

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ МАСШТАБА И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ

Евгений Всеволодович БАЛАЦКИЙ,

директор Центра макроэкономических исследований,
Финансовый университет при Правительстве РФ,
главный научный сотрудник,
Центральный экономико-математический институт РАН,
г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: evbalatsky@inbox.ru;

Максим Андреевич ЮРЕВИЧ,

научный сотрудник,
Центр макроэкономических исследований,
Финансовый университет при Правительстве РФ,
г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: maksjuve@gmail.com

Цитирование: Балацкий, Е. В., Юревич, М. А. (2020). Технологический эффект масштаба и экономический рост // *Terra Economicus*, 18(1), 43–57. DOI: 10.18522/2073-6606-2020-18-1-43-57

В статье предлагается простая модель экономического роста, являющаяся модификацией уравнения накопления основного капитала. Дополнительно вводится традиционное предположение, что производительность труда является степенной производственной функцией от капиталовооруженности. Работа с моделью показала, что рост капиталовооруженности, отождествляющий технологический прогресс, не ведет автоматически к стимулированию экономического роста. Для подобного стимулирования должно выполняться довольно жесткое условие, состоящее в том, что степенной параметр θ в производственной функции должен быть больше единицы; в противном случае технологический прогресс, как это ни парадоксально, сдерживает экономический рост. Наличие условия $\theta > 1$ названо технологическим эффектом масштаба, так как в этом случае происходит широкое тиражирование новых технологий, которое приводит к ускоренному росту производительности труда. Эконометрическая проверка наличия указанного условия для ряда стран показала его неочевидность. Как оказалось, только в России, Канаде, США и Франции действовал технологический эффект масштаба; в остальных странах выборки – Японии, Италии, Австралии и Великобритании – имело место прямо противоположное условие: $\theta < 1$. Для объяснения появления эффекта масштаба выдвинута гипотеза о необходимости существования двух драйверов развития – отраслевого и территориального. Отраслевой драйвер представляет собой кластер высокотехнологичных отраслей (например, авиастроение и атомная энергетика), который генерирует предприятия с высокой производительностью труда. Территориальный драйвер предполагает обширную территорию страны, что позволяет широко тиражировать продукцию отраслевого драйвера. Выдвинута идея о наличии у России важного экономического преимущества в силу

имеющегося у нее технологического эффекта масштаба, что создает объективные условия для эффективного внедрения высоких технологий.

Ключевые слова: экономический рост; капиталовооруженность; технологический эффект масштаба; технологический прогресс

Благодарность: Статья подготовлена в рамках государственного задания Правительства Российской Федерации Финансовому университету на 2020 г. по теме «Технологические, структурные и социальные факторы долгосрочного экономического роста» (AAAA-A19-119080990043-0).

TECHNOLOGICAL ECONOMIES OF SCALE AND ECONOMIC GROWTH

Evgeny V. BALATSKY,

Doct. Sci. (Econ.), Professor, Head,
Macroeconomic Regulation Center,
Financial University under the Government of the Russian Federation,
Principal Research Scientist,
Central Economic Mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation,
e-mail: evbalatsky@inbox.ru;

Maksim A. YUREVICH,

Research Fellow,
Financial University under the Government of the Russian Federation,
Moscow, Russian Federation,
e-mail: maksjuve@gmail.com

Citation: Balatsky, E. V., Yurevich, M. A. (2020). Technological economies of scale and economic growth. *Terra Economicus*, 18(1), 43–57. DOI: 10.18522/2073-6606-2020-18-1-43-57

The article focuses on a simple model of economic growth: a modification of the fixed capital accumulation equation. Besides, we introduce the traditional assumption that labor productivity is a power-based production function of capital strength. The model has shown that the growth of capital intensity, which identifies technological progress, does not automatically lead to the stimulation of economic growth. For such incentives, a rather strict condition must be met, which is that the power parameter θ in the production function must be greater than one; otherwise, technological progress, paradoxically, constrains economic growth. The presence of the condition $\theta > 1$ is called the technological effect of scale since in this case, and there is a wide replication of new technologies, which leads to an accelerated increase in labor productivity. An econometric check of the presence of this condition for several countries showed that it was not obvious. As it turned out, only Russia, Canada, the United States, and France had a technological scale effect; the other sample countries – Japan, Italy, Australia, and the United Kingdom – had the opposite condition: $\theta < 1$. To explain the scale effect, the authors put forward the hypothesis that there are two drivers of development – industrial and territorial. An industry driver is a cluster of high-tech industries (such as aircraft manufacturing and nuclear power) that are generated by enterprises with high productivity. The territorial driver assumes a vast territory of the country, which allows replicating the products of the industry driver widely. The idea is put forward that Russia has a significant economic advantage due to its technological economies of scale, which creates objective conditions for the effective implementation of high technologies.

Keywords: *economic growth; capital intensity; technological economies of scale; technological progress*

JEL codes: *O11, O41, O47*

Введение

Взаимосвязь между экономическим ростом и технологическим прогрессом изучается давно и является центральным звеном экономической теории. Беспрецедентное развитие цифровых технологий в последние два десятилетия продуцирует новый виток интереса к проблеме технологического прогресса и его влияния на социальное развитие. В некоторых работах уже ставится вопрос о том, что тотальная цифровизация может привести к массовому высвобождению работников не только физического, но и умственного труда (Балацкий, 2019). Таким образом, вопрос о будущем человечества в связи с развитием технологий становится все более актуальным. Однако не меньший интерес представляет встречный вопрос – относительно влияния технологического прогресса в прошлом, например, в период выхода человечества из мальтузианской ловушки. Эти две аналитические линии тесно связаны – понимание влияния технологического фактора в прошлом может помочь в понимании его последствий в будущем и наоборот.

Несмотря на накопленные знания о закономерностях влияния технологий на экономический рост, некоторые аспекты этой проблемы ускользают от внимания аналитиков. Более того, в отношении некоторых вопросов бытуют поверхностные суждения, нуждающиеся в уточнении и углублении. Одним из таких популярных суждений выступает постулат о том, что производительность труда может быть представлена степенной функцией от капиталовооруженности со степенным параметром меньше единицы. Цель данной статьи состоит в более подробном рассмотрении этого утверждения и выяснении того, какое значение имеет форма указанной функциональной связи для экономического роста.

Краткий обзор литературы

Поиск причин экономического роста занимает умы многих поколений экономистов. Одно из решений этого вопроса было предложено в 1956 г. Р. Солоу в форме модели экзогенного экономического роста, в которой совокупный выпуск зависел от объема капитала, трудовых ресурсов и технологического фактора (Solow, 1956). Игнорирование других факторов, которые раньше возводились в ранг первостепенных (например, земли у физиократов или денег у ранних меркантилистов), было связано с описанием моделей экономики, характерных для развитых стран XX в., а также с желанием придать модели максимально лапидарный вид. Неоклассики насыщали модель Солоу преимущественно уточняющими компонентами вроде человеческого капитала (Uzawa, 1971), затратами на исследования и разработки (Romer, 1990), степенью вовлеченности в глобальную экономику (Malawi, AlMansi, 2014), однако три фактора канонической модели никогда не выпадали из фокуса экономического анализа в рамках данной парадигмы. Исследования вклада основных факторов производства в рост экономики привели экономистов к осознанию значимости эластичности замещения труда капиталом как меры уровня развития всей экономической системы (Knoblach, Stöckl, 2019). В частности, масштаб влияния этого параметра был использован для объяснения дисперсии среднедушевого дохода (Klump, de La Grandville, 2000), различий в уровне экономического развития стран (Caselli, 2005), а также направления технологической модернизации в зависимости от ключевого производственного фактора (Acemoglu, 2003).

По мнению Р. Солоу, в долгосрочном периоде основным двигателем экономики является технический прогресс, а не накопление капитала или норма сбережения; в краткосрочном – динамика производства и уровень жизни населения (Ковалевская, 2017). В то же время он показал на основе данных об американской экономике за 1909–1949 гг., что рост ВВП в этот период детерминировался как научно-техническим прогрессом (НТП), так и увеличением использования капитала (Solow, 1957). Трактовку этой закономерности дают О.А. Замулин и К.И. Сонин: «В модели Солоу, составляющей фундамент теории роста, подушевой продукт растет за счет инвестиций в основной капитал и соответствующего увеличения капитальных мощностей на одного работника до достижения стационарного состояния, в котором ВВП на душу населения постоянен, а ВВП страны может расти только за счет роста населения. Производительность труда в такой модели объясняется в первую очередь капиталовооруженностью, т.е. количеством мощностей на одного работника» (Замулин, Сонин, 2019). Одно из наглядных подтверждений этой концепции было продемонстрировано на ретроспективных данных для экономики США и Великобритании: в период с 1840 по 1910 г. при сохранении приблизительно эквивалентных значений совокупной факторной производительности стремительный рост производительности труда в США по сравнению с Великобританией детерминировался почти полуторакратным увеличением капиталовооруженности (Broadberry, Irwin, 2006).

Приведенные рассуждения свидетельствуют в пользу существования некоего оптимального уровня накопления капитала, который соответствует условиям экономической системы. Таким образом, недостаток капитала может сдерживать экономический рост, равно как и его избыток как минимум не приводит к этому росту. Т. Пикетти отмечает, что «Избыток капитала убивает капитал. Какие бы институты и нормы ни регулировали соотношение между капиталом и трудом, естественно ожидать, что предельная производительность капитала будет сокращаться по мере того, как растет его объем» (Пикетти, 2015: 219). Обнаружению этой предельной нормы накопления капитала с учетом других параметров, отражающих уровень развитости экономики, было посвящено множество исследований в экономической науке. В частности, на выборке из крупнейших мировых экономик за период с 1870 по 1979 г. было показано, что наибольший эффект от ускоренного накопления капитала наблюдается при догоняющем развитии, когда требуются обильные средства для запуска новых производств (Wolff, 1991). Однако по мере приближения к мировой технологической границе этот эффект ослабевает, в том числе в силу «старения» капитала («vintage effect»). Более того, избыточное накопление капитала или концентрация фиктивного капитала, не обеспеченного реальными активами, по мнению ряда исследователей, является одной из ключевых причин глобальных экономических кризисов (Bello, 2006; Рязанов, 2014).

Так, принимая предпосылку о постоянной отдаче от масштаба, двухфакторная производственная функция, в которой доход (Y) зависит от труда (L) и капитала (K), т.е. $Y = Y(L, K)$, может быть трансформирована в однофакторную функцию $P = f(k)$, где P – производительность труда ($P = Y/L$), а k – уровень капиталовооруженности ($k = K/L$). Таким образом, согласно неоклассической традиции, экономический рост становится следствием процессов аккумуляции капитала (Mankiw, Phelps, Romer, 1995). Эта простейшая модель, с одной стороны, игнорирует влияние других факторов производства, с другой – позволяет с легкостью выявить характер воздействия между этими параметрами и нащупать зоны избыточности или недостаточности капитала. В более сложных вариациях, например, с совокупной факторной производительностью или затратами на НИОКР, эконометрические модели уже не позволяют в явном виде выделить моменты перехода из одной зоны в другую.

Однофакторная модель, в частности, успешно применяется для проведения межстрановых или межрегиональных исследований, а также для обнаружения изменений экономической системы во времени. Для такого рода изысканий больше подходят

страны с динамично развивающейся экономикой. Например, парная регрессия была использована с целью кластеризации отраслей экономики Китая по принципу достаточности капиталовооруженности (Jefferson, Rawski, Zhang, 2008). Аналогичным образом на примере Китая была показана динамика зависимости производительности труда от капиталовооруженности на разных временных интервалах, а именно рост коэффициента связи (Dollar, 1990). Похожая модель с учетом потока, а не запаса капитальных ресурсов была использована для оценки периодов избыточного инвестирования для марокканской экономики в период с 1970 по начало 2010-х гг. (Ezzahid, Niho, 2017). Таким образом, простота однофакторной модели не умаляет ее диагностической ценности и позволяет получить весьма ценные выводы.

Понятие технологического эффекта масштаба: теоретические построения

Взаимосвязь технологического прогресса и экономического роста изучалась постоянно и имеет множество аранжировок. Вместе с тем некоторые аспекты этой связи до сих пор не до конца понятны. Ниже рассмотрим влияние роста капиталовооруженности на темпы экономического роста. Данное влияние напрямую связано с эффектом, который мы будем называть технологическим эффектом масштаба и который долгое время ускользал от внимания аналитиков.

Рассмотрим простую модель экономического роста, основанную на классическом уравнении накопления капитала:

$$K_{t+1} = (1 - \sigma)K_t + I_t, \quad (1)$$

где K_t – объем основного капитала в момент времени t ; I_t – инвестиции в основной капитал в году t ; σ – норма годового выбытия основного капитала.

Разделив уравнение (1) на объем ВВП Y_t и предположив, что имеют место простейшая инвестиционная функция $I_t = sY_t$ и однофакторная производственная функция $Y_t = (1/v)K_t$, где s – норма накопления, а v – показатель капиталоемкости, можно получить следующее уравнение относительно темпа прироста основного капитала α :

$$\alpha = -\sigma + s/v. \quad (2)$$

Если предположить, что капиталоемкость постоянна во времени, равно как и параметры нормы инвестирования и нормы выбытия капитала, то темп экономического роста λ совпадает с темпом прироста капитала α . Тогда уравнение (2) превращается в уравнение экономического роста:

$$\lambda = -\sigma + s/v. \quad (3)$$

Специфика уравнения (3) состоит в том, что оно описывает экономический рост в отсутствие технологического прогресса в силу фиксации параметра капиталоемкости. Для преодоления этого недостатка воспользуемся балансовым соотношением: $1/v = P/k$, где P – производительности труда; k – капиталовооруженность; v – капиталоемкость. Тогда уравнение (3) примет следующий вид:

$$\lambda = -\sigma + s(P/k). \quad (4)$$

Теперь предположим, что производительность труда описывается степенной функцией от капиталовооруженности: $P = Ck^\theta$, где C и θ – параметры-константы. Данное предположением является традиционным для современной экономической теории. Забегая вперед, укажем, что стандартным предположением всех теоретических по-

строений является условие $\theta < 1$. С учетом сказанного уравнение (4) конкретизируется следующим образом:

$$\lambda = -\sigma + sCk^{\theta-1}. \quad (5)$$

Теперь предположим, что в системе возникает возмущение в виде технологического прогресса, проявляющегося в росте капиталовооруженности k . Тогда чувствительность темпов экономического роста описывается уравнением:

$$\frac{d\lambda}{dk} = \frac{s(P/k)(\theta-1)}{k}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что рост капиталовооруженности ведет к стимулированию экономического роста ($d\lambda/dk > 0$) при параметре $\theta > 1$; в противном случае технологический прогресс, как это ни парадоксально, «съедает» экономический рост. Таким образом, параметр степенной функции производительности труда от капиталовооруженности имеет принципиальное значение для экономического роста. Содержательная интерпретация данного факта означает, что рост капиталовооруженности должен приводить к ускоренному росту производительности труда; и только в этом случае технический прогресс ускоряет экономический рост. Учитывая, что эластичность темпов экономического роста по капиталовооруженности полностью определяется значением параметра θ , можно говорить, что и сам параметр θ олицетворяет явление, которое в дальнейшем будем называть *технологическим эффектом масштаба*. Если $\theta > 1$, то в экономической системе действует технологический эффект масштаба, означающий расширенное проявление ввода новых производственных технологий; в противном случае технологический эффект масштаба отсутствует в силу слабого «перелива» технического прогресса в сферу труда.

На самом деле полностью корректным выражение (6) является применительно к темпу накопления капитала:

$$\frac{d\alpha}{dk} = \frac{s(\theta-1)}{vk}. \quad (7)$$

Если снять ограничение на постоянство параметра капиталоемкости, то темп экономического роста определяется как разница темпа роста капитала и темпа роста капиталоемкости: $\lambda = \alpha - \gamma$, где γ – темп роста капиталоемкости. В этом случае обобщенное уравнение экономического роста имеет:

$$\lambda = -\sigma - \gamma + sCk^{\theta-1}. \quad (8)$$

Если учесть, что $1/v = P/k$, то темп прироста капиталоемкости можно представить в виде: $\gamma = \zeta(\theta - 1)$, где ζ – темп роста капиталовооруженности. Тогда уравнение (8) конкретизируется и уточняется следующим образом:

$$\lambda = -\sigma - \zeta(\theta - 1) + s(Ck^{\theta-1}). \quad (9)$$

В таком виде в уравнении (9) уже учтен феномен технологического прогресса, который проявляется в росте капиталовооруженности. В силу того, что величина темпа ζ невелика, а показатель эластичности θ колеблется вокруг единицы, второй компонент правой части уравнения (9) оказывается микроскопическим, в связи с чем его

отбрасывание является вполне допустимым для упрощения анализа. В общем виде чувствительность экономического роста описывается уравнением:

$$\frac{d\lambda}{dk} = (\theta - 1) \left(\frac{s}{vk} - \frac{d\zeta}{dk} \right). \quad (10)$$

Из (10) видно, что уточнение, которое оно дает по сравнению с (6), не существенно. Фактически речь идет о добавлении компонента $d\zeta / dk$, величина которого является совсем незначительной, а в ряде случаев можно без потери степени общности принять гипотезу слабого влияния: $d\zeta / dk = 0$. Более того, в ряде ситуаций дополнительный рост капиталовооруженности может даже сокращать установившиеся темпы ее роста, т.е. $d\zeta / dk < 0$. В любом случае уравнения (6) вполне достаточно для исследования влияния технологического прогресса на темпы экономического роста.

Теперь зададимся вопросом по поводу того, насколько выведенные нами уравнения соответствуют макроэкономическим традициям. Дело в том, что уравнение (3) является несущей конструкцией всей современной макроэкономики. В своих незначительных разновидностях оно фигурирует либо в качестве главного, либо вспомогательного элемента многих экономических моделей. Достаточно напомнить, что уравнение (3) в агрегированном виде фигурирует в концепции Т. Пикетти; более того, Пикетти этому соотношению придает большое значение и называет его вторым законом капитализма (Пикетти, 2015). Тем самым корректность базовой конструкции, лежащей в основе наших построений, не вызывает сомнений.

Формула (6) позволяет дать четкую и ясную классификацию технологического прогресса в соответствии с типом функциональной зависимости между производительностью труда и капиталовооруженностью. В зависимости от величины эластичности θ следует различать стимулирующий, нейтральный и сдерживающий технологический прогресс в отношении экономического роста (табл. 1).

Таблица 1

Классификация технологического прогресса

Тип технологического прогресса	Проявление	Условие реализации
Стимулирующий	$d\lambda / dk > 0$	$\theta > 1$
Нейтральный	$d\lambda / dk = 0$	$\theta = 1$
Сдерживающий	$d\lambda / dk < 0$	$\theta < 1$

Теоретическое значение полученного условия (6) имеет большую значимость. Так, до сих пор по умолчанию считается, что технический прогресс является не только фактором экономического роста, но и смыслом самого этого роста. Если страна желает попасть в разряд передовых и богатых государств, то ей необходимо, прежде всего, создать национальную инновационную систему, которая обеспечила бы ей необходимый технологический прогресс. Параллельно большое число модельных разработок базируется на априорном постулате наличия нелинейной зависимости между производительностью труда и капиталовооруженностью со степенным показателем $\theta < 0$. Между тем условие (6) показывает, что такие представления являются слишком упрощенными. Как оказывается, технологический прогресс может выступать не только в качестве драйвера экономического роста, но и в качестве его тормоза. Если настройка процессов накопления капитала, его продуктивности и сопряжения с рабочей силой выполнена неадекватно и не соответствует условию $\theta > 0$, то технологический эффект масштаба нарушается, а ввод дополнительных производственных мощностей будет только препятствовать экономическому росту.

Условие (6) раскрывает тезис о том, что важно не только и не столько вводить в строй новое технологическое оборудование, сколько внедрять по-настоящему эффек-

тивные основные средства, которые обеспечат необходимый и оправданный рост производительности труда с соответствующей экономией живого труда. Иными словами, рост стоимости рабочего места сам по себе не дает положительного эффекта; таковой возникает только при тонком сочетании массы оборудования, его стоимости и эффективности. Именно этот процесс настройки трех составляющих производственных технологий косвенно отражен в технологическом эффекте масштаба.

Эмпирическая проверка технологического эффекта масштаба

Для проверки действия технологического эффекта масштаба рассмотрим для разных стран эконометрические зависимости вида (прологарифмированная степенная зависимость производительности труда от капиталовооруженности):

$$\ln P = \beta + \theta \ln k, \quad (11)$$

где β и θ – параметры, определяемые статистически.

Результаты прикладных расчетов приведены в табл. 2. Для оценивания использовались данные международной статистики; для вычисления объема основного капитала практиковался традиционный подход: брались не потоки (инвестиции), а запасы (капитал) в постоянных ценах. Все модели табл. 2 являются статистически значимыми; похожие зависимости были получены для Голландии, Дании, Германии и Израиля, однако параметр масштаба θ для этих стран оказался меньше единицы и статистически незначимым.

Некоторое своеобразие в выборке стран представляет Россия, для которой нет сопоставимой международной статистики. В связи с этим для нее использовались данные Росстата в двух вариантах – в рублях в сопоставимых ценах и пересчитанные в долларах США в сопоставимых ценах. В связи с этим для России приводятся две эконометрические модели для данных, измеряемых в рублях и долларах соответственно; для второй модели константа значима на уровне 10% (табл. 2).

Проведенные расчеты позволяют сделать ряд интересных выводов.

Во-первых, все страны мира сильно дифференцированы в зависимости от значения параметра θ – никакой единой картины не наблюдается. Более того, из табл. 2 видно, что для некоторых государств эластичность производительности труда по капиталовооруженности не только может оказаться с разной стороны от единицы, но и способна принимать отрицательные значения. Можно предположить, что периоды, для которых характерны подобные величины θ , являются периодами структурного кризиса, когда происходит либо технологический застой, либо смена технологического режима. В современной терминологии подобные периоды развития называются инновационной паузой (Полтерович, 2009; Савина, 2010; Дементьев, 2011). В таком положении в настоящее время находятся Италия и Япония, а раньше в похожем состоянии во время периода Великой депрессии и Второй мировой войны находились Соединенные Штаты Америки.

Во-вторых, рост параметра θ косвенно диагностирует технологическое могущество страны. Например, США в XX и XXI в. проделали серьезное технологическое ралли – от сильно отрицательного значения эластичности θ в «темные годы» первой половины 20-го столетия до включения в послевоенный период технологического эффекта масштаба и его заметного усиления в последние три десятилетия.

В-третьих, некое подобие системной модели технологического развития демонстрирует, пожалуй, лишь англосаксонская цивилизация в лице США и Канады, а также подтягивающихся к ним Великобритании и Австралии. В Европе разброс технологического эффекта слишком сильно варьирует – от огромного для Франции (2,18) до сильно отрицательного в Италии (–0,31). Например, между Францией и Италией разрыв в параметре θ составляет 2,5. Все это свидетельствует о кардинальных различиях в национальных моделях технологического развития; по всей видимости, говорить о

какой-либо единой и унифицированной европейской национальной инновационной системе нельзя.

Таблица 2

Оценка технологического эффекта масштаба

Страна	Период	Модель	θ
Франция	1980–2017	$\ln Y = -9,152 + 2,179 \ln k$ (2,737) (4,090) $N = 38; R^2 = 0,317$	2,18
США	1929–1945	$\ln Y = 8,695 - 1,031 \ln k$ (10,430) (6,297) $N = 17; R^2 = 0,726$	-1,03
США	1945–1990	$\ln Y = -0,989 + 1,133 \ln k$ (13,039) (39,738) $N = 46; R^2 = 0,973$	1,13
США	1990–2017	$\ln Y = -2,722 + 1,278 \ln k$ (8,467) (22,801) $N = 28; R^2 = 0,952$	1,28
Финляндия	1990–2017	$\ln Y = -2,398 + 1,107 \ln k$ (3,441) (9,904) $N = 28; R^2 = 0,790$	1,11
Канада	1976–2017	$\ln Y = -1,258 + 1,066 \ln k$ (3,271) (14,809) $N = 42; R^2 = 0,846$	1,07
Великобритания	1995–2017	$\ln Y = -1,281 + 0,985 \ln k$ (3,754) (16,629) $N = 23; R^2 = 0,929$	0,99
Австралия	1979–2017	$\ln Y = -1,005 + 0,971 \ln k$ (5,236) (29,343) $N = 39; R^2 = 0,959$	0,97
Италия	1995–2017	$\ln Y = 5,777 - 0,197 \ln k$ (19,494) (4,138) $N = 23; R^2 = 0,449$	-0,20
Япония	1994–2017	$\ln Y = 6,016 - 0,314 \ln k$ (49,462) (12,738) $N = 24; R^2 = 0,881$	-0,31
Россия (рубли)	1992–2017	$\ln Y = -4,849 + 1,562 \ln k$ (2,311) (5,404) $N = 26; R^2 = 0,548$	1,56
Россия (доллары)	1994–2016	$\ln Y = -2,113 + 1,373 \ln k$ (1,726) (4,149) $N = 23; R^2 = 0,450$	1,37

В-четвертых, проведенные расчеты подтверждают известный тезис, что главным драйвером мировой экономики второй половины XX и начала XXI в. выступали Соединенные Штаты Америки. Согласно проведенным расчетам, США удалось сохранять технологический эффект масштаба на протяжении почти 85 лет, что является беспрецедентным фактом.

В-пятых, полученные значения параметра θ требуют переосмысления степени успешности технологических моделей некоторых стран, прежде всего Франции и

Германии. Можно предположить, что Франция, будучи лидером в самолетостроении и атомной энергетике, смогла использовать эти преимущества для «запуска» рекордно большого технологического эффекта масштаба – в 1,7 раза больше, чем в США.

В-шестых, Россия, будучи в настоящее время технологическим аутсайдером мировой экономики, как оказывается, так же, как и США, обладает технологическим эффектом масштаба, причем достаточно ярко выраженным. По всей видимости, Россия, равно как и Франция, Канада и США, обладает набором соответствующих условий для проявления указанного эффекта (например, полный цикл ядерных технологий и авиастроение). Кроме того, нельзя не заметить того неоспоримого факта, что все страны с выраженным технологическим эффектом масштаба обладают достаточно большой территорией – США, Канада, Россия и отчасти Франция. Данный момент также требует содержательной интерпретации.

Интерпретация результатов

Данные табл. 2 позволяет выдвинуть следующую базовую гипотезу. Технологический эффект масштаба показывает эффективность национальной экономики с точки зрения источников генерирования и возможностей распространения технологических инноваций. В свою очередь, для проявления этого эффекта необходимы два рыночных драйвера – отраслевой и территориальный. Под первым понимается наличие таких отраслей и технологий, которые обладают большим межотраслевым мультипликатором. В дополнение к технологиям широкого применения, которые внедряются в разные отрасли экономики, в данном случае подразумеваются технологии, которые, наоборот, требуют для своей реализации массу комплементарных производств с высокой производительностью. Под территориальным драйвером понимается емкость национального рынка, в том числе обширная площадь территории страны, на которой могут быть в массовом порядке размещены высокотехнологичные производства. Наличие только одного из двух драйверов не обеспечивает появления технологического эффекта масштаба, и наоборот, наложение двух драйверов позволяет слить две фазы инновационного процесса – генерация инноваций (отраслевой драйвер) и распространение технологий (территориальный драйвер). Без территориального условия технологические сдвиги становятся локальными и не могут в полной мере проявить эффект тиражирования; без отраслевого условия нечему распространяться.

Если попытаться конкретизировать отраслевой драйвер, то, на наш взгляд, во второй половине XX и в начале XXI в. его роль играли две отрасли: атомная энергетика с наличием полного цикла ядерных технологий и авиастроение плюс вертолетостроение и космические технологии. Среди стран с эффектом $\theta > 1$ Россия, США, Канада и Франция в той или иной степени соответствуют сформулированным требованиям – в них имеются названные отрасли, и они обладают достаточно обширной территорией; выпадает из этого списка Финляндия, успех которой требует отдельного изучения.

Сопряжение отраслевого и территориального драйвера можно проиллюстрировать на простом примере. Развитие авиастроения возможно (и в реальности происходит) только в крупных странах – России, Канаде, США, Бразилии и отчасти Китае. Большая территория этих стран требует строительства значительного числа аэропортов, для загрузки которых нужно множество самолетов, которые, в свою очередь, могут быть использованы для перевозки больших масс населения. В этом случае само авиастроение осуществляет масштабирование, за счет чего растет средняя производительность труда в стране. Совершенно очевидно, что, например, в Бельгии такой сценарий принципиально невозможен – ее небольшая территория просто не требует авиaperевозок. Аналогичным образом проявляет себя атомная энергетика, которая в крупных странах продуцирует строительство большого числа АЭС; в Бельгии, например, такое масштабирование атомных технологий также невозможно из-за незначительного спроса на энергию.

Примечательный случай представляет Франция, которая смогла масштабировать авиастроение и атомную энергетику. Например, компания Airbus, будучи юридически французской, разместила свое производство не только во Франции, но и в Великобритании, Германии и Испании, а также вышла на мировой рынок и тем самым максимально протиражировала все передовые технологии отрасли.

Помимо всего сказанного, вернемся к пониманию технологического эффекта масштаба и неоднозначного влияния параметра θ на экономический рост. Дело в том, что полученный теоретический результат, несмотря ни на что, представляется парадоксальным, и этот парадокс следует объяснить в общепринятых терминах. Суть анализируемого эффекта определяется смыслом внедрения новых технологий при капитализме – вытеснением живого труда. При этом само вытеснение должно быть оправданным, т.е. приведенная стоимость технологий должна быть меньше заработной платы высвобожденных работников. Иными словами, рост числа вытесненных работников (производительности труда) должен перекрывать рост стоимости рабочего места (капиталовооруженности), что и показывает условие $\theta > 1$. В этом случае издержки фирмы сокращаются, а норма прибыли возрастает, что позволяет в дальнейшем осуществлять более активное инвестирование, а это ведет к экономическому росту. В противном случае вложения в технологии оказываются неэффективными, норма прибыли компании падает, инвестиционная активность снижается и, как следствие, снижаются темпы экономического роста.

За рамками нашего анализа остались некоторые технические вопросы. Дело в том, что построенные эконометрические зависимости являются однофакторными, что делает их явно неполными и неустойчивыми. Это порождает проблему автокорреляции, однако, по-видимому, для таких малоразмерных моделей эта проблема не является значимой. При необходимости при введении нейтрального технологического прогресса Я. Тинбергера можно откалибровать зависимости до нужного уровня статистической корректности. В данном случае мы пытались уяснить закономерности скорее на качественном уровне, нежели с учетом мелких количественных флуктуаций.

Заключение

Рассмотренный технологический эффект масштаба, как оказывается, может противоречить классическим экономическим моделям. Следствием этого факта является понимание того, что технологический прогресс сам по себе не является драйвером экономического роста. Для того чтобы он стал таковым, должно выполняться довольно жесткое условие, состоящее в наличии технологического эффекта масштаба ($\theta > 1$).

Прикладные расчеты показали, что указанному условию соответствуют отнюдь не все страны. Более того, как оказалось, технологический эффект масштаба является довольно редким явлением и реализуется только в тех государствах, которые обладают соответствующими отраслевыми и территориальными драйверами роста. На этом фоне Россия попадает в число немногих стран, в которых действует указанный эффект. Данное обстоятельство предоставляет российской экономике колоссальные эксклюзивные возможности для эффективного тиражирования передовых технологий, которое позитивно скажется на экономическом росте. Можно сказать, что это одно из уникальных экономических преимуществ России, которое на протяжении последних 30 лет не было должным образом использовано.

Особое значение имеет технологический эффект масштаба для объяснения такого явления, как выход человечества из мальтузианской ловушки. Дело в том, что технологические инновации появлялись повсеместно на протяжении всей истории человечества, тем не менее они не запускали спираль экономического роста. Выполненные построения позволяют вполне логично объяснить невозможность преодоления мальтузианской ловушки на протяжении веков. Единичность технологических нововведений, их локальность и крайне ограниченное распространение не позволяли про-

явиться технологическому эффекту масштаба: рост производительности труда в макромасштабах не покрывал затрат на создание новых технологий. И лишь с течением времени, когда инновации превратились в непрерывный поток, а наличия капитала стало достаточно для их широкого тиражирования, возникли условия для технологического эффекта масштаба, когда производственные инновации начали стимулировать экономический рост. Заметим, что выход из мальтузианской ловушки произошел в Европе, где возникающие новые технологии распространялись практически по всей ее территории, преодолевая государственные границы.

Сказанное позволяет уяснить еще одно важное обстоятельство. Дело в том, что как преодоление мальтузианской ловушки произошло только в одной части мира – в Европе, так и в последующее время неравномерность технологического прогресса и наличие или отсутствие отраслевых и территориальных драйверов приводили к появлению точек экономического роста, имеющих довольно причудливую географию, которая со временем менялась.

Наличие технологического эффекта масштаба провоцирует еще один важный вопрос: а каким образом национальные экономики преодолевают отсутствие данного эффекта и обеспечивают экономический рост? Ответ на этот вопрос не является простым, поэтому постараемся дать хотя бы его частичное разъяснение.

Во-первых, с самого начала промышленной революции внедрение технологического прогресса ни для кого не было радостным событием. Сошлемся на хорошо известный факт, что в континентальной Европе практически все технологические новшества на начальном этапе внедрялись не на частных фабриках и заводах, а в рабочих домах, представляющих собой конгломерат тюрьмы, больницы, детского приюта и богадельни. Причем все работы носили принудительный характер с характерными признаками крайней жестокости (Кулишер, 2012). Сегодня, судя по всему, международная конкуренция заставляет страны внедрять технологические новшества, невзирая на наличие или отсутствие технологического эффекта масштаба.

Во-вторых, попыткой «запустить» технологический эффект масштаба можно объяснить перенос различными крупными транснациональными корпорациями бизнеса в третьи страны. В этих регионах стоимость рабочего места, как правило, ниже, а производительность труда с учетом мировых цен продукции и местных заработных плат выше, чем в странах ядра мировой экономики. Тем самым в стоимостном отношении отдача от роста капиталовооруженности в третьем мире оказывается выше, чем в странах, поставляющих технологии, что и порождает перенесенный в другие юрисдикции технологический эффект масштаба.

В-третьих, отсутствие эффекта масштаба представляет собой точечную или статическую проблему, когда речь идет об оправданности внедрения технологий в рамках одного временного периода – года. В реальности даже относительно небольшой рост в производительности труда в последующие годы позволяет накапливаться эффекту экономии на рабочей силе. Тем самым при наличии у экономических агентов длительных горизонтов планирования отсутствие технологического эффекта масштаба не является серьезной преградой для обновления производственных мощностей.

Помимо всего сказанного, роль технологического эффекта масштаба в определенной степени объясняет факт невозможности отстающих стран догнать мировых лидеров, несмотря на открытость рынка технологий и развитие собственных инновационных систем.

ЛИТЕРАТУРА

Балацкий, Е. В. (2019). Глобальные вызовы четвертой промышленной революции // *Terra Economicus*, 17 (2), 6–22.

- Дементьев, В. Е. (2011). Инвестиционные проблемы инновационной паузы в экономике // *Проблемы прогнозирования*, (4), 13–27.
- Замулин, О. А., Сонин, К. И. (2019). Экономический рост: Нобелевская премия 2018 года и уроки для России // *Вопросы экономики*, (1), 11–36.
- Ковалевская, М. С. (2017). Экономическая модель и проблемы ее применения // *Журнал экономической теории*, (4), 95–104.
- Кулишер, И. М. (2012). *История экономического быта Западной Европы*, т. 1–2. Челябинск: Экономика, Социум, 1030 с.
- Пикетти, Т. (2015). *Капитал в XXI веке*. М.: Ад Маргинем Пресс, 592 с.
- Полтерович, В. М. (2009). Гипотеза об инновационной паузе и стратегия модернизации // *Вопросы экономики*, (6), 4–23.
- Рязанов, В. Т. (2014). Развитие теории кризисов при капитализме: политэкономические традиции и современность // *Журнал экономической теории*, (4), 59–70.
- Савина, Т. Н. (2010). Инновационная пауза как причина цикличности экономического развития // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, (9), 46–52.
- Acemoglu, D. (2003). Labor and capital augmenting technical change // *Journal of the European Economic Association*, 1 (1), 1–37.
- Bello, W. (2006). The capitalist conjuncture: over-accumulation, financial crises, and the retreat from globalisation // *Third World Quarterly*, 27 (8), 1345–1367.
- Broadberry, S. N., Irwin, D. A. (2006). Labor productivity in the United States and the United Kingdom during the nineteenth century // *Explorations in Economic History*, 43 (2), 257–279.
- Caselli, F. (2005). Accounting for Cross-Country Income Differences, pp. 679–741 / In: Durlauf, P. A., Steven, N. (eds.) *Handbook of Economic Growth*, Vol. 1, Part A. Elsevier.
- Dollar, D. (1990). Economic reform and allocative efficiency in China's state-owned industry // *Economic Development and Cultural Change*, 39 (1), 89–105.
- Ezzahid, E., Nihou, A. (2017). *Capital deepening and efficiency in Morocco*. MPRA Paper № 82143 (<https://pdfs.semanticscholar.org/7ce8/a96a40a5c6449ce9e54e-a94f28175e105698.pdf> – Access Date: 12.02.2020).
- Jefferson, G. H., Rawski, T. G., Zhang, Y. (2008). Productivity growth and convergence across China's industrial economy // *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 6 (2), 121–140.
- Klump, R., de La Grandville, O. (2000). Economic growth and the elasticity of substitution: Two theorems and some suggestions // *American Economic Review*, 90 (1), 282–291.
- Knoblach, M., Stöckl, F. (2019). *What determines the elasticity of substitution between capital and labor? A literature review*. DIW Berlin Discussion Paper № 1784 (https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3339171 – Access Date: 12.02.2020).
- Malawi, A. I., AlMansi, M. (2014). Economic Globalization and Labor Productivity: An Application of Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Bounds Testing Approach // *International Journal of Business and Statistical Analysis*, 1, 49–55.
- Mankiw, N. G., Phelps, E. S., Romer, P. M. (1995). The growth of nations // *Brookings papers on economic activity*, 1, 275–326.
- Romer, P. (1990). *Are nonconvexities important for understanding growth?* National Bureau of Economic Research № w3271 (<https://www.nber.org/papers/w3271.pdf> – Access Date: 12.02.2020).
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth // *The quarterly journal of economics*, 70 (1), 65–94.

- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function // *The Review of Economics and Statistics*, 39 (3), 312–320.
- Uzawa, H. (1971). On a two-sector model of economic growth, pp. 19–26 / In: Hahn, F. H. (ed.) *Readings in the Theory of Growth*. Palgrave Macmillan UK.
- Wolff, E. N. (1991). Capital formation and productivity convergence over the long term // *The American Economic Review*, 81 (3), 565–579.

REFERENCES

- Acemoglu, D. (2003). Labor and capital augmenting technical change. *Journal of the European Economic Association*, 1 (1), 1–37.
- Balatsky, E. V. (2019). Global challenges of the Fourth Industrial Revolution. *Terra Economicus*, 17 (2), 6–22. DOI: 10.23683/2073-6606-2019-17-2-6-22. (In Russian.)
- Bello, W. (2006). The capitalist conjuncture: over-accumulation, financial crises, and the retreat from globalization. *Third World Quarterly*, 27 (8), 1345–1367.
- Broadberry, S. N., Irwin, D. A. (2006). Labor productivity in the United States and the United Kingdom during the nineteenth century. *Explorations in Economic History*, 43 (2), 257–279.
- Caselli, F. (2005). Accounting for Cross-Country Income Differences, pp. 679–741 / In: Durlauf, P. A., Steven, N. (Eds.) *Handbook of Economic Growth*, Vol. 1, Part A. Elsevier.
- Dementyev, V. E. (2011). Investment problems of innovation pause in the economy. *Problemy prognozirovaniya*, (4), 13–27. (In Russian.)
- Dollar, D. (1990). Economic reform and allocative efficiency in China's state-owned industry. *Economic Development and Cultural Change*, 39 (1), 89–105.
- Ezzahid, E., Nihou, A. (2017). *Capital deepening and efficiency in Morocco*. MPRA Paper № 82143 (<https://pdfs.semanticscholar.org/7ce8/a96a40a5c6449ce9e54e-a94f28175e105698.pdf> – Access Date: 12.02.2020).
- Jefferson, G. H., Rawski, T. G., Zhang, Y. (2008). Productivity growth and convergence across China's industrial economy. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 6 (2), 121–140.
- Klump, R., de La Grandville, O. (2000). Economic growth and the elasticity of substitution: Two theorems and some suggestions. *American Economic Review*, 90 (1), 282–291.
- Knoblach, M., Stöckl, F. (2019). *What determines the elasticity of substitution between capital and labor? A literature review*. DIW Berlin Discussion Paper № 1784 (https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3339171 – Access Date: 12.02.2020).
- Kovalevskaya, M. S. (2017). Economic model and problems of its application. *Zhurnal ekonomicheskoy teorii*, (4), 95–104. (In Russian.)
- Kulisher, I. M. (2012). *History of economic life in Western Europe*, Vols. 1-2. Chelyabinsk: Ekonomika, Obshchestvo, 1030 p. (In Russian.)
- Malawi, A. I., AlMansi, M. (2014). Economic Globalization and Labor Productivity: An Application of Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Bounds Testing Approach. *International Journal of Business and Statistical Analysis*, 1, 49–55.
- Mankiw, N. G., Phelps, E. S., Romer, P. M. (1995). The growth of nations. *Brookings papers on economic activity*, 1, 275–326.
- Piketty, T. (2015). *Capital in the XXI century*. Moscow: Ad Marginem Press, 592 p. (In Russian.)
- Polterovich, V. M. (2009). The innovation pause hypothesis and the strategy of modernization. *Voprosy ekonomiki*, (6), 4–23. (In Russian.)

- Romer, P. (1990). *Are nonconvexities important for understanding growth?* National Bureau of Economic Research № w3271 (<https://www.nber.org/papers/w3271.pdf> – Access Date: 12.02.2020).
- Ryazanov, V. T. (2014). Development of the theory of crises under capitalism: political economic traditions and modernity. *Zhurnal ekonomicheskoy teorii*, (4), 59–70. (In Russian.)
- Savina, T. N. (2010). Innovation pause as a reason for cyclical economic development. *Natsionalnye interesy: priority i bezopasnost*, (9), 46–52. (In Russian.)
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 70 (1), 65–94.
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39 (3), 312–320.
- Uzawa, H. (1971). On a two-sector model of economic growth, pp. 19–26 / In: Hahn, F. H. (ed.) *Readings in the Theory of Growth*. Palgrave Macmillan UK.
- Wolff, E. N. (1991). Capital formation and productivity convergence over the long term. *The American Economic Review*, 81 (3), 565–579.
- Zamulin, O. A., Sonin, K. I. (2019). Economic growth: the 2018 Nobel prize and lessons for Russia. *Voprosy ekonomiki*, (1), 11–36. (In Russian.)