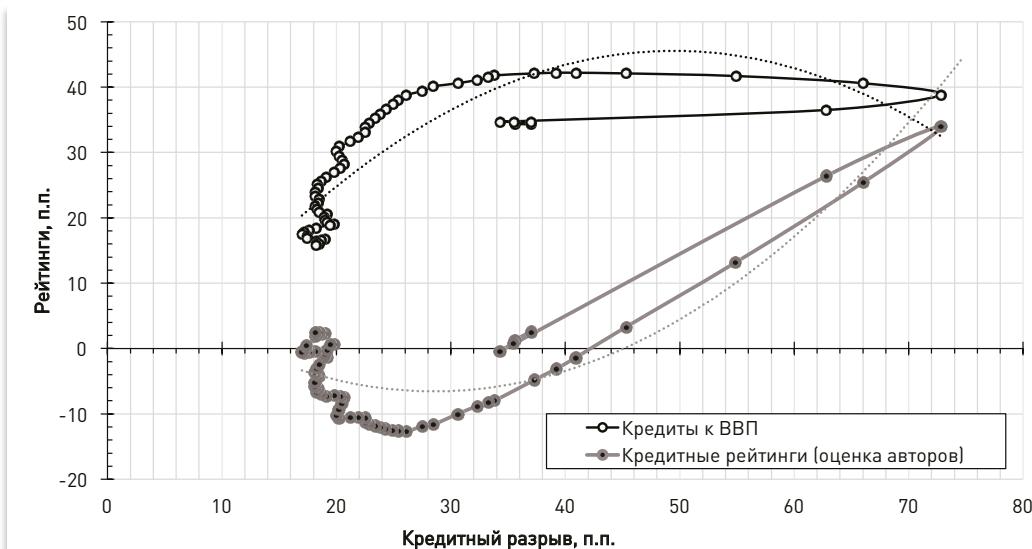


Рис. 2П

Влияние кредитного разрыва (по горизонтали – отношение объема выданных кредитов к ВВП) на изменение кредитных рейтингов (по вертикали – расчетные значения) (ежеквартально)

Источник: расчеты авторов.

**Таблица П1**

Матрица парных коэффициентов корреляции

	<i>Cr</i>	<i>Stir</i>	<i>GDP</i>	<i>Iy</i>	<i>CPI</i>	<i>Assets</i>	<i>Imports</i>	<i>Exports</i>	<i>Tnarrowm</i>	<i>Tloans</i>	<i>Stocks</i>	<i>Xrusd</i>
<i>Cr</i>	1,000											
<i>Stir</i>	0,020	1,000										
<i>GDP</i>	-0,029	-0,018	1,000									
<i>Iy</i>	-0,028	-0,045	0,106	1,000								
<i>CPI</i>	-0,005	0,158	0,328	0,320	1,000							
<i>Assets</i>	0,040	0,005	-0,774	-0,109	-0,227	1,000						
<i>Imports</i>	-0,035	-0,038	0,669	0,110	0,376	-0,776	1,000					
<i>Exports</i>	-0,038	-0,046	0,640	0,101	0,396	-0,685	0,588	1,000				
<i>Tnarrowm</i>	-0,046	-0,008	0,658	0,089	0,285	-0,781	0,527	0,897	1,000			
<i>Tloans</i>	-0,037	-0,016	0,795	0,100	0,320	-0,773	0,464	0,638	0,775	1,000		
<i>Stocks</i>	-0,020	0,091	0,039	0,007	0,362	0,036	0,183	0,253	0,019	0,046	1,000	
<i>Xrusd</i>	-0,024	0,138	0,039	-0,274	0,166	0,005	0,078	0,101	0,030	0,039	0,185	1,000

**ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES**

- Карминский А.М., Пересецкий А.А.** (2007). Модели рейтингов международных агентств // *Прикладная эконометрика*. № 1 (5). С. 1–19. [Karminsky A.M., Peresetsky A.A. (2007). Models of banks ratings. *Applied Econometrics*, 1 (5), 3–19 (in Russian).]
- Карминский А.М., Пересецкий А.А.** (2009). Рейтинги как мера финансовых рисков. Эволюция, назначение, применение // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 1–2. С. 86–102. [Karminsky A.M., Peresetsky A.A. (2009). Ratings as measure of financial risk: Evolution, function and usage. *Journal of the New Economic Association*, 1–2, 86–102 (in Russian).]
- Мамонов М.Е., Ахметов Р.Р., Панкова В.А., Солнцев О.Г., Пестова А.А., Дешко А.В.** (2018). Поиск оптимальной глубины и структуры финансового сектора с точки зрения экономического роста, макроэкономической и финансовой стабильности // *Деньги и кредит*. Т. 77. № 3. С. 89–123. [Mamonov M.E., Akhmetov R.R., Pankova V.A., Solntsev O.G., Pestova A.A., Deshko A.V. (2018). Identification of financial sector optimal depth and structure from the perspective of economic growth, macroeconomic and financial stability. *Money & Finance*, 77, 3, 89–123 (in Russian).]
- Пономаренко А., Дерюгина Е., Рожкова А.** (2018). Когда оценки кредитных разрывов являются достоверными? // *Серия докладов об экономических исследованиях Банка России*. № 34. Июль. [Ponomarenko A., Derjugina E.,

- Rozhkova A.** (2018). When are credit gap estimates reliable? *Bank of Russia working paper series wps34*. July (in Russian).]
- Солнцев О.Г., Пестова А.А., Мамонов М.Е., Магомедова З.М.** (2011). Опыт разработки системы раннего оповещения о финансовых кризисах и прогноз развития банковского сектора России на 2012 // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 12. С. 41–76. [Mamonov M.E., Pestova A.A., Solntsev O.G., Magomedova Z.M. (2011). Experience in developing early warning system for financial crises and the forecast of Russian banking sector dynamic in 2012. *Journal of the New Economic Association*, 12, 41–76 (in Russian).]
- Aikman D., Haldane A., Nelson B.** (2010). Curbing the credit cycle. Paper prepared for the Columbia University Centre on Capital and Society Annual Conference, New York, November, 2010.
- Amato D., Furfine C.** (2003). Are credit ratings procyclical? *BIS Working Papers*, 129.
- Arteta C., Kose M., Ohnsorge F.** (2017). The coming interest rate tightening cycle: Smooth sailing or stormy waters? *Policy Research Note* 2. Washington: World Bank.
- Blume M., Lim F., MacKinlay A.** (1998). The declining credit quality of US corporate debt: Myth or reality? *Journal of Finance*, 53, 1389–413.
- Bordalo P., Gennaioli N., Shleifer A.** (2018). Diagnostic expectations and credit cycles. *Journal of Finance*, 73, 1, 199–227.
- Cantor R., Mann C.** (2003). Are corporate bond ratings procyclical? Special Comment Moody's Investors Service.
- Distinguin I., Hasan I., Tarazi A.** (2013). Predicting rating changes for banks: How accurate are accounting and stock market indicators? *Annals of Finance*, 9, 3, 471–500.
- Drehmann M., Juselius M.** (2012). Do debt service costs affect macroeconomic and financial stability? *BIS Quarterly Review*, September, 21–34.
- Giese J., Andersen H., Bush O., Castro C., Farag M., Kapadia S.** (2014). The credit-to-GDP gap and complementary indicators for macroprudential policy: Evidence from the UK. *International Journal of Finance & Economics*, 19, 1, 25–47.
- Hellwig K.-P.** (2018). Overfitting in judgment-based economic forecasts: The case of IMF growth projections. *IMF Working Paper*, 18/260.
- Hodrick R., Prescott E.** (1997). Postwar US business cycles: An empirical investigation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 29, 1, 1–16.
- Julia G., Andersen H.** (2014). The credit-to-GDP gap and complementary indicators for macroprudential policy: Evidence from the UK. *International Journal of Finance & Economics*, 19 (1), 25–47.
- Karminsky A., Polozov A.** (2016). *Handbook of ratings: Approaches to ratings in the economy, sports, and society*. Springer International Publishing AG.
- Kiff J., Kissler M., Schumacher L.** (2013). Rating through-the-cycle: what does the concept imply for rating stability and accuracy? *IMF Working Paper*.
- Kiyotaki N., Moore J.** (1997). Credit cycles. *The Journal of Political Economy*, 105, 2, 211–248.

- Langohr H., Langohr P.** (2008). *The rating agencies and their credit ratings*. Chichester: John Wiley & Son.
- Löffler G.** (2004). An anatomy of rating through the cycle. *Journal of Banking and Finance*, 28, 695–720.
- Lopez-Salido D., Stein J., Zakrajsek E.** (2017). Credit market sentiment and business cycle. *Quarterly Journal of Economic*, 132, 3, 1373–1426.
- Lown C., Morgan D.** (2006). The credit cycle and the business cycle: New findings using the loan officer opinion survey. *Journal of Money, Credit, and Banking*, 38, 6, 1575–1597.
- Mendoza E., Terrones M.** (2008). An anatomy of credit booms: Evidence from macro aggregates and micro data. *IMF Working Paper No. 08/226*.
- Mian R., Kamalesh R., Amir S.** (2013). Household balance sheets, consumption, and the economic slump. *Chicago Booth Research Paper*, 13–42.
- Poghosyan T.** (2015). How do public debt cycles interact with financial cycles? *IMF Working Paper*. November.
- Ryan A., Patricia A., Jeffrey G.** (2017). The value of credit rating changes across economic cycles. *Journal of Economics and Business*, 92, 1–9.
- Schüler S.** (2018). De-trending and financial cycle facts across G7 countries: Mind a spurious medium term. *Working Paper Series ECB*, 2138, March.
- Zarnowitz V., Ozyildirim A.** (2006). Time series decomposition and measurement of business cycles, trends and growth cycles. *Journal of Monetary Economics*, 53 (7), 1717–1739, October.

Поступила в редакцию 25.01.2019

Received 25.01.2019

### A.M. Karminsky

National Research University “Higher School of Economics”, School of Finance, Moscow, Russia

### N.F. Dyachkova

National Research University “Higher School of Economics”, School of Finance, Moscow, Russia

## Empirical study of the relationship between credit cycles and changes in credit ratings

**Abstract.** The purpose of this study is to identify relationships between changes in ratings and the impact of credit cycles on them. The following methodology was used: we built up an applied statistical probit-model of multiple-choice to determine ratings changes. Our model includes a credit gap indicator for assessing the impact of the credit cycle. Our empirical research also includes a review of the time changes in the ratings during a ten-year period for developed and developing countries. The results of our study show that credit ratings are not only affected by cyclical changes within the credit cycle, but also are delayed in its relation to the cycle. From a practical point of view, these results indicate the practical need to take into account various macroeconomic factors because of the impact of credit cycles for forecasting and risk management in financial markets. During the changes of credit cycles, the rating agencies consider the shifts in macrostructure and in valuation of parameters accord-

ingly to the distribution and ratings proportion for investment and speculative ratings classes. The level of credit ratings and credit gap indicator are strongly influenced by two macroeconomic factors: GDP growth rates and credit spread, the last impact factor relates to the mechanism of monetary policy (as a narrow lending channel). In the end of the credit cycle and the stage of recession (downturn), which is marked by empirical evidence, large number of speculative credit ratings occur and the credit spread begins increase which leads to the rise of negative effects in financial markets.

**Keywords:** *credit ratings, rating agencies, credit cycle, credit gap.*

JEL Classification: G21, G24, G32, E51.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-6

# История экономической мысли и методология экономической науки



**А.А. Раков**

Приоритеты советской аграрной  
политики в 1953–1964 гг.  
и попытки преодоления  
«сталинских перекосов»  
в сельском хозяйстве

А.А. Раков

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва; Институт российской истории РАН, Москва

## Приоритеты советской аграрной политики в 1953–1964 гг. и попытки преодоления «сталинских перекосов» в сельском хозяйстве

**Аннотация.** В статье мы обратились к следующим вопросам: какой была партийно-государственная политика в области сельского хозяйства, порожденные ею проблемы, а также приоритеты развития. В данной работе последовательно рассматриваются условия для восстановления сельского хозяйства, а также принятые Н.С. Хрущевым так называемые «сверхпрограммы» — «целина», «кукурузная эпопея» и «догнать и перегнать Америку». Анализируются попытки решения аграрных вопросов в 1953–1964 гг. и итоговая статистика по валовой продукции сельского хозяйства. Как показывает анализ документов, ликвидация МТС оказалась неэффективной и привела к тому, что техника оказалась в колхозах на условиях выкупа, что привело к росту долга колхозов и их постепенному разорению. Реальные душевые показатели развенчивают тенденцию общего роста. При общем позитивном тренде роста валовой продукции сельского хозяйства из этой тенденции выпадает 1963 г. В этот год произошли фактическое исчерпание потенциала экстенсивного развития зернового производства и трагическая засуха летом, которые обернулись провалом кампании по валовому сбору зерна и стали критичными для животноводства из-за низких объемов заготовок зерна. Последовательные неудачи в попытках Н.С. Хрущева накормить народ и обеспечить стабильное развитие сельского хозяйства стали причинами оттока молодежи из деревни в город.

**Ключевые слова:** Н.С. Хрущев, Г.М. Маленков, реформы, МТС, валовая продукция, зерновая проблема, личное подсобное хозяйство.

**Классификация JEL:** N44, P21, P26, Q18.

**DOI:** 10.31737/2221-2264-2020-48-4-7

### 1. Вступление

Не касаясь полноценного историографического анализа аграрной политики Н.С. Хрущева ввиду ограниченности объема настоящей статьи, следует отметить, что итоги его реформ сельского хозяйства историки оценивают противоречиво. Так, Р.Г. Пихоя считает, что именно в это время советское руководство как никогда последовательно занимается сельским хозяйством (Пихоя, 1998, с. 370). Напротив, Г.И. Ханин утверждает, что «крупнейшим провалом в области экономики в эти годы стало сельское хозяйство, являвшееся основой для развития легкой и пищевой промышленности и подъема уровня жизни населения» (Ханин, 2008, с. 263), хотя с точки зрения демографической политики были созданы условия для нормализации демографических процессов, когда после войны население все еще сохраняло прогрессивную модель демографического развития (Жиромская, 2012, с. 186–187). Так, И.В. Русинов отмечает попытки перехода от жесткого управления

сельским хозяйством к сочетанию централизованного планирования и хозяйственной самостоятельности колхозов (Русинов, 1988, с. 36). Отметим, что более масштабная попытка перехода на принципы хозрасчета произойдет уже после отстранения Хрущева от власти, в рамках экономической реформы 1965 г., а новые подходы были разработаны мартовским (1965 г.) пленумом ЦК КПСС, на котором обсуждался вопрос «О неотложных мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства СССР» (Кущетов, 1997, с. 26). Более взвешенную позицию занимает И.Е. Зеленин, отмечавший, что аграрная политика Хрущева не была однородной и прямолинейной, «отражая попытки и поиски реформатора, весьма энергичные, хотя порой и хаотичные» (Зеленин, 2000, с. 400). Критики же хрущевских реформ указывают на расточительность целинной и других кампаний (Рогалина, Конышев, 2006, с. 290). Реформы не затрагивали сути колхозной системы, а потому оказались неэффективными. Вера Н.С. Хрущева в огромные мобилизационные силы советской системы фактически заменила четкую программу преобразований, а потому была обречена на заранее предопределенный результат (там же, с. 291).

Любопытно, что весьма неоднозначно оценивают аграрные преобразования Никиты Сергеевича и зарубежные историки. Так, американский специалист по аграрной истории Марк Таугер, рассуждая о кукурузной эпопее, слиянии МТС с колхозами и кампанией на целине и характеризуя усилия Хрущева в контексте модернизации сельского хозяйства, выдвигает формулу «плохо выполненные хорошие решения». При этом Таугер высоко оценивал достигнутые в этот период улучшения – весомые инвестиции в механизацию, поставки, инфраструктуры, образования, а также повышения хлебозаготовительных цен, пенсий и продления паспортов (Tauger, 2006, р. 100). Шведский исследователь Стефан Хедлунд отмечает, что в программе Хрущева были «составные части для восстановления сельского хозяйства» (Hedlund, 1984, р. 82). Говоря о третьей части хрущевской программы, Хедлунд делает акцент на замене репрессий материальными стимулами для увеличения производства. Однако эффект от такой замены снижался отсутствием сопутствующих институциональных изменений. Резюмируя вклад Хрущева, Хедлунд делает вывод о провале решения основных проблем сельского хозяйства, что оставляло вопрос низкой производительности нерешиенным (*ibid.*). Полемизируя с известным советологом Уильямом Таубманом, советский и американский историк Александр Львович Янов защищает тезис о том, что у Хрущева, как и у других советских лидеров, отсутствовала комплексная стратегия реформ. Янов основывает свою оценку на ряде известных исторических примеров непоследовательности политики Хрущева (Янов, 1989, р. 160).

Ирландский исследователь Мартин Маккаули в своей работе (McCauley, 1995, р. 33) корректно указывает на невозможность догнать США по производству молока, масла и мяса – хотя бы потому, что это

бы означало утрение производства мяса. Маккаули отмечает, что именно при Хрущеве впервые начался импорт зерна для внутреннего потребления, что стало следствием его экстенсивной политики по выращиванию большего количества зерна (*ibid.*, р. 34–35). Отдавая заслуги инновационной роли, которую Хрущев играл в советском сельском хозяйстве, Маккаули вместе с тем акцентирует внимание на конкретных ошибках, не позволивших ему выполнить задуманное (*ibid.*, р. 35).

Американский профессор Стивен Вегрен, анализируя аграрную политику Хрущева в более широком контексте, делает акцент на различных стратегиях, которые советский лидер использовал для того, чтобы улучшить продовольственное снабжение и удовлетворить растущий спрос со стороны города. Первой стратегией было введение материальных стимулов для увеличения сельскохозяйственного производства, и уже к 1962 г. закупочные цены на мясо выросли в среднем на 35% по всей стране. Вторая стратегия заключалась в распашке целины, в результате чего к 1960 г. площадь обрабатываемой земли выросла до 220 млн га по сравнению со 188 млн га в 1953 г. Третьей же стратегией стало увеличение роли личного подсобного хозяйства (ЛПХ) в крестьянском производстве, что, впрочем, не помешало Хрущеву позже изменить к нему свое отношение (Wegren, 1998, р. 36–37).

В связи с противоречивостью оценок становится очевидной необходимость комплексного анализа аграрной политики Н.С. Хрущева – в том числе и на основе недавно рассекреченных и еще не введенных в научный оборот архивных документов. Именно эту цель иставил перед собой автор настоящей статьи. Основой настоящей работы стали архивные документы из фонда РГАНИ, а именно – Политбюро ЦК КПСС (ф. 3) и личного фонда Н.С. Хрущева (ф. 52), часть из которых вводится в научный оборот впервые, а также опубликованные в различных сборниках материалы, включающие как источники личного происхождения (записи Н.С. Хрущева, сделанные на различных мероприятиях), так и делопроизводственные и статистические материалы (стенограммы и протоколы Президиума ЦК КПСС).

Итогом разрушительной для советского сельского хозяйства политики по приоритетному развитию промышленности стал кризис 1953 г., когда хлеба не хватало даже в Москве (Томилин, 2006, с. 364). Перемены в экономической политике советского правительства стали возможны только после смерти И.В. Сталина и оказались связаны с деятельностью Г.М. Маленкова, ставшего в марте 1953 г. Председателем Совета Министров СССР. В своем программном выступлении на сессии Верховного Совета СССР 8 августа 1953 г. он заявил о смещении акцентов в экономической политике советского государства, которая в течение длительного времени была направлена на развитие тяжелой индустрии. Теперь ставилась задача «значительно увеличить вложения средств на развитие легкой, пищевой, в частности рыбной, промыш-

лennости, на развитие сельского хозяйства» (Маленков, 1953, с. 9). Однако инициативу у Маленкова в сентябре 1953 г. с той же повесткой по сельскому хозяйству умело перехватил Н.С. Хрущев (Хрущев, 1962, с. 53), сделавший упор на улучшение работы МТС и победивший в конкурентной борьбе за власть, а в 1957 г. окончательно подавивший, благодаря А.И. Микояну, зачатки оппозиции в лице Г.М. Маленкова, В.М. Молотова и Л.М. Кагановича. Предложение Маленкова развивать опережающими темпами легкую промышленность Хрущев назвал глубоко ошибочной отрыжкой правого уклона, враждебным марксизму-ленинизму (Есешкин, 2007, с. 7). Противодействие Хрущеву в борьбе за власть оказалось возможным из-за провозглашенного им лозунга «догнать США по производству мяса, масла и молока на душу населения», что вызвало резкую критику в Президиуме ЦК (там же, с. 12).

Впрочем, помимо субъективных управленческих факторов, спровоцировавших кризис на селе, необходимо отметить и объективные проблемы, в том числе и отказ от перехода российского земледелия к интенсивным многопольным севооборотам, который на Западе произошел гораздо раньше и сформировал эффективный путь хозяйствования.

Не менее важным представляется и другая тенденция, а именно – отставание оторванного от экстенсивного зернового земледелия животноводства, которому хлебозаготовительной направленностью колхозов был нанесен особый ущерб, о чем неоднократно высказывался М. Ланг, долгое время работавший с академиком Т.С. Мальцевым в Зауральском колхозе «Заветы Ленина».

Наконец, завершающий тренд, о котором нельзя не сказать, – недоразвитость производства минеральных удобрений. Принятая в 1963 г. совершенно нереалистичная программа химизации земледелия, предусматривавшая увеличение объема производства минеральных удобрений в 1970 г. более чем в 4 раза, вероятно, давала весьма красноречивый ответ на вопрос, почему коммунизм так и не построили, даже согласно формуле самого Н.С. Хрущева, расширившего известную ленинскую трактовку: «Коммунизм есть советская власть плюс электрификация всей страны, плюс химизация народного хозяйства».

Выступая с докладом на февральском пленуме КПСС в 1954 г., Н.С. Хрущев уверенно заявил, что «plenum поставил в качестве важнейшей задачи создание в МТС постоянных квалифицированных механизаторских кадров, способных наиболее полно и производительно использовать технику. С этой целью в штаты МТС, кроме указанных выше специалистов, зачислено около 1 миллиона 250 тысяч постоянных рабочих, в том числе 870 тысяч трактористов, 187 тысяч бригадиров тракторных бригад и их помощников, 24 тысячи машинистов сложных сельскохозяйственных машин»<sup>1</sup>. Уже в 1958 г. этим механизаторам будет настоятельно рекомендовано перейти в колхозы в связи с ликвидацией МТС и передачей техники в колхозы, однако этот вариант не

<sup>1</sup> Февральский пленум. 23.02 – 03.03.1954. РГАНИ. Ф. 52. Оп. 1. Д. 190. Лл. 4, 5.

устроит квалифицированные рабочие кадры, что приведет к низкому уровню обслуживания техники.

Началось преобразование колхозов в совхозы: если в 1955 г. было преобразовано 257 колхозов, то в 1956–1960 гг. – уже 14 763, т.е. почти в 12 раз больше в среднегодовом исчислении (Тюрина, 1982, с. 145). Данные укрупнения и реорганизации повлекли за собой тяжелейшие, как отмечает В.Л. Дрындин (Дрындин, 2006, с. 210), последствия. В частности, связанная с ними централизация руководства, агротехнической и инженерной служб обезглавливала объединившиеся тогда в единые колхозы и совхозы десятки и сотни тысяч деревень. Это вызвало необходимость строить крупные центральные усадьбы и поставило вопрос о неперспективности подавляющего числа сел и деревень.

Как отмечает академик А.А. Никонов, свою историческую роль МТС уже исчерпали, оказав большую помощь в механизации сельскохозяйственного производства, но после укрупнения колхозов, установления нового порядка планирования, предоставления колхозам права самим вносить изменения в Устав артели с учетом местных, конкретных условий колхоза МТС стали связывать колхозную инициативу (Никонов, 1995, с. 316).

Символичным знаком времени выглядит отмена печально известных указов Президиума Верховного Совета СССР 1948 г. о выселении в отдаленные районы лиц, злостно уклоняющихся от трудовой деятельности в сельском хозяйстве и ведущих антиобщественный, паразитический образ жизни. Так, в записке МВД СССР под грифом «Совершенно секретно» за подписью министра МВД СССР Н.П. Дудорова<sup>2</sup> от 1 июня 1956 г. № 644/д дается представление о географии расселения и отмечается, что в соответствии с Указами Президиума Верховного Совета СССР от 21 февраля 1948 г. «О направлении особо опасных государственных преступников по отбытии наказания в ссылку на поселение в отдаленные местности СССР» и 2 июня 1948 г. «О выселении в отдаленные районы страны лица, злостно уклоняющихся от трудовой деятельности в сельском хозяйстве и ведущих антиобщественный, паразитический образ жизни». По решениям общих собраний колхозников был выслан сроком на восемь лет – 33 091 человек, из них в 1948 г. – 27 422 человека, в 1949 г. – 4424, в 1950–1952 гг. – 1174, в 1953–1955 гг. – 71 человек<sup>3</sup>.

Кроме того, в документе также отмечается, что к тому моменту находилось на спецпоселении выселенных по названным выше Указам Президиума Верховного Совета СССР – 9542 человека, которые расселены в Карело-Финской ССР – 387 человек; Якутской ССР – 1810 человек; Красноярском крае – 1609 человек; Хабаровском крае – 998 человек; Иркутской области – 1779 человек; Кемеровской области – 912 человек; Тюменской – 835 человек; Амурской – 446, Читинской – 378 и в других – 388 человек.

<sup>2</sup> Дудоров Николай Петрович – советский партийный и государственный деятель, член ЦК КПСС (1956–1961), сподвижник Н.С. Хрущева, в рассматриваемый период – министр внутренних дел СССР.

<sup>3</sup> О выселении лиц, уклоняющихся от трудовой деятельности в колхозах. РГАНИ. Ф. 3. Оп. 30. Д. 200. ЛЛ. 110–111.

Наконец, в записке МВД СССР говорится, что «за последние годы в связи с организационно-хозяйственным укреплением колхозов и повышением трудовой дисциплины, эти Указы почти не применялись. Так, за 1953–1954 гг. по решениям общих собраний колхозников было выселено 62 человека, а в 1955 г. – всего 9 человек. Подавляющее большинство выселенных на спецпоселении находится более 5 лет».

Далее в записке следуют предложения отменить названные указы, освободить выселенных по ним и аналогичным образом поступить с лицами, осужденными за побег из мест поселения, а также снять судимости с освобожденных и уже отбывших наказание за это нарушение. Предлагаемый проект соответствующего Указа был утвержден Постановлением ЦК КПСС и Указом Президиума Верховного Совета СССР (там же, ЛЛ. 112–113).

## **2. «Сверхпрограммы» Н.С. Хрущева в контексте вопроса питания**

В условиях необходимости решения зерновой и животноводческой проблем, а также постоянно растущей помощи «друзьям по социалистическому лагерю», и не только хлебом, Хрущев выдвигает ряд крупномасштабных проектов, которые были названы историком И.В. Русиновым «тремя сверхпрограммами», а именно: «целина», «кукурузная эпопея» и «догнать и перегнать Америку» (Русинов, 1988, с. 40).

Как заявлял Хрущев в докладе «О мерах дальнейшего развития сельского хозяйства СССР» на пленуме ЦК КПСС 3 сентября 1953 г., «особое значение приобретает задача улучшения питания населения. Надо поставить перед собой задачу достичь такого уровня потребления продуктов питания, который исходит из научно обоснованных норм питания, требующихся для всестороннего, гармонического развития здорового человека» (Хрущев, 1955, с. 10).

Между тем, недостатки питания советских граждан неоднократно отмечались и более чем через два года после выступления Хрущева, в докладе ЦСУ для Н.А. Булганина от 3 октября 1955 г., выдержка из которого представлена в табл. 1.

**Таблица 1**

Сопоставление фактических норм питания населения СССР с научными физиологическими нормами, разработанными Институтом питания Академии медицинских наук СССР (на душу населения в сутки)

Полезные вещества	Научные нормы	Фактическое потребление в 1954 г.	Фактическое потребление, % к научным нормам
Белки, г	105	78	74
Жиры	99	57	58
Углеводы	415	480	116

**Окончание таблицы 1**

Полезные вещества	Научные нормы	Фактическое потребление в 1954 г.	Фактическое потребление, % к научным нормам
Калории	3053	2814	92
Витамин А, ме	3257	1635	50
Витамин В1, мг	1,9	2,06	108
Витамин В2, мг	2	1,55	78
Витамин С, мг	54	33	61
Витамин РР, мг	16,2	17,9	110

*Источник:* Доклад ЦСУ СССР, Института экономики АН СССР и Института питания АМН СССР Н.А. Булганину об уровне потребления основных продовольственных и промышленных товаров в СССР на душу населения (см. сайт: Исторические материалы (<http://istmat.info/node/18419>)).

Как следует из данных, приведенных в докладе ЦСУ, только углеводы, витамины В1 и РР были доступны для населения СССР в должном объеме. По оценке ученых, в пищевом рационе населения СССР совершенно недостаточно представлены продукты, содержащие белки, жиры, витамины А и С, т.е. овощи и бахчевые, фрукты и ягоды и продукты животноводства. Доля белков, жиров и калорий животного происхождения при этом в фактическом потреблении за 1954 г. была ниже, чем рекомендуется по научным нормам.

## 2.1. Целина

Продовольственную проблему начали решать комплексно. Предложение о поднятии целинных и залежных земель регулярно выдвигалось Хрущевым, начиная с сентябрьского пленума ЦК КПСС в 1953 г., но не получило должной поддержки, поэтому соответствующая программа была принята позже, после подготовки Хрущевым в январе 1954 г. записки в Президиум ЦК КПСС<sup>4</sup> «О решении зерновой проблемы и возможности освоения целинных и залежных земель», написанной на основе докладных записок и материалов различных ведомств. На пленуме ЦК в феврале–марте того же года программа была принята, и в этом же году началось массовое освоение целины и залежных земель в районах Казахстана, Сибири, Урала, Поволжья и создание там зерновых совхозов (Коммунистическая партия, 1985, с. 359–392). Считалось, что совхозы государство могло лучше контролировать, чем колхозы, а также там оптимальным образом применялась техника на больших земельных массивах, поэтому на целинных землях строились именно совхозы.

Как отмечает В.П. Мотревич, в 1953 г. только в 14 областях РСФСР и 8 областях Казахской ССР насчитывалось до 40 млн га перелогов, залежных и целинных земель, суходольных сенокосов, пастбищ (Мотревич, 2009, с. 227).

<sup>4</sup> Президиум ЦК КПСС. 1954–1964. Черновые протокольные записи заседаний. Стенограммы. Постановления. Т. 1. М.: РОССПЭН, 2015.

В 1954 г. отбором и направлением в районы освоения целины кадров занимались главным образом городские организации, а представители целинных хозяйств в работе отборочных комиссий участия не принимали. В первый год целинной кампании для проведения отбора комсомольцев в районы освоения новых земель ЦК ВЛКСМ командировал своих представителей в 45 местных комсомольских организаций (Пахомова, 2006, с. 302).

Предполагалось, что кадры оперативно включатся в работу. Были намечены ориентиры и источники резкого увеличения производства зерна. Во-первых, за счет масштабного расширения посевов зерновых культур на залежных и целинных землях; во-вторых, путем всемерного повышения урожайности во всех регионах страны. В ближайшие годы предстояло освоить 13 млн га, в том числе в колхозах 8,7 млн га и в совхозах 4,3 млн га. По приблизительным и минимальным расчетам при урожайности на новых землях в 10–11 ц предполагалось получить дополнительно 900 млн пудов хлеба, в том числе товарного – 500–600 млн пудов, а при сборе зерна в размере не менее 14–15 ц с га валовой сбор мог составить 1100–1200 млн пудов, тогда как товарная часть – 800–900 млн пудов (Хрущев, 1962, с. 85–100). Правда, в начале 1955 г. первый секретарь ЦК КПСС назвал цифру уже в 30 млн га; логика была простой: чем площадь больше, тем и хлеба больше (Хрущев, 1962, с. 414).

Резюмируя для членов Президиума ЦК КПСС свои в целом положительные впечатления от поездки в Казахстан в июне 1954 г., Н.С. Хрущев отмечал и ряд недостатков вспашки целины, в частности: нет переворачивания пласта (технологическая и организационная проблема была возложена на местные власти и Министерство сельского хозяйства), несоответствие норм расхода горючего тракторов поставленным задачам и как следствие – нарушение качества пахоты, нехватка техники. В качестве решения указанных проблем Хрущев предлагал создать на осваиваемых землях новые совхозы (Никита Сергеевич Хрущев, 2009, с. 59–61).

Впрочем, рассмотрением более существенных недостатков Хрущев пренебрег. Очевидно, что не хватало механизаторов и техники, не была создана необходимая инфраструктура, включая железные дороги и элеваторы. Не были приняты во внимание издержки, связанные с массовой переброской техники и механизаторов из старопахотных районов с традиционно высокой урожайностью (в итоге эти районы недобрали зерна из-за проводимых на целине распашек).

О грядущих издержках специалисты говорили неоднократно. Н.С. Хрущев пренебрег предупреждениями экспертов о проблемах засушливого земледелия. Например, в выступлениях на пленуме 1954 г. директора Почвенно-агрономической станции имени В.Р. Вильямса профессора М.Г. Чижевского и академика ВАСХНИЛ Т.С. Мальцева прозвучали конкретные предложения о внедрении паровых севооборон-

тов и многолетних трав, о способах сочетания зернового производства с животноводством, о специфике орудий пахоты на целине. Все эти ценные рекомендации почвоведов были проигнорированы руководством. Неудивительно, что после исчерпания естественного плодородия целинных земель, что заняло 3–4 года, проявились все проблемы зон рискованного земледелия. И если 1956 г. стал звездным часом целины – рекордный урожай достиг 11,4 ц, – то уже в следующем году произошло его падение до 4,3 ц. Пришлось спешно осваивать отвергнутую ранее Хрущевым систему, что потребовало дополнительных непредусмотренных затрат (Рогалина, 2010, с. 153). В то же время, по подсчетам академика А.А. Никонова, чистый доход от освоения целины в 1954–1959 гг. составил 24 млрд руб. (Никонов, 1995, с. 309). Не стоит забывать сознательный отказ Хрущева от травопольной системы академика Вильямса, которая была заменена пропашной. Это означало отказаться на всей территории страны от посевов многолетних и однолетних трав, распахать луга, а также чистые пары, и засеять их кукурузой и другими культурами, что было совершенно губительно для почв Казахстана и других районов освоения целины, где чистые пары являлись основным средством борьбы с сорняками, и Прибалтики, для которой распашка лугов могла нанести урон животноводству (Зеленин, 2000, с. 401).

Выступая на июньском пленуме 1954 г., Хрущев провозгласил три задачи: «широко механизировать обработку и высокопроизводительно использовать пропашные трактора; обязательно прорвать посевы кукурузы и подсолнечника; держать в чистом и рыхлом состоянии посевы сахарной свеклы и хлопчатника»<sup>5</sup>, зафиксировав тем самым основы ухода за указанными культурами.

Как замечает С. Н. Андреенков, «главной причиной падения зернового производства в начале 1960-х годов стали такие негативные факторы, как водная и ветровая эрозия почв, сорная растительность и вредоносная фауна, получившие широкое распространение вследствие отказа от травополя и перехода к бессменной пшеничной монокультуре» (Андреенков, 2006, с. 161). Отмечается также, что наибольший урон зерновому хозяйству Западной Сибири нанес овсюг. В Казахстане (основной район распашки) за 1954–1960 гг. было распахано 25,5 млн га целины и залежей, что привело, с одной стороны, к увеличению производства зерна (по сравнению с уровнем 1951–1955 гг. почти в 4 раза), достигнув в среднем 18,8 млн т в год, а с другой – к экологическим катастрофам: так, в 1962 г. почти 7 млн га почв подверглось ветровой эрозии. Например, в совхозе «Коктюбе» Актюбинской области в 1961 г. погибло от эрозии 2435 га посевов, в 1962 г. – 147 га, а в 1963 г. – 809 га. Ежегодно по области списывалось от 20 до 60 тыс. га посевов (Надыргалиева, Арозмагамбетова, 2009, с. 241–242).

Зерновая проблема, о решении которой Н.С. Хрущев опрометчиво объявил в конце 1958 г., обострилась вновь. Кризиса зернового производства, как и других отраслей сельского хозяйства, в годы семи-

<sup>5</sup> Июньский пленум. 23.06.1954. РГАНИ. Ф. 52. Оп. 1. Д. 194. Л. 15.

летки не было, — наблюдался поступательный рост аграрного производства при снижении темпов прироста валовой и товарной продукции (Зеленин, 1999, с. 97).

## 2.2. Кукурузная кампания

Целинная эпопея оказалась лишь частью решения продовольственного вопроса. Его главным звеном должна была стать универсальная и высокоурожайная культура — кукуруза. Увлечение «приезжей американкой» оказалось фатальным для традиционных сельскохозяйственных культур в ряде районов, но никакого противодействия своей политике Н.С. Хрущев не допускал. Авторитетнейшего селекционера и новатора сельского хозяйства академика Т.С. Мальцева, не поддержавшего идею посева кукурузы в Зауралье, он обозвал «пшеничным аристократом» из-за чрезмерного увлечения пшеницей, которая оказывалась «золотой», и понизил его депутатский статус. Январский 1955 г. пленум, посвященный проблеме увеличения производства продуктов животноводства, взял курс на расширение посевов кукурузы, которые должны были к 1960 г. занять до 28 млн га и фактически приблизиться к площади освоения целины. Интересно, что анализ стенограмм заседаний Президиума ЦК КПСС за 1954–1956 гг. показывает печальную картину для сельского хозяйства: вопросов аграрной политики партийцы практически не затрагивают, отдавая предпочтение международной повестке и промышленности. Редкое обсуждение, согласно записям о протоколе № 36 заседания от 24 августа 1956 г. заведующего Общим отделом ЦК КПСС В.Н. Малина, коснулось мер по увеличению производства и заготовок семян масличных культур и выработке растительных масел<sup>6</sup>.

Заместитель министра сельского хозяйства В.В. Мацкевич направлял указание в регионы в 1955 г.: «Широкие производственные опыты, проводившиеся в 1954 г. на больших площадях во всех районах страны, показали, что кукуруза при правильной агротехнике дает значительно более высокие урожаи, чем другие культуры. Многие колхозы Архангельской, Ленинградской, Вологодской, Кировской, Свердловской, Тюменской, Томской и других северных районов страны получили в 1954 г. урожаи по 500–900 ц с гектара силосной массы с большим количеством початков. Поэтому Министерство сельского хозяйства СССР считает, что кукуруза как важнейшая, наиболее высокоурожайная культура, должна быть районирована во всех районах страны, так как она одновременно решает две задачи — пополнение ресурсов зерна и получение из ее стеблей хорошего силюса» (Рогалина, 2010, с. 154).

Несмотря на низкую урожайность и очевидную бесперспективность всемерного насаждения кукурузы, Н.С. Хрущев упорно верил в свою затею и доказывал неоспоримые преимущества кукурузы перед другими культурами. С одной стороны, это было вызвано личным опы-

<sup>6</sup> Президиум ЦК КПСС. 1954–1964. Черновые протокольные записи заседаний. Стенограммы. Постановления. Т. 1. М.: РОССПЭН, 2015, с. 177.

том ее культивирования в Ильинском, а с другой – искренним желанием накормить народ. Не будем забывать, что в середине 1950-х годов средняя оплата труда колхозников составляла всего 36% оплаты промышленных рабочих, а примерно 2/3 прибавочного продукта безжалостно изымались из аграрной сферы (Венжер, 1966, с. 79). Н.С. Хрущев писал: «...в 1954 г. мы были еще нищие... в ряде мест голодали» (Мемуары Н.С. Хрущева, 1992, с. 70).

Надо сказать, что косвенно наличие организационных проблем с высадкой кукурузы не раз подтверждал и сам Хрущев. Выступая на совещании по животноводству в Бюро ЦК КПСС по РСФСР 16 февраля 1957 г., он отмечал, что в колхозе «Луч» Красногорского района «сев [кукурузы] производили под руководством агронома Мастеровой. Посеяли разные сорта. Там была табличка. В одном месте на коне заедешь – не видно, а в другом – только по пояс. Надо считать, для какой цели и сколько гектаров посеять. Надо создать управление этим хозяйством, а мы просто кукурузу сеем» (Никита Сергеевич Хрущев, 2009, с. 88). Весь вопрос был в том, что форсировать кукурузную эпопею призывал сам Хрущев, вопреки необходимости продумать в первую очередь организационную составляющую.

«Похмелье» от «опьянения» кукурузой случится у первого секретаря ЦК КПСС только к весне 1962 г., когда он вынужден будет признать, что кукуруза в большинстве районов не вызревает на зерно, а потому был взят курс на возделывание кукурузы на силос как главной кормовой культуры. Уже осенью 1962 г. ЦК КПСС и Совмин СССР издали постановление «О наведении порядка в расходовании ресурсов хлеба», ограничив продажу хлеба до 2,5 кг в одни руки. В стране просто перестало хватать зерна для помола. А окончательное завершение второй сверхпрограммы наступило уже на декабрьском 1963 г. плenumе, когда Хрущев допустил, что можно пойти на сокращение посевов «царицы полей».

### 2.3. Догнать США

Амбициозная и утопическая цель «достичь у нас имеющегося в США уровня производства зерна в расчете на сто душ населения» была заявлена Хрущевым еще в январской 1954 г. записке в Президиум ЦК КПСС<sup>7</sup>. Выступая 26 декабря 1956 г. на совещании об организации совхозов на базе колхозов, Хрущев говорил о том, что социалистическая организация труда не использует всех экономических возможностей, которые дает крупное хозяйство. «Наше хозяйство значительно крупнее, чем американское. Наша техника более производительная, чем американская, но в результате организационной слабости мы имеем такие явления, которые противоречат интересам хозяйства и дают возможность оклеветать нашу социалистическую систему и доказывать, что она менее производительна, что американцы дают более дешевый хлеб с большей товарностью. А это главное, это более высокая

<sup>7</sup> Президиум ЦК КПСС. 1954–1964. Черновые протокольные записи заседаний. Стенограммы. Постановления. Т. 1. М.: РОССПЭН, 2015.

организация производства» (Никита Сергеевич Хрущев, 2009, с. 82). В повестку дня задача встала уже в мае 1957 г., когда Хрущев выдвинул предложение в ближайшие годы догнать Соединенные Штаты Америки по производству мяса, масла и молока на душу населения. Последующие годы только подтвердили утопичность такого желания и, несмотря на относительные успехи первой хрущевской пятилетки (рекордный рост валовой продукции сельского хозяйства), поставленные цели так и не были достигнуты. Хорошой иллюстрацией извилистой партийной линии представляется решение о снижении государственных розничных и закупочных цен на свинину «в целях сбалансирования бюджета с 1 января 1958 г.» (само решение принято на заседании 25 октября 1957 г., т.е. уже после формирования плана очередной сверхзадачи)<sup>8</sup>. Очевидно, что подобная непоследовательность быстро уничтожала мотивацию производить больше продукции на продажу в условиях низких закупочных цен. Как показала практика, к 1958 г. политика низких закупочных цен нисколько не изменилась (там же, с. 331), а вот закредитованность колхозов только росла: 1950 г. – 302 млн руб., 1960 г. – 621 млн руб., 1965 г. – 1422 млн руб. (Безнин, Димони, 2004, с. 18).

В выступлении на Пленуме ЦК КП Украины 26 декабря 1957 г. Н.С. Хрущев детализировал задачу третьей сверхпрограммы: «...здесь нужно не вообще призывать “догнать и перегнать”, а конкретно, по каждому колхозу, совхозу, а в колхозах – по бригадам, перед каждым поставить конкретную задачу, в чем выражается его участие в осуществлении задачи догнать и перегнать США по производству продуктов сельского хозяйства на душу населения. Тогда каждый человек будет знать, что он должен сделать в решении этой грандиозной задачи» (Никита Сергеевич Хрущев, 2009, с. 109).

Известный пример А.Н. Ларионова, первого секретаря рязанского обкома партии и автора «рязанского чуда», который первым из секретарей обкомов получил звание Героя Социалистического Труда и покончил с собой после того, как стали известны факты его приписок и махинаций<sup>9</sup>, был лишь вершиной айсберга, хотя и наглядно продемонстрировал, какой ценой достигались мнимые региональные успехи.

На очередном пленуме ЦК КПСС по сельскому хозяйству в 1959 г. были подведены промежуточные итоги решения поставленной задачи: на первом месте оказались передовики Рязанской области (производство мяса возросло за 1959 г. в 3,8 раза), а второе и третье места занимали Ставропольский край (в 2,5 раза) и Ростовская область (в 2 раза) (Есешкин, 2007, с. 12).

Расчеты показывают, что в 1962 г. из сельского хозяйства РСФСР через систему цен и налога с оборота было изъято 78% созданного чистого дохода, в том числе 58% чистого дохода, созданного в кол-

<sup>8</sup> Президиум ЦК КПСС. 1954–1964. Черновые протокольные записи заседаний. Стенограммы. Постановления. Т. 1. М.: РОССПЭН, 2015, с. 291–292.

<sup>9</sup> О деталях громкого «дела Ларионова» подробно рассказывается в докладной записке заместителя заведующего сельскохозяйственным отделом ЦК КПСС по РСФСР П. Семенова в бюро ЦК КПСС по РСФСР о приписках по мясозаготовкам в Рязанской области от 28 ноября 1960 г. и стенограмме заседания бюро ЦК КПСС по РСФСР о проверке результатов заготовок мяса в Рязанской области (Региональная политика, 2009, с. 265–270, 272–304).

хозах (у промышленности тем же путем было изъято только около 40% чистого дохода). После финансирования предприятий из госбюджета в итоге у сельского хозяйства от собственного чистого дохода осталось 68% созданного в отрасли чистого дохода (у колхозов 42%), у промышленности – 79% созданного чистого дохода (Димони, 2004, с. 184).

Символом же краха сельскохозяйственной политики Н.С. Хрущева в целом – и, безусловно, очень личным и болезненным ударом(!) – стало вынужденное решение о первой в истории закупке хлеба за границей за счет золотого запаса: так, в конце 1963 г. США начали поставки зерна в СССР. Всего было закуплено 9,4 млн т – около 10% валового сбора (Зеленин, 1999, с. 92). Итак, сельскохозяйственное производство, в том числе его ведущая зерновая отрасль, в годы семилетки, как по объективным, так и субъективным причинам, все больше и больше отставало от потребностей населения, не удовлетворялись и нужды руководства в кормах. Имел место кризис потребления, резкое отставание зерновой и животноводческой отраслей от потребностей населения, основная причина которого – серьезные просчеты аграрной политики (Зеленин, 1999, с. 97). Кроме того, важную роль играл и фактор миграции молодежи из деревни, которая не могла обеспечить достойный уровень потребления и комфорта, в город (Ханин, 2008, с. 94; Зеленин, 1999, с. 95–96).

### **3. Дальнейшие попытки решения аграрных вопросов**

На фоне призывов «догнать и обогнать Америку» в аппарате ЦК КПСС и Совета Министров СССР разворачивается работа по вопросу реорганизации МТС. На пленуме ЦК компартии Украины 26 декабря 1957 г. Хрущев впервые публично высказался на тему реорганизации МТС, объясняя просчеты планирования и распределения сельскохозяйственной техники отсутствием государственного подхода со стороны руководства МТС. 22 января 1958 г. он выступил с пространной речью на совещании передовиков сельского хозяйства в Белорусской ССР, поставив вопрос о реорганизации МТС: «Существует два хозяина на одной земле: колхозы и МТС. А там, где два хозяина, не может быть хорошего порядка» (Хрущев, 1962, с. 499–500, 521–522). 25 февраля 1958 г. был созван пленум ЦК КПСС по вопросу реорганизации МТС, на обсуждение которого было отведено очень мало времени – всего два дня. В итоге предложения Хрущева, выступавшего от имени Президиума ЦК КПСС, были признаны «правильными и своевременными» (там же). Реорганизация МТС завершилась фактически к началу 1959 г., а к началу 1960 г. в РСФСР осталось всего 29 МТС. В результате на колхозы обрушились принудительные платежи за полученную технику, окончательно разорившие многих из них; полностью была разрушена и ремонтная база МТС (Зеленин, 2001, 124–125). Таким был закономерный результат ставки Н.С. Хрущева на экстенсивные методы ведения сельского хозяйства (Томилин, 2006, с. 369).

Как следует из статистического исследования сельского хозяйства, парк тракторов, комбайнов и грузовых автомобилей в сельском хозяйстве вырос с 595 тыс. единиц в 1950 г. до 1122 тыс. единиц в 1960 г. Однако после этого никаких революционных изменений не произошло – ежегодный прирост числа сельскохозяйственных машин никогда не превышал 10% в течение следующего десятилетия<sup>10</sup>.

Как отмечает Е.А. Чайка (Чайка, 2017), после реорганизации МТС в некоторых колхозах Кубани и Ставрополья стали возникать принципиально новые формы организации труда и оплаты – коллективный бригадный подряд. Его появление было связано с поиском новых эффективных форм общественного труда. Однако продавая технику МТС колхозам, государство включало ее стоимость в состав капиталовложений в сельское хозяйство. В результате этих мероприятий многие колхозы превратились в должников (Чайка, 2017, с. 109).

Отражением такой политики стало и сокращение среднего размера семьи (ее минимализация), которое было общим явлением и для городской, и для сельской семьи. В то же время сельскую семью оно затронуло в большей степени – кроме войны и миграции, в этом отразились и последствия резко снизившегося числа, состоящих в браке сельских женщин, т.е. увеличилась доля одиноких женщин. При этом согласно переписям населения 1939 и 1959 гг. в сельском населении России быстро нарастал удельный вес малых семей – от двух до четырех членов: с 58% (1939 г.) до 70% (1959 г.). Соответственно, в конце 1950-х годов практически не осталось территорий, где бы средний состав сельской семьи насчитывал четыре человека, хотя еще в 1939 г. такие семьи доминировали по всей сельской местности России (Вербицкая, 2009, с. 257–258). Ведение подсобного хозяйства в условиях фактически принудительного, плохо оплачиваемого труда в колхозе, отнимавшего большую часть рабочего времени, было возможно лишь совместными усилиями семьи, включая подростков, стариков и многодетных матерей. Семейное хозяйство выполняло сразу несколько ролевых функций семьи: обеспечивало ее необходимыми продуктами питания, подпитывало семейный бюджет поступлениями от продажи на рынке продукции, а также выполняло воспитательную функцию для детей и сплачивания семьи (там же, с. 266). Заметим, что закон о пенсиях, пособиях членам колхозов был принят только в 1964 г. До этого обеспечение престарелых и нетрудоспособных колхозников осуществлялось за счет средств самих колхозов, а сложившаяся там система пенсионного обеспечения отличалась крайней неустойчивостью и финансовой ограниченностью, так как объем средств никем не устанавливался – они не регламентировались и могли свободно расходоваться на совершенно другие цели (Чайка, 2017, с. 140).

К 1962 г. попытки Хрущева в реформировании управления экономикой достигли своего пика. Так, в записке для УССР от 22 марта 1962 г. за подписями секретаря ЦК КП Украины Н. Подгорного

<sup>10</sup> Сельское хозяйство СССР (статистический сборник). 1971 (см. сайт: Исторические материалы ([http://istmat.info/files/uploads/25629/sh\\_sssr\\_1971\\_mechanizaciya.pdf](http://istmat.info/files/uploads/25629/sh_sssr_1971_mechanizaciya.pdf))).

и председателя Совета Министров УССР В. Щербицкого предлагалось принять стандартный для советских республик проект перестройки сельского хозяйства: «В соответствии с постановлением мартовского Пленума ЦК КПСС об улучшении руководства сельским хозяйством в стране, нами совместно с обкомами партии разработаны предложения по перестройке работы сельскохозяйственных органов Республики.

Для непосредственного управления колхозами и совхозами намечается организовать 190 территориальных колхозно-совхозных или совхозно-колхозных управлений по производству и заготовкам сельскохозяйственных продуктов.

При формировании межрайонных управлений учитывались производственные условия, уровень развития отдельных отраслей хозяйства, территориальное расположение районов, удобства связи между ними и другие условия для лучшего управления сельскохозяйственным производством. Преобладающими являются управление на 3–4 административных района с числом хозяйств 60–70. На одно межрайонное управление приходится более 200 тыс. гектаров земельных угодий<sup>11</sup>. Отметим, что фактическое удвоение числа местных органов управления оказалось ожидаемо неэффективным, поэтому реформа была свернута после отстранения Хрущева уже к началу 1965 г.

В годы семилетки (1959–1965 гг.) темпы развития советского сельского хозяйства заметно снизились, а планы увеличения продукции растениеводства и животноводства не были выполнены. Валовая продукция сельского хозяйства увеличилась в 1965 г. по сравнению с 1959 г. только на 14,9%, производство зерна – на 1,3%, мяса – на 12,4%, молока – на 17,7%. Учитывая, что за 1959–1965 гг. численность населения возросла с 208,8 до 232,2 млн человек<sup>12</sup>, результаты в аграрной сфере оказались незначительными. Невысокими стали и показатели эффективности сельскохозяйственного производства: например, за период 1960–1964 гг. средняя урожайность зерновых культур увеличилась только на 0,8 ц/га, а удои молока на 1 корову в общественном хозяйстве уменьшились более чем на 370 кг (Воркунов, 1980, с. 156).

Колебания в численности поголовья скота и размерах приусадебного участка продолжились. В одобренной ЦК КПСС записке от 31 июля 1963 г. «О некоторых вопросах подъема экономики отстающих колхозов и совхозов» Хрущев прямо заявляет, апеллируя к авторитету В.И. Ленина в вопросе социалистического землеустройства: «Раздувание количества скота, находящегося в личной собственности рабочих совхозов, наносит серьезный урон интересам государства и всего народа». Наличие своей коровы, помимо государственной, было признано «двоедущием»<sup>13</sup>.

Тем не менее имеет смысл посмотреть, с чем же подошла страна к концу хрущевского периода. Один из наиболее объективных показа-

<sup>11</sup> Союзный комитет и местные органы управления сельским хозяйством. РГАНИ. Ф. 3. Оп. 30. Д. 23. Л. 4.

<sup>12</sup> Народное хозяйство СССР в 1965 г. Статистический ежегодник. С. 7 (см. сайт: Исторические материалы ([http://istmat.info/files/uploads/26603/narhoz\\_sssr\\_1965\\_sh.pdf](http://istmat.info/files/uploads/26603/narhoz_sssr_1965_sh.pdf))).

<sup>13</sup> О приусадебных участках колхозников. РГАНИ. Ф. 3. Оп. 30. Д. 191. ЛЛ. 104, 105.

телей – это, безусловно, валовая продукция сельского хозяйства СССР, представленная в табл. 2.

Как можно заметить, общий объем валовой продукции сельского хозяйства к 1965 г. вырос в 1,73 раза, тогда как продукция земледелия увеличилась немного меньше – в 1,67, а животноводства – в 1,82 раза. При этом следует принять во внимание рост населения, которое выросло за хрущевский период почти на 41 млн человек (при мерно на 22%). То есть реальные душевые показатели развенчивают общую тенденцию роста: при пересчете цифры роста валовой продукции сельского хозяйства получаются гораздо более скромные. При общем позитивном тренде роста валовой продукции сельского хозяйства из этой тенденции выпадает 1963 г. В этот год произошло фактическое исчерпание потенциала экстенсивного развития зернового производства и трагическая засуха летом, которые обернулись провалом кампании по валовому сбору зерна и ставшими критичными для животноводства из-за низких объемов заготовок зерна. Если же рассмотреть долю РСФСР в валовой продукции сельского хозяйства, то она с 1958 по 1965 г. составляла примерно 50% общесоюзной<sup>14</sup>, т.е. локомотивом была именно Российская Федерация, что объясняется, в том числе, и высокими темпами роста объема валовой продукции сельского хозяйства: так, с 1955 по 1966 г. она выросла в 1,6 раза<sup>15</sup>. На втором месте по

**Таблица 2**

Валовая продукция сельского хозяйства во всех категориях хозяйств (в сопоставимых ценах 1958 г.), млрд руб.

Год	Валовая продукция сельского хозяйства (земледелия и животноводства)	В том числе продукция	
		земледелия	животноводства
1953	32,3	17,8	14,5
1954	34,2	18,4	15,8
1955	37,6	21,1	16,5
1956	42,5	24,2	18,3
1957	44,1	23,8	20,3
1958	48,5	27,3	21,2
1959	48,7	25,9	22,8
1960	49,8	27,2	22,6
1961	51,3	27,6	23,7
1962	51,9	27,6	24,3
1963	48,0	25,2	22,8
1964	54,9	32,5	22,4
1965	56,0	29,8	26,2

*Источник:* Народное хозяйство РСФСР в 1965 г. (Статистический ежегодник) (см. сайт: Исторические материалы ([http://istmat.info/files/uploads/26603/narhoz\\_sssr\\_1965\\_sh.pdf](http://istmat.info/files/uploads/26603/narhoz_sssr_1965_sh.pdf))).

<sup>14</sup> Народное хозяйство СССР в 1965 г. (Статистический ежегодник) (см. сайт: Исторические материалы ([http://istmat.info/files/uploads/26603/narhoz\\_sssr\\_1965\\_sh.pdf](http://istmat.info/files/uploads/26603/narhoz_sssr_1965_sh.pdf))).

<sup>15</sup> Рассчитано по: «Народное хозяйство РСФСР в 1967 г. (Статистический ежегодник)» (см. сайт: Исторические материалы ([http://istmat.info/files/uploads/17056/rfsr\\_zs\\_50\\_let.pdf](http://istmat.info/files/uploads/17056/rfsr_zs_50_let.pdf))).

вкладу в общесоюзный котел была УССР: ее доля в 1958 г. составляла 25,4%, а в 1965 г. – 24,4%. Далее доля республик в валовой продукции сельского хозяйства падает существенно: БССР на третьем месте – с 4,5% (1958 г.) и 5,3% (1965 г.).<sup>16</sup> В этой связи ключевым для наших последующих выводов становится вопрос, а насколько мы можем доверять советской статистике рассматриваемого периода.

Ответ на него представляется весьма неоднозначным. Например, пересчеты статистики народного хозяйства Г.И. Ханина (Ханин, 1991) вызывают у специалистов некоторые претензии методологического характера, тогда как подсчеты авторитетного исследователя В.М. Кудрова (Кудров, 1997, с. 255–283) дают показатели, приближенные к официальным советским.

В работе М.В. Славкиной (Славкина, 2003, с. 132–145), проанализировавшей динамику развития народного хозяйства СССР на основе данных советской статистики и ЦРУ США, отмечается, что, во-первых, в СССР счет велся не по добавленной стоимости, как это было принято в западной статистике, а по валовой продукции. Учет одного и того же сырья на всех стадиях обработки приводил к огромному повторному счету, который постоянно увеличивался при усложнении технологической цепочки и количественном росте промышленных предприятий; во-вторых, советская и американская статистика по-разному учитывали и отражали в агрегированных макроэкономических показателях появление новых видов продукции. В отличие от советских статистиков западные специалисты включали новую продукцию в индекс роста производства лишь после того, как она входила в серийное производство и устанавливались нормальные розничные цены. Указанные методологические особенности (заметим: это далеко не полный перечень различий) приводили к тому, что уровни макроэкономических показателей по советской статистике и по оценкам аналитиков ЦРУ были разными, и агрегированные данные ЦСУ оказывались сильно завышенными по сравнению с данными, полученными специалистами ЦРУ (там же, с. 134–135). Славкина заключает, что «до середины 1970-х годов сопоставление советских официальных данных и альтернативных данных ЦРУ США показывает сходство в оценках тенденций динамики развития советской экономики при совершенно разных уровнях основных показателей» (там же, с. 144–145), тогда как после 1978 г. наблюдаются резкие расхождения в оценке динамики развития советской экономики. Иными словами, в рассматриваемый период мы можем считать исследуемые данные советской статистики условно достоверными.

Таким образом, после смерти Сталина приходит постепенное осознание невозможности восстановить сельское хозяйство старыми методами. Однако новые способы при росте налогов оказываются чрезвычайно радикальными, а их последствия – непродуманными, а в долгосрочной перспективе – разрушительными, от которых не спасли даже

<sup>16</sup> Рассчитано по: Народное хозяйство СССР в 1965 г. (Статистический ежегодник) (см. сайт: Исторические материалы ([http://istmat.info/files/uploads/26603/narhoz\\_ssr\\_1965\\_sh.pdf](http://istmat.info/files/uploads/26603/narhoz_ssr_1965_sh.pdf))).

хрущевские «сверхпрограммы». Население выручало только личное подсобное хозяйство, но по отношению к нему политика партии была весьма противоречивой, ограничивалась сиюминутными интересами в ущерб долгосрочному планированию, что привело к закономерным отрицательным последствиям уже к концу хрущевского правления.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Андреенков С.Н.** (2006). Целинное земледелие Западной Сибири во второй половине 1950-х – начале 1960-х гг. В сб.: «Аграрное развитие и продовольственная безопасность России в XVIII – XX веках». Г.Е. Корнилов (глав. ред.). Оренбург: Издательство ОГПУ. С. 161–163. [*Andreenkov S.N. (2006). Virgin lands campaign in Western Siberia in the second half of 1950 – beginning of 1960s. In: Agrarian development and food safety of Russia in XVIII – XX cc. G.E. Kornilov (chief ed.). Orenburg: Izdatel'stvo OGPU, 161–163 (in Russian).*]
- Безнин М.А., Димони Т.М.** (2004). Аграрный строй России в 1930–1980-е гг. Доклад на ученым совете Института российской истории РАН 18 марта 2004 г. В: «Сборник научных работ к 50-летию Михаила Алексеевича Безнина. Проблемы экономической и социальной истории: общероссийский и региональный аспекты (XIX – XX вв.)». Вологда: Русь. С. 13–24. [*Beznin M.A., Dimoni T.M. (2004). Agricultural regime in Russia in 1930–1980s. Report on the Scientific Council of the Institute of Russian History of RAS (18th of March, 2004). In: Collection of researches to 50th anniversary of Mikhail Alexeevich Beznin. Problems of economic and social history: All-Russian and regional aspects (XIX – XX cc.). Vologda: Rus', 13–24 (in Russian).*]
- Венжер В.Г.** (1966). Колхозный строй на современном этапе. М.: Экономика. [*Venzher V.G. (1966). Kolkhoz regime nowadays. Moscow: Ekonomika (in Russian).*]
- Вербицкая О.М.** (2009). Российская сельская семья в 1897–1959 гг. (историко-демографический аспект). М., Тула: Гриф и К. [*Verbitskaya O.M. (2009). Russian village family in 1897–1959: Historical and demographical study. Moscow, Tula: Grif i K (in Russian).*]
- Воркунов С.А.** (1980). Ленинский кооперативный план и его осуществление в СССР. М.: Просвещение. [*Vorkunov S.A. (1980). Lenin's cooperative plan and its realization in the USSR. Moscow: Prosveshchenie (in Russian).*]
- Димони Т.М.** (2004). Роль сельского хозяйства в формировании валового продукта и национального дохода России и СССР в 1930–1980-е гг. В: «Сборник научных работ к 50-летию Михаила Алексеевича Безнина. Проблемы экономической и социальной истории: общероссийский и региональный аспекты (XIX – XX вв.)». Вологда: Русь. С. 181–187. [*Dimoni T.M. (2004). Role of agriculture in the production of the gross output and national income of Russia and the USSR in 1930–1980s. In: Collection of researches to 50th anniversary of Mikhail Alexeevich Beznin. Problems of economic and social history: all-Russian and regional aspects (XIX – XX cc.). Vologda: Rus', 181–187 (in Russian).*]

- Дрындин В.Л.** (2006). Село как объект постоянных реорганизаций в период «оттепели». В сб.: «Аграрное развитие и продовольственная безопасность России в XVIII – XX веках». Г.Е. Корнилов (глав. ред.). Оренбург: Издательство ОГПУ. С. 209–215. [Dryndin V.L. (2006). Village as an object for constant reorganizations during “Ottepeli”. In: *Agrarian development and food safety of Russia in XVIII – XX cc.* G.E. Kornilov (chief ed.). Orenburg: Izdatel'stvo OGPPU, 209–215 (in Russian).]
- Есешкин М.М.** (2007). Основные направления государственной деятельности Н.С. Хрущева (1953–1964 гг.): историческое исследование. Автореф. на соискание уч. степени к.и.н. М.: РГСИ. [Eseshkin M.M. (2007). *Basic directions of N.S. Khrushchev's statehood: Historical research.* Abstract of thesis for the Cand. Sc. (History) dissertation. Moscow: RGSI (in Russian).]
- Жиромская В.Б.** (2012). Основные тенденции демографического развития России в XX веке. М.: Кучково поле. [Zhiromskaya V.B. (2012). *Main tendencies of the demographic development of Russia in the 20<sup>th</sup> century.* Moscow: Kuchkovo pole (in Russian).]
- Зеленин И.Е.** (1999). Характерная страница аграрной истории России (как решалась зерновая проблема при Н.С. Хрущеве). В кн.: «Куда идет Россия? Кризис институциональных систем: Век, десятилетие, год». Т.И. Заславская (общ. ред.). М.: Логос. С. 90–97. [Zelenin I.E. (1999). Typical page of the agrarian history of Russia (how the grain problem was solved under N.S. Khrushchev). In: *Where does Russia go? Crisis of institutional systems: Century, decade, year.* T. I. Zaslavskaya (gen. ed.). Moscow: Logos, 90–97 (in Russian).]
- Зеленин И.Е.** (2000). Аграрная политика Н.С. Хрущева и сельское хозяйство. В кн.: «Труды Института российской истории РАН. 1997–1998 гг.». Вып. 2. М.: ИРИ. С. 394–412. [Zelenin I.E. (2000). Agrarian policy of N.S. Khrushchev and agriculture. In: *Works of the Institute of Russian history of the RAS. 1997–1998. Vol. 2.* Moscow: IRI, 394–412 (in Russian).]
- Зеленин И.Е.** (2001). Аграрная политика Н.С. Хрущева и сельское хозяйство. М. ИРИ РАН. [Zelenin I.E. (2001). *Agrarian policy of N.S. Khrushchev and agriculture.* Moscow: IRI RAN (in Russian).]
- Коммунистическая партия Советского Союза в резолюциях и решениях съездов, конференций и пленумов ЦК (1985). 9-е изд. Т. 7. М.: Издательство политической литературы. [*CPSU in Resolutions and Decisions of Congresses, Conferences and Plenums of TsK* (1985). 9th ed. Vol. 7. Moscow: Publishing house of political literature (in Russian).]
- Кудров В.М.** (1997). Советская экономика в ретроспективе. Опыт переосмыслиния. М.: Наука. [Kudrov V.M. (1997). *Soviet economy in retrospective. Experience of re-thinking.* Moscow: Nauka (in Russian).]
- Кущетов Р.М.** (1997). Аграрная политика Советского государства 1917–1991 гг. (на материалах Северо-Кавказского региона). Автореф. на соискание уч. степени д.и.н. М.: МГОПУ. [Kushchetov R.M. (1997). *Agrarian policy of the Soviet State 1917–1991 (based on the materials of Northern Caucasus Region).* Abstract of thesis for the Cand. Sc. (History) dissertation. Moscow: MGOPU (in Russian).]

- Маленков Г.М.** (1953). Речь на пятой сессии Верховного Совета СССР 8 августа 1953 г. М.: Gospolitizdat. [**Malenkov G.M.** (1953). *Speech on the 5<sup>th</sup> Session of the Supreme Soviet of the USSR. 8<sup>th</sup> of August, 1953.* Moscow: Gospolitizdat (in Russian).]
- Мемуары Н.С. Хрущева (1992) // *Вопросы истории.* № 11–12. С. 65–85. [Memoirs of N.S. Khrushchev (1992). *Voprosy Istorii*, 11–12, 65–85 (in Russian).]
- Мотревич В.П.** (2009). Зерновое производство на Урале в послевоенные годы (1946–1965). В кн.: «Аграрная экономика в контексте российских модернизаций XIX–XX веков: эволюция и кризисы. Сборник статей». Оренбург: Издательство ГУ «РЦРО», 226–232. [**Motrevich V.P.** (2009). *Grain production on the Urals in the post-war period (1946–1965).* In: *Agrarian economy in the context of Russian modernizations of XIX – XX cc.: evolution and crises. Collection of articles.* Orenburg: Izdatel'stvo GU "RTsRO", 226–232 (in Russian).]
- Надыргалиева М.К., Аrozмагамбетова Д.Б.** (2009). Последствия освоения целинных и залежных земель в Казахстане. В: «Аграрная экономика в контексте российских модернизаций XIX–XX веков: эволюция и кризисы. Сборник статей». Оренбург: Издательство ГУ «РЦРО». С. 239–242. [**Nadyrgalieva M.K., Arozmagambetova D.B.** (2009). *Consequences of virgin lands cultivation in Kazakhstan.* In: *Agrarian economy in the context of Russian modernizations of XIX – XX cc.: Evolution and crises. Collection of articles.* Orenburg: Izdatel'stvo GU "RTsRO", 239–242 (in Russian).]
- Никита Сергеевич Хрущев: два цвета времени. Документы из личного фонда Н.С. Хрущева (2009). Т. 2. М.: Международный фонд «Демократия». [*Nikita Sergeevich Khrushchev: Two colours of time. Documents from personal collection of N.S. Khrushchev* (2009). Vol. 2. Moscow: International Foundation "Demokratiya" (in Russian).]
- Никонов А.А.** (1995). Спираль многовековой драмы: аграрная наука и политика России (XVIII–XX вв.). М.: Энциклопедия российских деревень. [**Nikonov A.A.** (1995). *Spiral of the many-centuries drama: Agrarian science and politics of Russia (XVIII–XX cc.).* Moscow: Entsiklopediya rossiiskikh dereven' (in Russian).]
- Пахомова Е.В.** (2006). О механизме привлечения рабочей силы в районы освоения целинных и залежных земель. В кн.: «Аграрное развитие и продовольственная безопасность России в XVIII – XX веках: сб. статей». Г.Е. Корнилов (гл. ред.). Оренбург: Издательство ОГПУ, 301–308. [**Pakhomova E.V.** (2006). On how to attract labour forces to the regions of virgin lands. In: *Agrarian development and food safety of Russia in XVIII–XX cc.* G.E. Kornilov (chief ed.). Orenburg: Izdatel'stvo OGPU, 301–308 (in Russian).]
- Пихоя Р.Г.** (1998). Советский Союз: история власти. 1945–1991. М.: Издательство РАГС [**Pikhoya R.G.** (1998). *Soviet Union: History of power. 1945–1991.* Moscow: Publishing house of RAGS (in Russian).]
- Региональная политика Н.С. Хрущева. ЦК КПСС и местные партийные комитеты. 1953–1964 гг. (2009). О.В. Хлевнюк, М.Ю. Прозуменщикова,

- В.Ю. Васильев и др. (составители). М., РОССПЭН. [Regional policy of N. S. Khrushchev. Central Committee of the CPSU and local party committees. 1953–1964 (2009). O.V. Khlevnyuk, M.Yu. Prozumenshchikov, V.U. Vasil'ev et al. (comp.). Moscow: ROSSPEN (in Russian).]
- Рогалина Н.Л.** (2010). Власть и аграрные реформы в России XX века. Учебное пособие. М.: Энциклопедия российских деревень. [Rogalina N.L. (2010). Authorities and agrarian reforms in Russia of 20th century. Text-book. Moscow: Entsiklopediya rossiiskikh dereven' (in Russian).]
- Рогалина Н.Л., Конышев Д.Н.** (2006). К вопросу об оценке аграрного реформирования Н.С. Хрущева. В кн.: «Аграрное развитие и продовольственная безопасность России в XVIII – XX веках: сб. статей». Г.Е. Корнилов (гл. ред.). Оренбург: Издательство ОГПУ, 286–292. [Rogalina N.L., Konyshev D.N. (2006). On the estimation of N.S. Khrushchev's agrarian reform. In: Agrarian development and food safety of Russia in XVIII – XX cc. G.E. Kornilov (chief ed.). Orenburg: Izdatel'stvo OGPU, 286–292 (in Russian).]
- Русинов И.В.** (1988). Аграрная политика КПСС в 50-е – первой половине 60-х годов: опыт и уроки // Вопросы истории КПСС. № 9. С. 35–49. [Rusinov I.V. (1988). Agrarian policy of CPSU in 1950 – first half of 1960s: Experience and lessons. Voprosy Istorii KPSS, 9, 35–49 (in Russian).]
- Славкина М.В.** (2003). Сравнительный анализ динамики развития народного хозяйства СССР в 1950-х – 1980-х гг. (по данным советской официальной статистики и данным ЦРУ США). В кн.: «Экономическая история. Обозрение». Л.И. Бородкин (ред.). Вып. 9. М.: МГУ, 132–145. [Slavkina M.V. (2003). Comparative analysis of the dynamics of the USSR national economy development in 1950–1980s (based on CSD of the USSR and CIA of the USA data). In: Borodkin L.I. (ed.). Economic history. Review, 9. Moscow: MSU, 132–145 (in Russian).]
- Томилин В.Н.** (2006). МТС в аграрной политике Н.С. Хрущева (1953–1958 гг.) В кн.: «Аграрное развитие и продовольственная безопасность России в XVIII – XX веках: сб. статей». Г.Е. Корнилов (гл. ред.). Оренбург: Издательство ОГПУ, 364–369. [Tomilin V.N. (2006). MTS in agrarian policy of N.S. Khrushchev. In: Agrarian development and food safety of Russia in XVIII – XX cc. G.E. Kornilov (chief ed.). Orenburg: Izdatel'stvo OGPU, 364–369 (in Russian).]
- Тюрина А.П.** (1982). Социально-экономическое развитие советской деревни, 1965–1980. М.: Мысль [Tyurina A.P. (1982). Social and economic development of the Soviet village, 1965–1980. Moscow: Mysl' (in Russian).]
- Ханин Г.** (1991). Динамика экономического развития СССР. Новосибирск: Наука [Khanin G. (1991). Dynamics of economic development of the USSR. Novosibirsk: Nauka (in Russian).]
- Ханин Г.И.** (2008). Экономическая история России в новейшее время. Монография: в 2 т. Т.1. Экономика СССР в конце 1930-х годов – 1987 г. Новосибирск. НГТУ. [Khanin G.I. (2008). Economic history of Russia in the contemporary period. Monograph. Vol. 1. "Economy of the USSR in the late 1930s – 1987". Novosibirsk: NGTU (in Russian).]

- Хрущев Н.С.** (1962). Строительство коммунизма в СССР и развитие сельского хозяйства. Т. 1. М.: Госполитиздат [N.S. Khrushchev (1962). *Construction of communism in the USSR and development of agriculture*. Vol. 1. Moscow: Gospolitizdat (in Russian).]
- Чайка Е.А.** (2017). Социально-экономическая политика советского государства на селе в 1945–1965 гг. М.: Библио-Глобус. [Chaika E.A. (2017). *Social and economic policy of the Soviet State in the village in 1945–1965*. Moscow: Biblio-Globus (in Russian).]
- Hedlund S.** (1984). *Crisis in Soviet agriculture*. London: Croom Helm.
- McCauley M.** (1995). *The Khrushchev Era: 1953–1964*. London: Longman.
- Tauger M.B.** (2006). Modernisation in Soviet Agriculture. In: *Modernisation in Russia since 1900*. Studio Fennica Historica 12. Helsinki, Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, 84–103.
- Wegren S.K.** (1998). *Agriculture and the state in Soviet and post-Soviet Russia*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Yanov A.** (1989). In the grip of the adversarial paradigm: The case of Nikita Sergeevich Khrushchev in retrospect. In: *Reform in Russia and the USSR*. Urbana, Chicago: University of Illinois, 156–181.

*Поступила в редакцию 27.02.2020*

*Received 27.02.2020*

**A.A. Rakov**

National Research University “Higher School of Economics”; Institute of Russian History, the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

## **Priorities of the Soviet agrarian policy in 1953–1964 and attempts to overcome Stalin’s disbalance in agriculture**

**Abstract.** We discuss the following questions: what the party and state agricultural policy was like, what problems it caused and the priorities of development. Step by step the conditions for reconstruction of the Soviet agriculture in a historical context are considered. Besides, concrete Khrushchev’s strides – so called three “super-programs”, namely – virgin lands campaign, corn epopee and “to catch up with America and outstrip it”. Moreover, attempts to get rid of agrarian problems in 1953–1964 and final statistics of gross output of agricultural products are analyzed. As the analysis of documents shows, abolishing of MTS became ineffective and led to the conditions of buyout of all equipment by kolkhozes that resulted in increase of their debts and their gradual devastation. Real per capita measures dethrone the common positive trend. As an exception from such positive tendency we have a year of 1963 which is clearly out, because in fact there was exhaustion of the extensive potential of grain production and tragic summer drought which brought to the failure of grain procurements and became crucial for livestock sector because of that. Subsequent failures in attempts to “feeding people” and provide stable development of agriculture were the reasons for an outflow of teenagers from a village to a city.

**Keywords:** N. Khrushchev, G. Malenkov, reforms, MTS, gross output, grain problem, personal household.

JEL Classification: N44, P21, P26, Q18.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-7

# Горячая тема



## **Круглый стол:** **Е.В. Бессонова**

Рыночный отбор  
и производительность  
российских компаний

**А.Н. Цветкова**

Рост производительности и выход  
неэффективных предприятий  
с рынков

**И.В. Савин**

Изучение рыночного отбора в России  
и мире: проблемы измерения,  
национальная специфика и методы  
стимулирования

**Ю.В. Симачев**

**М.Г. Кузык**

**А.А. Федюнина**

**М.А. Юревич**

Производительность труда  
в российских компаниях: как  
содействовать устойчивому росту

**Х. Блёхлигер**

**Л. Вильднерова**

Производительность российских  
фирм: семь фактов

**Е.В. Бессонова**

Банк России, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва

**А.Н. Цветкова**

Банк России, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва

## **Рост производительности и выход неэффективных предприятий с рынков<sup>1</sup>**

**Аннотация.** Производительность во многих отраслях российской экономики на агрегированном уровне ниже, чем в развитых странах. Низкий уровень производительности в значительной степени обусловлен увеличением в большинстве отраслей разрыва в эффективности между компаниями-лидерами и большой группой низкопроизводительных предприятий. Среди низкопроизводительных предприятий догоняющий импульс сосредоточен в небольшой группе молодых и быстрорастущих предприятий. В последние годы таких предприятий было недостаточно для сокращения общей неоднородности производительности. Если в российской экономике отпугивающий эффект кризиса, спровоцированного пандемией коронавирусной инфекции, будет преобладать и число новых предприятий с потенциалом роста будет сокращаться, то проблема уже существующей неоднородности в уровнях производительности предприятий и отсутствия догоняющего роста у большинства низкопроизводительных предприятий может усугубиться. Для решения проблемы повышения темпов роста производительности необходимы согласованная экономическая политика, стимулирующая развитие конкуренции, повышение уровня образования населения и мобильности на рынке труда, выход российских компаний на внешние рынки и встраивание в цепочки добавленной стоимости, выход фирм из неформального сектора, инновационную деятельность предприятий и адаптацию новых технологий, доступность финансирования, особенно для малого и среднего бизнеса.

**Ключевые слова:** *созидательное разрушение, разрыв в уровне производительности предприятий, конвергенция.*

Классификация JEL: D24, E22, O47.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-8

### **Введение**

Долгосрочный рост экономики во многом обусловлен динамикой производительности факторов производства. После финансового кризиса 2008 г. наблюдается замедление темпов роста производительности труда как в развитых, так и в развивающихся странах. В экономической науке еще не сложился устойчивый консенсус об основных причинах замедления роста производительности. Однако ряд исследований выявляет одинаковую тенденцию в странах с разным уровнем развития – увеличение разрыва в производительности между лидерами и остальными предприятиями в отдельных отраслях, что приводит к снижению темпов роста производительности труда на агрегированном уровне, несмотря на существование группы быстро растущих пред-

приятий в каждой отрасли. Многие эксперты высказывают мнение, что именно процессы, связанные с замедлением выхода неэффективных предприятий с рынков, приводят к снижению темпов роста производительности на агрегированном уровне (Cunningham et al., 2017; Andrews, Criscuolo, Gal, 2016).

При этом не существует однозначного мнения о том, какие факторы определяющим образом влияют на замедление числа входов на рынок новых предприятий и выходов неэффективных фирм, т.е. снижение эффективности процесса созидательного разрушения (*creative destruction*). В ряде исследований авторы находят, что в связи с развитием новых технологий меняется структура конкуренции, особенно это касается сферы услуг. Сложность

<sup>1</sup> Содержание настоящей статьи выражает личную позицию авторов и может не совпадать с официальной позицией Банка России. Банк России не несет ответственности за содержание статьи.

новых технологий и увеличение стоимости инновационной деятельности замедляет процессы копирования лучших практик менее эффективными предприятиями, и они уже не могут догнать лидеров в отрасли (Akcigit, Ates, 2019).

Другие исследователи находят важными институциональные факторы, которые способствуют поддержанию неэффективных компаний. Среди таких факторов выделяют слабую конкуренцию на рынках, в том числе локальных, незашщищенные права собственности, неразвитую систему банкротства предприятий, проблемы, связанные с выходом на внешние рынки (Andrews, Criscuolo, Gal, 2016; Gamberoni, Giordano, Lopez-Garcia, 2016). Старые низкоС производительные предприятия не растут и не увеличивают своей доли на рынке, но при этом труд и капитал оказываются заблокированными в этих неэффективных производствах, что существенно затрудняет вход на рынок новых предприятий с потенциалом роста.

Также существуют исследования о доступности кредитования для неэффективных предприятий в период беспрецедентно низких процентных ставок. При низких ставках кредитов и слабом экономическом росте банкам оказывается невыгодно добиваться ликвидации неэффективных предприятий, и они продолжают длительное время реструктурировать задолженности этих предприятий (Gopinath et al., 2017; Aghion et al., 2019). Таким образом, в течение продолжительного времени неэффективные предприятия остаются на рынке при том, что потенциально более производительные предприятия не имеют возможности организовать новое производство.

В российской экономике также наблюдается увеличение разрыва между наиболее эффективными предприятиями и всеми остальными компаниями в отдельных отраслях. В каждой отрасли доля неэффективных предприятий оказывается достаточно высокой. Согласно нашим исследованиям, можно выделить две проблемы роста производительности российских предприятий. Во-первых, отсутствуют стимулы выхода с рынков неэф-

фективных предприятий. Во-вторых, потенциал роста молодых быстрорастущих компаний быстро исчерпывается.

Основные тренды в динамике производительности в России отражают мировые тенденции:

- увеличивается разрыв между лидерами и отстающими предприятиями;
- неэффективные предприятия не уходят с рынков.

Но одновременно можно выделить факты, специфичные именно для российской экономики:

- темпы догоняющего роста производительности у предприятий в российской экономике ниже, чем в развитых странах;
- у новых предприятий происходит замедление роста уже после первых двух лет с момента появления на рынке;
- среди предприятий-лидеров вероятность выхода с рынка оказывается выше, чем у других групп компаний по уровню производительности.

В целом в этих тенденциях можно уловить признаки того, что не работают базовые рыночные механизмы и процесс созидательного разрушения, т.е. выхода с рынков неэффективных игроков, существенно замедлен. Это приводит к тому, что, с одной стороны, существующие фирмы не растут, хотя продолжают оставаться на рынке, а с другой стороны, создаются дополнительные барьеры для входа на рынок новых предприятий с потенциалом роста. В результате в последние годы в российской экономике наблюдается замедление темпов роста производительности на агрегированном уровне по сравнению с восстановительными темпами роста после финансового кризиса 2008 г.

Пандемия коронавирусной инфекции может усилить негативные тренды в динамике производительности. С одной стороны, кризис, обусловленный пандемией, как и любой экономический кризис, приведет к выходу с рынков наиболее неэффективных компаний. С другой стороны, по мнению экспертов (см., например, (OECD, 2020)), пострадают

именно стартапы, которые обладают потенциалом роста, но пока еще не успели укрепить свои позиции на рынке. Если второй эффект будет преобладать, то кризис, связанный с пандемией, окажет сильное отрицательное влияние на долгосрочные тренды в динамике производительности.

Решение проблемы роста производительности и выхода с рынка неэффективных предприятий является системной задачей, так как многие факторы, включая уровень конкуренции, доступность кредитования, защиту прав собственности, процедуры банкротства и регистрации новых предприятий, доступ к государственным закупкам, могут влиять как на рост более эффективных предприятий, так и на выход с рынков отстающих фирм. Улучшение экономической ситуации само по себе не сможет упразднить все барьеры, которые ограничивают рост производительности на эффективных предприятиях. Для этого нужна последовательная экономическая политика, направленная на развитие конкуренции, включая локальные рынки, и поддержку выхода отечественных компаний на экспортные рынки, а также реформы, направленные на упрощение процедур банкротства и регистрации предприятий. Кроме того, коррупция и защита региональных рынков местными органами власти также отрицательно влияют на процессы выхода неэффективных предприятий с региональных рынков, увеличивая неопределенность при принятии решений.

### 1. Разрыв в производительности между лидерами в отрасли и остальными фирмами

Согласно недавним исследованиям (Бессонова, 2018) в России наблюдается значительный разрыв между уровнями производительности труда в наиболее и наименее эффективных предприятиях, даже в рамках детализированного перечня отраслей<sup>2</sup>. Такая неоднородность производительности характерна не только для России, но и для других

стран. Как показано в (Svystrova, 2011), существенный разброс между уровнями производительности отмечается не только в странах с формирующими рынками, но и в развитых странах, например в США.

В (Andrews et al., 2016) авторы показывают, что в странах ОЭСР разрыв между компаниями в производительности увеличивается. Это происходит за счет того, что лидеры производительности растут быстрее. Тогда как остальные фирмы либо растут медленнее, либо стагнируют (рис. 1). При этом компании-лидеры в сфере услуг в странах ОЭСР развиваются более динамично, чем в обрабатывающей промышленности. Результаты, полученные по России, отличаются от представленных в исследованиях по другим странам, главным образом характером изменения производительности в группах лидеров и прочих предприятий. В России, как и в странах ОЭСР, увеличивается разрыв между наиболее и наименее эффективными предприятиями. В то же время в России совокупная производительность факторов СФП предприятий сферы услуг снижается. Кроме того, совокупная производительность факторов на предприятиях, не входящих в число лидеров, устойчиво снижается, в то время как в развитых странах она росла после кризиса 2008 г., хотя и невысокими темпами (рис. 2).

Существует два основных подхода к анализу сходимости уровней производительности



Рис. 1

Накопленные темпы роста производительности труда в отраслях стран ОЭСР по группам эффективности

Источник: Andrews et al., 2016.

<sup>2</sup> Для выделения отраслей используется подробный классификатор ОКВЭД, как правило, на уровне трех–четырех знаков, а в ряде случаев – на уровне пяти или шести знаков. Всего в исследовании рассматриваются 173 отдельные отрасли.

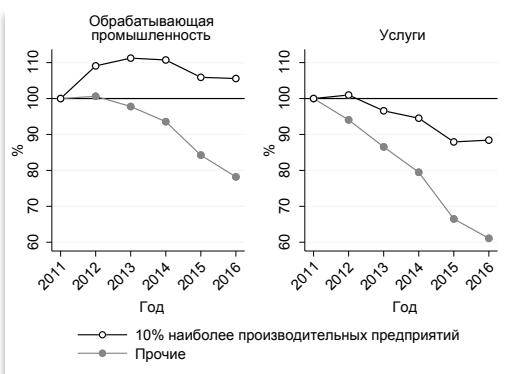


Рис. 2

*Накопленные темпы роста СФП в российских отраслях по группам эффективности*

*Источник:* Бессонова и др., 2020.

**Примечание.** В расчеты включены предприятия обрабатывающей промышленности и сферы услуг (без учета финансового сектора). В качестве показателя выпуска используется добавленная стоимость, рассчитанная как сумма выручки, уменьшенной на себестоимость, и затрат на оплату труда.

предприятий. При первом подходе рассматривается динамика дисперсии производительности в течение определенного периода (сигма-кон/дивергенция). С позиций этого похода в странах ОЭСР (Berlingieri, Blanchemay, Criscuolo, 2017) и в России наблюдается сигма-дивергенция, поскольку дисперсия уровней производительности увеличивается.

При втором подходе сравнивается рост производительности на фирмах с разным исходным уровнем производительности. Если производительность низкоэффективных предприятий растет быстрее, чем производительность более эффективных предприятий, то говорят, что происходит бета-конвергенция. Иными словами, темпы роста производительности положительно коррелируют с начальным расстоянием до границы производственных возможностей.

Во многих исследованиях динамики производительности на основе анализа данных предприятий авторы находят бета-конвергенцию. Как показано в (Andrews et al., 2016; Cette, Corde, Lecat, 2018), корреляция между



Рис. 3

*Сравнение скорости бета-конвергенции в различных исследованиях*

*Источник:* Cette, Corde, Lecat, 2018; Bessonova, Tsvetkova, 2019.

темпами роста производительности труда и расстоянием до наиболее эффективных предприятий положительная. Предприятия, у которых производительность ниже (отставание от границы производственных возможностей больше), растут в среднем быстрее.

Регрессионный анализ на российских данных<sup>3</sup> показывает, что связь между темпами роста производительности и расстояния до границы производственных возможностей положительная, что подтверждает наличие бета-конвергенции, однако ее темпы ниже, чем в других странах (рис. 3).

Низкие темпы бета-конвергенции обусловлены тем, что догоняющий импульс сосредоточен в группе предприятий, которые только входят на рынок. В течение первых лет жизни производительность быстро растет, однако спустя 1–2 года догоняющий рост исчерпывается. Доля таких быстрорастущих молодых предприятий невелика. Кроме того, среди компаний, которые уже давно находятся на рынке, много таких предприятий, чья производительность не растет или снижается (рис. 4).

Таким образом, поскольку движущей силой бета-конвергенции является небольшая группа компаний, их догоняющего импульса

<sup>3</sup> В рамках анализа бета-конвергенции в российских отраслях мы разделили выборку на 173 отрасли, стараясь объединить отрасли с однородными производственными процессами. В каждой отрасли мы определяем границу производственных возможностей как медиану производительности труда среди 5% наиболее производительных компаний.

оказывается недостаточно, чтобы все низко-производительные предприятия сокращали отставание от наиболее эффективных компаний. Напротив, наблюдается увеличение разрыва между наиболее и наименее эффективными предприятиями.

Анализ на основе оценок стохастической границы производственных возможностей (которая определяется как максимально возможный уровень выпуска при заданном уровне используемых ресурсов) также показы-

вает, что в 139 из 173 отраслей наблюдается увеличение расстояния до границы производственных возможностей (рис. 5). В остальных отраслях отсутствует статистически значимая тенденция роста или уменьшения расстояния до границы производственных возможностей. Другими словами, в большинстве отраслей нарастает отставание от наиболее производительных компаний. Это также свидетельствует об увеличивающейся неоднородности производительности в рамках даже узко определенных отраслей.

Одной из причин существования большого разрыва между уровнями производительности предприятий в отрасли может быть высокая неоднородность регионов. Компании могут действовать только на локальном рынке, сталкиваясь с препятствиями, затрудняющими переход с регионального на общероссийский или международные рынки. Поэтому, несмотря на принадлежность к одной отрасли, менее эффективные предприятия не имеют возможности перенимать успешный опыт более производительных компаний. Они взаимодействуют только с локальными конкурентами, которые могут быть столь же неэффективными. Таким образом, сохраняется значитель-

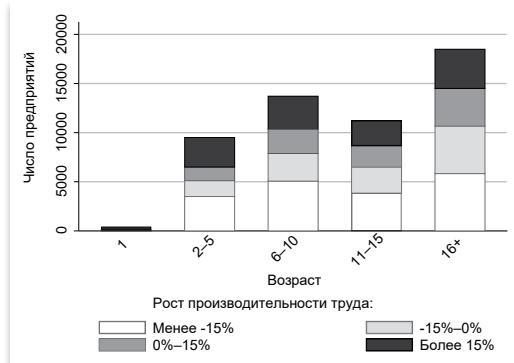


Рис. 4

Число компаний по возрасту и темпам роста производительности

*Источник:* расчеты авторов на основе базы данных RUSLANA.

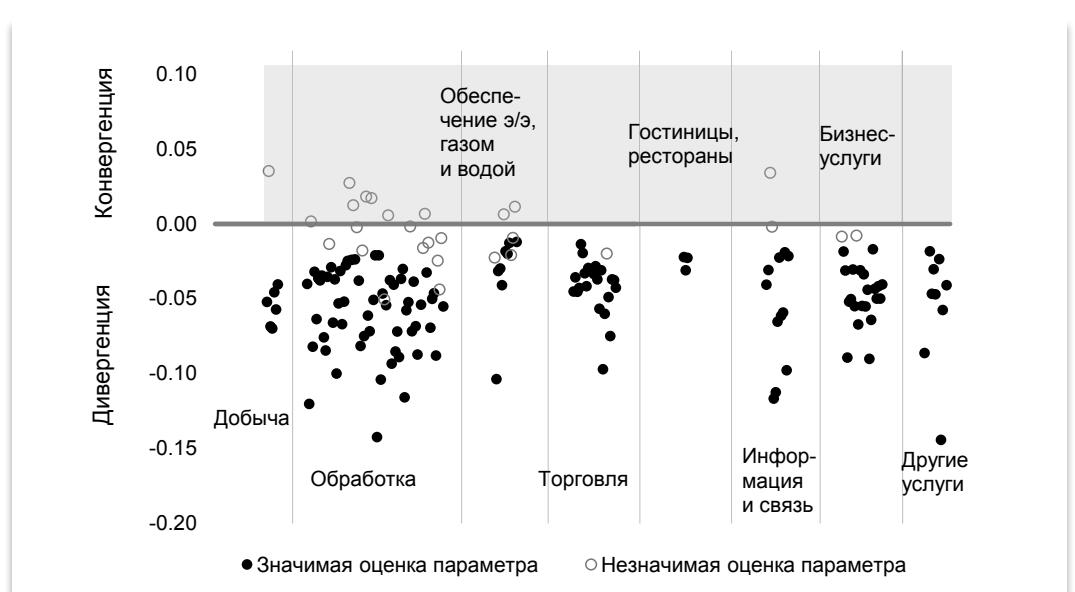
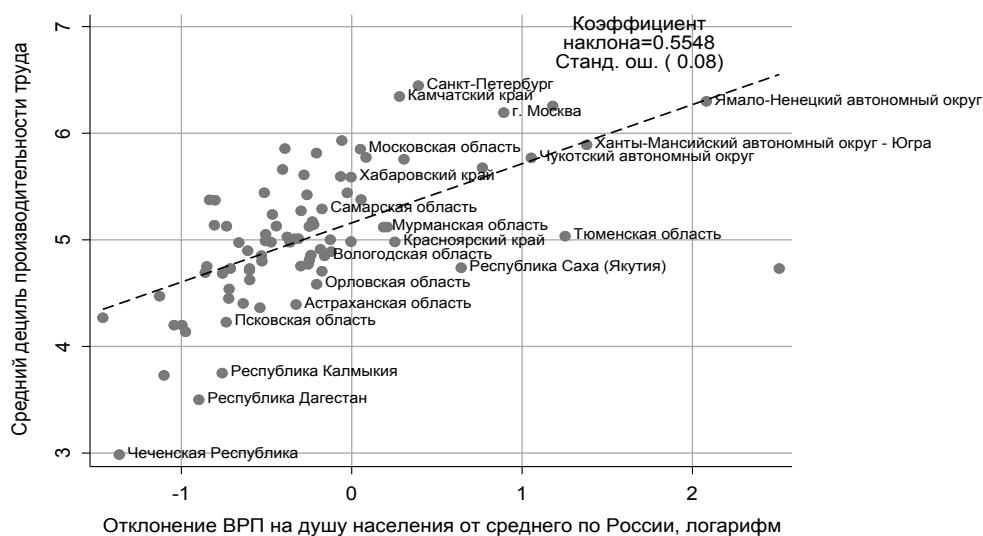


Рис. 5

Оценки параметров сходимости на основе стохастической границы производственных возможностей

*Источник:* Bessonova, Tsvetkova, 2019.

**Рис. 6**

*Положительная связь между относительным ВРП региона и средним относительным уровнем производительности труда предприятий в регионе*

*Источник:* Bessonova, Tsvetkova, 2019.

ный разрыв в уровнях производительности, поскольку низкопроизводительные предприятия не приближаются к границе производственных возможностей.

Положительная связь между ВРП на душу населения и усредненным по всем предприятиям этого региона децилем производительности иллюстрирует тот факт, что эффективные предприятия с большей вероятностью располагаются в экономически более развитых регионах (рис. 6). Можно предположить, что региональные различия существенно влияют на скорость приближения отстающих предприятий к границе производственных возможностей.

## 2. Инновации, доступность кредитования и рост производительности

Увеличение разрыва в уровне производительности между лидерами и всеми остальными предприятиями в отрасли в экономической литературе часто объясняют тем, что в последние годы инновационная активность требует все более значительных финансовых ресурсов, копирование нововведений у лиде-

ров становится все более сложным и дорогостоящим процессом. С одной стороны, финансировать прорывные инновации только из собственных средств оказывается невозможным. С другой стороны, фирмы, опирающиеся на внешнее финансирование, менее устойчивы к шокам.

В экономических исследованиях подтверждается положительная связь между доступом к финансированию и ростом производительности (Rajan, Zingales, 1998). Анализ последствий финансового кризиса 2008 г. также показывает, что кризис отрицательно повлиял на рост производительности (Duval, Hong, Timmer, 2020; Besley, Roland, Reenen, 2018; Manaresi, Pierri, 2019).

При этом если функционирование финансовых рынков неоптимально и возникают различного вида препятствия доступу к внешнему финансированию у фирм с потенциалом роста, то объемы инвестиций в инновационную активность будут ниже и влияние доступности кредитования на рост производительности будет не так очевидно проявляться в такой экономической системе (Aghion et al., 2010).

Другой непрямой эффект от несовер-

шенства финансовых рынков заключается в том, что слишком легкий доступ к дешевым кредитам и склонность банков к реструктуризации долгов низкоэффективных предприятий в период финансового кризиса может привести к систематическому смещению ресурсов капитала в сторону более крупных, но необязательно наиболее производительных компаний (Gopinath et al., 2017) и замедлению выхода с рынков неэффективных предприятий (Aghion et al., 2019). Кроме того, несовершенство финансовых рынков может приводить к замедлению входа на рынки новых предприятий и недостаточным темпам внедрения новых технологий (Midrigan, Xu, 2014).

Анализ, основанный на опросных данных (Business Environment and Enterprise Performance Survey (BEEPS), раунд V), показывает, что российские предприятия недостаточно вовлечены в инновационную деятельность (рис. 7). Только 25% российских предприятий выводили на рынок новые продукты и 23,7% внедряли новые методы производства, причем, как правило, инновации заключаются в простом копировании уже существующих на рынке продуктов и методов организации производства. Доля российских предприятий, которые инвестировали в основные фонды, также не очень высока — 36,7%; причем в основном эти инвестиции направлялись из собственных средств предприятия. И только 18% из тех предприятий, у которых были инвестиции в основные фонды, привлекали для их финансирования банковские кредиты.

Данные BEEPS V также показывают, что большая доля фирм утверждает, что им не нужны средства для развития. Следовательно, нет внешних стимулов, которые бы влияли на инновационную активность предприятий и, как следствие, — на рост производительности в экономике в целом.

Различные опросы показывают, что, по мнению руководителей предприятий, ставки по кредитам на российском рынке достаточно высокие по сравнению с другими странами, поэтому мы не можем утверждать, что в российской экономике проблема «зомби-финансирования» может иметь такой же негативный эффект, как в развитых странах, которые в последние годы переживают длительный период нулевых процентных ставок. Однако на основе оценок данных BEEPS V (Bessonova, Tsvetkova, 2020), можно выделить следующие тенденции, более характерные для российских фирм:

- доступ к финансированию не показывает существенного положительного влияния на рост производительности;
- факт инновационной активности на предприятии не связан с ростом производительности в последующие годы; это свидетельствует о том, что инновации скорее связаны с простым копированием уже существующих на рынках товаров и услуг, а не с прорывными нововведениями в данной отрасли;
- лидеры выходят с рынка быстрее, чем компании с более низким уровнем производительности; эта тенденция силь-

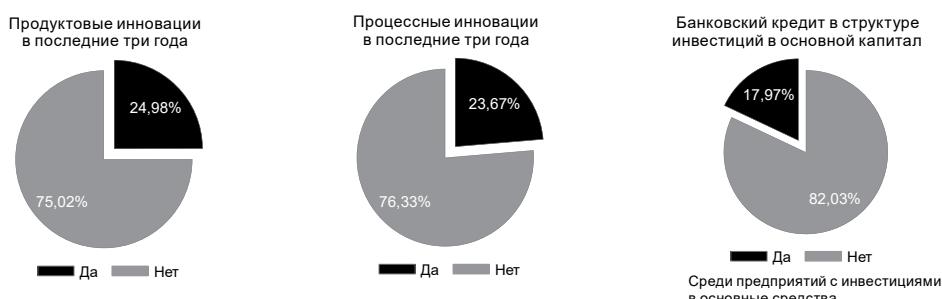


Рис. 7

*Инновации разных типов и финансирование инвестиций в основные фонды*

Источник: Bessonova, Tsvetkova, 2020.

нее выражена среди молодых фирм и фирм, которые привлекали внешнее финансирование.

Таким образом, новые предприятия с потенциалом роста с большей вероятностью будут испытывать проблемы с доступом к кредитам на развитие производства, а те, которые смогут привлечь внешние источники финансирования, окажутся менее устойчивыми к внешним шокам.

### **3. Влияние государственной собственности и системы государственных закупок на выход с рынков низкоПроизводительных компаний**

Доля государства в российской экономике остается достаточно высокой. Хотя число предприятий с государственным участием постепенно сокращается и общее число предприятий в государственной и муниципальной собственности, по данным Росстата, составляло в 2018 г. около 6%, в тоже время как на них работало 39% занятых. В ряде секторов государственные предприятия доминируют. Так, например, по оценкам ЦСР, на государственные предприятия приходилось больше 70% выпуска в добывающей промышленности, энергетике и транспорте (Center for Strategic Research, 2019).

В то же время сравнение показателей эффективности на частных и государственных предприятиях показывает, что частные компании на 7–8 процентных пункта ближе к границе производственной возможностей в своей отрасли, чем фирмы с участием государства, а рост совокупной производительности факторов в 2009–2016 гг. на частных предприятиях был выше на 0,5 процентных пункта (Bessonova, Gonchar, 2020).

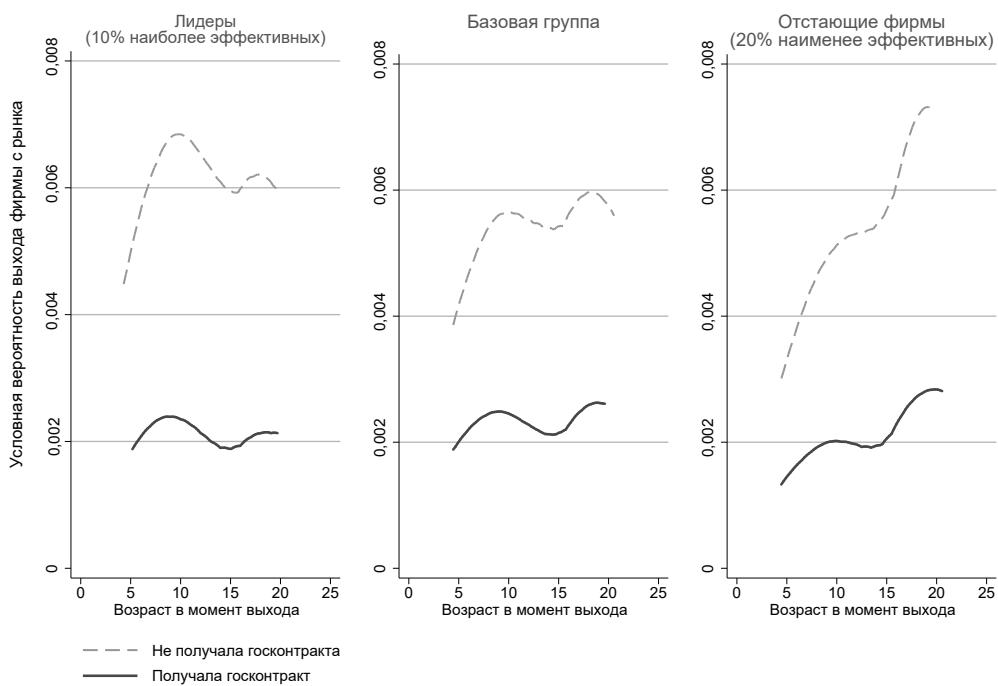
Помимо прямого управления предприятиями в собственности, государственная поддержка также может осуществляться через систему государственных закупок. С одной стороны, экономическая литература находит, что система государственных закупок в целом положительно влияет на экономическое развитие через увеличение спроса в экономике, осо-

бенно это важно для слаборазвитых регионов. С другой стороны, положительные эффекты могут быть неравномерно распределены между разными типами предприятий. Зачастую региональные органы власти стремятся поддерживать на рынке более крупные, но при этом не обязательно наиболее эффективные предприятия. Такой подход может решать часть социальных проблем в слаборазвитых регионах, однако позволяет низкоэффективным фирмам длительное время оставаться на рынке, что в долгосрочной перспективе приводит к снижению агрегированных темпов роста производительности за счет увеличения на рынке доли фирм, у которых производительность или падает, или растет, но очень низкими темпами.

В ряде исследований авторы находят, что в российской экономике предприятия, которые являются лидерами по производительности в своей отрасли, чаще выходят с рынков, чем фирмы с более низкими показателями эффективности (Cusolito, Grover, Goodwin, 2020; Bessonova, 2019). Это свидетельствует о том, что рыночные механизмы отбора наиболее эффективных игроков на рынке не функционируют оптимальным образом.

Одним из факторов может быть недостаточное развитие конкуренции, особенно на локальных рынках. Кроме того, вмешательство государства, например через систему государственных закупок в периоды слабого спроса, может отрицательно влиять на процессы созидательного разрушения, предоставляемые дополнительные стимулы для неэффективных предприятий оставаться на рынке. В работе (Bessonova, 2019) показано, что участие в государственных закупках существенно снижает вероятность выхода с рынка предприятий, независимо от их уровня эффективности, однако для отстающих предприятий этот эффект оказывается сильнее (рис. 8). В итоге низкоПроизводительные предприятия остаются на рынке существенно дольше, чем это происходило бы без поддержки через систему государственных закупок.

В период ухудшения внешнеполитической ситуации и введения санкций против ряда российских компаний, а также в периоды ослаб-

**Рис. 8**

Условные вероятности выхода с рынка фирм с разным уровнем эффективности в зависимости от участия в системе государственных закупок

Источник: Bessonova, 2019.

ления спроса на фоне кризиса усиливается роль системы государственных закупок – как фактора, стимулирующего развитие экономики. Однако если эта система непрозрачна и влияет на механизмы рыночного отбора, предоставляя преференции низкопроизводительным предприятиям, то использование государственных закупок как инструмента стимулирования спроса может в конечном счете привести к замедлению роста производительности в экономике.

#### 4. Выводы и рекомендации для экономической политики

Рост производительности – один из главных факторов экономического роста, а следовательно, и роста реальных доходов населения и снижения бедности. Однако в российской экономике во многих отраслях уровень производительности на агрегированном уровне ниже, чем в развитых странах. К тому же в последние годы наблюдается замедление темпов роста производительности. Как и в других

странах, эта тенденция обусловлена увеличением разрыва в эффективности между компаниями-лидерами и большой группой низкопроизводительных предприятий в каждой отдельно взятой отрасли. Наш анализ показывает, что среди низкопроизводительных предприятий догоняющий импульс сосредоточен в небольшой группе молодых и быстрорастущих предприятий. В последние годы таких предприятий было недостаточно для сокращения общей неоднородности производительности.

Вопрос высокой гетерогенности в российских отраслях приобрел особую актуальность в 2020 г. на фоне текущего экономического кризиса, спровоцированного пандемией коронавирусной инфекции. Специфика этого кризиса заключается в том, что он исключительно неоднородно влияет на отрасли экономики, а также на различные типы предприятий (Farhi, Baqaee, 2020).

Влияние любого экономического кризиса на более и менее производительные предприятия, как правило, имеет двойкий эффект.

С одной стороны, кризис ускоряет процесс ухода с рынка неэффективных предприятий (так называемое созидательное разрушение). С другой стороны, во время кризиса замедляется рост потенциально эффективных предприятий, не успевших укрепить свои позиции на рынке, а также уменьшается число входов на рынок новых игроков (так называемый «отпугивающий» эффект, (Ouyang, 2009)).

Если окажется, что в российской экономике «отпугивающий» эффект кризиса будет преобладать, то проблема уже существующей неоднородности в уровнях производительности предприятий и отсутствия догоняющего роста у большинства низкоС производительных предприятий может усугубиться. В этом случае уменьшится как число, так и перспективы роста молодых быстрорастущих предприятий, в наибольшей степени подверженных негативному влиянию кризиса (OECD, 2020).

Стимулирование темпов роста производительности является сложной и системной задачей, так как рост эффективности производства обусловлен сочетанием многих факторов, причем разнонаправленного влияния. Поэтому в разных сферах должна разрабатываться согласованная экономическая политика: развитие конкуренции, повышение уровня образования и мобильности на рынке труда, поддержка выхода на внешние рынки и встраивание в цепочки добавленной стоимости отечественных компаний, стимулирование выхода предприятий из теневого сектора (налоговая политика), поддержка инновационной деятельности фирм и адаптации новых технологий, повышение доступности финансирования, особенно для малого и среднего бизнеса.

Также на рост производительности могут влиять институциональные факторы.

- Разобщенность связей между регионами и низкий уровень конкуренции на локальном уровне.
- Сильная неоднородность в экономическом развитии регионов, когда в слаборазвитых регионах оказываются сосредоточенными низкоэффективные предприятия, которые сталкиваются

с внешними барьерами роста, включая низкий спрос.

- Проблемы, связанные с доступностью внешнего финансирования, приводят к тому, что затруднены вход на рынки и расширение производства для предприятий с потенциалом роста.

При формировании экономической политики, направленной на рост производительности в российской экономике, следует принимать во внимание следующие факторы.

1. Усиление конкуренции приводит к выходу неэффективных предприятий, поэтому необходимо устранять барьеры для входа на рынки новых предприятий, особенно это касается неформальных ограничений.
2. Укрепление связей между регионами помогает расширять рынки сбыта, поэтому сокращение транспортных издержек может существенно влиять на рост эффективности предприятий за счет увеличения масштабов производства.
3. Зачастую региональные и муниципальные власти пытаются решать социальные проблемы за счет предоставления доступа к системе госзакупок крупным, но не самым эффективным предприятиям. В долгосрочной перспективе такая политика приводит к замедлению роста производительности в регионе, хотя в текущем периоде и решает часть социальных проблем.
4. Низкая социальная защита работников создает дополнительные стимулы для сохранения разрывы в эффективности и блокирования трудовых ресурсов в низкоС производительных отраслях.
5. Доступность финансирования для новых предприятий и молодых быстрорастущих компаний положительно влияет на рост производительности на агрегированном уровне, так как позволяет им быстрее завоевывать новые рынки и вытеснять менее эффективных конкурентов.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бессонова Е.В.** (2018). Анализ динамики совокупной производительности факторов на российских предприятиях (2009–2015 гг.) // *Вопросы экономики*. № 7. С. 96–118. [Bessonova E.V. (2018). Analysis of Russian firms' TFP growth in 2009–2015. *Voprosy Ekonomiki*, 7, 96–118 (in Russian).]
- Бессонова Е.В., Морозов А.Г., Турдыева Н.А., Цветкова А.Н.** (2020). Возможности ускорения роста производительности труда: роль малых и средних предприятий // *Вопросы экономики*. № 3. С. 98–114. [Bessonova E.V., Morozov A.G., Turdyeva N.A., Tsvetkova A.N. (2020). Opportunities for accelerating labor productivity growth: The role of small and medium enterprises. *Voprosy Ekonomiki*, 3, 98–114 (in Russian).]
- Aghion P., Angeletos G.M., Banerjee A., Manova K.** (2010). Volatility and growth: Credit constraints and the composition of investment. *Journal of Monetary Economics*, 57 (3), 246–265.
- Aghion P., Bergeaud A., Cette G., Lecat R., Maghin H.** (2019). Coase lecture – the Inverted-U relationship between credit access and productivity growth. *Economica*, 86, 1–31.
- Akcigit U., Ates S.T.** (2019). What happened to US business dynamism? *Working papers* w25756. National Bureau of Economic Research.
- Andrews D., Criscuolo C., Gal P.N.** (2016). The best versus the rest. *OECD Productivity Working Papers*, 5. Paris: OECD Publishing.
- Berlingieri G., Blancharay P., Criscuolo C.** (2017). The great divergence(s). *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, 39. Paris: OECD Publishing.
- Besley T., Roland I., Reenen J. van** (2018). The aggregate effects of credit market frictions: Evidence from firm-level default assessments. Tech. rep., mimeo.
- Bessonova E.** (2019). Firms' efficiency, exits and government procurement contracts. *Bank of Russia Working Paper Series wps* 49. Bank of Russia.
- Bessonova E., Gonchar K.** (2020). Is private firm a superior organization than state firm in subsidized economy with restricted competition? Mimeo.
- Bessonova E., Tsvetkova A.** (2019). Productivity convergence trends within Russian industries: Firm-level evidence. *Bank of Russia Working Paper Series wps* 51. Bank of Russia.
- Bessonova E., Tsvetkova A.** (2020). Productivity, innovation, credit access and exits. Mimeo.
- Center for strategic research (2019). *Efficient management of state property in 2018–2024 and up to 2035*. Analytical report, Moscow. Available at: [https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/02/Doklad\\_effektivnoe\\_upravlenie\\_gosobstvennostyu\\_Web.pdf](https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/02/Doklad_effektivnoe_upravlenie_gosobstvennostyu_Web.pdf)
- Cette G., Corde S., Lecat R.** (2018). Firm-level productivity dispersion and convergence. *Economics Letters*, 166, 76–78.
- Cunningham C., Foster L., Grim C., Haltiwanger J., Pabilonia S.W., Stewart J., Wolf Z.** (2017). Dispersion in dispersion: Measuring establishment-level differences in productivity. *Working Papers* 18–25. Center for Economic Studies. U.S. Census Bureau.
- Cusolito A.P., Grover A.G., Goodwin T.K.** (2020). Boosting productivity in Russia: Improving resource allocation and firm performance. Washington: World Bank Group.
- Duval R., Hong G.H., Timmer Y.** (2020). Financial frictions and the great productivity slowdown. *The Review of Financial Studies*, 33 (2), 475–503.
- Farhi E., Baqaee D.R.** (2020). Supply and demand in disaggregated Keynesian economies with an application to the Covid-19 crisis. *CEPR Discussion Papers* 14743.
- Gamberoni E., Giordano C., Lopez-Garcia P.** (2016). Capital and labour (mis)allocation in the Euro area: Some stylized facts and determinants. *ECB Working Paper* 1981.
- Gopinath G., Kalemlı-Özcan S., Karabarbounis L., Villegas-Sánchez C.** (2017). Capital allocation and productivity in South Europe. *The Quarterly Journal of Economics*, 132 (4), 1915–1967.

- Manaresi F., Pierri M.N.** (2019). *Credit supply and productivity growth*. International Monetary Fund.
- Midrigan V., Xu D.Y.** (2014). Finance and misallocation: Evidence from plant-level data. *American Economic Review*, 104 (2), 422–458.
- OECD (2020). *Start-ups in the time of COVID-19: Facing the challenges, seizing the opportunities, tackling coronavirus (COVID-19) contributing to a global effort*. OECD.
- Ouyang M.** (2009). The scarring effect of recessions. *Journal of Monetary Economics*, 56 (2), 184–199.
- Rajan R.G., Zingales L.** (1998). Financial dependence and growth. *American Economic Review*, 88, 559–586.
- Syverson C.** (2011). What determines productivity? *Journal of Economic Literature*, 49 (2), 326–365.

Поступила в редакцию 12.11.2020

Received 12.11.2020

**E.V. Bessonova**

Bank of Russia, National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

**A.N. Tsvetkova**

Bank of Russia, National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

## **Productivity growth and inefficient firms’ exit from the market**

**Abstract.** Many industries of the Russian economy show lower productivity at the aggregated level than in advanced countries. The low productivity level is in large part due to the widening efficiency gap between leader companies and a large group of low productive firms in individual industries. Among low productive firms, the catching-up impulse is concentrated in a small group of young and fast growing companies. In recent years, the number of such companies has not been large enough to scale down the heterogeneity of productivity. If the scarring effect of the crisis provoked by the coronavirus pandemic dominates the Russian economy and number of start-ups with growth potential decreases, this will aggravate the problem of already existing heterogeneity of productivity across firms and the lack of catching-up growth of most low productive companies. Acceleration of productivity growth requires coordinated economic policy fostering competition; improving people’s education level and labour mobility; Russian companies’ entry in foreign markets and integration in value chains; firms’ exit from the informal sector; innovation and adaptation of new technologies; access to finance, especially for SMEs.

**Keywords:** creative destruction, productivity gap, convergence.

JEL Classification: D24, E22, O47.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-8

**И.В. Савин**

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург; Институт наук и технологий об окружающей среде, Автономный университет Барселоны (Universitat Autònoma de Barcelona), Испания

## **Изучение рыночного отбора в России и мире: проблемы измерения, национальная специфика и методы стимулирования<sup>1</sup>**

**Аннотация.** Данная статья посвящена модели репликативной динамики как эволюционной теории конкуренции между фирмами в экономике. Мы подробно останавливаемся на способах тестирования этой модели на основе эмпирических данных, а также преимуществах и недостатках этих методов. Результаты тестирования модели репликативной динамики служат измерением интенсивности рыночного отбора в экономике. Приводится обзор исследований, тестировавших модель репликативной динамики за рубежом и в России. Делается ряд выводов о специфике функционирования рыночного отбора в России, в частности о наличии большого числа низкопроизводительных компаний (зомби-фирм). Также вносится несколько предложений о стимулировании конкуренции для ускорения экономического роста. В заключении приведены способы совершенствования модели репликативной динамики, учитывающие цепочки добавленной стоимости и сведения об изменениях оценки рыночного отбора на основе международных данных межотраслевого баланса.

**Ключевые слова:** конкуренция, рыночный отбор, рост фирм, репликативная динамика, зомби-фирмы.

Классификация JEL: D40, L11, L16, L50.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-9

Мир, в котором мы живем, непрерывно развивается – иногда плавно, а иногда очень резко. Социальная сфера в целом и экономика в частности находятся в постоянном движении. Достаточно вспомнить несколько промышленных революций, которые пережило общество за последние три столетия, и как сильно за это время изменился жизненный уклад людей. Новые идеи, часто не только технологического характера, и связанные с ними инновации являются основными движущими силами этих изменений. На уровне отдельного человека или компании, а также общества в целом, такие изменения наблюдаются с разной периодичностью, и их не всегда можно предвидеть. Часто эти изменения являются результатом запланированных действий, но в некоторых случаях они возникают из-за непредвиденных побочных эффектов.

Анализ этих изменений – сложная задача, поскольку мы пытаемся понять как кра-

ткосрочные, так и долгосрочные закономерности и причины возникающих изменений, природу тех участников, которые создают, внедряют, распространяют, конкурируют между собой. Чтобы решить эти вопросы, необходима концептуальная основа. Экономическая литература предлагает два альтернативных подхода для понимания описанной динамики. Первый – предлагает довольно сложную систему, построенную на понимании (порой неограниченно) рациональных агентов и определяющую равновесные состояния между ними. В рамках этого подхода экономика развивается на основе четких законов (по примеру физики) и практически всегда находится в «равновесном» состоянии, а экономические агенты действуют оптимальным для достижения наилучшего для себя результата образом, учитывая ответную реакцию своих конкурентов и делая точный прогноз будущих событий. Такой подход часто называют неоклассическим, а хоро-

<sup>1</sup> Данное исследование поддержано грантом Президента Российской Федерации для молодых докторов наук МД-3196.2019.6.

шим примером тому являются модели динамического стохастического общего равновесия. Вторая концепция представляет экономику как экосистему, которая далеко не всегда действует и реагирует предсказуемым образом; экономическая динамика является результатом деятельности, посвященной экспериментам в недостаточно понятной среде, часто сталкивающейся с неопределенностью. Этот подход в экономической литературе называют эволюционным, а одной из фундаментальных работ по этой теме является книга, написанная (Nelson, Winter, 1982).

Идея сравнения эволюционного развития экономики с эволюционным развитием живых организмов на земле далеко не нова. Считается даже, что это Чарльз Дарвин в свое время позаимствовал некоторые идеи у Адама Смита, когда формулировал теорию естественного отбора. «Теория Дарвина не защищает никаких более высоких принципов, кроме преследования индивидуумами собственных интересов, т.е. передачи собственных генов будущим поколениям. Проблема аналогична той, с которой столкнулся Адам Смит, когда он выступал за политику невмешательства государства (*laissez faire*) как самый верный путь к гармоничной экономике. Смит утверждал, что идеальная экономика может показаться упорядоченной и хорошо сбалансированной, но она возникнет “естественным образом” в результате взаимодействия людей, которые не следуют никаким путем, кроме преследования собственных интересов» (Gould, 1975, р. 99–100).

Проводя аналогию между природой и экономикой, случайную вариацию на генном уровне можно представить как изобретения и инновации, которые создают компании, а естественный отбор – как конкурентный рыночный отбор. В качестве единицы отбора рассматриваются не представители популяций разных видов (или внутри одного вида),

а фирмы или даже целые отрасли. Ключевой моделью в рамках данного подхода стала модель репликативной динамики, впервые formalизованная в (Taylor, Jonker, 1978) как модель отбора лучших стратегий поведения, в дальнейшем использовавшаяся как модель конкуренции между экономическими субъектами (Metcalfe, 1994) или, например, конкуренции между альтернативными взглядами в общественном мнении (van den Bergh, Savin, Drews, 2019). Модель репликативной динамики можно представить в качестве следующего уравнения:

$$\Delta s_{i,t} = s_{i,t-1} \left( f_{i,t} - \bar{f}_t \right), \quad (1)$$

где  $\Delta$  – разность между двумя годами;  $s_{i,t}$  – доля фирмы  $i$  в период времени  $t$  на рынке;  $f_{i,t}$  – форма измерения приспособленности («фитнеса»)<sup>2</sup> фирмы  $i$  в период  $t$  к данному рынку (это могут быть затраты на единицу продукции, качество продукта, производительность труда компании и т.д.);  $\bar{f}_t$  – средневзвешенный (относительно долей компании на рынке) «фитнес»-фирм на рынке. Согласно уравнению (1) фирмы с «фитнесом» выше среднего должны наращивать свою долю на рынке, и наоборот. Данная модель быстро приобрела широкую популярность и используется как составная часть множества теоретических исследований (Mazzucato, 1998; Foramitti, Savin, van den Bergh, 2020).

Возникает вопрос, как оценить выполнение кажущегося столь логичным экономического закона на основе реальных данных. Существует несколько способов. Первый и наиболее распространенный из них – взять некоторый рынок<sup>3</sup> и провести декомпозицию изменения агрегированного «фитнеса» на две компоненты:

- изменение «фитнеса» на уровне отдельно взятых фирм (*within-эффект*), когда фирмы наращивают качество и снижают издержки за счет иннова-

<sup>2</sup> Здесь и далее под «фитнес» мы будем понимать меру приспособленности компаний к окружающему их миру. Слово происходит от английского слова “to fit” (подходить, приспосабливать) и получило широкое применение на основе утверждения эволюционной теории Дарвина о выживании наиболее приспособленных видов, “*survival of the fittest*”.

<sup>3</sup> За неимением четкого разделения компаний по рынкам ученые вынуждены брать классификатор экономической деятельности, как, например, отрасль номер 10 по ОКВЭД2 – «производство пищевых продуктов».

- ций, что приводит к росту «фитнеса» на уровне всего рынка/отрасли;
- перераспределение долей рынка среди ее участников (*between*-эффект), когда без какого-либо роста «фитнеса» на уровне фирм можно добиться роста агрегированного показателя.

Именно *between*-эффект указывает на наличие рыночной конкуренции в экономике. Для простоты интерпретации эти два эффекта нормируют в сумме к единице. Таким образом, величина каждого эффекта отражает их пропорциональный вклад в рост «фитнеса» на уровне отрасли. Этот подход применялся к разным странам, периодам времени и секторам экономики и показал очень неоднородную картину, где конкуренция могла присутствовать (в небольшой мере) в одних секторах и полностью отсутствовать в других (см. обзор литературы в (Cantner, Savin, Vannuccini, 2019)). Чаще всего оценка нормированного *between*-эффекта колебалась в среднем в районе нуля и за редким исключением не превышала 10% для отдельного периода или сектора экономики.

Помимо ряда замечаний, справедливых не только для данного метода, на которых мы остановимся чуть позже, очевидным недостатком метода декомпозиции является факт, что доли рынка здесь традиционно выражены не через продажи фирм, а через число занятых в них работников. Поскольку рост продаж сегодня не обязательно должен приводить к росту штата работников, данное ограничение вызывало много вопросов. Ответом на эту критику послужила прямая эконометрическая оценка уравнения (1), где в левой части уравнения стоит динамика продаж фирм, а в правой в качестве объясняющих переменных берется уровень и динамика «фитнеса» этих компаний, а также фиксированные эффекты на уровне как компаний, так и периодов времени, по которым делается оценка. Поскольку такая регрессионная модель оценивается для каждой отрасли в отдельности, влияние конкуренции на рост фирм с учетом фиксированных переменных по времени эквивалентно оценке их отклонения от среднего значения по отрасли за каждый год,

что, в свою очередь, эквивалентно оценке уравнения (1). Ключевым параметром для оценки здесь является доля дисперсии роста продаж, которую удается объяснить с помощью переменных «фитнеса», т.е. насколько хорошо эти переменные позволяют объяснить динамику продаж компании. Впервые такой подход был применен в работе (Bottazzi et al., 2010) к данным по Франции и Италии, а затем (Dosi et al., 2015) – к данным по США, Германии, Франции и Великобритании. Здесь оценка вклада конкуренции в рост продаж колебалась в среднем в пределах 10–20%, что выше оценок, полученных на основе метода декомпозиции, но все же еще очень скромная.

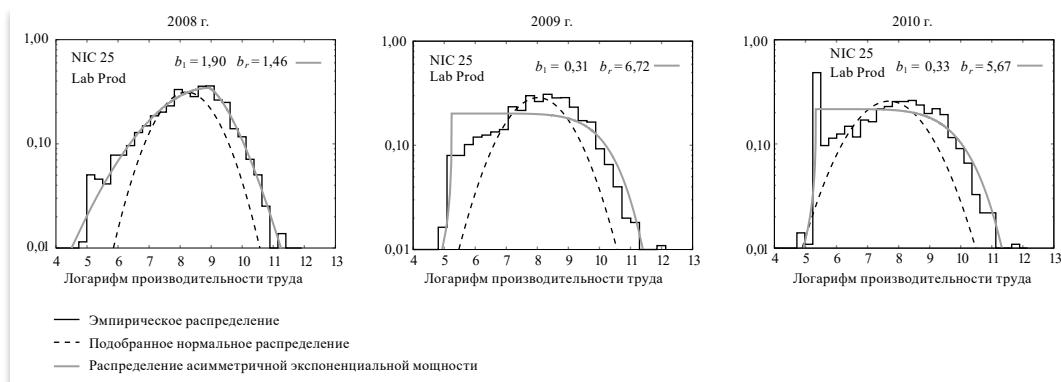
Третьим способом оценить роль конкуренции в экономике, который скорее дополняет, но не замещает первые два, является оценка неоднородности компаний с точки зрения их «фитнеса» в каждой отрасли и изучение того, как это значение изменяется во времени. Идея заключается в том, что при наличии здоровой экономической конкуренции разница в производительности между компаниями должна оставаться небольшой и не увеличиваться со временем. В противном случае данные свидетельствуют о том, что значительная часть компаний способна сохранять за собой рыночную нишу, даже будучи многократно менее производительными, чем их конкуренты. В литературе такие компании иногда называют «зомби-компаниями» (McGowan, Andrews, Millot, 2017) и отмечают, что их присутствие сдерживает рост экономики, поскольку эти фирмы отвлекают на себя значимую долю спроса, а также ресурсов (труда и капитала), которые могли бы быть использованы в экономике более эффективно. Например, авторы (Dosi et al., 2015) показали, что в США компания с производительностью ниже среднего по отрасли на одно стандартное отклонение в 3 раза менее производительна, чем компания, которая на одно стандартное отклонение выше этого среднего показателя. Для развивающихся экономик (таких как Индия и Китай) эта разница значительно выше и отличается в 7 раз. В Индии за последние 20 лет эта неоднородность практически не меня-

лась, а в Китае с 1998 по 2007 г. доля низкоПроизводительных фирм значимо уменьшилась (Dosi et al., 2017).

Как на этом фоне выглядит Россия? Удивительно, но до недавнего времени похожие исследования на российских данных не проводились. Впервые данные три метода анализа были проведены нами для Уральского федерального округа за период с 2006 по 2015 г. (Савин, Мариев, Пушкирев, 2019), затем для всей России – за период 2006–2017 гг. в (Савин, Мариев, Пушкирев, 2020а). За основу были взяты данные по отраслям промышленности (отрасли с 10-й по 32-ю по классификации ОКВЭД2), что скорее распространено в литературе. Авторы (Dosi et al., 2015, 2017) также проводили исследования только для отраслей промышленности. Выбор такого сегмента экономики интересен тем, что он обеспечивает диверсификацию и устойчивость экономического развития страны. Данные были взяты из базы данных «Ruslana», предоставленной Bureau van Dijk (<https://www.bvdinfo.com/>). Результаты декомпозиции очень напомнили результаты других стран, где вклад between-эффекта в изменение агрегированного «фитнеса» стремится к нулю. Результаты эконометрической оценки показали более низкие значения конкурентного отбора в экономике, если учитывать только производительность труда (доля объясняющей способности – только 10–12%). Однако если измерять «фитнес» компаний через общую факторную производительность, то оценки для России и стран ОЭСР в целом окажутся сопоставимыми. Применяя оба метода, мы также попробовали провести дифференциацию между крупными (свыше 250 сотрудников на предприятии) и малыми/средними компаниями. Оказалось, что для последних роль конкурентного отбора заметно выше. Так, например, значение between-эффекта у них в среднем равно 0,3, а для крупных компаний –0,25, что указывает на увеличение штата сотрудников в менее производительных крупных компаниях и противоречит логике конкурентного отбора. Эконометрический анализ показал, что если в абсолютном выражении роль конкурентного отбора на первый

взгляд кажется сопоставимой для компаний разного размера в относительном выражении (т.е. насколько производительность компаний определяет их успех в сравнении с такими ненаблюдаемыми характеристиками фирм, как долгосрочные контракты с поставщиками и потребителями, монопольное положение в каком-то удаленном географическом регионе и т.д.), роль конкуренции для малых и средних предприятий в России выше. Общая доля объясненной дисперсии, в том числе с помощью фиксированных эффектов, составляет 25–27% для малых и средних компаний и 39–41% для крупных предприятий. Это указывает на необходимость стимулирования конкуренции, особенно среди крупных компаний в России.

Однако наиболее пессимистичными получились результаты оценки дисперсии производительности компаний по отраслям и их динамика во времени. В частности, мы увидели, что разброс в производительности труда между компаниями достигает фактора 30 за рассматриваемый нами период времени (т.е. компания на одно стандартное отклонение ниже среднего в 30 раз менее производительна, чем компания на одно стандартное отклонение выше среднего). Разброс непрерывно возрастал с 2006 по 2015 г., и только в 2016–2017 гг. он несколько снизился. Стоит отметить, что на основе опроса 1000 предприятий из восьми отраслей промышленности еще в 2005–2006 гг. были выявлены более чем 20-кратные различия в производительности между компаниями одной отрасли (Голикова и др. 2007, с. 15). С тех пор ситуация ухудшилась, что свидетельствует о явном дефиците рыночных сил в российской экономике. В (Dosi et al., 2017) мы сделали статистическую оценку того, как изменилась доля низкоПроизводительных компаний в России с 2006 по 2013 г. Оказалось, что эта доля статистически значимо выросла. Данную ситуацию можно проиллюстрировать с помощью рисунка, где для отрасли ОКВЭД2 25 «Готовые металлические изделия» были построены графики плотности распределения производительности труда за 2008–2010 гг. Видно, что хвост распределения низкоПроизводительных компаний



**Рисунок**  
*Графики плотности распределения производительности труда*

резко увеличивается. Данная картина наблюдается практически по всем отраслям промышленности в России. Таким образом, очевидна проблема – наличие зомби-компаний в российской экономике, т.е. фирм, которые в нормальных условиях конкурентного рынка должны были бы обанкротиться, но по тем или иным причинам этого не произошло. В исследовании (Савин и др., 2020б) мы проанализировали особенности зомби-фирм в России и их роль в снижении экономического роста страны.

Рецепты борьбы с зомби-компаниями касаются преимущественно государственной экономической политики банкротства компаний и реструктурирования фирм. Эти методы обсуждались в (Andrews, McGowan, Millot, 2017), где авторы сравнивали действующие инструменты в странах ОЭСР. В частности, авторы отмечали упрощение современной процедуры банкротства (компании с высокой задолженностью и низкими показателями продаж могут объявить начало процедуры банкротства не дожидаясь, когда их положение станет еще хуже) и предлагали снижать издержки, связанные с банкротством для предпринимателей. Например, чтобы открыть после банкротства новое дело, предприниматель в Венгрии должен ждать 5 лет (тогда как в Великобритании – только 1 год), что сильно снижает деловую активность в экономике, а также вероятность своевременного ухода с рынка низкопроизводительных компаний. Не стоит забывать

и о работниках компаний, которые объявляют о банкротстве. Оценки вероятности для них устроиться на новую работу в течение года после увольнения разнятся в зависимости от страны и действующих в ней мер, связанных с поиском работы, переобучения и мобильности населения (так называемые «меры активного рынка труда»). Например, в Бельгии и Испании уделяется больше внимания пассивным мерам (выплате пособий по безработице), что не стимулирует занятости в экономике. Напротив, увеличение на 0,25% ВВП расходов на меры активного рынка труда приводит к росту на 3–6% доли работников, которые находят работу вскоре после увольнения.

При использовании и интерпретации описанных выше методов измерения конкурентного отбора важно помнить, что они имеют ряд общих недостатков, на которых хотелось бы остановиться подробнее.

Модель репликативной динамики свидетельствует о конкуренции за одного и того же потребителя, который выбирает между всеми представленными продавцами. Однако за исключением редких случаев, когда удается вручную определить всех представленных на рынке производителей (см. пример в (Cantner, Kruger, Sollner, 2012)), отсутствует реальная возможность разделить все компании по рынкам, на которых они на самом деле конкурируют друг с другом. Отраслевое разделение – очень неточное. Однако даже повышение его

детализации с двухзначного до четырехзначного (по классификатору ОКВЭД) не помогает решить проблемы (см. примеры в (Савин, Мариев, Пушкарев, 2020а)).

Вторая проблема возникает из-за неопределенности в том, что принять в качестве «фитнеса» компании. Литература знает примеры использования выручки и прибыльности на одного сотрудника, производительности труда и общей факторной производительности (ОФП), и этот список еще неполный. В (Mariiev, Pushkarev, Savin, 2020) мы сравнили перечисленные выше показатели применительно к российским данным и пришли к выводу, что все они демонстрируют достаточно близкие результаты, по крайней мере для метода декомпозиции агрегированного на уровне «фитнеса» отрасли. Несколько чаще в последнее время использовался показатель производительности труда. Его преимущество состоит в том, что он, в отличие от выручки, учитывает неоднородность издержек производства, но при этом, в отличие от ОФП, не делает сильного допущения, что фирмы, применяющие разные технологии, испытывают при этом одинаковые эффекты синергии между факторами производства.

Есть еще одна причина, почему описанные выше результаты стоит воспринимать осторожно. Модель репликативной динамики предполагает, что все, что определяет успех фирмы, – соотношение ее «фитнеса» и «фитнеса» конкурентов. Но сегодня экономические агенты крайне редко самостоятельно выполняют весь цикл производства продукции или оказания услуг. Компании встраиваются в сложные цепочки создания добавленной стоимости, и, хотя в реальности потребители делают выбор между продуктами, уравнение (1) предполагает, что выбор делается между компаниями. В работе (Cantner, Savin, Vannuccini, 2019) мы предложили расширить модель репликативной динамики за счет включения в расчет «фитнеса» фирмы всех ее поставщиков. Мы проанализировали упрощенный случай, когда цепочка создания добавленной стоимости имеет одинаковое число вертикально интегрированных рынков (т.е. число звеньев

цепочки добавленной стоимости строго одинаковое), и на каждом рынке в цепочке добавленной стоимости действует только одна компания, при том что «фитнес» компаний неоднороден и поменять одного поставщика на другого они не могут (например, в связи с наличием долгосрочного контракта). На этом примере мы показали, что предложенная модель способна объяснить отрицательные значения в декомпозиции для between-эффекта, даже когда существует конкуренция между компаниями на рынке конечного потребителя. Причина этого заключается в зависимости от более или менее эффективных поставщиков. Иными словами, фирма А будет проигрывать конкуренцию фирме Б, будучи сама более производительной, но имея менее конкурентных поставщиков.

Не найдя достаточно детализированных данных на уровне фирм для эмпирической проверки, предложенной в (Cantner, Savin, Vannuccini, 2019), расширенной модели репликативной динамики, мы провели исследование на основе международных данных межотраслевого баланса (World Input-Output Data). Согласно этим данным в каждом конкретном секторе экономики страны конкурируют за глобальную долю рынка, и мы можем рассчитать добавленную стоимость и издержки труда, связанные с ее созданием, которые из отдельной отрасли одной страны поступают в форме товаров и услуг в определенную отрасль другой страны (Cantner et al., 2020). Полученные оценки показывают существенное увеличение как значения between-эффекта, так и доли дисперсии роста продаж, объясняемой факторами производительности труда. Это указывает на то, что представленные ранее оценки конкурентного отбора могут быть заниженными в абсолютном выражении. Иными словами, оценка between-эффекта, полученная для России ранее и колеблющаяся в районе нуля, а также объясняющая способность факторов «фитнеса» в регрессионной модели на уровне 10–12%, скорее всего ниже, чем если бы мы провели оценку модели репликативной динамики для России с учетом цепочек добавленной стоимости. Однако это не отменяет того

факта, что для России эти оценки все же ниже, чем для ряда стран ОЭСР, и что проблема низкопроизводительных зомби-фирм в нашей стране выражена во всех отраслях промышленного производства, а значит, экономика использует свои ресурсы менее эффективно, чем если бы зомби-компании ушли с рынка.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Голикова В.В., Яковлев А.А., Кузнецов Б.В., Ясин Е.Г., Гончар К.** (2007). Российская промышленность на перепутье. Что мешает нашим фирмам стать конкурентоспособными. Научный доклад ГУ ВШЭ. Режим доступа: <https://id.hse.ru/books/47767969.html> [Golikova V.V., Jakovlev A.A., Kuznetsov B.V., Jasin E.G., Gonchar K. (2007). *Russian industry at the Crossroads: What prevents our firms from being competitive*. The Report by SU-HSE. Available at: <https://id.hse.ru/books/47767969.html> (in Russian).]
- Савин И.В., Мариев О.С., Пушкарев А.А.** (2019). Выживает сильнейший? Измерение конкурентного отбора на примере Уральского федерального округа // Экономический журнал ВШЭ. Т. 23. № 1. С. 90–117. Режим доступа: <https://ej.hse.ru/en/2019-23-1/252584141.html> [Savin I.V., Mariev O.S., Pushkarev A.A. (2019). Survival of the fittest? Measuring the strength of market selection on the example of the Urals federal district. *The HSE Economic Journal*, 23, 1, 90–117. Available at: <https://ej.hse.ru/en/2019-23-1/252584141.html> (in Russian).]
- Савин И.В., Мариев О.С., Пушкарев А.А.** (2020а). Оценка рыночного отбора в России: когда размер (фирмы) имеет значение // Вопросы экономики. № 2. С. 101–124. DOI: 10.32609/0042-8736-2020-2-101-124 [Savin I.V., Mariev O.S., Pushkarev A.A. (2020a). Measuring the strength of market selection in Russia: When the (firm) size matters. *Voprosy Ekonomiki*, 2, 101–124. DOI: 10.32609/0042-8736-2020-2-101-124 (in Russian).]
- Савин И.В., Мариев О.С., Пушкарев А.А.** (2020б). «Зомби-компании» в России: их специфика и роль в экономике. Неопубликованный препринт. [Savin I.V., Mariev O.S., Pushkarev A.A. (2020b). “Zombie companies” in Russia: Their specificity and role in the economy. Unpublished paper (in Russian).]
- Andrews D., McGowan M.A., Millot V.** (2017). Confronting the zombies: Policies for productivity revival. *OECD economic policy papers* 21. OECD Publishing. DOI: 10.1787/f14fd801-en
- Bottazzi G., Dosi G., Jacoby N., Secchi A., Tamagni F.** (2010). Corporate performances and market selection: Some comparative evidence. *Industrial and Corporate Change*, 19, 1953–1996.
- Cantner U., Inoue H., Mundt P., Savin I., Vannuccini S.** (2020). Market selection in global value chains. Unpublished working paper.
- Cantner U., Kruger J., Sollner R.** (2012). Product quality, product price, and share dynamics in the German compact car market. *Industrial and Corporate Change*, 21 (5), 1085–1115.
- Cantner U., Savin I., Vannuccini S.** (2019). Replicator dynamics in value chains: Explaining some puzzles of market selection. *Industrial and Corporate Change*, 28 (3), 589–611. DOI: 10.1093/icc/dty060
- Dosi G., Luna I., Mathew N., Netto E.Y.H., Savin I., Yu X.** (2017). Productivity, market selection and corporate growth: Comparative evidence from BRIC nations. *Proceedings of the 5th CONCORDi conference in Seville*, September 2017.
- Dosi G., Moschella D., Pugliese E., Tamagni F.** (2015). Productivity, market selection, and corporate growth: Comparative evidence across US and Europe. *Small Business Economics*, 45, 643–672.
- Foramitti J., Savin I., van den Bergh J.** (2020). Emission tax vs. permit trading under bounded rationality and dynamic markets. *Energy Policy*. Forthcoming. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.112009
- Gould S.J.** (1975). Ever since Darwin: Reflections in Natural History. London: Hutchinson Educational.

- tions in natural history. N.Y.: Norton & Company.
- Mariev O.S., Pushkarev A.A., Savin I.V. (2020).** *Estimating market selection in Russia: Comparative analysis of different performance indicators.* In: 8th International Conference on Innovation Management, Entrepreneurship and Sustainability IMES 2020. May 28–29, 2020 at the University of Economics in Prague.
- Mazzucato M. (1998).** A computational model of economies of scale and market share instability. *Structural Change and Economic Dynamics*, 9 (1), 55–83.
- McGowan M.A., Andrews D., Millot V. (2017).** The walking dead? Zombie firms and productivity performance in OECD countries OECD Economics Department. *Working Papers No. 1372*.
- Metcalfe J.S. (1994).** Competition, Fisher's principle and increasing returns in the selection process. *Journal of Evolutionary Economics*, 4 (4), 327–346.
- Nelson R.R., Winter S. (1982).** *An evolutionary theory of economic change.* Cambridge: Harvard University Press.
- Taylor P., Jonker L. (1978).** Evolutionary stable strategies and game dynamics. *Mathematical Biosciences*, 40, 145–156.
- Van den Bergh J.C.J.M., Savin I., Drews S. (2019).** Evolution of opinions in the growth-vs-environment debate: Extended replicator dynamics. *Futures*, 109, 84–100. DOI: 10.1016/j.futures.2019.02.024

Поступила в редакцию 00.00.2020

Received 00.00.2020

## I.V. Savin

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia; Institute of Environmental Science and Technology (ICTA), Autonomous University of Barcelona, Spain

## Studying market selection in Russia and abroad: Measurement problems, national specificity and stimulating methods<sup>4</sup>

**Abstract.** This article is devoted to the model of replicator dynamics as an evolutionary theory of competition between firms in economics. We describe in detail how to test this model based on empirical data, as well as the advantages and disadvantages of these methods. The results of testing the replicator dynamics model serve as a measure of the intensity of market selection in an economy. An overview of studies that have tested the replicator dynamics model abroad and in Russia is given. A number of conclusions is drawn about the specificity of functioning of market selection in Russia, in particular, about the presence of a large number of low-performing companies (zombie firms). Several proposals are also being made to stimulate competition in order to accelerate economic growth. In the conclusion, we suggest ways on how to improve the model of replicator dynamics taking into account value chains, and provide information about changes in the assessment of market selection based on world input-output data.

**Keywords:** competition, market selection, firm growth, replicator dynamics, zombie firms.

JEL Classification: D40, L11, L16, L50.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-9

<sup>4</sup> This research has been supported by the grant from the President of the Russian Federation for young doctors of science MD-3196.2019.6.

**Ю.В. Симачев**

Центр исследований структурной политики НИУ ВШЭ, Москва

**М.Г. Кузык**

Центр исследований структурной политики НИУ ВШЭ, Москва

**А.А. Федюнина**

Центр исследований структурной политики НИУ ВШЭ, Москва

**М.А. Юрьевич**

Центр исследований структурной политики НИУ ВШЭ, Центр макроэкономических исследований Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Москва

## Производительность труда в российских компаниях: как содействовать устойчивому росту

**Аннотация.** На основе результатов обследования свыше 700 российских компаний базовых несырьевых отраслей анализируются факторы роста производительности труда, рассматриваются мотивации и ограничения для ее повышения на уровне фирм, обсуждаются возможные следствия для государственной политики. Отмечена существенная межотраслевая и внутриотраслевая дифференциация компаний по уровню производительности труда, выявлены предпосылки к ее дальнейшему усилению. Значимыми факторами оказались масштаб бизнеса, инвестиции в основные фонды и человеческий капитал, применение современных цифровых технологий, экспортная деятельность и обучение сотрудников. Рост производительности труда положительно связан с величиной фирм, инвестиционной активностью, цифровизацией, наличием расходов на НИОКР и с их наращиванием. Не обнаружено значимого позитивного влияния инновационной деятельности на уровень производительности труда и ее динамику. Для инновационных фирм с положительной динамикой производительности труда характерна ориентация на положительные примеры зарубежных конкурентов. У компаний с высоким уровнем производительности труда и отстающих фирм прослеживаются разные стратегии формирования человеческого капитала. Если компании-лидеры по уровню производительности труда конкурируют за лучшие кадры, то отстающие в данном отношении фирмы – за финансовые ресурсы. Для компаний-лидеров более значимы риски ухода квалифицированных специалистов, а для компаний-аутсайдеров – проблемы мотивации работников. Компании с относительно высоким уровнем производительности труда в подавляющем большинстве случаев проявляют заинтересованность в ее повышении, тогда как среди отстающих примерно для каждой четвертой фирмы данная задача не является сколько-нибудь приоритетной. Недостаток внутренних мотиваций фирм к повышению производительности труда может отражать провалы в системе корпоративного управления. При этом существенное влияние на соответствующие мотивации компаний оказывает сложившаяся модель отношений с государством.

**Ключевые слова:** производительность труда, базовые несырьевые отрасли, факторы роста производительности, инвестиции в основные фонды, инновации, исследования и разработки, цифровые технологии, человеческий капитал.

Классификация JEL: D22, J24, O31.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-10

Производительность труда (ПТ) является важнейшим показателем, характеризующим конкурентоспособность национальной экономики. По макроэкономическим оценкам, российская экономика характеризуется относительно низким уровнем производительности труда, в 2–3 раза уступая в данном отношении экономикам ряда индустриально

развитых держав. Хотя с конца 1990-х годов производительность труда в российской экономике демонстрирует положительную динамику, однако в целом за постсоветский период отставание в ПТ от стран-лидеров почти не изменилось. Макроэкономические оценки свидетельствуют, что существующий разрыв в производительности труда между Россией и веду-

щими зарубежными экономиками обусловлен главным образом более низким уровнем совокупной факторной производительности (см., например, (Симачев и др., 2020)). При наличии достаточно развитых макроэкономических оценок ПТ в российской экономике можно отметить ограниченное число микроэкономических исследований, в которых комплексно рассматривались факторы, влияющие на ПТ в компаниях. Как правило, объектом микроэкономических исследований выступают промышленные компании и поэтому без должного внимания остались другие неэнергетические сектора экономики, например сельское хозяйство и строительство. Однако именно понимание факторов, стимулирующих или ограничивающих рост производительности, в том числе с учетом секторальных различий, является основой для построения стратегической государственной политики экономического роста.

В связи с этим мы хотели бы обсудить следующие вопросы. Какие факторы значимы на микроуровне для роста ПТ? Каковы основные мотивации и ограничения для роста ПТ на уровне компаний? Какие существуют возможности для государства системно содействовать росту ПТ в российской экономике?

Эмпирической основой для нашего исследования стали результаты выборочного анкетирования руководителей 713 компаний четырех базовых несырьевых отраслей: промышленности, сельского хозяйства, транспорта и строительства, проведенного в июле–сентябре 2019 г.

## **1. Факторы роста производительности**

Значительные проблемы в обеспечении глобальной конкурентоспособности несырьевых секторов российской экономики прослеживаются при сопоставлении на микроуровне производительности российских компаний с зарубежными фирмами. По нашим оценкам, лишь у 1,3% российских компаний ПТ выше,

чем у зарубежных фирм, а более чем у 50% – ниже. Наиболее заметно отставание в машиностроении и молочном животноводстве, где порядка 70% российских компаний имеют более низкую производительность труда по сравнению с зарубежными фирмами (рис. 1).

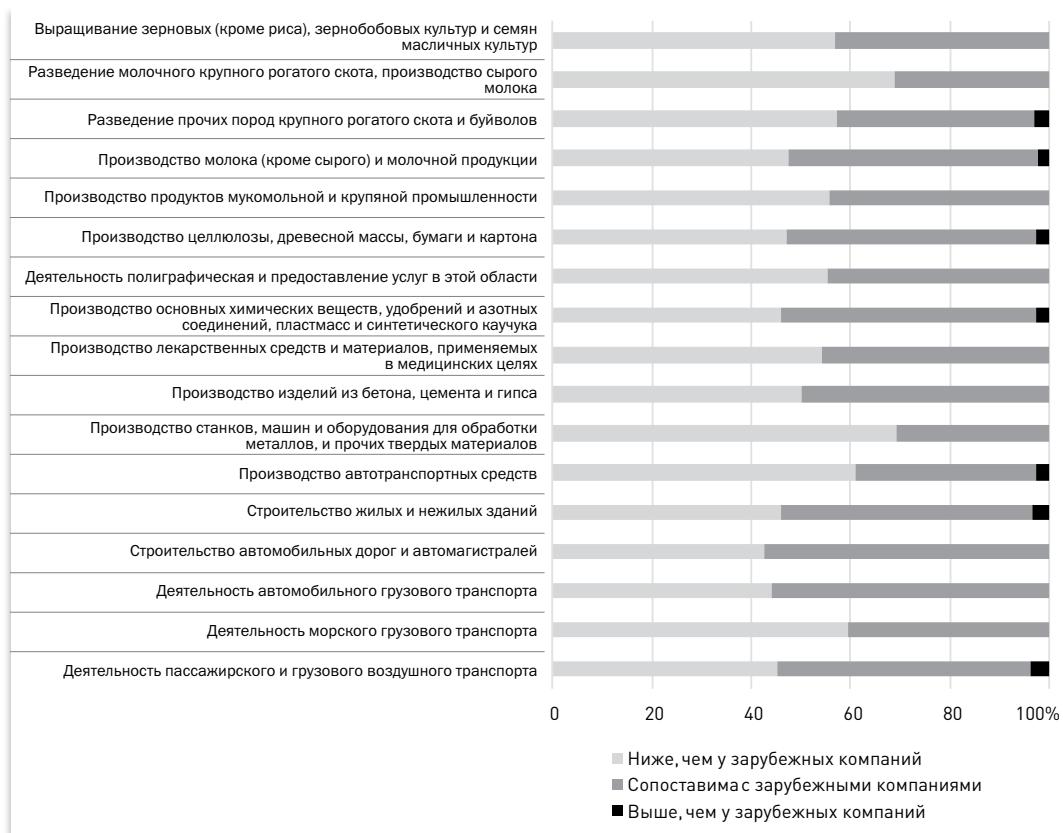
Среди фирм, сопоставимых по производительности с зарубежными конкурентами, заметно реже встречаются компании с государственным участием, а также старые фирмы, и напротив, чаще – компании с участием иностранных собственников.

Наблюдается существенная межотраслевая и внутриотраслевая дифференциация российских компаний по уровню ПТ. Среди базовых несырьевых отраслей наиболее высоким уровнем производительности труда характеризуется обрабатывающая промышленность, самым низким – сельское хозяйство. При этом данный сектор – один из немногих, демонстрирующих в последние несколько лет устойчивый рост ПТ.

Что касается внутриотраслевой дифференциации, то, например, в лесоперерабатывающей промышленности отраслевые лидеры опережают по среднему уровню производительности остальные фирмы отрасли более чем в 8 раз, в химической промышленности – более чем в 6 раз. Фактический рост ПТ и большая заинтересованность в ее повышении характерны для компаний-лидеров и крупных предприятий, что создает предпосылки к дальнейшему усилению внутриотраслевого расслоения компаний по уровню ПТ.

Выделяя в рамках каждой отрасли лидеров и аутсайдеров по производительности труда<sup>1</sup>, мы на основе проведенного регрессионного анализа (см. таблицу) установили, что факторами лидерства по ПТ выступают размер предприятия, инвестиции в основные фонды, применение цифровых технологий, инвестиции в обучение сотрудников. Можно также говорить о том, что фирмы-экспортеры характеризуются, как правило, более высокой ПТ

<sup>1</sup> Здесь и далее лидеры – 20% компаний, демонстрирующих наиболее высокий уровень ПТ в соответствующих подотраслях; аутсайдеры – 40% компаний, демонстрирующих наиболее низкий уровень ПТ в соответствующих подотраслях.

**Рис. 1**

Уровень производительности труда в российских компаниях несырьевых отраслей по сравнению с зарубежными фирмами аналогичного профиля

*Источник:* составлено авторами на основе данных обследования НИУ ВШЭ.

в силу эффектов обучения и самоотбора. Мы не обнаружили значимого позитивного влияния инновационной деятельности на уровень ПТ. Возможно, это следствие недостаточной глубины и интенсивности инноваций, а также значительных временных лагов в достижении выходных эффектов от инновационной деятельности.

Что касается роста ПТ, по нашим оценкам, предприятия базовых несырьевых отраслей в 2014–2018 гг. существенно чаще демонстрировали ее позитивную динамику, нежели негативную, при этом повышение ПТ было более характерно для организаций сельского хозяйства и обрабатывающей промышленности.

Преимущественная схема развития компаний, показавших рост ПТ в последние годы – это увеличение выручки и уровня

оплаты труда. Рост ПТ чаще сочетается с технологическим обновлением, ростом капитальных вложений, нежели с расширением инновационной деятельности, в частности с увеличением расходов на НИОКР. В промышленности рост ПТ также сочетался с увеличением объема экспорта.

Состав факторов роста ПТ несколько отличается от факторов ее высокого текущего уровня. Так, значимым фактором динамики производительности труда наряду с величиной фирм является их молодость, что, вероятно, объясняется их более современными технологическим и организационным уровнями. Как и в случае с текущим уровнем ПТ, ее рост положительно связан с наличием инвестиций, причем данная зависимость характерна как для компаний – отраслевых лидеров по про-

**Таблица**

Связь уровня производительности труда с характеристиками компаний: результаты оценивания параметров моделей бинарной логистической регрессии

Независимые переменные (дамми)		Зависимые переменные (дамми). Принадлежность к группе			
		отстающих		лидеров	
		Специфи- кация 1	Специфи- кация 2	Специфи- кация 1	Специфи- кация 2
Продолжительность функционирования	До 5 лет	База	База	База	База
	5–10 Лет			+**	+**
	10–25 Лет				
	Свыше 25 лет			+*	
Структура собственности	Принадлежность к государственному сектору	- **	- **		
	Принадлежность иностранному капиталу				
Численность работников, человек	До 100	База	База	База	База
	101–250	- ***			
	251–1000	- ***	- ***	+**	
	Свыше 1000	- ***		+***	
Наличие экспорта		- ***	- ***		+*
Основные потребители	Органы власти				
	Государственные компании				
	Крупный частный бизнес		- *		
	МСП				
	Население				
Конкуренция на внутреннем рынке с российскими компаниями	Нет или слабая	База		База	
	Умеренная				
	Сильная				
Конкуренция на внутреннем рынке с зарубежными компаниями	Нет или слабая	База		База	
	Умеренная				
	Сильная				
Инвестиции в 2018 г. по отношению к выручке	Нет		База		База
	Менее 1%		- ***		+***
	1–5%		- ***		+**
	5–10%		- ***		+*
	Свыше 10%		- ***		+***
Иновационная деятельность					
Финансирование НИОКР					

## Окончание таблицы

Независимые переменные (дамми)		Зависимые переменные (дамми). Принадлежность к группе			
		отстающих		лидеров	
		Спецификация 1	Спецификация 2	Спецификация 1	Спецификация 2
Применение цифровых технологий				+***	
Доля сотрудников, прошедших обучение за последние 5 лет	До 5%		База		База
	5–10%				
	10–20%		– *		+
	20–50%		– ***		+
	Свыше 50%		– ***		+
Доля высококвалифицированных сотрудников	До 20%	База		База	
	20%–40%	– **			
	40–60%	– ***			
	Свыше 60%	– ***		+	
Число наблюдений		713	713	713	713

**Примечание.** В таблице приведены знаки значимых коэффициентов регрессии, символами «\*», «\*\*», «\*\*\*» отмечены оценки, значимые на уровне 10, 5 и 1% соответственно. Цветом выделены ячейки, соответствующие переменным, не включенным в спецификацию.

**Источник:** рассчитано авторами на основе данных обследования НИУ ВШЭ.

изводительности труда, так и для отстающих фирм. Кроме того, прослеживается взаимосвязь повышения ПТ с применением компаниями современных цифровых технологий, наличием расходов на НИОКР, и особенно наращиванием таких расходов.

### 1.1. Внешние рынки и инновации

Выход на новые рынки, как правило, связан с повышением производительности труда. Это особенно справедливо для фирм, выходящих на зарубежные рынки. Принято считать, что в основе роста ПТ после выхода на экспортные рынки лежат обучающие эффекты от экспортной деятельности, а эффект обучения основан на механизме инновационной активности (Castellani, Zanfei, 2007). Таким образом, инвестиции в продвижение товаров на новых рынках и инновации являются взаимодополняющими факторами и совместно влияют на повышение конкурентоспособности и производительности фирм, при этом инновационно активные фирмы-экспортеры наиболее про-

изводительны, несколько отстают фирмы-экспортеры и фирмы-инноваторы, наименее производительны – фирмы на национальных рынках, не занятые инновациями (Ito, Lechevalier, 2010). Внедрение фирмами новых технологий связано не только с географической диверсификацией (выходом на зарубежные рынки), но и с товарной диверсификацией (внедрением новых для России и для мира товаров).

Чем выше степень новизны товаров, тем более глубокая перестройка требуется на всех уровнях компании (рис. 2). Внедрение новых для предприятия товаров чаще всего связано только с продуктными инновациями, новых для России товаров – одновременно с продуктными/сервисными и процессными инновациями, новых для мира товаров – одновременно с продуктными/сервисными, процессными и организационными инновациями. Таким образом, продуктовые/процессные и организационные инновации – комплементарны с позиций влияния на внедрение новых для рынка продуктов.



Рис. 2.

*Новизна продуктов и комплементарность инноваций в компаниях*

*Источник:* составлено авторами на основе данных обследования НИУ ВШЭ.

Однако, по нашим оценкам, в российских базовых несырьевых отраслях оказалось слишком мало фирм, трансформирующих рынок (внедряющих новые продукты и технологии, выходящих на новые рынки) (8%), и слишком много инертных фирм (треть).

Специфика распределения компаний со значимым ростом производительности (свыше 20% за 5 лет) такова, что доля таких компаний среди фирм, трансформирующих рынок и догоняющих фирм, несущественно отличается от их доли среди отстающих и инертных фирм. Мы полагаем, что рост компаний без инноваций возможен на рынках с монополиями на отдельных нишах — это заметно для строительства, производства стройматериалов, химической промышленности.

Основными стимулами (каналами) инноваций для компаний выступают изменение потребностей потребителей, примеры других фирм и ужесточение требований технического регулирования, т.е. каналы, связанные с запросом рынка. Для фирм с положительной динамикой ПТ существенно чаще примером выступали зарубежные конкуренты. В этом

проявляется многообразие влияния развитой конкуренции — это не только давление на фирмы в части повышения эффективности деятельности, но и демонстрация для них результативных примеров развития бизнеса.

Что касается предложения в инновационной сфере в виде идей, технологий, наиболее заметным каналом инноваций для российских фирм являются зарубежные разработчики, тогда как ни российские научно-исследовательские организации, ни отечественные университеты пока не обеспечивают значимого вклада в инновационную деятельность компаний. Это может быть связано с необходимостью установления новых взаимодействий и партнерств в связи с существенной трансформацией научного сектора со значительным изменением потребностей компаний. Кроме того, все более остро ощущается необходимость формирования новых научно-технических заделов.

## 1.2. Исследования и разработки

Исследования и разработки часто сопутствуют освоению выпуска новой продукции,

повышению конкурентоспособности компаний, однако необходимо учитывать нелинейность такой связи – проведение НИОКР становится результативным только при достаточно высокой интенсивности расходов на исследования и разработки. Так, зарубежные исследования свидетельствуют о том, что положительная связь между повышением производительности труда и затратами компаний на НИОКР проявляется при достаточно существенном уровне последних (González, Jaumandreu, 1998; Kancs, Siliverstovs, 2016).

По результатам нашего исследования, фирмы с низким уровнем производительности труда демонстрируют невысокую исследовательскую активность, а компании-лидеры чаще финансируют исследования и разработки и затрачивают на НИОКР больший объем средств. Для компаний со значимыми расходами на исследования и разработки характерна положительная динамика производительности труда.

По нашим оценкам, для фирм, выпускающих новую в мировом масштабе продукцию, в среднем характерен гораздо более высокий уровень расходов на НИОКР – порядка 3,5% от выручки, тогда как для компаний, которые осваивают выпуск продукции, новой для России, этот показатель – около 0,7% от выручки. Компании с более высоким уровнем новизны продукции характеризуются не только большими объемами расходов на НИОКР, но и тем, что чаще других привлекают к их проведению внешних исполнителей.

Свыше 2/3 компаний, финансировавших исследования и разработки, привлекали для проведения соответствующих работ сторонних исполнителей, причем чаще всего – не организации, а отдельных специалистов или коллективы по прямым договорам. Следует отметить более высокий уровень востребованности научно-производственной кооперации у предприятий-отраслевых лидеров производительности труда и фирм с позитивной ее динамикой. Можно предположить, что научно-производственная кооперация с внешними исполнителями играет важную роль для обеспечения и поддержания высокого уровня ПТ, тогда как

внутрикорпоративные исследовательские подразделения в этом случае уже не справляются с задачей разработки эффективных инноваций. Однако среди компаний-лидеров по производительности труда заметно чаще встречалась оценка, что более качественными и/или дешевыми на рынке являются услуги зарубежных организаций.

### 1.3. Цифровизация деятельности

Одним из магистральных направлений технологической модернизации компаний выступает цифровизация их деятельности. По нашим оценкам, каждое второе предприятие применяет те или иные цифровые технологии. Цифровая трансформация компаний не только является фактором более высокого текущего уровня ПТ, но и сочетается с его ростом.

Однако потенциал цифровизации с позиций повышения конкурентоспособности российских компаний на сегодняшний день реализован в небольшой степени. Положительный вклад в динамику ПТ пока обеспечивают лишь относительно низкозатратные и типовые решения: облачные технологии и сервисы и автоматизированные системы планирования и управления ресурсами предприятия (ERP).

### 1.4. Человеческий капитал

Влияние человеческого капитала на ПТ неоднократно рассматривалось в теоретических и эмпирических исследованиях (De la Fuente, 2011; Backman, 2014). Человеческий капитал относится к активам компании, которые сложно скопировать и, следовательно, можно рассматривать в качестве одного из ключевых двигателей деятельности фирмы. Как правило, человеческий капитал является специфическим для фирмы, ценным, незаменимым ресурсом. Производительность компании определяется ее собственным уровнем человеческого капитала и уровнем человеческого капитала в окружающей ее среде.

Хотелось бы отметить особую чувствительность инновационной и исследовательской деятельности к качеству человеческого капитала (рис. 3), но при этом инвестиции

в повышение квалификации — необходимое, но недостаточное условие инноваций. В литературе отмечается совместное влияние человеческого капитала и инноваций на ПТ. При этом, например, для европейских стран ОЭСР эффект от человеческого капитала на ПТ выше, чем эффект от инноваций, для неевропейских стран ОЭСР, напротив, эффект от инноваций на ПТ выше эффекта от человеческого капитала (Mamatzakis et al., 2019). Это может означать, что эффект от накопления человеческого капитала во многом определяется тем, насколько работники с более высоким уровнем образования соответствуют занимаемым должностям, а также самим качеством образования.

На уровне компаний обнаружились признаки нарастания различий в инвестициях в человеческий капитал по следующим характеристикам: 1) между крупными и малыми компаниями, когда крупные компании значимо более склонны к расходам на образование и повышение квалификации сотрудников; 2) между компаниями-лидерами и компаниями-аутсайдерами, отстающими по ПТ, когда лидеры проводят массовые мероприятия по повышению квалификации. Для компаний-лидеров характерно совмещение практик значительного обновления сотрудников и интенсивного повышения

квалификации персонала, причем как управленческого, так и производственного.

У компаний наблюдаются две стратегии по формированию человеческого капитала, которые характерны для управленческого и производственного персонала. Для компаний-аутсайдеров характерна пассивная стратегия — незначительное обновление персонала и незначительные инвестиции в повышение квалификации сотрудников. Для компаний-лидеров, напротив, характерно совмещение практики значительного и кардинального обновления состава сотрудников и одновременно интенсивное повышение квалификации персонала — стратегия накопления и формирования человеческого капитала.

На уровне российских регионов мы отмечаем признаки нарастания различий в интенсивности инвестиций в человеческий капитал в зависимости от уровня развития региона. В менее развитых регионах компании более склонны инвестировать в образование и повышение квалификации сотрудников, чем в высокоразвитых регионах. Вероятно, это является следствием вымывания человеческого капитала из менее развитых регионов. В России наблюдается западный дрейф, который заключается в движении образовательных и трудовых потоков в западном направлении

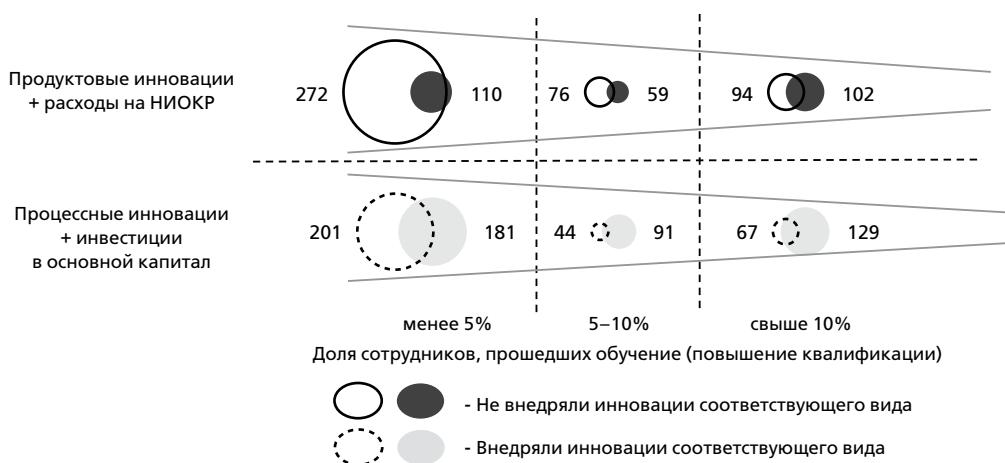


Рис. 3

Распределение компаний по доле сотрудников, прошедших обучение или повышение квалификации, и инновационной деятельности разных типов

*Источник:* составлено авторами на основе данных обследования НИУ ВШЭ.

страны (Габдрахманов, Никифорова, Лешуков, 2019), а также за рубеж (Шагалкина и др., 2019).

## 2. Мотивации и ограничения для роста производительности

Подавляющее большинство компаний базовых несырьевых отраслей нуждается в повышении производительности труда для обеспечения конкурентоспособности, а для каждой третьей компании данный фактор имеет решающее значение. Потребность в повышении производительности труда положительно связана с величиной компаний и одновременно с их молодостью, а также с инновационной активностью фирм, использованием цифровых технологий и обучением сотрудников.

Достаточно значимая совокупность компаний – примерно каждая шестая – не нуждается (по оценке их руководителей) в росте ПТ. Интересно, что эти компании достаточно равномерно распределены по отраслям с одним исключением: несколько более высокая их концентрация наблюдается в транспортной сфере. Такие компании, как правило, отличаются низким текущим уровнем производительности труда и редко демонстрируют позитивную ее динамику; кроме того, для них характерны небольшая доля на рынке, отсутствие серьезной конкуренции с импортом, низкий уровень инвестиций, более низкая на общем фоне инновационная активность и интенсивность использования цифровых технологий, а также отсутствие затрат на НИОКР.

Компании с относительно высоким уровнем ПТ в подавляющем большинстве случаев проявляют заинтересованность в ее повышении, тогда как среди отстающих – примерно для каждой четвертой фирмы – задача роста ПТ не является сколько-нибудь приоритетной (рис. 4). Далеко не всегда недостаточная ориентированность компаний на рост ПТ связана с недостатками внешней среды – значительная часть компаний не имеет внутренних мотиваций к росту ПТ, что отражает провалы в системе корпоративного управления.

Значительное влияние на мотивации компаний оказывает сложившаяся модель отношений с государством. Государство рас-

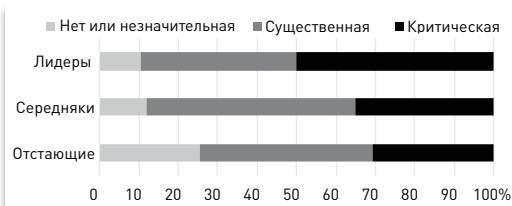


Рис. 4

*Значимость роста производительности труда в группах компаний с разным уровнем ПТ*

*Источник:* составлено авторами на основе данных обследования НИУ ВШЭ.

сматривает бизнес чаще всего как источник бюджетных доходов (рис. 5). Компании, для которых рост ПТ не является значимым фактором повышения конкурентоспособности, чаще находятся в формальных моделях взаимоотношений с государством (источник бюджетных доходов, формальный контроль). Фирмы, наиболее остро нуждающиеся в росте ПТ для обеспечения конкурентоспособности, заметно чаще остальных получают от государства запрос на социально ответственное поведение и вовлекаются им в инновационные и модернизационные проекты, а также находятся в партнерских взаимоотношениях с государством.

Главные проблемы, препятствующие росту производительности труда, состоят в недостаточности у предприятий необходимых для этого ресурсов: кадровых (дефицит на рынке специалистов, обладающих необходимой квалификацией) и финансовых (отсутствие у предприятия необходимых средств, сложности привлечения внешнего финансирования). И по распространенности на первом месте стоят именно кадровые ограничения! При обсуждении вопросов политики содействия росту ПТ важно учитывать существенные различия в значимости тех или иных барьеров для лидеров и аутсайдеров:

- если компании-лидеры конкурируют за лучшие кадры, то компании-аутсайдеры – за финансовые ресурсы;
- для компаний-лидеров более значимы риски ухода квалифицированных специалистов, а для компаний-аутсайдеров – проблемы мотивации работников.

**Рис. 5**

*Модели взаимоотношений с государством: частота упоминания в группах компаний*

*Источник:* составлено авторами на основе данных обследования НИУ ВШЭ.

Отметим, что для компаний-лидеров значимы проблемы входа на новые рынки, что определяет ограничения для распространения эффективных бизнес-моделей.

### 3. Следствия для политики

На основе результатов проведенного нами исследования можно выделить следующие следствия для политики содействия росту производительности.

1. В последние годы в реализуемой государством политике по стимулированию роста ПТ в базовых несырьевых отраслях основной акцент делался на обучение сотрудников предприятий и внедрение улучшающих инноваций в организационной сфере. Это важные направления, однако, по результатам нашего исследования, основные потребности компаний для повышения ПТ связаны не столько с организационными, сколько с технологическими инновациями, а также с вводом нового оборудования.

Имеются существенные различия в потребностях компаний с высоким и низким текущим уровнем ПТ. Так, фирмы-лидеры заметно чаще нуждаются в инновациях, прежде

всего – технологических, новом оборудовании, освоении новой продукции и новых рынках, тогда как отстающие по уровню ПТ предприятия чаще испытывают потребность в расширении присутствия на традиционных рынках и повышении мотивации работников, а также относительно часто готовы удовлетвориться модернизацией существующего оборудования.

2. Задача обеспечения устойчивого роста ПТ в российской экономике требует для решения не столько мер точечного характера, направленных на поддержку конкретных компаний, отдельных отраслей, проектов, сколько системных мер, обеспечивающих создание развитой конкурентной среды, благоприятного бизнес-климата, налоговых стимулов к повышению эффективности и качественного корпоративного управления. В отсутствие таких мер директивное принуждение компаний к росту производительности труда можно привести лишь к имитации изменений.

Проведенный микроэкономический анализ свидетельствует о том, что важнейшими факторами повышения производительности труда на уровне фирм несырьевых секторов российской экономики являются развитие

человеческого капитала, в частности обучение и повышение квалификации сотрудников; капитальные вложения, инвестиции в современное оборудование; экспортная деятельность и участие компаний в глобальных цепочках создания добавленной стоимости; цифровизация бизнеса, использование современных цифровых технологий и решений; финансирование расходов на исследования и разработки. Эти направления определяют необходимые меры по обеспечению устойчивого роста производительности в российской экономике, при этом требуется комплексность действий в силу комплементарности данных направлений.

3. Для сокращения временных лагов в достижении эффектов роста ПТ ставка в политике может быть также сделана на фокусировании мер среднесрочного эффекта на существующих и потенциальных драйверах роста ПТ в российской экономике. К числу таких можно отнести: компании-экспортеры (уровень ПТ у экспортеров существенно выше по сравнению с подобными фирмами из тех же секторов, это обусловлено как эффектами обучения на глобальном рынке, так и самоотбора); сельское хозяйство (здесь на протяжении нескольких лет демонстрируется устойчивый рост ПТ в секторе сельского хозяйства, при этом есть существенный потенциал дальнейшего роста за счет распространения современных технологий); быстрорастущие компании, которые ориентированы на расширяющиеся ниши на рынках; компании с государственным участием, в отношении которых есть существенные резервы по повышению качества корпоративного управления.

Проработка мер по расширению круга компаний, вовлеченных в экспортную деятельность, поддержка типовых малозатратных инноваций в сельском хозяйстве, определение новых инструментов стимулирования, привязанных к динамике показателей деятельности компаний, распространение лучших практик управления в компаниях с государственным участием – все это определяет возможный путь к обеспечению роста производительности труда в ближней и среднесрочной перспективе.

4. Вопрос о том, должна ли государ-

ственная поддержка быть акцентирована на наиболее эффективных фирмах, демонстрирующих высокий уровень ПТ, либо, наоборот, на отстающих, является дискуссионным. С позиции экономического роста, развития рынков, отраслей и обеспечения демонстрационного эффекта, безусловно, правильнее ориентироваться на поддержку лидеров. Однако такой подход снижает шансы на получение государственной поддержки молодых перспективных компаний, которые нуждаются в ней, однако объективно не могут продемонстрировать высокий уровень производительности и эффективности труда. К тому же выбор заведомо успешных адресатов поддержки снижает ее дополнительность, т.е. положительные эффекты, которые получены благодаря государственной поддержке и не были бы достигнуты в ее отсутствие. Однако поддержка аутсайдеров может привести к сохранению на рынке низкоэффективных компаний, выживающих преимущественно за счет разного рода государственных преференций, а также создать неверные мотивации для бизнеса.

При любом выборе важно учитывать, что для компаний, лидирующих по уровню ПТ, более значимы налоговые стимулы для использования новых технологий и оборудования, а также государственная поддержка внедрения цифровых технологий, тогда как для отстающих прежде всего необходимо снижение административных барьеров.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Габдрахманов Н., Никифорова Н., Лешуков О.** (2019). От Волги до Енисея...: образовательная миграция молодежи в РФ. М.: Изд. дом ВШЭ. [Gabdrakhmanov N., Nikiforova N., Leshukov O. (2019). *From the Volga to the Yenisei...: Educational migration of youth in Russia*. Moscow: HSE (in Russian).]
- Симачев Ю., Кузык М., Федюнина А., Юревич М., Зайцев А.** (2020). Факторы роста производительности труда на предприятиях несырьевых секторов российской экономики. Доклад к XXI Апрельской международной научной

- конференции по проблемам развития экономики и общества. М.: Изд. дом Высшей школы экономики. [Simachev Yu., Kuzyk M., Fedjunina A., Jurevich M., Zaitsev A. (2020). Factors of labor productivity growth in the non-resource sectors of the Russian economy. *Report to the XXI April International Scientific Conference on problems of economic and social development*. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics (in Russian).]
- Шагалкина М., Латуха М., Мицкевич Е., Строгецкая Е.** (2019). Факторы миграционных намерений талантливых выпускников ведущих вузов России // *Российский журнал менеджмента*. № 17 (4). С. 445–466. [Shagalkina M., Latukha M., Mitskevich E., Strogetskaia E. (2019). Factors of migration intentions of talented graduates of leading Russian universities. *Russian Management Journal*, 17 (4), 445–466 (in Russian).]
- Backman M.** (2014). Human capital in firms and regions: Impact on firm productivity. *Papers in Regional Science*, 93 (3), 557–575.
- Castellani D., Zanfei A.** (2007). Internationalisation, innovation and productivity: How do firms differ in Italy? *The World Economy*, 30 (1), 151–176.
- De la Fuente A.** (2011). Human capital and productivity. *Nordic Economic Policy Review*, 2, 103–132.
- González X., Jaumandreu J.** (1998). *Threshold effects in product R&D decisions: Theoretical framework and empirical analysis*. FEDEA. Available at: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5261/Threshold\\_WPFEDEA\\_1998\\_45\\_preprint.pdf?sequence=1&isAllowed=](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5261/Threshold_WPFEDEA_1998_45_preprint.pdf?sequence=1&isAllowed=)
- Ito K., Lechevalier S.** (2010). Why some firms persistently out-perform others: Investigating the interactions between innovation and exporting strategies. *Industrial and Corporate Change*, 19 (6), 1997–2039.
- Kancs D., Siliverstovs B.** (2016). R&D and non-linear productivity growth. *Research Policy*, 45 (3), 634–646.
- Mamatzakis E., Tsamadias C., Pegkas P., Stai-kouras C.** (2019). Does R&D, human capital and FDI matter for TFP in OECD countries? *Economics of Innovation and New Technology*, 28 (4), 386–406.

*Поступила в редакцию 19.11.2020**Received 19.11.2020***Yu.V. Simachev**

Center for Industrial Policy Studies, National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

**M.G. Kuzyk**

Center for Industrial Policy Studies, National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

**A.A. Fedyunina**

Center for Industrial Policy Studies, National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

**M.A. Yurevich**

Center for Industrial Policy Studies, National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia; Center for Macroeconomic Research, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

**Labor productivity in Russian companies:  
How to foster sustainable growth**

**Abstract.** In this paper, we study the factors, motivations and barriers for productivity growth in Russia. The data is based on a survey of 700 companies of Russian basic non-resource industries. We find inter- and intra-industry divergence of companies by labor productivity level and discuss the evidence for further divergence. Revealed are the factors of high labor productivity level, among which are scale of business, investments into fixed assets and human capital, application of modern digital technologies.

gies, export activity and training of employees. The growth of labor productivity is positively associated with firm size, investment activity, digitalization and R&D spending. There is no positive and significant impact of innovation activities on productivity level and its dynamics, which may be a result of low innovation intensity and time lags in effects of innovation activities on revenue. The evidence suggests that innovative firms with positive dynamics of innovation performance are followers of foreign competitors. We find that firms with the leading and lagging levels of labor productivity have different strategies for human capital accumulation. Leading firms combine significant staff turnover with intensive professional development of existing staff, while lagging in productivity firms are not involved in staff turnover and investment in training. While leading in productivity firms compete for the best personnel, lagging firms compete for financial resources. In addition, leading companies find among the highest the risks that qualified personnel would be diverted, while the lagging companies find among the highest the risks of employees' low motivation. Most of the leading in productivity firms are interested in continuous improvements of labor productivity, while among lagging in productivity firms this problem is important only for one fourth of them. Lack of internal motivation to improve their productivity may reflect failures in the corporate governance system. At the same time, the established model of relations with the state has a significant impact on the respective motivations of companies.

**Keywords:** *labor productivity, basic non-resource industries, factors of productivity growth, investments in fixed assets, innovation, R&D, digital technology, human capital.*

JEL Classification: D22, J24, O31.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-10

H. Blöchliger

OECD, Paris, France

L. Wildnerova

OECD, Paris, France

Журнал НЭА,  
№4 (48), 2020,  
c. 217–227

## Productivity of the Russian firms: Seven stylized facts

**Abstract.** Productivity in Russia has been falling steadily over the past 15 years. This paper explores firm-level data to understand the contribution of individual firms to aggregate productivity and summarizes findings in the form of seven stylized facts. Policies to address the productivity decline should focus on regulatory reform to strengthen market forces; create a climate that is supportive to innovative start-ups; help unproductive firms to leave the market earlier; foster labour and capital mobility and knowledge transfer between firms and across regional borders; and embrace foreign ownership. These policies should be complemented by targeted support to households and firms severely affected by the covid-19 crisis. This note is built on the findings of an OECD Economics Department Working Paper published in early 2020.

**Keywords:** *Russian economy; firm-level productivity; productivity gap; foreign ownership; entry and exit of firms.*

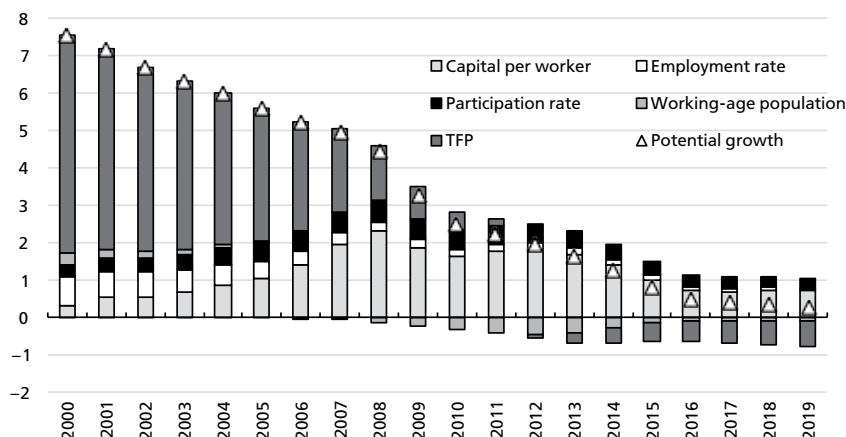
JEL Classification: D24, L16, O43.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-11

### Negative trends in the productivity of the Russian economy

The growth of potential output of the Russian economy has fallen dramatically from about 8% annually in 2000 to less than 1% in 2019 (Figure 1). Decomposing potential growth into the contributions from investment, employment, participation, total factor productivity and

working-age population reveals that the main reason for the growth slowdown is rapidly declining productivity. In 2000, productivity growth contributed to output growth by almost 6%, while the contribution of productivity turned even negative after 2012. The Russian economy develops on the basis of growing employment and capital spending, while productivity is actually a drag on



**Figure 1**  
*Potential growth over years*

growth. The aim of this note is to explore economy-wide developments at the firm level and to establish a few stylized facts about productivity of Russian firms.

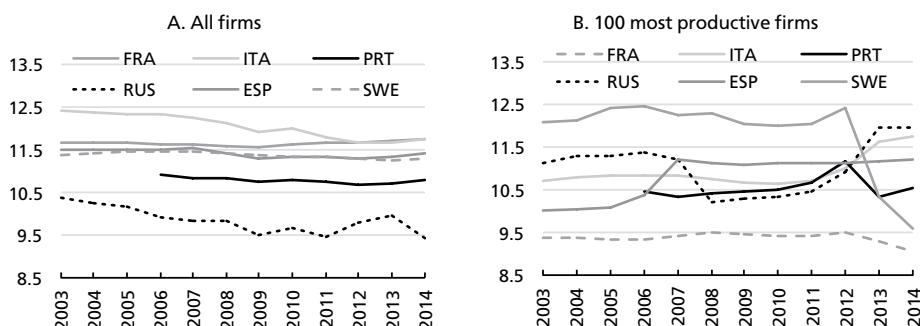
Most findings in this note rely on the yearly firm balance sheets provided by the OECD-Orbis database that collects the data from multiple sources for numerous countries. Data for Russia is reported since 2003. The dataset consists of around 5.8 million observations, making Russia the largest country in the OECD-Orbis database. Detailed information on sources, coverage within individual data sources as well as cleaning of the dataset is described in the working paper.

Financial information such as profits or value added, needed to compute total factor productivity, is lacking for most of the Russian firms. For that reason, the paper relies on *labour produc-*

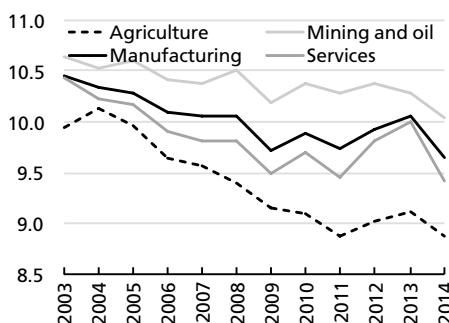
*tivity* or gross output per employee. One drawback of using labour productivity is that it does not enable us to distinguish between investment-driven and technological-progress-driven productivity growth. Still, labour productivity is a robust measure to understand advancements and growth differences between firms as well as aggregate productivity developments.

#### **Stylized fact 1: The decline of firm-level productivity is broad-based**

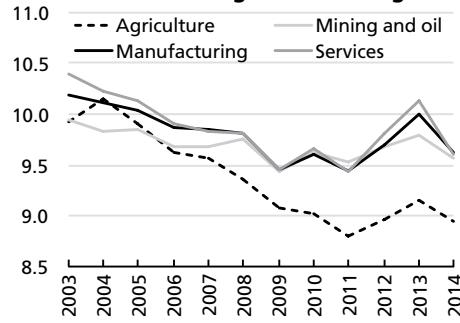
The productivity of Russian firms lags behind other countries, and the gap has widened since 2003, although absolute values have to be taken with some care due to the PPP conversion (Figure 2). Trends are similar across different productivity aggregations and weighing procedures. Moreover, the average productivity of the



**Figure 2**  
*Productivity evolution in selected countries, averages, 2003–2014*

**A. Overall****Figure 3**

Productivity of firms by sector, 2003–2014

A. Over  
B. Cont**B. Controlling for size and age**

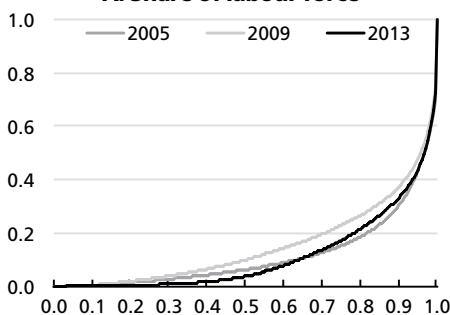
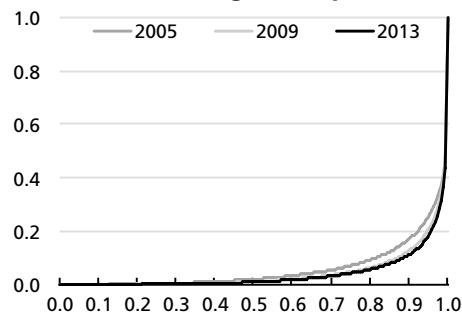
100 most productive firms – which also tend to be more export-oriented – in each industrial sector is also declining and remains below productivity of the 100 most productive firms in other countries, suggesting a loss of competitiveness and export opportunities of the Russian firms.

Productivity fell in all industrial sectors between 2003 and 2014, and differences between sectors widened (Figure 3). Productivity in the agricultural sector had fallen most, and the gap between the average agricultural firm and firms in other sectors widened. Controlling for size and age, productivity differences between sectors become quite small, except for agriculture which remains the least productive sector of the Russian economy. The productivity decline is less pronounced in larger firms, with the exception of the services sector, where productivity of large firms fell more than those of small firms.

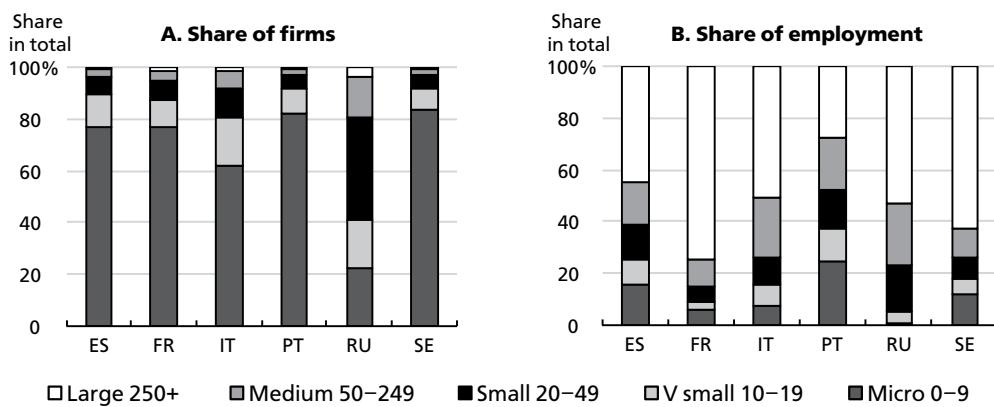
### Stylized fact 2: Russian markets

#### are concentrated

Markets in Russia are concentrated, and concentration has increased since 2003 (Figure 4). High market concentration partly reflects the legacy of the socialist period, although concentration also rose in other European countries (Bajgar et al., 2019). Ten percent of firms employ two-thirds of the workforce and produce almost 90% of the output. The Russian economy is more concentrated than a selection of European countries except France (Figure 5). Moreover, Russia has the smallest share of micro-firms of all countries, suggesting that new firms in Russia encounter particular difficulties to enter the market and to thrive. As such, the Russian economy might not fully exploit the potential of its entrepreneurs. Moreover, high market concentration could be responsible for the large wage and income inequality observed in Russia (OECD, 2017).

**A. Share of labour force****B. Share of gross output****Figure 4**

Distribution of labour and gross output across firms, by year

**Figure 5***Employment and number of firms by firm size and country, 2010***Stylized fact 3: Large firms are more productive, but smaller ones catch up**

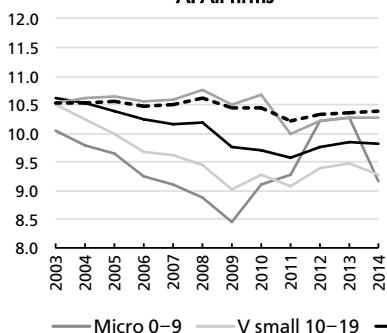
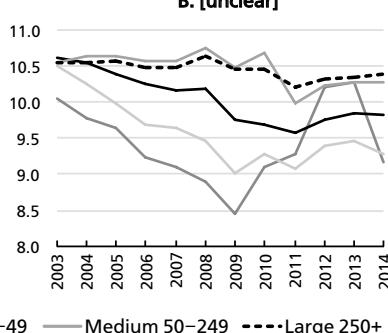
Larger firms are generally more productive and less affected by the productivity decline between 2003 and 2014 (Figure 6). Russia's largest firms are still the country's most productive, and since large firms are better able to deal with shocks, productivity is less volatile. Still productivity of micro-firms grew strongly after 2009. Two factors could explain that. *First*, micro firms are more flexible and might improve productivity much faster than their larger counterparts, whether through boosting technical efficiency, innovation, or by reducing their workforce. *Second*, unproductive small firms leave the market more easily than large ones, with ever more productive new firms replacing the defunct ones. Since start-ups and young innovative firms con-

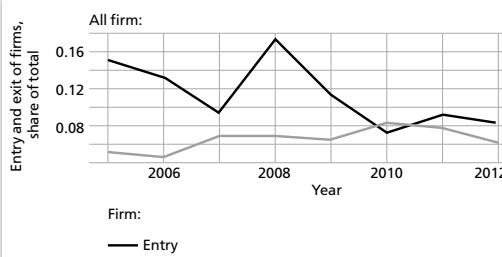
tribute substantially to productivity growth and net job creation (Haltiwanger, Jarmin, Miranda, 2011), and since more than 60% of Russian firms have less than 20 employees, policies focused on innovative start-ups could have a considerable impact on growth.

**Stylized fact 4: The dynamics of “creative destruction” has slowed**

The percentage of firms entering the market each year has declined from around 15 to 9%, while the percentage of exiting firms remained stable (Figure 7).

More firms enter than exit the market in total, but the difference has become smaller. As can be expected, exiting firms are the least productive (Figure 8). Despite high volatility, new entrants are the most productive, suggesting that

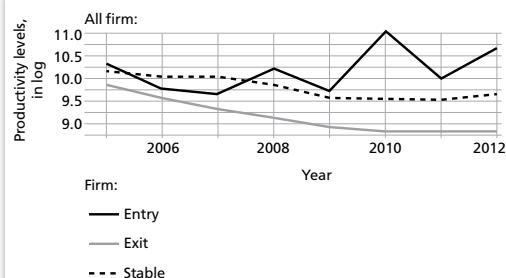
**A. All firms****B. [unclear]****Figure 6***Productivity by firm size*



**Figure 7**  
*Exit and entry, 2005–2011*

support to new innovative firms could raise economy-wide productivity. Still in sectors known for high entry costs and economies of scale, such as mining and manufacturing, older firms tend to be more productive on average than younger ones.

Low and declining productivity of older firms has consequences for the economy. While young unproductive firms leave the market after few years, older firms remain operating although productivity towards the end of their life declines below productivity of new firms (Figure 9). Especially firms aged between 10 and 20 years tend to have very low productivity when they finally leave, suggesting that too many old unproductive firms stay on the market for too long, putting a drag on growth. Against this background, policies to help exit old unproductive firms – sometimes called “zombie firms” – and foster resource real-



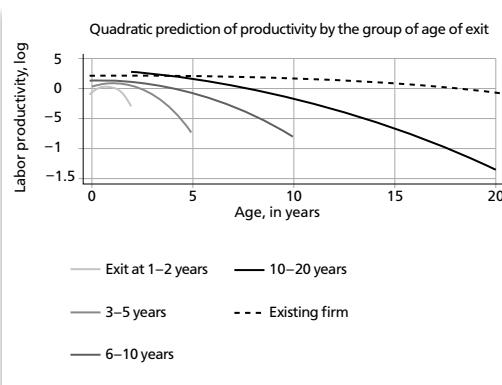
**Figure 8**  
*Productivity of firms that exit, enter and remain in the sample, 2005–2012*

location towards younger, more productive firms could boost economic dynamism.

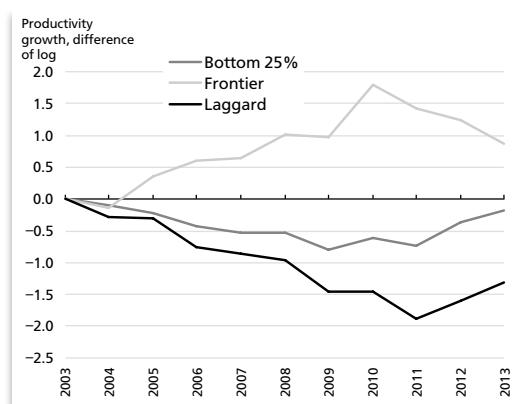
#### Stylized fact 5: The gap between frontier firms and laggards has increased

As in most OECD countries, the gap between the most productive and other firms had been widening in Russia until 2012 although it has narrowed a bit since then (Figure 10). The most productive firms reached almost similar productivity levels in 2014 than in 2003, while the productivity of median and laggard firms was declining almost incessantly. The rising productivity gap points to the need for policies that strengthen entry of new firms, exit of old and unproductive firms and knowledge transfer between all of them.

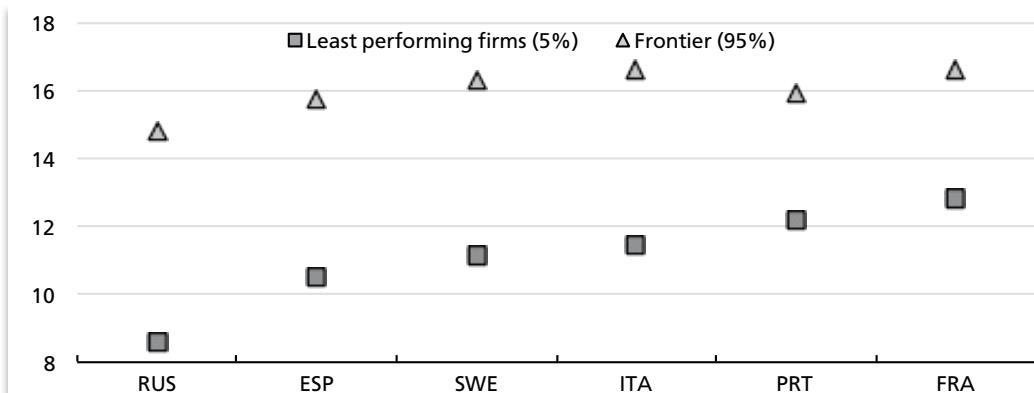
Russia suffers from the largest gap between the most and the least productive firms of all coun-



**Figure 9**  
*Productivity by the age of firm that exits economy*  
Source: OECD calculations based on OECD-Orbis data.



**Figure 10**  
*The gap between frontier firms and laggards has widened in Russia*



**Figure 11**  
*Productivity cut-offs by country*

tries under scrutiny, with the most productive 5% being 60 times more productive than 5% of the least productive firms (Figure 11). In addition, the most productive firms in Russia lag behind their counterparts in other countries. Still the best performing Russian firms in such sectors as transportation and storage or some services are competitive in a European context. Finally, the productivity frontier group today consists of smaller and younger firms than in 2003.

#### Stylized fact 6: Foreign ownership helps increase productivity

Foreign firms tend to increase overall productivity of the economy (Table 1). With around 8 000 foreign firms representing 1.6% of all firms in Russia in 2016, foreign firms make up around 4% of all frontier firms, while their share among laggard and bottom firms is only around 0.8 and 0.5% respectively.

The results of an econometric exercise can be summarized as follows.

- Foreign firms are on average 50% more productive (Column 1). If the firm is owned by an entity based in a European country, productivity rises by another 18%. Ownership by entities from a country known as a ‘tax haven’ does not have an additional impact on productivity.
- When a Russian firm is bought by a foreign entity, its productivity rises by about 9% compared to its previous performance

(Column 2). If the firm is bought by an entity from a European country, productivity rises by another 2% (Column 3).

- Privatizing a state-owned enterprise (SOEs) does not make it more productive. The change in ownership might not imply a real transfer of control and change in practice, with little impact on productivity as a result. Research for an earlier observation period suggests that privatization tends to foster firm-level productivity (Brown, Earle, Telegdy, 2006).
- An increase of foreign firms in a region is associated with a rise in productivity of domestic firms in the same sector, suggesting that foreign competition and knowledge transfer generate a small positive spillover on domestic incumbents in the same sector (Column 5). Productivity in other sectors might decline, suggesting insufficient knowledge transfer and competition for human capital between sectors. The smaller the number of firms in a region, the lower productivity, again highlighting the productivity-enhancing effect of stronger competition between firms.

Overall domestic firms seem to benefit from exposure to international competition and gain technological knowledge, especially if they are in a supplier relationship with the foreign-owned firm (Javorcik, Spatareanu, 2008; Javorcik, 2004). Domestic firms can also benefit if the for-

**Table 1**

Ownership and productivity, econometric estimation

Dependent variable	Labour productivity, log				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Foreign-owned firm	0.506*** (0.0650)	0.0877*** (0.00864)	0.0507*** (0.0185)	0.0731*** (0.00922)	
Foreign-owned by a firm from tax haven	0.0402 (0.0614)		0.0415** (0.0202)		
Foreign-owned by a firm from European country	0.179*** (0.0431)		0.0596** (0.0245)		
State-owned firm				0.309 (0.294)	
Number of foreign firms in sector-region, log					0.0092*** (0.00258)
Number of firms in sector-region, log					-0.0394*** (0.00414)
Number of foreign firms in region, log					-0.0267*** (0.00408)
Number of firms in region, log					-0.110*** (0.00874)
No foreign firms in sector-region					-0.0037 (0.00330)
No foreign firms in region					-0.0225** (0.0111)
Age	-0.0266*** (0.00749)				
Age, squared	0.0002*** (4.29e-05)				
Employment, log	0.0958*** (0.0229)				
Observations	4 479 207	4 419 144	4 419 144	3 931 230	4 328 571
R-squared	0.120	0.833	0.833	0.851	0.833
Sample	2007–2014, all firms				2007–2014, domestic firms only
Region controls	Yes	No	No	No	No
Sector fixed-effect	Yes	No	No	No	No
Year fixed-effect	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Firm fixed-effect	No	Yes	Yes	Yes	Yes

**Note.** Robust standard errors in parentheses. \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1. The results report an average effect of the variable on the firm's productivity level.

**Source:** OECD-Orbis database.

eign firm is technologically close to the domestic incumbent and subsequently encourages innovation to compete on the local market (Fons-Rosen et al., 2017).

### Stylized fact 7: Productivity varies a lot across regions

Productivity is strongly determined by location and seems to be bound by regional idiosyncrasies, even controlling for industrial composition (Blöchliger, Durand-Lasserve, 2018). The North-West federal region is the most productive with 11% higher productivity than the Central federal region, including Moscow (Table 2). The least productive region, with 21% lower productivity than the Central federal region, is the North Caucasian District, which is also very sparsely populated. Against this background, policies that help

foster capital and labour mobility and technology transfer across regional borders could help raise economy-wide productivity.

### Policies to help increase productivity

This short paper used firm-level data to understand the characteristics of productivity levels and growth of Russian firms. Since the paper did not analyze the policy drivers of productivity, an empirically-sustained channel from policy to productivity outcomes is difficult to establish. Still the way the analysis has been carried out allows for a few general conclusions in terms of strategies, policies and measures to help firm-level productivity in Russia to rise. These are:

- Pursue a regulatory reform and competition strategy that helps strengthen market forces.

**Table 2**

A productive Russian firm: summary estimations

Dependent variable	Labour productivity, log				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Size of firm (employment), log	0.0877*** (0.0150)		0.114*** (0.0187)	0.110*** (0.0193)	0.122*** (0.0180)
		-0.248*** (0.0349)			
Very small firms (10–19)		-0.0306 (0.0433)			
Small firms (20–49)		0.637*** (0.0425)			
Medium-sized firms (50–249)		0.285*** (0.0646)			
Large firms (250+)		-0.0245*** (0.00613)	-0.0241*** (0.00632)	-0.0251*** (0.00619)	
Age		0.0001*** (3.44e-05)	0.0001*** (3.52e-05)	0.0001*** (3.51e-05)	
Age, squared			0.0555** (0.0231)	0.0626* (0.0321)	
Far East Region			-0.208*** (0.0565)	-0.206*** (0.0602)	
North Caucasian District			0.106*** (0.0206)	0.109*** (0.0190)	
North West region			-0.104*** (0.0119)	-0.102*** (0.0143)	
Siberian region					

End of table 2

Dependent variable	Labour productivity, log				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
South region				-0.136***	-0.135**
				(0.0504)	(0.0571)
Ural region				0.0820***	0.0892***
				(0.0101)	(0.0123)
Volga region				-0.108***	-0.103***
				(0.0207)	(0.0227)
Mining					0.847***
					(0.188)
Manufacturing					0.539***
					(0.0936)
Electricity					1.821***
					(0.0493)
Water, waste management					0.639**
					(0.271)
Construction					0.538***
					(0.0711)
Trade and repairs					0.351***
					(0.0571)
Transporting and storage					0.866***
					(0.0546)
Accommodation and food services					0.0104
					(0.0589)
Information and communication					0.0878
					(0.190)
Real estate					1.334***
					(0.0469)
Professional and scientific activities					-0.513***
					(0.130)
Administration and support					-0.345
					(0.220)
Observations	5 773 096	5 773 096	5 772 934	5 772 614	5 772 614
R-squared	0.124	0.144	0.130	0.132	0.118
Sector (Nace 2 rev. 2, 2-digit) fixed-effect	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year fixed-effect	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Firm fixed-effect	No	No	No	No	No

**Note.** Robust standard errors in parentheses. \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1. The results report an average effect of the variable on the firm's productivity level.

**Source:** OECD-Orbis database.

- Create a climate that is supportive to innovative start-ups.
- Support “resource allocation” by helping unproductive firms to leave the market.
- Foster labour and capital mobility and knowledge transfer between firms and, especially, across regional borders.
- Embrace foreign ownership and facilitate foreign direct investment further.

## REFERENCES

- Bajgar M., Berlingieri G., Calligaris S., Cris-  
cuolo C., Timmis J.** (2019). Industry  
Concentration in Europe and North  
America. *OECD Productivity Working  
Papers*, 18. Paris: OECD Publishing. DOI:  
10.1787/2ff98246-en
- Blöchliger H., Durand-Lasserve O.** (2018).  
The drivers of regional growth in Russia:  
A baseline model with applications.  
*OECD Economics Department Working  
Papers*, 1523. Paris: OECD Publishing.  
Available at: <https://dx.doi.org/10.1787/9279f6c3-en>
- Brown D., Earle J., Telegyd A.** (2006). The pro-  
ductivity effects of privatization: Longitu-  
dinal estimates from Hungary, Romania,  
Russia, and Ukraine. *Journal of Political  
Economy*, 114, 61–99.
- Fons-Rosen C., Kalemli-Ozcan S., Sorensen B.,  
Villegas-Sanchez C., Volosovych V.**  
(2017). Foreign investment and domestic  
productivity: Identifying knowledge spill-  
overs and competition effects. *Working  
Paper 23643, NBER*. Available at: <https://www.nber.org/papers/w23643>
- Haltiwanger J., Jarmin R., Miranda J.** (2011).  
Who creates jobs? Small vs. large vs. young.  
*Working Paper 16300, NBER*. Available at:  
[http://econweb.umd.edu/~haltiwan/  
size\\_age\\_paper\\_R&R\\_Aug\\_16\\_2011.pdf](http://econweb.umd.edu/~haltiwan/size_age_paper_R&R_Aug_16_2011.pdf)
- Javorcik B.** (2004). Does foreign direct invest-  
ment increase the productivity of domes-  
tic firms? In search of spillovers through  
backward linkages. *The American Economic  
Review*, 94 (3), 605–627.
- Javorcik B., Spatareanu M.** (2008). To share or  
not to share: Does local participation mat-  
ter for spillovers from foreign direct invest-  
ment? *Journal of Development Economics*,  
DOI: 10.1016/j.jdeveco.2006.08.005
- OECD** (2017). *Economic policy reforms: Going for  
growth*. Paris: OECD Publishing. DOI:  
10.1787/growth-2017-en

*Поступила в редакцию 29.10.2020**Received 29.10.2020*

**Х. Блёхлигер**  
ОЭСР, Париж, Франция

**Л. Вильднерова**  
ОЭСР, Париж, Франция

## Производительность российских фирм: семь фактов

**Аннотация.** Производительность в российской экономике в последние 15 лет последовательно снижалась. В настоящей статье анализируются факторы, определявшие этот процесс на уровне отдельных фирм, и оценивается роль этих факторов в снижении производительности на агрегированном уровне. Основные результаты формулируются в виде семи выводов. Показано, что для предотвращения дальнейшего снижения производительности необходимы регуляторные меры, поддерживающие действие рыночных сил. Следует создать благоприятный климат для появления инновационно активных новых фирм, ускорить уход неконкурентоспособных фирм, повысить мобильность трудовых ресурсов и капитала, а также трансферт знаний между фирмами и регионами, облегчить распространение иностранной собственности в экономике. Такую политику необходимо дополнить адресной поддержкой домашних хозяйств и фирм, особенно пострадавших от кризиса вызванного эпидемией Covid-19. Работа основана на результатах, полученных в рабочем докладе департамента экономических исследований ОЭСР, опубликованном в начале 2020 г.

**Ключевые слова:** *российская экономика, производительность на уровне фирм, разрыв производительности, иностранная собственность, вход и выход фирм на рынок.*

JEL Classification: D24, L16, O43.

DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-11

# Научная жизнь



**А.А. Управителев**

Ежегодная конференция Общества  
по развитию поведенческой экономики  
(SABE) 2020

**А.А. Управителев**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

**Ежегодная конференция Общества по развитию  
поведенческой экономики (SABE) 2020**

Ежегодная конференция Общества по развитию поведенческой экономики (SABE) прошла с 22 по 26 июля 2020 г. Эта крупнейшая мировая конференция поведенческих экономистов в этом году впервые должна была пройти в России, на базе НИУ ВШЭ, однако из-за вспышки коронавируса COVID-19 мероприятие была перенесено в онлайн-режим. На 30 секциях прозвучал 121 доклад, а также три ключевых лекции. На конференции выступили 118 исследователей, имеющих аффилиацию в университетах и исследовательских организациях 30 стран мира.

Конференцию открыла секция исследований в области экономики труда. Первым прозвучал доклад **Таксаорн Пхучонгправеч** (Chulalongkorn University, Таиланд). Она экспериментально исследовала проблемы трудоустройства бывших заключенных и доказала, что работодатели неохотно берут кандидатов, имеющих судимость, однако пластическая операция по улучшению внешности значительно повышает шансы на трудоустройство благодаря премии за красоту.

На секции предпочтений по времени наибольший отклик вызвал доклад **Эяля Лахава** (College of Management Academic Studies, Израиль) об эффективности программы социальной реинтеграции демобилизовавшихся из армии Израиля. Был обнаружен побочный эффект такой программы – из-за сильной ориентации программы на необходимость принятия решений о будущем у участников ослабевает ощущение социальной поддержки. Поэтому, считает Лахав, необходимо давать участникам не только информацию о возможном трудоустройстве, но также учить их социальной гибкости, умению создавать дружелюбное, принимающее и поддерживающее социальное окружение.

Ключевой лекцией первого дня конференции стало выступление **Мари Клэр Виллеваль** (L'Université de Lyon, Франция), по-

священное обучению и научению социальным нормам. Она подчеркнула важность изучения механизма передачи социальных норм таким образом, что он становится основой экономической стабильности в обществе. Автор исследовала два вида передачи норм: либо от родителя к ребенку, либо от сверстников. Были проведены два эксперимента – полевой и лабораторный. В целом был сделан следующий вывод: социальные стимулы представляют большую важность не только для регулирования соответствия социальным нормам, но также для процессов обучения и научения этим нормам.

На секции о взаимосвязи поведения и рыночных механизмов докладчик **Марко Стимоло** (Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, Италия) поделился результатами исследования, посвященного экспериментальному лабораторному анализу эффективности государственных субсидий и сотрудничеству компаний в программах научных исследований и разработок. Данные показали, что субсидии подталкивают компании к развитию и сотрудничеству в этой сфере, однако те, кто участвует в программах сотрудничества с другими компаниями, склонны инвестировать меньше.

На секции по подталкиванию **Элейн Мари Греч** (University of Malta, Мальта) поделилась результатами исследования эффективности геймификации физической активности. Исследователь поставила вопрос, какой дизайн игры будет более эффективным: соревновательный, кооперативный и кооперативно-соревновательный. Данные об активности снимались с фитнес-браслетов участников эксперимента, длившегося четыре недели, в виде числа пройденных шагов. Группа с кооперативно-соревновательным алгоритмом игры (команда против команды) показала наибольший рост физической активности по итогам второй недели – впрочем, к концу четвертой недели все группы снизили активность по сравнению

с началом эксперимента. Однако все участники отметили рост удовлетворенности жизнью и ощущение счастья. Наибольший рост был отмечен у тех, у кого геймификация была сделана в алгоритме соревнования.

На ключевой лекции второго дня **Симон Гэхтер** (University of Nottingham, Великобритания) представил доклад о том, почему люди следуют правилам. Этот вопрос, конечно, исследуется самыми разными социальными учеными уже немало лет, однако автору удалось предложить новый взгляд на эту проблему. Он обратил внимание на то, что люди следуют правилам даже в случае отсутствия стимулов, внешних эффектов и влияния других людей. Следование правилам управляет нормативными и эмпирическими ожиданиями от соответствия своего поведения правилам.

На сессии предпочтений и мотивации **Юсинь Су** (Claremont Graduate University, США) рассказал об исследовании эффективности просоциальных стимулов – ситуаций, когда работодатель в качестве награды за достижения работника перечисляет средства в благотворительный фонд. Такие стимулы могут помочь работникам чувствовать большее удовлетворение от жизни и работы, а компаниям – повышать продуктивность и получать налоговые вычеты. Результаты эксперимента показали, что при достижении самостоятельно поставленных целей просоциальные стимулы могут быть эквивалентно эффективными денежным наградам, что может активно применяться фирмами при мотивации сотрудников.

Третий день конференции начался с секции по онлайн-экспериментам. В своем докладе **Кинг-Кинг Ли** (Shenzhen University, Китай) поделился результатами исследования принятия финансовых решений, а именно займа денег молодежью. Было обнаружено, что немалая часть тех, кто берет деньги в долг, характеризуют себя как людей с низким самоконтролем. В среднем они занимают в месяц 36% своего месячного дохода. Около 67% процентов заемщиков не знают ставки процента по своим кредитам. На их поведение сильно влияет уровень финансовой грамотности и предпочтения по времени.

На сессии о помощи при принятии решения **Джулия Питерс** (Berlin International University of Applied Sciences, Германия) исследовала взаимоотношения клиентов банков с советниками, помогающими разобраться в услугах. Она определила, какой тип доверия доминирует у клиентов и у советников – рациональный, опытный или интуитивный и выделила их взаимосвязи. Так, низкий уровень доверия к банковским советникам коррелирует с рациональным типом доверия, а высокий – с интуитивным. Учет предпочитаемого типа доверия клиента может оптимизировать взаимоотношения между клиентом и консультантом.

На секции по поведенческой макроэкономике, посвященной памяти Джона Томера, большое внимание привлек доклад **Эдвина Ипа** (The University of Exeter, Великобритания), посвященный стабильности предпочтений по риску. Исследование проводилось в четырех развитых и трех развивающихся странах. Получены данные от 140 000 респондентов в течение 20 лет. Исследование показало, что в развитых странах предпочтения людей в области поведения в условиях риска являются стабильными, в то время как в развивающихся они менее стабильны и подвержены влиянию разнообразных социальных потрясений.

Автором ключевой лекции третьего дня, посвященной сотрудничеству внутри компаний стал **Мартин Кохэр** (Institut für Höhere Studien, Австрия). Отличительной особенностью этого исследования является тот факт, что оно проводилась не на основе лабораторных экспериментов, а на данных, полученных от реальных компаний. Было обнаружено, что склонность к кооперации не ведет к финансовым вознаграждениям внутри компаний, но дает такие бонусы как признание. И в целом устойчивая склонность к сотрудничеству в большей степени обусловлена внутренней мотивацией, а не финансовыми стимулами.

На сессии, посвященной равенству и дискриминации, прозвучал доклад о гендерном разрыве при оплате труда, который представила **Мэри Ригдон** (Rutgers University, США). Известно, что на каждый доллар, зара-

ботанный мужчиной, приходится лишь 80 центов, заработанных женщиной. Одной из причин такого явления называют меньшую склонность женщин к конкуренции. Впрочем, результаты прошлых исследований показывают, что высокая конкурентность требует от женщин разного рода издержек — так, многие мужчины негативно переживают тот факт, что их супруга зарабатывает больше. Было обнаружено, что стремление к конкуренции проявляется разными способами — могут иметь значение не только деньги, но также и возможность влияния, и когда женщинам дают возможность конкурировать за влияние, гендерный разрыв в заработной плате устраняется.

В четвертый день конференции на сессии о социальном имидже **Василиса Петрищева** (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Германия) поделилась результатами исследования, касающегося частного феномена неприятия потерь. Этот эффект хорошо известен в сферах, связанных с деньгами, однако автор поставила себе задачу выяснить, распространяется ли неприятие потерь и на социальный имидж. Было обнаружено, что эффект неприятия потерь в этом ключе характерен лишь для людей, у которых уже есть сложившаяся хорошая репутация.

На сессии, посвященной предпочтениям, зависящим от контекста, **Нур Ялдиз** (Universitetet i Stavanger, Норвегия) представила доклад, о женщинах-руководителях. Часто от руководителей требуются черты характера, которые одобряются для мужчин, но не одобряются для женщин — соревновательность, напористость, склонность к риску. Имидж лидера влияет на имидж организации. Представленное исследование посвящено тому, какие вербальные стратегии используют женщины-лидеры для создания своего публичного имиджа, и отличаются ли они от стратегий мужчин-лидеров. Было обнаружено, что женщины-лидеры, по сравнению с мужчинами-лидерами применяют более мягкий доброжелательный стиль общения, но в то же время их тон более уверенний и амбициозный, чем в среднем у мужчин.

<sup>1</sup> <https://www.hse.ru/data/2020/07/18/1597942171/Programme.pdf>, <https://sabe2020.hse.ru/speakers/>

На сессии, посвященной актуальной теме, как пандемия коронавируса влияет на социальные нормы, **Чинзия Кастильони** (Universita Cattolica Del Sacro Cuore, Италия), представила доклад, посвященный сравнению отношения к налогам и пожертвованиям в пользу системы здравоохранения во время эпидемии коронавируса. Сбор данных проводился с 21 марта по 8 апреля 2020 г., в разгар эпидемии в Италии. Было обнаружено, что люди в значительно большей степени готовы платить, когда взнос позиционируется как добровольное пожертвование, а не единоразовый обязательный налог.

Последняя секция конференции была посвящена исследованиям, проведенным методом лаборатории в поле. **Вальтер Кристиан** (Universität Vechta, Германия) рассказал о своем исследовании на рынке труда: он сравнил перспективы трудоустройства для женщин и мужчин на вакансиях ухода за детьми и обнаружил значительную дискриминацию мужчин — даже будучи более образованными, они имеют намного меньше шансов, чем женщины. Эта проблема дискриминации подлежит решению, поскольку и родители часто хотели бы видеть больше мужчин в этой сфере, и контакт только с женщинами может давать определенные эффекты в формировании ребенка.

Онлайн-режим данной конференции позволил дать новый взгляд на сообщество поведенческих экономистов. Если ранее не все желающие могли попасть на географически отдаленное мероприятие, то онлайн-режим предоставил относительно равные возможности участия.

Онлайн-режим конференции открыл совершенно новую возможность сохранения материалов конференции — в открытом доступе находится не только полная программа, но также и видеозаписи ключевых лекций<sup>1</sup>.

*Поступила в редакцию 20.10.2020*

*Received 20.10.2020*



## **XXII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества (АМНК)**

**13—23 апреля 2021 г., г. Москва**

XXII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества, проводимая Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики», состоится с 13 по 23 апреля 2021 г. Председатель Программного комитета АМНК – научный руководитель НИУ ВШЭ профессор Е.Г. Ясин.

Конференция посвящена широкому кругу актуальных проблем экономического и социального развития страны. Основную часть выступлений на АМНК составляют научные доклады российских и зарубежных ученых. Важной частью программы конференции являются специальные мероприятия, которые проводятся в формате пленарных заседаний и круглых столов с участием членов Правительства Российской Федерации, государственных деятелей, представителей бизнеса, российских и зарубежных экспертов.

В сложившихся эпидемиологических условиях XXI Апрельская конференция прошла в распределённом формате, что означало совмещение различных форм проведения и более длительных сроков. Приём заявок на XXII АМНК был открыт 21 сентября. Планируется, что конференция пройдёт с 13 по 23 апреля 2021 г. в смешанном формате и объединит как онлайн, так и офлайн мероприятия. Рассчитываем не позднее 1 февраля уточнить формат проведения конференции.

Как и в прошлом году, Программный комитет объявил о конкурсе заявок на поддержку участия в конференции молодых исследователей из вузов российских регионов и Санкт-Петербурга. Приглашаем к участию молодых ученых!

Апрельская международная научная конференция в очередной раз открывает свои двери для академического и экспертного сообщества. Будем рады видеть Вас на пространстве Апрельки!

Подробная информация – на официальном сайте конференции  
<https://conf.hse.ru/2021/>

Организационный комитет конференции  
(контакт: [interconf@hse.ru](mailto:interconf@hse.ru))



## **XXII April International Academic Conference on Economic and Social Development**

**April 13–23, 2021, Moscow**

On April 13 – 23, 2021 National Research University Higher School of Economics (HSE University) will be hosting the XXII April International Academic Conference on Economic and Social Development. The Conference's Programme Committee will be chaired by Professor Evgeny Yasin, HSE University's academic supervisor.

The Conference features a diverse agenda concerning social and economic development in Russia. The Conference programme will include presentations by Russian and international academics, roundtables and plenary sessions with participation of members of the Government of the Russian Federation, government officials, business representatives, and leading Russian and foreign experts.

The most recent April Conference took place in a distributed format, thus ensuring maximum opportunities and extended timeframes for discussion and debate about key developments and trends in the economy and society with various sessions held online. The Call for Application for the 22nd April Conference is opened on September 21, 2020. We plan to hold the conference from April, 13 until 23, 2021, likely using both online and offline formats. We also hope to confirm the Conference's format (online, offline or blended) by February 1, 2021.

The April International Academic Conference on Economic and Social Development once again invites participants from the global academic and expert community! We are looking forward to seeing you at the next Conference!

The detailed information will be published on the website of the Higher School of Economics <https://conf.hse.ru/>

The Conference Organizing Committee

Contact: [interconf@hse.ru](mailto:interconf@hse.ru)

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Для заметок

# Журнал Новой экономической ассоциации

Дизайн

**В. Валериус**

Компьютерная верстка

**О. Скворцова**

Редактор

**И. Шитова**

Издатель: АНО «Журнал Новой экономической ассоциации»

Адрес редакции: 117218, Москва, Нахимовский проспект, 32, офис 1100(б)

Тел. +7 (495) 718-98-55

E-mail: tizina@mail.ru

Подписано в печать: 28.12.2020

Формат: 70x108 1/16

Бумага офсетная: Печать офсетная

Уч-изд. л. 20,3

Тираж 700 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Технологии рекламы»

127051, Москва, Цветной бульвар, д.24, корпус 2

Тел.: +7 (495) 215 0330

[www.teca.ru](http://www.teca.ru)

[info@teca.ru](mailto:info@teca.ru)

Заказ № 200929-002О

Подписной индекс журнала в каталоге Агентства «Роспечать» 37158

Перепечатка материалов из «Журнала Новой экономической ассоциации» только по согласованию с редакцией.