УДК 338
JEL O30, O330
DOI 10.25205/2542-0429-2018-18-4-156-176

Трансформация технологического развития и появление замещающих инноваций

А. А. Заболотский

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Автор статьи связывает возникшие технологические и инновационные ограничения с экономическими параметрами и дает объяснения их недавнего и будущего поведения. Целью работы является выявления связи радикальных инноваций и экономического развития и апробация новых методов предсказания эволюции динамики появления радикальных инноваций. Значимость работы определяется выявлением составляющих моделей роста, а также новыми подходами к оценке потенциала и развития этих составляющих. Методами исследования являются эмпирический анализ данных и моделирование с помощью самоорганизующихся нейронных карт. В работе приведены примеры технологического и экономического торможения роста. Показана модель, описывающая поведение логарифмических кривых роста в рамках предложенного тезиса. Представлены примеры снижения роста в нескольких отраслях. Показана связь между технологическими пределами и лимитами роста.

Ценность работы определяется возможностью создания на ее базе более точных моделей предсказания экономического и технологического роста, возможностью применения новых методов моделирования и прогнозирования эволюции знаний и технологий.

Представлена таблица радикальных открытий и инноваций. Приведено обоснование применения самоорганизующихся нейронных карт. Смоделирован процесс генерации инноваций с помощью двумерной самоорганизующейся нейронной сети Neural Self-organized 2-D network (Matlab Neural Clustering Tool) и на базе этих результатов сделаны прогнозы до 2050 г. Предложена модель прогнозирования на базе нейронных карт с помощью перенасыщения двумерной карты нейронами. Результаты могут быть применены для прогнозирования технологического потенциала в других технологических направлениях и более широкой модели технологий.

Ключевые слова

пределы роста, технологический предел, волны роста, самоорганизующаяся нейронная карта

Источник финансирования

Работа выполнена по программе НИР ИЭОПП СО РАН, проект XI.174.1.1 «Экономика Сибири и ее регионов в условиях внешних и внутренних вызовов и угроз: методология, тенденции, прогнозы» AAAA-A17-117022250133-9

Для цитирования

Заболотский А. А. Трансформация технологического развития и появление замещающих инноваций // Мир экономики и управления. 2018. Т. 18, № 4. С. 156–176. DOI 10.25205/ 2542-0429-2018-18-4-156-176

Transformation of Technological Development and the Emergence of Substituting Innovations

Aleksey A. Zabolotsky

*Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

The paper establishes linkage between the emerging technological and innovative limits with economic parameters and explains their recent and future behavior. The work aims at finding the relationship between radical innovations and economic development as well as testing new methods to forecast the dynamics of innovations. The significance

© А. А. Заболотский, 2018

ISSN 2542-0429

Мир экономики и управления. 2018. Том 18, № 4
World of Economics and Management, 2018, vol. 18, no. 4

of the study is determined by the enhanced and profound focus on the development model components as well as by new approaches to evaluate the capacity and development dynamics of such components. The research is based on empirical data analysis and modeling by means of self-organizing neural maps. The paper presents the examples of the decline in technological and economic growth. A model describing the behavior of logarithmic growth curves in the framework of the proposed thesis is shown. The examples of growth decline in several industries are presented. The relationship between technological limits and growth limits is shown.

The value of the work is determined by the possibility to create more accurate models for predicting economic and technological growth and apply new techniques to model and predict knowledge and technology evolution.

Results. The data on radical discoveries and innovations is presented. The application of self-organizing neural maps is evaluated and justified. Based on Neural Self-organized 2-D network (Matlab Neural Clustering Tool) the process of integration and flow of radical innovations is modeled, with forecasts being made until 2050. A prediction model based on neural maps oversaturation with neurons is proposed. The results can be used to predict technological potential in other technological areas with a wider range of technologies.

Keywords

growth limits, technological limit, growth waves, self-organizing neural map

Funding

The research was carried out with the state assignment IEIE SB RAS project XI.174.1.1 “Economy of Siberia and its regions in the conditions of external and internal challenge and threats: methodology, trends, forecast” AAAA-A17-117022250133-9

For citation

Zabolotsky A. A. Transformation of Technological Development and Substituting Innovations Emergence. *World of Economics and Management*, 2018, vol. 18, no. 4, p. 156–176. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2018-18-4-156-176

Введение

В работе исследуется проблема технологического торможения прогресса и связанных с ним макроэкономических изменений. Технологическое торможение и, как следствие, возможные пределы роста вовсе не должны привести к прекращению развития экономических систем и их коллапсу.

Это коррелирует с одной из самых современных похожих теорий стабилизационной модели развития при нулевом росте [1] и ее продолжения [2]. Но кроме этих теорий, созданных в рамках Римского Клуба [1], данная проблема освещения не получила. Классические и неоклассические подходы рассматривают рост с начальных и равновесных точек развития, при этом не рассматривают возможностей существования пределов роста системы.

Некоторые подходы, основанные на теории нулевого роста, предлагают создание моделей, не предполагающих рост вообще ввиду ограниченности природных ресурсов. Но данные подходы берут во внимание пределы, которые предположительно будут достигнуты в далеком будущем. Более того, если взять, например, возможности замены бензина на электрическую энергию, то такие пределы становятся еще более отдаленными.

Теории экономического роста: обзор методических подходов

Начиная с А. Смита (1776) [3], Д. Рикардо (1817) [4], Т. Мальтуса (1798) [5], Ф. Рамсея (1928) [6], Р. Харрода (1939) [7], Е. Домара (1946) [8], Р. Солоу (1956) [9] и до современного времени исследователи приводят модели, влияющие на рост экономики и описывающие этот рост. Адам Смит и Давид Рикардо показали начальные базовые параметры экономических величин, в то время как Мальтус показал возможные пределы роста и развития в результате перенаселенности и эрозии почвы. Эти ограничения стали одними из наиболее известных в современных теориях развития [2]. В качестве примера первого появления аналогов пределов, относящихся к пределам потребления ресурсов и продукции человеком, можно назвать модели оптимизации потребления Рамсея – Касса – Купмана [10–12], основанные на финансовых ограничениях и полезности. Классические модели, описавшие рост в терминах капитала и производительности, и неоклассические, описавшие в терминах сбережений и инвестиций, не дали четких ограничителей на возможности роста. Более того, предложенные ими

параметры роста могут сдвигаться неограниченно долго путем внедрения различных схем искусственного повышения полезности, роста производительности с внедрением технологий, на появление которых в данных моделях нет ограничений.

Современные исследователи роста также продолжили поиск источников роста, включая в модели такие факторы, как технологии [13] и инновации [14], миграция [15], финансовые потоки [16] или соотношения инвестиций [17], политических факторов и торговли [18]. Почти все современные модели роста предполагают бесконечное количество волн зарождения новых технологий и бесконечный потенциал прогресса [19].

Появление пределов роста, основанных на технологическом и человеческом факторах

Первые признаки проявления технологического предела можно отнести к 1990-м гг. Это стало ясно с технологической стороны, которая проявилась в ревизии уже старых в то время исследований в области нанотехнологий (появившихся в 1960-е гг.).

Технологические пределы не были очевидны до конца XX в., и, естественно, исследователи более ранних периодов, такие как Д. Рикардо или Мальтус, не имели возможности наблюдать это явление. Более того, XIX и начало XX в. как раз охарактеризовались интенсивными волнами генерации фундаментальных открытий, которые породили ряд технологий и отраслей, уже тогда сформировавших картину укладов, существующих и в наши дни. Такие исследователи, как Ф. Рамсей, Р. Харрод, Е. Домар или Р. Солоу, стали свидетелями бурного роста авиационной, космической промышленности, нефтехимии, зарождения атомной энергетики, что и подтолкнуло их к построению моделей, опирающихся на факторы роста.

Считается, что рост является неотъемлемой частью прогресса, однако, возможно, существует недопонимание в необходимости такого роста для прогресса. Практически все дисциплины – физика, биология, химия, электроника – показали наличие определенных лимитов в каждом направлении развития. Однако экономические теории не пытаются найти связь между этими параметрами экономического роста и пределами. Два предела, которые агрегируют и влияют на экономику уже в наши дни, – это предел радикальных открытий и инноваций и технологический предел.

1. Общий предел радикальных открытий. Радикальные инновации увеличивают общий объем потребления путем добавления новых инновационных ниш потребления. Общий предел радикальных открытий связан с возможностью поиска новых радикальных инноваций и сменой технологических укладов. Если обратить внимание на динамику смены уклада, то она существенно снизила темпы в последние десятилетия.

2. Технологический предел экономического уклада представляет собой технологическую агрегацию возможных ограничений на рост параметров инноваций, производительности. Его воздействие на рост проявляется через каскад сложных зависимостей. Например, параметры процессора ПК влияют на скорость и возможности моделирования, тем самым определяют скорость и частоту вывода продукции на рынок и производительность. Такой параметр, как прочность материалов и жаростойкость, влияет на производственные возможности, ограничивая производительность капитала. Технологически предел влияет на структуру и величину шumpетерианских циклов в технологиях. На рис. 1 показаны достигнутые в последние десятилетия пределы потребления для рынка автомобилей¹ и единиц авиации² в США, а также пределы соответствующих технологических параметров, таких как скорость воздушных пассажирских судов. Предел насыщения был достигнут в США и ЕС в автомобильной промышленности в 1960-е гг., а в авиастроении в 1990-е. Частота процессоров вышла на стабильный уровень с середины 2000-х гг., а скорость и остальные параметры в авиации стабилизировались еще в 1960-е гг. Производительность и прибыль в данных отраслях все

¹ U.S. car sales 1951–2016. URL: <https://www.statista.com/statistics/199974/us-car-sales-since-1951/>.

² 2016 General Aviation Statistical Databook & Industry Outlook. URL: https://gama.aero/wp-content/uploads/2016-GAMA-Databook_forWeb.pdf

равно росла, но за счет других параметров, которые также пришли к стабильному уровню позже³.

Технологический предел происходит в соответствии с законами физики, химии, биологии, физиологии и других направлений исследований. Несмотря на устоявшееся мнение в разных теориях роста о том, что пределов научного развития нет, наблюдения за результатами исследований показывают обратное [20].

Так, множество исследований указывает на снижение темпов роста производительности процессоров⁴ для ПК и их частоты⁵, стабилизировавшейся вокруг отметки в 3–4 ГГц. Такие же процессы замедления можно отметить в стабилизации роста скорости и габаритов в авиационной промышленности. Эта модель торможения может быть объяснена в терминах технологических пределов компонент, составляющих данную продукцию. Когда все свойства какой-либо компоненты изучены, ее предельные значения достигают лимита очень быстро. Указанные технологические лимиты воздействуют на рост косвенно, через каскады зависимых технологий. Поэтому уловить и связать с формулами роста эти параметры представляется крайне сложной задачей.

На рис. 2 показаны шумпетеровские циклы для техпроцессов в полупроводниковой отрасли⁶. Графики технологических процессов – шумпетеровские волны, соответствующие одной технологии, вытесняющие предыдущие технологические шумпетеровские волны инноваций предыдущей технологии. Важно отметить перекрытие волн, характеризующее замещение одной волны, рост другой и общий тренд снижения высоты волн, который можно объяснить снижением полезности и соответственно уровня потребления новой технологии. Технологический предел воздействует на высоту этих волн, а шумпетеровский цикл – на их форму, которая вырождается в сигмоиду, если достигнут предел и новые технологии не появляются. Если, например, последняя технология будет соответствовать размерам элементов памяти 5 нм, то на этом технологическом процессе волны исчезнут и технология будет себя вести как логарифмическая функция.

Шумпетеровские волны могут сосуществовать, но суммарный потенциал ограничен пределами потребления. Суммарная кривая соответствует экономическому потенциалу радикальных технологий.

В целом ряде исследований последних лет указывается торможение ключевых технологических показателей для авиационной промышленности⁷. Один из основных параметров – скорость и подъемная сила – рос на протяжении десятилетий, однако в начале 2000-х эти параметры стали стабилизироваться вокруг значения в 800 км/ч для скорости и максимальной взлетной массы примерно в 600 т. Аналогичный предел есть и в реактивной авиации, достигшей предела в 3 600 км/ч⁸. Данные пределы связаны со скоростью горения топлива, его энергоемкостью, прочностью материалов. Скорость в авиации, как и для остального транспорта, влияет на скорость торговли и перемещения людей. Соответственно это влияет на все отрасли от сельского хозяйства, вплоть до туризма, а также на распространение сравнительных преимуществ в торговле и организацию производственных цепей в мире. Указанные пределы согласуются и отражаются в различных экономических переменных, таких как

³ *Rupp K.* 40 Years of Microprocessor Trend Data. URL: <https://www.karlrupp.net/2015/06/40-years-of-micro-processor-trend-data/>.

⁴ A Look Back at Single-Threaded CPU Performance. URL: <http://preshing.com/20120208/a-look-back-at-single-threaded-cpu-performance/>.

⁵ *Eadline D.* The Road to End-of-Scale. URL: <http://www.admin-magazine.com/HPC/Articles/The-Road-to-End-of-Scale/>.

⁶ *Meurice E.* UBS 2010 Global technology and service conference. New York, 2010. URL: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/937966/000095012310057756/u09166exv99w2.htm>

⁷ *Dourado Eli, Kotrous Michael.* Airplane Speeds Have Stagnated for 40 Years. Mercatus center. 2016. URL: <https://www.mercatus.org/publication/airplane-speeds-have-stagnated-40-years>

⁸ Intergovernmental Panel on climate change. Aviation and the Global Atmosphere. URL: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=92>

Рис. 1. Динамика рынков и технических параметров

Fig. 1. Dynamics of the markets and technical parameters

Рис. 2. Шумпетеровские циклы для NAND техпроцессов в полупроводниковой отрасли: X – годы, Y – проценты от рынка
(данные автора)

Fig. 2. Schumpeter cycles for NAND technical processes in the semiconductor industry: X – years, Y – per cent of the market
(the data of the author)

полезность, склонность к потреблению, эффект масштаба, производительность капитала и труда. Проблема состоит в количестве итераций, соединяющих данные параметры.

Подобные данные по пределам можно получить и для судостроения, железнодорожного сообщения, любого транспорта. Такие стабилизации происходят после того, как в научном направлении изучены на лабораторном уровне все основные параметры.

Другое проявление этих пределов – производительность и потребление. Такие параметры, как предельная прочность материалов и физиологические пределы человека, влияют на производительность. Теоретически возможно временное смещение этого лимита выше, как это делают в различных странах, путем создания экстенсивного потребления.

Разрабатываются определенные модели такого наращивания, например через роботизацию, в которую снова стали вкладываться инвестиции в последнее время. Можно теоретически представить себе модель, в которой роботизация достигнет такого уровня, что производство самолетов, яхт и огромных вилл станет дешевле в разы. И тогда каждое хозяйство смогло бы себе позволить приобретать такие товары и недвижимость, обслуживая себя при помощи роботизированной техники. Достижение такой модели могло бы дать значительный рост экономики. Однако указанные пределы и барьеры развития не позволяют пока создать такие системы.

Производительность и пределы, связанные с предельной производительностью труда лучше изучены, чем остальные предельные параметры, такие как способность потреблять [21]. Так, например, с точки зрения функции полезности или склонности к потреблению, нет нужды иметь сотню машин или 20 домов в одном хозяйстве. Можно, как уже говорилось, обмануть как функцию полезности, так и склонность к потреблению, например, созданием искусственных зависимостей между товарами и полезностью [22]. Например, производители софта и оборудования устанавливают потребительские зависимости между товарными группами и компонентами, искусственно манипулируя полезностью. Несмотря на удовлетворенность пользователями предыдущими версиями операционных систем или иного оборудования, компании отказываются их поддерживать на новых устройствах, что вынуждает покупать новый софт. Поэтому графики роста таких функций полезности могут расти бесконечно. Однако технологический предел ставит барьер на пути такого роста.

Применение роботов в добыче полезных ископаемых, строительстве в экстремальных условиях, судоходстве, сельском хозяйстве, домашнем хозяйстве, в качестве вспомогательных инструментов также увеличивает потенциал производства и потребления. Так как роботизация способна увеличить производительность человека, то она способна сдвинуть уровни потребления и производительности благодаря каскадам цепных зависимостей между смежными отраслями и между элементами технологических цепей.

Такая модель сверхпотребления дала бы многократный толчок даже для развитых стран. Но не существует приспособлений, позволяющих поддержать такую модель развития на уровне одного хозяйства и страны в целом. Кроме того, например, невозможно создать миллионы единиц авиационной техники в пределах одной страны из-за невероятно высокого потребления ресурсов всех видов в таком случае. Отдельное хозяйство не обладает и не создает ресурсы, достаточные для приобретения и потребления таких габаритных единиц техники или недвижимости.

В различных корпорациях мира уже достаточно давно стараются преодолевать эти пределы и вызванную им экономическую стагнацию. Таблица 1 показывает пики насыщений потребления для различных базовых отраслей (данные по валовой прибыли на человека для каждой технологии). Наивысший уровень выбран среди развитых стран с максимальным уровнем данного показателя⁹.

Почти во всех развитых странах этот уровень достигнут, близок к насыщению и, возможно, имеет определенные коэффициенты, связывающие эти уровни насыщения с радикальными пределами для каждой отрасли.

⁹ <https://autoalliance.org/economy/facts-about-auto-sales/>

Уровни максимального потребления по технологиям

Таблица 1

Table 1

Maximum consumption levels by technologies

Производимые товары	Доход в отрасли на душу населения в год (2014–2015), долл./чел.	Описание предела	Период зарождения технологии
Автомобильная промышленность	2 661	Количество единиц	1791–1892
Авиация	432	Размер цена, количество единиц	1901–1939
Судостроение	90	Размер цена, количество единиц	1940–1975
Авиация и космос	870	Размер цена, количество единиц	1930–1960
Электроника бытовая	703	Количество единиц	1940–1965
Биотехнологии	1 370	Количество единиц	1950 – наше время
Строительство	3 562	Размер, цена	До нашей эры
Информационные технологии	0,62	Количество единиц	1950 – наше время
Пищевая промышленность	17 161	Количество единиц	До нашей эры
Текстильная промышленность	221 *	Количество единиц	До нашей эры

Таблица составлена автором по данным: <https://www.statista.com/>; <https://www.reference.com/>; <https://www2.deloitte.com/>; <https://buildingradar.com/>; <http://www.ifoam-eu.org/>.

* В евро на человека.

Рост, насыщение и предел являются ключевыми факторами, определяющими инновационную динамику. В этом случае возникает возможность и создания первичной платформы для разработки и создания основного ключевого открытия – компоненты, материала, процесса, явления, которые дают рост уже целой технологии и, возможно, отрасли. Такими ключевыми компонентами были колесо, проводники тока, камера сгорания, поршень, турбина, логический элемент интегральной микросхемы, молекула полимера, пенициллин, процесс излучения атомов при переходе с одного уровня энергии на другой и т. д. Потом уже на базе этих компонент строились детали и формировалась конечная продукция – автомобиль, ракета, лекарственные препараты и изделия из пластика. Но имеют место и негативные результаты, когда многообещающие открытия не приводят к аналогичным успехам и революциям. Такие негативные результаты были в последнее время с открытиями в области фуллеренов – нанотрубками и графеном, в областях системной биологии и генной инженерии. Неточные модели, отсутствие информации и инструментария при слишком больших надеждах приводят к серьезному расхождению практических результатов и теоретических предположений.

Когда же потребление, производство и технологии достигают своего предела, инновационная конкуренция меняет полярность и превращается в стремление просто заместить одну единицу потребления другой. Это можно показать на примере конкуренции между мобильными и настольными ПК, замещением одних интернет-сервисов другими. Эти инновации

являются преимущественно дизайнерскими, не дающими радикального инновационного приращения. Такие инновации легко замещаются технологиями схожего типа [23].

Подобные замещения происходят в последнее время в агрегаторах интернет-услуг, когда одна система синхронизации и взаимодействия услуг оказывается более эффективной и популярной, как это произошло с известными в наши дни системами Odesk (Upwork) в 2003, Facebook в 2004, Trivago в 2005, Momondo в 2006, Airbnb в 2008, Uber в 2009 и сотнями других аналогичных сервисов. Одни социальные Сети, например Facebook, заменяющие остальные сервисы с подобными функциями, например Myspace, но более интегрированными в мобильные устройства и интернет-сервисы. Во многих случаях подобные инновации легко появляются и исчезают, создавая нестабильность. Такие замещения обычно не дают серьезного экономического или технологического преимущества. Конкуренция в информационных технологиях стала приобретать характер финансового выдавливания с рынка. Благодаря Интернету рынок стали захватывать не тот, кто внедрил более успешную технологию или разработал удачную маркетинговую стратегию, а тот, кто набрал больший темп роста и интеграции.

Если же инновация замещает уже существующие инновации или компоненты, то это приводит к оптимизации существующей продукции, но не к росту. Так, внедрение смартфонов не привело к появлению принципиально новых технологий, поскольку ключевая компонента – сенсорный экран – не образовывала новый рынок. Более того, данная инновация привела к абсолютно симметричному падению рынка настольных ПК.

В отрасли биотехнологии в настоящее время отмечается определенный застой в развитии из-за невозможности продвижения инноваций как на уровне моделирования и получения знаний о фундаментальных процессах на стадии клеток и составляющих молекул и протеинов, так и на этапе инструментария. Такое обстоятельство говорит о необходимости выжидательной стратегии до появления ключевого открытия, которое поможет преодолеть указанные барьеры. Это актуально для любых исследований, от исследований на уровне лабораторий до процессов комбинирования и интеграции с другими компонентами и технологиями до получения готовой продукции – компьютера, автомобиля, лазера, реактивного самолета и т. д.

Появление финансово доминирующих инноваций

Финансовый капитал, не находящий применение в новых сферах вложений, автоматически начинает конкурировать за уже существующие технологии и отрасли. Технологический предел и предел потребления привели к резкому сокращению новых направлений инвестирования. Это привело к новому явлению – замещению одного капитала другим, с большим потенциалом воздействия. Одним из наиболее ярких примеров является замещение в интернет-сфере, сервисах или товарных группах. Данные проекты не только получают постоянную финансовую поддержку на начальных стадиях ¹⁰, но и поддерживаются в течение последующих периодов, даже несмотря на отрицательные показатели прибыли ¹¹. Эти компании кластеризованы с производителями ¹², сайтами и прочими сервисами ¹³, например банками ¹⁴, оказывающими постоянную поддержку ¹⁵. Такой тип роста и вытеснения не подпадает под классическую Шумпетеровскую модель вытеснения благодаря технологическому новшеству. Основное преимущество данной модели – размер инвестиций на маркетинг, интеграцию

¹⁰ <http://marketrealist.com/2014/01/facebook-ipo/>

¹¹ <http://bgr.com/2016/06/01/facebook-listening-iphone-android/>

¹² Ibid.

¹³ <http://www.telegraph.co.uk/technology/facebook/9279872/Facebook-shares-drop-below-38-IPO-price.html>

¹⁴ <http://www.reuters.com/article/swiss-snb-stocks-idUSL8N1B7383>

¹⁵ <http://blogs.wsj.com/moneybeat/2016/02/22/top-5-internet-stocks-goldman-thinks-investors-should-buy-hint-twitter-linkedin-make-the-list/>

и распространение, которые и предопределяют успех при прочих равных или худших параметрах.

Если проанализировать количество патентов и новых внедренных изобретений по всем отраслям, то можно увидеть, что инновационная активность за последние 10 лет выросла в 2 раза¹⁶, но это не дает необходимого роста. Как уже было сказано, такие инновации не относятся к радикальным, дающим прирост. Данный тип инноваций воздействует на уже существующие инновации или их характеристики, и результатом его воздействия является оптимизация какой-либо функции конечной продукции, детали или компоненты либо полное замещение указанных выше технологий.

В случае достижения указанных ранее технологических пределов инновации могут начать влиять на рост даже негативно, так как указанная оптимизация в конечном счете воздействует на уменьшение экономических показателей.

Понятие пределов роста важно в понимании пределов инвестиций и отдачи от этих инвестиций. Попытки экстенсивного роста приводят к нестабильности на финансовом рынке, так как происходит замещение одного капитала другим через замещение уже существующих экономических инноваций эквивалентными и не имеющими преимуществ. Одним из примеров можно назвать продвижение систем интернет-сервисов, которые, с одной стороны, улучшают сервис, с другой – просто вытесняют таких же операторов локального уровня, вкладывая инвестиции в демпинг.

Результаты

Технологический и радикальный пределы дают многомерную картину общего предела развития, влияющего на кризисные явления. Какие-либо попытки нахождения экстенсивного источника роста приводят к появлению экономических пузырей, так как финансовые вливания расходуются на деятельность, не приносящую реальное приращение. С экономической точки зрения, первый тип предела – радикальный – более важен для роста, но технологический предел имеет более фундаментальное воздействие. Технологический лимит действует на экономику через цепь последовательных параметров, предопределяющих возможности дальнейшего развития технологии или появления новых укладов. Так, например, неопределенности в создании квантовых компьютеров или попытки создания космического лифта не влияют на космическую отрасль в значительной степени. Но эти неудачи, свидетельствующие о невозможности преодоления определенных технологических барьеров, и показывают пределы развития технологий.

Есть пределы, оказывающие более очевидное воздействие, – например, неудачи в системах распознавания объектов, внедренные компанией «Tesla», которые привели к падению акций этой компании. Такое происходит при внедрении в производственную цепь не проверенных до конца технологий. Аналогичные примеры неопределенности можно наблюдать на указанных ранее в статье попытках внедрения графена, нанотрубок, Li-воздушных батарей. К неудачам приводило несоответствие результатов теоретических расчетов и лабораторных испытаний. Попытки внедрения графена или технологий на базе нанотрубок потерпели неудачу на стадиях внедрения в производственные цепи и в лабораторных испытаниях, так как выяснилось, что такие конвенционные материалы, как ИТО-пленки, превосходят графен по всем ключевым параметрам (проводимость, прочность, дефектообразование, легкость в обработке). Некоторые корпорации, занимавшиеся их внедрением, понесли потери. Композиты на базе углерода превосходят композит на базе нанотрубок по прочности, который предполагалось применять в создании космического лифта. Другими словами, можно говорить о высокой вероятности достижения технологических пределов в данных направлениях.

¹⁶ http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2016.pdf

Рис. 3. Аппроксимирующие кривые для пределов потребления и развития абстрактных отраслей и технологий

Fig. 3. Approximating curves for consumption limits and development of abstract industries and technologies

Рисунок 3 показывает схематическое обобщение указанных пределов построенных на соответствующих функциях, дающих прирост. На оси ординат показан вклад радикальной технологии и порожденной ею отрасли в общий ВВП.

Радикальный предел представляет собой высоту всех функции для отраслей (отрасль 1 + отрасль 2 + отрасль 3 + отрасль 4). Технологический предел – высоту каждой ступени (отрасль 1, 2...). Аппроксимационные феноменологические формулы для данных пределов основаны на применении сигмоид. Сигмоидная функция применяется для «оборачивания» функций для каждой отрасли, которые, в свою очередь, состоят из множества шумпетеровских кривых. Нулевые значения обрезаны как не имеющие смысла.

1) $\sum_{i=0}^N L_{h0} \frac{1}{1+e^{-t}} = L_h(i, t)$ – аппроксимация для обертывающей функции, где L_{h0} – начальное значение характерное для каждой отрасли.

2) $L_h(j, i, t, k) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^K H_{\text{limit}} = \sum_{i=0}^N L_{h0} \frac{1}{1+e^{-t+k}} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^K H_0 \frac{e^{(-t+k)}}{(1+e^{-t+k})^2}$, где N – мак-

симальное количество потребляемых единиц товарных групп, а H_{limit} описывает предельное значение потребляемого объема (высота), K – количество шумпетеровских волн.

Также возможна аппроксимация с помощью производной от сигмоиды, которую можно сопоставить с шумпетеровскими волнами. Волновые функции не подходят, так как шумпетеровские волны выталкивают друг друга, перекрываясь основаниями, а не переходят друг в друга. Поэтому кривую для отрасли можно аппроксимировать как сумму шумпетеровских волн.

Теоретические оценки

Распределение наиболее важных инноваций по годам в ключевых отраслях показано в табл. 2. Данные по наиболее важным инженерным и фундаментальным открытиям собраны из нескольких источников. Унификация результатов – достаточно трудная задача, так как сложно оценить важность той или иной инновации или открытия в разные периоды времени в разных отраслях. Но поскольку оценки проводились одним источником для каждой технологии или отрасли, то этого достаточно для сведения к общим оценочным признакам для каждой технологии.

Таблица 2

Количество наиболее значимых открытий в различных отраслях и технологиях

Table 2

The most significant findings in various industries and technologies

Годы	Физика	Химия	Биотехнология	Информационные технологии	Авиация	Транспорт	Электроэнергетика	Космические технологии	Электроника
До 1800	9	13	3	1	0	3	34	0	9
1800–1810	3	6	1	0	0	1	6	0	1
1810–1820	1	1	0	0	0	0	10	0	1
1820–1830	2	3	1	0	0	0	17	0	5
1830–1840	3	1	1	2	0	1	16	0	9
1840–1850	3	4	0	3	0	1	18	0	2
1850–1860	2	5	0	0	0	1	12	0	4
1860–1870	4	6	4	0	0	1	10	0	3
1870–1880	2	3	3	2	0	2	12	0	9
1880–1890	4	3	2	1	0	3	16	0	6
1890–1900	2	4	0	0	0	2	19	0	5
1900–1910	3	8	0	1	3	5	11	0	6
1910–1920	6	6	1	0	8	4	4	0	6
1920–1930	3	8	1	2	3	2	3	2	7
1930–1940	2	10	1	0	6	4	1	4	7
1940–1950	3	4	3	3	2	1	3	4	5
1950–1960	2	6	6	1	2	1	2	10	4
1960–1970	3	4	3	4	2	2	0	34	3
1970–1980	3	3	5	4	1	2	0	24	0
1980–1990	2	1	4	4	1	2	0	11	0
1990–2000	2	3	9	8	4	2	0	11	0
2000–2010	1	0	9	2	1	1	0	9	1
2010–2020	1	1	4	0-1	1	2	0	8	0

Таблица составлена автором.

Выбранные категории относятся к физике, химии, биотехнологии и инженерным направлениям: информационные технологии, авиация, судостроение и автомобильная промышленность.

ность. Каждая декада так или иначе охарактеризовалась определенным набором открытий. Для каждого направления характерно появление определенной единичной волны активизации, которая имела место в разные периоды.

Самый интенсивный период формирования основных инженерных открытий пришелся на XIX и начало XX в. Наиболее серьезные всплески открытий в самых новых направлениях – электронике и биотехнологии, зародившихся в 1960–1970-х гг., пришлось на 1990-е гг.

Так, например, химия показала всплеск основных открытий в середине XX в. с небольшими добавлениями в 1990-е гг. Последний набор существенных открытий связан с нанотехнологиями (фуллеренами) и графеном. Однако данную волну можно объяснить ревизией открытий фуллеренов еще с 1960-х гг. Несмотря на определенные надежды, как уже отмечалось, указанные материалы имеют определенные недостатки и ограничения в использовании: трудность в обработке, паразитные явления, завышенные изначально теоретические показатели. Они не позволили им конкурировать с уже известными аналогами. Поэтому можно сказать, что пик открытий в химии пришелся на середину XX в. Информационные технологии появились во второй половине XX в. и еще не достигли своего возможного пика, что дает определенные надежды на рост благодаря этому направлению. Такие же проблемы возникли в фармацевтической отрасли в начале 2000-х гг. Системная биология дала приток инноваций в фармацевтическую отрасль. Однако возникшие новые проблемы моделирования биологических и генетических систем в системной биологии с середины 2010-х гг. породили новый круг проблем надежности моделирования. В целом разработанные методы и подходы, основанные на геномных и протеомных исследованиях, пока не получили серьезного продвижения.

Авиационная, автомобильная промышленность, энергетика, строительство и судостроение имеют схожие модели инновационной активности. Возможно, это связано с общими для данных инженерных направлений фундаментальными открытиями – электроэнергия, камеры сгорания, проводники, атомная энергия. Как видно из табл. 2, почти все отрасли и технологии прошли стадии максимальной научно-инновационной активности. Можно отметить рост в отрасли биотехнологии, однако данный процесс, как уже говорилось, сильно тормозится из-за стагнации в области информационных технологий, на которых базируются основные методы моделирования в системной биологии. Распределение ключевых открытий по годам показано на рис. 4.

В данной работе предлагается модель оценки потенциала радикальных открытий, основанная на использовании двумерной нейронной самоорганизующейся карты, или сети. Использование стандартных эконометрических моделей в прогнозировании перетоков знаний в принципе ограничено. Это можно объяснить сложной природой самих знаний.

С точки зрения итераций и теории автоматов эконометрические модели оперируют 1-переходными соотношениями между рядами данных. Однако в природе явления образуют все возможные комбинации из переходов, которые могут принимать различные направления и формы. Так, знания могут инкапсулироваться в другие знания, принимать полиморфные структуры, распределяться по разным законам – дискретным, логическим, вероятностным, асимптотическим. Поэтому в работе для анализа временного перетока знаний среди ключевых открытий с 1800 г. предложена модель нейронной двумерной самоорганизующейся сети, представленная на рис. 5, которая в большей степени соответствует модели перетока знаний, чем другие модели эконометрического анализа. Предложенная нейронная сеть создает «поле векторов» всевозможных комбинаций, которые огибают описываемые явления. Рисунок 6, иллюстрирующий такие перетоки на базе цитирований в исследованиях графена в системе Web of Science, показан ниже. По нему видна сложная переплетенная структура таких перетоков.

Рис. 4. Наиболее важные открытия по направлениям (данные автора)
 Fig. 4. The most significant findings by industries (data provided by the author)

Рис. 5. Полученные весовые коэффициенты для самоорганизующейся нейронной сети (Matlab Neural Clustering Tool) на базе приведенных выше данных (данные автора). Карта не насыщена – 225 нейронов

Fig. 5. The obtained weight coefficients for a self-organizing neural network (Matlab Neural Clustering Tool) on the basis of the above data (data provided by the author). The card is not saturated – 225 neurons

Рис. 6. Сеть перетока знаний между исследованиями применений графена
(составлено автором)

Fig. 6. Network and knowledge spillover effect in the studies on graphene applications
(data provided by the author)

Можно добавить соответствие знаний и модели нейрона и соответствующей нейронной сети как переносчика знаний. Модель нейронной карты или сети (Best Matching Unit) наиболее близко соотносится с моделью интеграции компонент в технологиях, которая строится по схожему принципу соответствия параметров интеграции и совместимости. На рис. 5 показана карта из 225 нейронов, показывающая потенциал генерации радикальных инноваций.

На рис. 7 показана карта, в которой количество нейронов близко к наблюдениям (240). Всего 225 нейронов, но исключены микроэлектроника и биотехнология. Картина торможения потенциала роста радикальных инноваций примерно схожая, хотя текущий потенциал значительно ниже, что говорит о значительном вкладе электроники и биотехнологии в наше время.

На рис. 8 показана перенасыщенная нейронами карта, растягивающая тренд в соответствии с алгоритмом обучения. Дело в том, что количество наблюдений 240, и количество из 225 нейронов, немного меньшее количества наблюдений, показывает текущий потенциал радикальных инноваций. Однако при перенасыщении нейронами происходит растяжение карты в соответствии с алгоритмом обучения на предыдущих значениях. Рисунок 8 показывает «прогнозное проецирование» данных на 400 нейронах.

Рис. 7. Полученные весовые коэффициенты для самоорганизующейся нейронной сети (Matlab Neural Clustering Tool) на базе приведенных выше данных (данные автора). Карта не насыщена – 225 нейронов. Исключены биотехнология и микроэлектроника

Fig. 7. The received weight coefficients for self-organizing neural network (Matlab Neural Clustering Tool) on the basis of the above data (data provided by the author). The card is not saturated – 225 neurons. Biotechnologies and microelectronics are excluded

Рис. 8. Прогноз при перенасыщении 400 нейронов без биотехнологии и микроэлектроники

Fig. 8. The forecast for oversaturation of 400 neurons without biotechnology and microelectronics

Рис. 9. Прогноз при перенасыщении нейронами сети – 400 нейронов с биотехнологией и микроэлектроникой

Fig. 9. The forecast for oversaturation of network by neurons – 400 neurons with biotechnology and microelectronics

Как видно из рис. 8, без биотехнологии и микроэлектроники потенциал радикальных инноваций близок к минимальным значениям. Рост в дальнейшем, как показал тренд на рис. 9, будет обеспечиваться за счет электроники и биотехнологии, но только в случае появления новых радикальных открытий в данных областях.

Предложенная автором модель применяет алгоритм конкуренции (победителя) и сравнения, который адекватно описывает возникновение перетока между областями знаний. Он заключается в стягивании сетки наиболее похожих весов нейронов друг к другу. Так, область радикальных открытий в одном направлении формирует переток в смежные области по аналогии с точными моделями интеграции компонент, которые интегрируются по принципу сходства параметров интеграции. Отличие в том, что в точной модели следует использовать технические параметры открытия «победителя», а в данном исследовании нам достаточно сопоставления весовых значений нейронов, соответствующих технологии-«победителю». Двумерная нейронная самоорганизующаяся сеть (MATLAB – Neural Network Clustering Tool – SOFM) на рис. 5 и 7, отображенная на период до 2050 г., подтвердила гипотезу о торможении прогресса в области радикальных открытий. Вектора самоорганизующейся нейронной сети перестают образовывать весовые векторы примерно с 2020 г. Несмотря на всплески открытий в 1960–1970 гг. в электронике и космической отрасли, а также биотехнологии в 1990-е гг., нейронная сеть, в отличие от классических методов прогнозирования, показала более высокие веса в более ранний период. Также сеть показала резкое сужение потенциала генерации открытий в современное время и на ближайшее будущее.

На рис. 10 показан алгоритм «победителя» (наиболее схожих составляющих) – размещение нейронов по расстоянию. Темные области – большее расстояние, светлые – меньшее. В нашем случае светлые области соответствуют областям перетоков знаний. В методе прогнозирования, основанном на временных рядах выше, это привело к определенным проблемам в адекватности применения.

Рис. 10. Схематическое изображение функционирования двумерной самоорганизующейся нейронной сети и принципа самоорганизации произвольных весовых переменных $x(i) - x(j)$ (данные автора)

Fig. 10. The schematic image of Neural Self-organized 2-D network and the principle of self-organization of any weight variables $x(i) - x(j)$ (data provided by the author)

Нейронную сеть можно было бы сделать абсолютно точной, поместив в узлах сети не веса данных и алгоритм «победителя», а матрицы совместимости технологических параметров и алгоритм их сравнения. Пространство можно было бы создать n -мерным и создать измерения из ключевых показателей. Пересечения областей с соответствующими параметрами образовывали бы технологии и области знаний, которые могут появиться в будущем.

Анализ результатов

Наиболее важные теоретические открытия последних лет, такие как бозоны Хиггса или гравитационные волны, не могут оказать серьезного влияния на инженерные инновации и экономический рост. Поэтому принимать в расчет такого рода открытия нельзя, хотя они были включены в модель нейронной сети.

Инновации являются комбинацией открытых явлений и прочих инноваций на базе этих же явлений. Эта зависимость предопределяет особенности развития инноваций и в наше время. Открытые явления аккумулируются с годами в инновационной продукции, которая замещается со временем конкурирующими инновациями. Современный спад в частоте фундаментальных открытий, начавшийся в 1990-е гг., не скажется мгновенно на количестве инноваций. В 2014 г. число патентов, выданных в мире, достигло 2 680 900 единиц, в то время как в 1990 г. это число было 99 7501¹⁷. В то же время число значимых радикальных инноваций сократилось во всех технологических направлениях и отраслях, что и показала нейронная карта. Данное обстоятельство привело к появлению нового феномена – росту числа компонент в продукции и интеграции различных видов компонент и продукции из смежных технологий и отраслей. Внедрение смартфонов стало одним из примеров таких инноваций. Данная инновация не приводит к росту, а замещает одни технологии другими. При этом смартфоны становятся товарами, интегрирующими в себе все больше и больше компонент из смежных отраслей – фотоаппараты, телевидение, навигаторы. Возможно, в будущем медицина, консультации юристов, диагностика и прочие сервисы также будут отображены в различных приложениях для смартфонов. Такие внедрения могут привести к повышению качества и скорости определенного рода услуг, но в то же время к снижению оборотов в соответствующих сферах услуг. Некоторые попытки форсировать процесс в радикальных открытиях привели к активизации исследований в таких амбициозных проектах, как термоядерная энергетика или квантовые вычисления. Это также отражено в двумерной нейронной карте.

Большая часть современных технологий, образующих технологическую базу для современной продукции, возникла еще в XIX и начале XX в.

Современный прогресс базируется на оптимизационных открытиях, которые позволяют снижать издержки и экономить расход ресурсов, однако такие технологии могут вести и к негативному влиянию на рост. Нейронная сеть показала критическое уменьшение потенциала именно радикальных и фундаментальных открытий, дающих основное приращение и рост. В то же время динамика инкрементных или инженерных инноваций продолжает набирать темпы.

Пределы инновационного развития и пределы потребления нельзя назвать абсолютно негативными факторами. Это индикаторы, показывающие, что предел достигнут, и дальнейшая накачка инвестициями всех видов не будет иметь должного эффекта. В таком случае требуется адаптация финансовых и инновационных систем. Возможно, существуют и иные пределы, которые не исследованы в данной работе. Другая важная особенность исследования заключается в возможности более точного описания таких экономических параметров, как склонность к потреблению, нормы сбережения, производительность, полезность. Можно сделать предположение об объяснении одной из причин кризисных явлений, связанных с обгоном инвестиционной активностью пределов и потенциала технологического развития ре-

¹⁷ http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2016.pdf

гиона [26]. Так, например, общепринятая модель построения технологического и экономического роста основана на постоянном росте в бесконечность, что приводит к переоценке роста.

С XXI в. картина прогресса поменялась. Современные разработки являются по большей части комбинацией уже существующих открытий и инноваций. Из-за диффузного эффекта очень сложно оценить непосредственный вклад той или иной технологии. Например, интеграция результатов инновационной деятельности в электронике или химии ускоряет рост в сельском хозяйстве, добывающей промышленности, энергетике, машиностроении. Однако такие инновации рассматриваются как инновации именно в указанных отраслях, что также дает видимость развития. Но даже такие комбинационные инновации имеют свои пределы, так как существует ограниченное количество целесообразных комбинаций, которое можно создать на практике.

Выводы

Процесс технологического развития последних десятилетий характеризуется устойчивым кризисом радикальных открытий. Технологические пределы вплотную приблизились к критическим значениям практически во всех отраслях и технологиях.

В развитых странах потребление во всех ключевых отраслях достигло пика своего насыщения. Это вызвано влиянием как предела радикальных открытий, проявившегося в сложности создания новых отраслеобразующих технологий, так и технологического предела, проявившегося в пределах роста для каждой отрасли.

Попытки изменить данный процесс торможения инновационного роста путем огромных финансовых вливаний во все направления подряд приведут лишь к финансовым потерям, так как сами по себе денежные вливания инновационных и технологических преимуществ не дают и новых сфер потребления не открывают. Последними существенными открытиями, которые, возможно, могли бы привести к созданию новых инновационных каскадов, были разработки в таких областях, как нанотехнологии, квантовые вычисления. Ожидания от теоретических моделей, показывавших фантастические параметры проводимости, прочности, частотных характеристик, оказались сильно завышенными и не учитывали большое количество побочных факторов, выявленных позже.

Поэтому снижение потенциала радикальных открытий и инноваций говорит о необходимости поиска альтернативных моделей развития с учетом ряда особенностей современных инноваций:

- 1) это преимущественно инженерные или инкрементальные инновации с разной степенью интеграции уже разработанных ранее технологий и компонент, которые были улучшены;
- 2) их особенностью инновационного роста является постоянное добавление новых компонент;
- 3) они не дают существенного экономического роста как по причине отсутствия радикальных инноваций, так и потому, что они являются инкрементальными;
- 4) нет более радикальных инноваций, которые могли бы создать новые ниши потребления.

Стратегия для развития инноваций в России тоже может учитывать перечисленные особенности развития.

1. Не следует делать упор на замещающие инновации, так как они не дадут роста и могут нанести ущерб уже существующим направлениям развития.
2. Необходимо развитие сегментов поиска радикальных инноваций, которые дадут рост новым потребительским нишам без ущерба для существующих. Таким направлением может стать роботизация – как промышленная, так и коммерческая [27].
3. Необходимо уделить внимание усложнению степени интеграции компонент в отечественном производстве и переходу от простой продукции к многокомпонентной.

4. Необходимо построение систем переноса знаний между всеми этапами разработки – от теоретических и прикладных исследований до производственных стадий, которые должны полностью обеспечивать промышленные предприятия России [28].

Список литературы / References

1. **Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens III W. W.** The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York, Universe Books, 1972.
2. **Turner G.** A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality. *Global Environmental Change*, 2008, no. 18, p. 397–411.
3. **Smith Adam.** An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. New York, Random House, 1937.
4. **Ricardo D.** On the Principles of Political Economy and Taxation. Cambridge, Cambridge Un. Press, 1951.
5. **Malthus T.** An Essay on the Principle of Population. London, W. Pickering, 1986.
6. **Ramsey F.** A Mathematical Theory of Saving. *Economic Journal*, 1928, no. 38, December, p. 543–559.
7. **Harrod R.** An Essay in Dynamic Theory. *Economic Journal*, 1939, no. 49, June, p. 14–33.
8. **Domar E.** Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment. *Econometrica*, 1946, no. 14, April, p. 137–147.
9. **Solow R.** A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 1956. 70, February, 65 –94.
10. **Ramsey F.** A Mathematical Theory of Saving. *The Economic Journal*, 1928, vol. 38, no. 152, p. 543–559.
11. **Cass D.** Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation Author(s). *The Review of Economic Studies*, 1965, vol. 32, no. 3, p. 233–240.
12. **Koopmans T.** On the concept of optimal economic growth. *Cowles Foundation for Research in Economics*. Yale Uni. Press, 1963.
13. **Romer P.** Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 1990, vol. 98, no. 5 (October), part II, p. 71–102.
14. **Aghion P., Hewitt P.** A Model of Growth through Creative Destruction. *Econometrica*, 1992, vol. 60, no. 2, p. 323–351.
15. **Bove V., Elia L.** Migration, Diversity, and Economic Growth. *World Development*, 2017, vol. 89, January, p. 227–239.
16. **Carp L.** Financial Globalization and Capital Flows Volatility Effects on Economic Growth. *Procedia Economics and Finance*, 2014, vol. 15, p. 350–356.
17. **Bradford DeLong J., Summers Lawrence H.** Equipment Investment and Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 1991, vol. 106, no. 2 (May), p. 445–502.
18. **Barro R.** Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study. Cambridge, MIT Press, 1997.
19. **Aghion P., Howitt P.** A Model of Growth through Creative Destruction. *Econometrica*, 1992, vol. 60, no. 2, p. 323–351.
20. **Romer P.** Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 1990, vol. 98, no. 5, part 2, p. 71–102.
21. **Pittelkow C., Liang. X.** Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 2015, no. 517, p. 365–368.

22. **Ramsey F.** A Mathematical Theory of Saving. *Economic Journal*, 1928. no. 38, December, p. 543–559.
23. **Grossman M., Helpman E.** Endogenous Innovation in the Theory of Growth. *The Journal of Economic Perspectives*, 1994, vol. 8, no. 1, p. 23–44.
24. **Swan T.** Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*, 1956, no. 32, November, p. 334–361.
25. **Wieser F.** Social Economics. New York, Adelphi Company, 1927.
26. **Лычагин М. В.** Проблемы системности и взаимосвязи финансов и реального сектора с позиции науки и образования // Сибирская финансовая школа. 2012. № 6. С. 54–59.
Lychagin M. V. Problemy sistemnosti i vzaimosvyazi finansov i real'nogo sektora s pozitsii nauki i obrazovaniya. *Sibirskaya finansovaya shkola* [Siberian Financial School], 2012, no. 6, p. 54–59. (in Russ.)
27. **Земцов С.** Роботы и потенциальная технологическая безработица в регионах России: опыт изучения и предварительные оценки // Вопросы экономики. 2017. № 7. Р. 1–16.
Zemtsov S. Robots and potential technological unemployment in the Russian regions: Review and preliminary results. *Voprosy Ekonomiki*, 2017, no. 7, p. 1–16. (in Russ.)
28. **Унтура Г. А.** Инновационное развитие регионов России: неравномерность кооперация и конкуренция // Регион: экономика и социология. 2015. № 1. С. 275–304.
Untura G. A. Innovative Development of Russian Regions: Unevenness, Cooperation & Competition. *Region: Economics and Sociology*, 2015, No. 1, p. 275–304. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию
 Received
 15.09.2018

Сведения об авторе / Information about the Author

Заболотский Алексей Александрович, кандидат экономических наук, научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия)

Aleksey A. Zabolotsky, Candidate of Science (Economics), Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

ieie@inbox.ru

ORCID 0000-0003-2683-6116