



Научная статья

Original article

УДК 330.35

doi: 10.24411/2413-046X-2021-10487

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПОВ РОСТА РОССИИ В СОПОСТАВЛЕНИИ
С ДИНАМИКОЙ КРУПНЕЙШИХ ЭКОНОМИК ДО КОНЦА XXI ВЕКА**

**FORECASTING RUSSIAN GROWTH RATES IN COMPARISON WITH THE DYNAMICS
OF THE LARGEST ECONOMIES UNTIL THE END OF THE XXI CENTURY**

Авторы благодарят Российский фонд фундаментальных исследований за финансовую поддержку работы в рамках научного проекта № 19-29-07328

Орехов Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, научный сотрудник, факультет экономики, Университет «Синергия», 125190, РФ, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 80. e-mail: vorehov@yandex.ru; тел. 8 903 258 3075. ORCID ID: 0000-0002-5970-207X

Каранашев Анзор Хасанбиевич, доктор эконом. наук, проф. кафедры, Кабардино-Балкарский гос. университет, 360004, РФ, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173. kanzor77@mail.ru; тел. 8 928 691 5399. ORCID ID: 0000-0002-5970-207X

Щенникова Елена Сергеевна, канд. эконом. наук, доцент, зам. директора учебного и научно-исследовательского центра, 141701,

Россия, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.
e-mail: shchennikova.es@mipt.ru; тел. 8 905 703 4211. ORCID ID: 0000-0003-2338-5858

Orekhov Viktor Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences, Researcher, Faculty of Economics, Synergy University, 125190, Russia, Moscow, Leningradsky Ave, 80.

Anzor Karanashev, Doctor of Economics, Professor, Kabardino-Balkarian state University, 360004, KBR, Nalchik, Chernyshevsky str., 173.

Elena Sergeevna Shchennikova, Candidate of Economics, Associate Professor, Director of the educational and research center, Moscow Institute of Physics and Technology. 141701, Russia, Moscow region, Dolgoprudny, Institutsky lane, 9.

Аннотация. Проведено исследование долгосрочных темпов экономического роста с использованием образовательной модели человеческого капитала. Целью работы являлось прогнозирование изменений экономического роста ведущих мировых экономик до конца XXI века с целью выявления потенциальных кандидатов в мировом лидерстве. Математические методы исследования включают в себя: разработку моделей роста числа научных работников и расчет коэффициентов вклада в ВВП специалистов с различным образованием, а также формирование глобальной модели прогнозирования роста ВВП. Расчеты развития 12 крупнейших экономик показали, что к концу XXI века их суммарный ВВП по ППС составит 350 трлн междунар. долл. 2017 года, причем доминирующую долю среди них (78%) будут иметь страны, которые сейчас относятся к развивающимся. Китай будет лидером по величине ВВП в течение примерно 47 лет, а затем темп его роста уменьшится до минимального, в результате снижения численности населения. Индия около 2067 года опередит по величине

ВВП Китай, и к 2100 году Индия будет иметь ВВП = 96,5 трлн междунар. долл. Стран, которые потенциально могут превзойти Индию по величине ВВП, не выявлено.

В России, согласно консервативному прогнозу, к 2100 году ВВП составит 9,5 трлн долл. При оптимистическом прогнозе, предполагающем сохранение численности населения и числа научных работников на единицу ВВП на современном уровне, а также при улучшении внешнего окружения до среднемирового уровня ВВП России составит 12,7 трлн долл. Доминирующее влияние на экономический рост оказывает доля работников, имеющих третичное образование, и доля специалистов в области НИОКР. Сравнение данного прогноза с прогнозом компании PricewaterhouseCoopers в 2050 году обнаружило их хорошее согласование. Средняя величина разности значений ВВП по двум прогнозам равна 3%, а среднеквадратичное отклонение – 12%.

Abstract. The study of long-term rates of economic growth was carried out using the educational model of human capital. The aim of the work was to predict changes in the economic growth of leading world economies until the end of the 21st century in order to identify potential candidates for world leadership. Mathematical research methods include: the development of models for the growth of the number of scientific workers and the calculation of the coefficients of the contribution to GDP of specialists with different education, as well as the formation of a global model for forecasting the growth of GDP. The calculations of the development of the 12 largest economies showed that by the end of the XXI century, their total GDP at PPP will amount to 350 trillion international dollars of 2017, and the dominant share among them (78%) will have countries that are now classified as developing. China will be the leader in GDP for about 47 years, and then the rate of its growth will decrease to a minimum, as a result of a decline in population. India will surpass China in terms of GDP by about 2067 and by 2100 India will have a GDP = 96.5 trillion Int. dollars. Countries that can

potentially surpass India in terms of GDP, have not been identified. The dominant influence on economic growth is the share of workers with tertiary education and the share of R&D specialists . Comparing this forecast with PricewaterhouseCoopers' 2050 forecast showed good agreement. The average value of the difference in GDP values according to the two forecasts is 3%, and the standard deviation is 12%.

Ключевые слова: прогнозирование, экономическая динамика, человеческий капитал, ВВП, НИОКР, образование, экономическое лидерство, демографический переход.

Key words: forecasting, economic dynamics, human capital, GDP, R&D, education, economic leadership, demographic transition

ВВЕДЕНИЕ

Важной характеристикой современного состояния мирового сообщества является то, что оно претерпевает ряд кардинальных изменений. Наиболее важными среди них являются возможность смены стран – мировых лидеров [1–3], демографический переход [4] и очередная технологическая революция. Проведенные банком Goldman Sachs [5], компанией PricewaterhouseCoopers [1], OECD [6] и другими [2] исследования развития крупнейших экономик показывают, что экономический вес Китая и Индии будет быстро увеличиваться, и они могут стать новой доминантой мирового развития. Однако эти прогнозы выполнены на перспективу примерно в 30–40 лет, что не позволяет делать уверенные выводы относительно перспектив смены мирового лидера. Вполне закономерно было бы ставить задачу формирования прогнозов минимум на продолжительность жизни одного поколения, то есть до конца XXI века.

Для России, которая находится в непосредственной близости от этих активно развивающихся стран, очень важно понимать, каково будет

соотношение экономического веса крупнейших экономик в будущем и в какой мере природные ресурсы и человеческий капитал России будут иметь значимость в новой глобальной экономической реальности.

Проведенные в работах компании PricewaterhouseCoopers [1, 7–9] и других [2, 6] исследования на тему прогнозирования экономической динамики крупнейших мировых экономик были выполнены, как правило, с использованием экзогенной модели, в которой в качестве эталонной экономики принимаются США. Считается, что другие страны догоняют США и технологическое развитие моделируется путем задания скорости роста производительности труда в США. Такой подход может давать недостаточно точные оценки соотношения веса различных экономик в будущем, поскольку заранее принимается постулат о мировом лидерстве США в прогнозируемом диапазоне времени. Поэтому желательно провести прогнозирование роста ВВП с использованием альтернативного метода, не зависящего от заданного извне лидера и нормативов.

В частности, авторы используют для этого подход, базирующийся на модели человеческого капитала, рост которого происходит эндогенным образом, за счет повышения уровня образования. С другой стороны, доминирование человеческого капитала в составе мирового богатства свидетельствует о том, что именно его можно использовать в качестве ядра методики прогнозирования. Важная роль человеческого капитала [10–12] в мировой динамике привела к разносторонним попыткам сделать более точные оценки этого актива на основе различных индикаторов. В дополнение к традиционным методам оценки человеческого капитала World Bank Group и World Economic Forum разработали два индекса человеческого капитала [13, 14]. Проблема заключается в том, что эти индексы не имеют явной связи с финансовыми показателями и не просто перейти от них к

прогнозированию экономического роста, особенно на долгосрочную перспективу.

Авторами была осуществлена разработка альтернативного индекса человеческого капитала (**ИНС**), основанного на дифференцированном учете уровня образования работников и численности R&D-специалистов [15]. Использование этого индекса позволяет относительно точно прогнозировать рост GDP стран на период до 2100 года. Однако он должен опираться на прогнозы роста специалистов с различным уровнем образования и работников НИОКР, которые до последнего времени были относительно неточными, особенно в отношении крупнейших развивающихся стран, для которых образовательная статистика на некоторые временные промежутки отсутствует или ненадежна. Также было не ясно, в какой мере можно доверять таким расчетам.

В данной работе представлена разработка целостного комплекса прогнозирования экономической динамики крупнейших экономик, включая Россию, на период до 2100 года с использованием эндогенного подхода, базирующегося на оценке человеческого капитала, формируемого на образовательной базе. Результаты расчетов, проведенных с его использованием, сопоставляются с аналогичными прогнозами компании PricewaterhouseCoopers [1, 7–9], выполненными с применением экзогенной модели.

Целью работы являлось прогнозирование темпов роста России в сопоставлении с динамикой крупнейших экономик до конца XXI века и выявление потенциальных лидеров мирового развития.

1. ОБЗОР

В числе первых теоретиков моделей долговременного экономического роста были представители неокейнсианства R.F. Harrod [16] и Domar E.

Ими было сформулировано фундаментальное уравнение экономического роста и установлена связь между темпами роста инвестиций и скоростью роста ВВП. Также было показано, что динамическое равновесие в модели R. Harrod является неустойчивым, поэтому для достижения макроэкономического равновесия рекомендовалась активная государственная политика, направленная на поддержание устойчивых темпов роста.

Сторонники неоклассического направления создали свою модель развития, основанную на концепции модернизации. В частности, A.W. Lewis предложил теорию дуалистической экономики [17]. Он считал, что такая теория применима в странах, в которых высока плотность населения, а капитал и естественные ресурсы ограничены, например, Индия и Пакистан. Он доказывал, что для модернизации экономики необходимо перераспределять ресурсы из аграрного сектора в промышленный. В рамках неоклассического направления важные результаты были получены в 1956 году R. Solow [18] и Svan. Согласно их модели устойчивость долгосрочного роста возникает в результате технического прогресса. Недостатком модели является то, что этот прогресс определяется экзогенным образом.

Институциональное направление развития существенно отличается от двух предыдущих и базируется на цивилизационном подходе. Представители этого направления обосновали, что развитие должно пониматься как повышение благосостояния всех членов общества [19]. Среди достижений этого направления следует отметить внедрение в мировую практику показателя Index Human Development, который публикуется United Nations Development Programme's с 1990 года и стимулирует страны на повышение этого индекса. T.W. Schultz показал, что концепция человеческого капитала играет важнейшую роль в экономическом росте [20].

Начиная с 1980-х годов стало ясно, что неоклассические модели не удовлетворяют требованиям к исследованиям долгосрочного роста [11]. Одним из подходов к решению этой проблемы стали попытки расширить концепцию капитала за счет включения в него человеческого капитала, а также использование предположения, что у такого капитала отдача не убывает.

Модель экзогенного экономического роста с использованием человеческого капитала разработали в 1990 году Mankiw G., Romer D., Weil D. [21]. Хотя эта модель лучше согласуется с различиями между странами, но она также сохраняет недостатки экзогенной модели. В дальнейшем ряд авторов предпринял усилия по доработке данной модели, чтобы приблизить ее к эндогенному типу. С этой целью в модель вводятся разнообразные предположения о влиянии на экономический рост знаний, технологий и инноваций [11, 22], а также инвестиций в эти сферы. Здесь авторы затрагивают сферу управления знаниями и инновациями [23, 24], которая относится к сложным, нематериальным, слабоструктурированным системам [25]. Поэтому попытки соединить модели неоклассического и слабоструктурированного типов, имеющие крайне различную природу, не приносят значительных успехов. На настоящее время единая теория экономического роста не разработана [26].

С начала третьего тысячелетия ряд финансовых, консалтинговых и общественных организаций активно занялись прогнозированием экономической динамики на долговременный период: 30–40 лет. Так, в 2003 году появился прогноз банка Goldman Sachs [5], который показал, что мировой порядок способна изменить группа крупнейших развивающихся стран. Для ее обозначения была введена аббревиатура БРИК. Несмотря на то что погрешность этих прогнозов была весьма велика, страны БРИК наращивали свой экономический вес даже с

опережением прогноза [2]. Наиболее последовательно составлением таких прогнозов занялась компания PricewaterhouseCoopers (PwC), которая регулярно выпускала их с 2006 года. Наличие ряда прогнозов, выполненных в близких форматах [1, 7–9], дает возможность сравнивать их и оценивать возникающие погрешности.

Модель PwC является адаптированной и упрощенной для целей сравнения долгосрочных прогнозов роста различных стран с сохранением возможности формирования общего сценария роста мировой экономики [1]. Предполагается, что не происходит крупных глобальных катастроф или войн, угрожающих цивилизации. Рост экономик в данной модели происходит под влиянием четырех основных факторов:

- Рост численности населения в возрасте 15–64 года на основе прогнозов ООН [27];
 - Рост человеческого капитала в связи с прогнозируемым средним уровнем образования работников;
 - Рост физического капитала, что определяется новыми капиталовложениями и износом действующего основного капитала;
 - Технологический прогресс, улучшающий производительность факторов производства.

В качестве эталонной экономики взяты США, которые наиболее преуспели в технологии и производительности труда. Величина этого роста в прогнозе 2017 года составляет на основе расчетов 1,5%. Данная цифра снижена по сравнению с прогнозом 2015 года, в котором она была принята равной 2,0%. Соответственно, снижены все остальные прогнозные оценки 2017 года. Предполагается, что остальные страны догоняют США со скоростью, которая определяется прогнозом. Фактически глобальное технологическое развитие моделируется именно заданием темпа роста производительности труда в США. Циклические

колебания вокруг долгосрочных тенденций и возможность технологических скачков игнорируются.

Уровень образования в каждой стране моделируется путем экстраполяции сложившихся за последние годы тенденций. Темп роста образования самый низкий в США, поскольку достигнут наиболее высокий уровень, а остальные страны двигаются по аналогичной траектории (Ilina et al., 2016; Dusenko et al., 2016; Kryukova et al., 2018; Drobyshev et al., 2017; Drobyshev et al., 2017).

Темп наверстывания технологического развития пропорционален разрыву с США и составляет 1–2% в зависимости от ситуации в стране, способствующей передаче технологий (догоняющему развитию), включая политическую стабильность, открытость для торговли, верховенство закона, наличие иностранных инвестиций, культурные и финансовые институты. Ситуационно для некоторых стран (Индия, Индонезия, Бразилия) эти факторы могут быть снижены, но в долгосрочной перспективе выйдут на средний уровень 1,5% годового сближения с уровнем USA.

Результаты прогнозирования величины ВВП по ППС (G) в 2050 году, согласно модели PwC различных лет публикации, приведены в таблице 1 в триллионах международных долларов 2017 года [28]. Величина GDP для EU в прогнозе PwC не приведена, хотя дан прогноз для Германии, Великобритании, Франции, Италии и Испании. Здесь GDP EU-23 на 50% больше, чем сумма GDP этих пяти стран, в соответствии с данной пропорцией в 2017 году.

Таблица 1. Прогнозы GDP крупнейших экономик в 2050 году, трлн долл. 2017 г.

	Китай	Индия	США	EU-22	Бразилия	Индонезия	Япония	Россия	Мексика	Турция	Нигерия	Сумма
PwC 11	67,5	49,0	43,0	40,3	11,1	7,0	8,7	8,6	7,6	6,0	5,1	254
PwC 13	59,2	38,1	41,7	40,6	9,7	7,0	8,9	8,8	8,1	5,5	4,4	232
PwC 15	63,5	43,9	43,0	37,5	9,5	12,7	8,2	7,9	8,3	5,3	7,6	248
PwC 17	59,6	45,0	34,7	33,8	7,7	10,7	6,9	7,3	7,0	5,3	4,4	222
Среднее	62,4	44,0	40,6	38,0	9,5	9,4	8,2	8,1	7,8	5,5	5,4	239
CV, %	6,2	10,2	9,8	8,3	14,7	30,3	10,8	8,6	7,8	6,1	28,6	6,0

Видно, что для Индонезии и Нигерии коэффициент вариации CV достигает 30%, т.е. разброс прогнозов сложно считать удовлетворительным. По остальным странам среднее CV = 9,2%, то есть согласование удовлетворительное. Суммарный прогноз по всем странам согласуется с CV = 6%.

Полученные оценки роста крупнейших экономик показывают, что GDP Китая превзойдет к 2050 году показатель США в полтора раза и даже Индия обгонит США. Это серьезное основание для того, чтобы более детально анализировать возможность смены мирового лидера. Однако только этих показателей недостаточно, чтобы утверждать об этом однозначно, поскольку важную роль играет технологическое лидерство, союзы с другими странами, мощь вооруженных сил и так далее. Возможно, ситуация изменится значительно в дальнейшем, поэтому важно получить прогноз на более длительный период.

Следует отметить, что согласно первым прогнозам PwC зависимость GDP от времени является экспоненциальной [8, 29], и это означает, что влияние демографического перехода на экономическую динамику достаточно умеренное. Однако скорректированный прогноз от 2017 года [1] демонстрирует уменьшение темпа роста GDP, особенно США, что может свидетельствовать о более сильном влиянии демографического перехода на экономическую динамику. Однако относительно короткий

период прогнозирования не дает возможности однозначно определиться с влиянием демографического перехода.

2. МЕТОДИКА

Как видно из обзора, для резкого увеличения времени прогнозирования до 80 лет принципиально важно использовать модель эндогенного типа и избежать ориентации на экзогенную модель технологического прогресса. С другой стороны, предпочтительно использовать относительно простую модель человеческого капитала (ЧК), которая даст возможность прогнозировать величину ЧК на длительный промежуток времени. Тот факт, что к концу второго тысячелетия доля человеческого капитала в национальном богатстве крупнейших экономик достигла 75–78% и имела тенденцию к дальнейшему росту, позволяет именно ЧК сделать сердцевиной прогностической модели.

При этом мы полагаем, что есть компоненты физического капитала, пропорциональные ЧК, поскольку он создается работниками тем в большей мере, чем больше ЧК. С учетом этого с определенной погрешностью можно считать, что весь прирост ВВП на душу населения (далее ВВП/Д или G/N) по паритету покупательной способности (ППС) будет пропорционален удельному индексу человеческого капитала (ИНС) – $I_{НС}$ в соответствии с зависимостью (1).

$$G/N \approx 0,5 \cdot I_{НС} \cdot M_0 \cdot M_C \quad (1)$$

Здесь $M_0 = 200\ 000$ междунар. долл. 2017 года – коэффициент, определяющий порядок величины G/N. Коэффициент 0,5 введен для того, чтобы в первом приближении отразить то, что трудоспособное (25–64 года) и занятое население составляет около половины граждан страны, и M_C – коэффициент, характеризующий экономику конкретных стран, в том числе учитывающий реальную долю работающего населения.

Большинство моделей человеческого капитала указывает на его связь с образованием, в частности с числом лет обучения [30]. Однако, с точки зрения величины человеческого капитала, год обучения в средней школе и в третичном образовании далеко не эквивалентны. Об этом, в частности, свидетельствует вывод, представленный в работах J. Mincer [10], о том, что зарплата работника экспоненциально зависит от количества лет (E) его образования $Y = Y_0 e^{RE}$ (функция доходов). Поэтому удельный индекс человеческого капитала определим с дифференциацией вклада в GDP (1) согласно зависимости (2) [15].

$$I_{HC} = \sum K_i \cdot D_i \quad (2)$$

Здесь D_i – доля специалистов с уровнем образования – i среди населения в возрасте 25–64 года, а K_i – весовые коэффициенты вклада в I_{HC} уровня образования – i . Для всех рассматриваемых стран набор K_i одинаков, причем для уровня бакалавра примем нормированную величину $K_i = 1$.

Будем учитывать пять образовательных уровней, согласно с классификации ISCED 2011 [31], представленных в таблице 2. В качестве уровня E5 будем рассматривать не формальный образовательный уровень (8 – докторантура), а работников в сфере R&D, поскольку реальный вклад в ВВП вносит не формальное образование, а работа в области R&D, а количество R&D-специалистов в ряде стран значительно отличается от числа выпускников докторантуры. Поскольку мы приняли, что доля работников трудоспособного возраста приблизительно составляет 50% от численности населения, то и доля R&D-специалистов должна быть отнесена к 50% доли населения.

Таблица 2. Группы работников по уровню образования

Уровень	Международное название уровня образования	Российское название уровня образования	Е, лет обучения	ISCED 2011
E ₁	Below upper secondary education	Основное общее	5–9	1–2
E ₂	Upper secondary education	Среднее образование	11–12	3–4
E ₃	Short-cycle tertiary education	Среднее профессиональное	13–14	5
E ₄	Tertiary education	Высшее образование	15–18	6, 7
E ₅	R&D-specialist	Научная деятельность	22	8

Для определения весовых коэффициентов K_i воспользуемся статистическими данными по крупнейшим экономикам, на которые меньше влияют различные случайные факторы. В частности, будем рассматривать восемь экономик: United States, European Union–23, China, Japan, Brazil, Turkey, Mexico, Indonesia, образовательные и другие характеристики которых представлены в таблице 3 применительно к 2017 году в международных долларах 2017 года.

Таблица 3. Характеристики рассматриваемых экономик

Название страны	D ₁ , %	D ₂ , %	D ₃ , %	D ₄ , %	D ₅ , %	G/N, тыс. долл.
Европейский союз 23	19,1	46,3	5,4	28,4	0,80	42,7
США	9,4	44,3	11,0	34,4	0,88	60,3
Китай	53,9	30,0	7,9	7,9	0,26	14,4
Япония		47,5	20,8	30,6	1,07	40,6
Бразилия	48,9	34,1		16,8	0,18	14,6
Турция	55,5	19,3	5,4	19,6	0,25	27,6
Мексика	57,1	20,2	0,33	22,3	0,063	19,7
Индонезия	61,6	26,0	3,0	9,3	0,043	11,0

Поскольку величины G/N и D_i подвержены небольшим отклонениям от монотонных значений, то для их сглаживания здесь взяты их осредненные значения за пять лет (2015–2019). В число этих экономик не включены Индия и Россия, поскольку предыдущие исследования [15] показали, что они значительно отклоняются от общих закономерностей.

Будем определять K_i из условия минимума коэффициента вариации значений M_C для выбранных восьми экономик. Будем далее считать, что

рост экономик в данной модели, которую будем называть ViC, происходит под влиянием следующих факторов:

- Рост населения согласно среднему прогнозу ООН [27];
- Рост ЧК на основе прогноза роста образования работников, согласно формулам (1), (2);
- Рост числа научных работников как основы технологического прогресса [32]. Коэффициент D_5 включен в число компонент индекса человеческого капитала (2).
- Текущая величина ВВП по ППС страны (G) как основной источник капиталовложений.

Более детально методика расчета по модели ViC будет приведена далее, при изложении результатов исследования.

Для проверки надежности получаемых с помощью данной модели результатов будет проведено их сравнение с прогнозом величины ВВП по методике PwC на 2050 год.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Закономерность роста уровня образования

На рис. 1 в логарифмической шкале приведена динамика по времени относительного числа студентов третичного образования в мире – Ne (по отношению к численности населения – N) в процентах [33– 34]. Здесь время X отсчитывается от 1900 года ($X = T - 1900$), что позволяет упростить аналитическое выражение тренда.

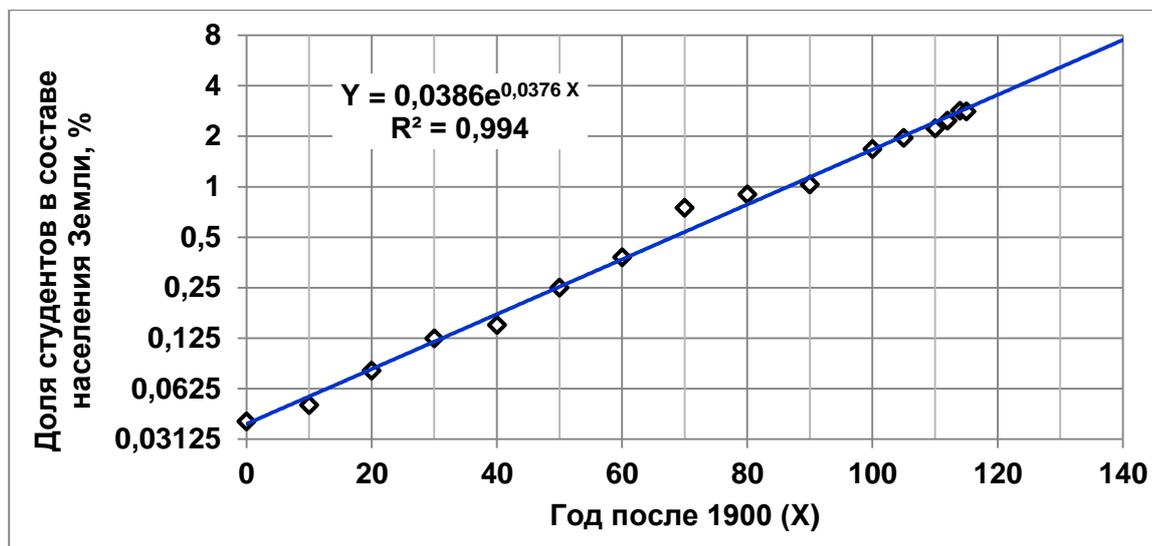


Рис. 1. Доля студентов третичного образования в мире от времени, %

Наилучшую аппроксимацию обеспечивает экспоненциальный тренд, который в десятичной форме (в %) будет иметь вид (3):

$$N_e = 0,0386 \cdot 10^{0,01633 \cdot X} \quad (3)$$

Относительное число студентов за 20 лет увеличивается в 2,1 раза. Погрешность аппроксимации очень мала: $\Delta R^2 = 1 - R^2 = 0,6\%$.

Зададимся вопросом, какова максимальная доля жителей страны, которая может получить высшее образование? В качестве индикатора уровня интеллекта широко используется коэффициент интеллекта (IQ). Согласно классификации Wechsler D. [35] примерно у 9% людей интеллект заметно снижен ($IQ < 80$). Они очень редко получают третичное образование. Еще около 16% населения имеет $IQ = 80-89$ (сниженная норма), и им сложно получить третичное образование уровня 6 и выше, согласно ISCED 2011 [31].

Кроме того, есть люди, не заинтересованные в получении высшего образования, или такие, которым мешают его получить другие проблемы. Например, один из богатейших людей Земли Билл Гейтс не имел высшего образования большую часть своей трудовой деятельности.

Согласно образовательной статистике максимальный охват третичным образованием населения в возрасте 25–64 года в 2019 году составлял: Ирландия – 60%, Канада – 59%, Россия – 57%, Израиль – 51%, Южная Корея – 51% [36]. Уровень охвата третичным образованием постоянно растет, и среди молодых людей он, как правило, выше. Например, в 2019 году для лиц в возрасте 25–34 года наибольший охват третичным образованием составил: Ирландия – 70%, Южная Корея – 70%, Канада – 63%, Япония – 62%, Россия – 62%. Характерно, что женщины несколько опережают мужчин по данному показателю, и рекордные цифры составляют: Южная Корея – 76%, Ирландия – 72%, Канада – 71%, Россия – 69%, Япония – 64%. Таким образом, реальную возможность получить высшее образование имеют порядка 75% людей.

В настоящее время считается, что трудоспособный период работников составляет около 40 лет (от 25 до 64 лет). Продолжительность обучения студентов третичного образования в среднем составляет около 4 лет, хотя со временем эта цифра растет, и в развитых странах продолжительность третичного образования, как правило, выше. Таким образом, продолжительность трудовой деятельности примерно в 10 раз больше, чем время получения третичного образования. Из этого следует, что если доля студентов составляет 7,5% от трудового населения в стационарном режиме, в течение порядка 40 лет, то доля работников, имеющих высшее образование, будет стремиться к 75%. При этом нужно учесть, что доля трудоспособного населения составляет 50% от всей численности. Отсюда следует, что для достижения 75% обеспеченности работников высшим образованием достаточно, чтобы в стационарном режиме студенты составляли порядка 3,7% численности населения.

Кроме того, следует учесть, что значительная часть студентов не завершает обучение. Отсев составляет около 33% студентов третичного

образования [36]. Таким образом, доля студентов, которые в стационарном режиме обеспечивают 75% высшее образование, составляет порядка 5% от населения. Такая численность студентов, как следует из рис. 1, будет достигнута во всем мире примерно к 2027 году. Для подтверждения оценок потребного количества студентов отметим, что во многих развитых странах их число остается относительно стабильным и в период 2008–2015 годов колебалось вблизи 3,0–4,3%: Великобритания – 3,7–4,0%, Германия – 3,5–3,6, Франция – 3,5–3,7%, Испания – 3,9–4,3, Италия – 3,1–3,4%, Япония – 3,0–3,1%, Португалия – 3,5–3,8%, Швейцария – 2,9–3,5%.

Если задача заключается в том, чтобы быстрее обеспечить все население третичным образованием, то относительное число студентов в начале этого проекта может превышать 5%, а затем снизится. Росту доли студентов в обществе может способствовать также тенденция к увеличению продолжительности третичного образования в развитых странах на программах магистратуры, докторантуры, второго высшего образования и дополнительного образования.

Для прогнозирования динамики доли работников, имеющих третичное образование, необходимо отталкиваться от достигнутого уровня образования и учитывать выпуск числа студентов. При этом необходимо иметь в виду, что ежегодно примерно $1/40$ часть работников, закончивших получение образования примерно 40 лет назад, выйдет на пенсию. Но поскольку в период начала их трудовой деятельности доля имеющих третичное образование в большинстве стран была значительно меньше, то и убыль будет относительно небольшой. Увеличение же числа имеющих третичное образование численно будет равно числу студентов, деленному на среднее число лет обучения с учетом не закончивших образование, а также тех, кто не окажется в

числе работающих, например, по причине болезни или занятия домашним хозяйством.

Китай является одной из крупнейших стабильно развивающихся экономик, поэтому прогнозирование его экономической динамики очень важно. Однако информация о числе студентов и уровне образования населения Китая весьма противоречива и сопоставление данных из различных источников указывает на их ненадежность. Зачастую в справочниках указана информация только за 2010 год [36]. По анализу авторов, к числу наиболее достоверных данных можно отнести указанные в работе [37], в которой дана ссылка на National Bureau of Statistics of China. Эти данные согласуются с представленными в других работах [34]. Опираясь на полученную зависимость числа выпускников от времени, можно рассчитать долю населения Китая, имеющего третичное образование. Соответствующие данные приведены на рис. 2.

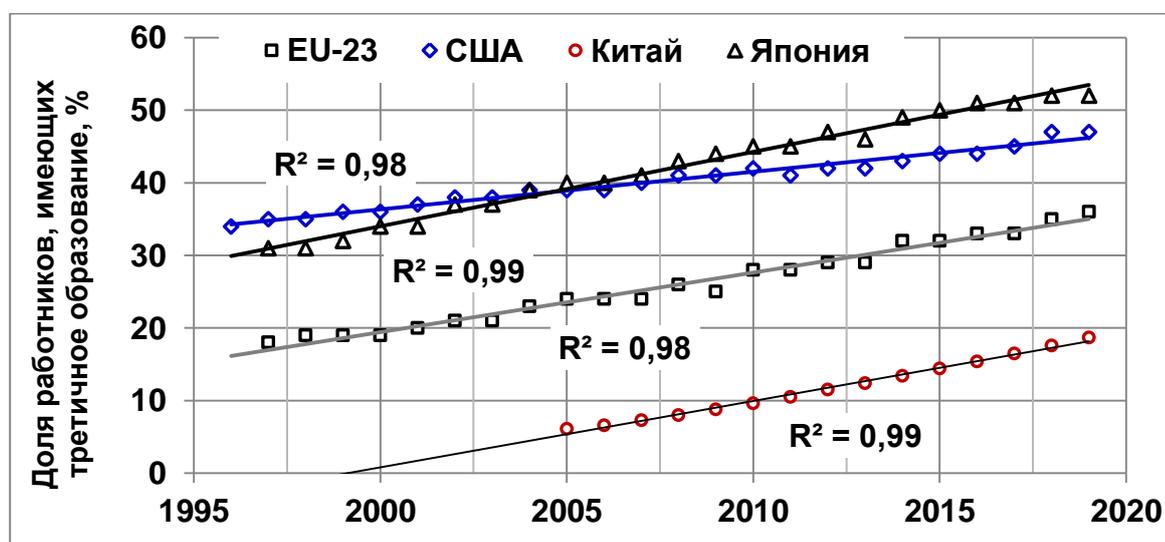


Рис. 2. Доля специалистов, имеющих третичное образование (D_{tr}), %

Там же представлена информация о доле специалистов в возрасте 26–64 года, имеющих третичное образование (D_{tr}), в ряде крупнейших экономик в соответствии с данными ежегодных выпусков Education at a Glance OECD с 1996 по 2020 год [36, 38].

Видно, что в этот период зависимости Dtr от времени (T) близки к линейным с низкой погрешностью регрессии $\Delta R^2 = 1 - R^2 = 1-2\%$. Линейный характер роста доли специалистов с третичным образованием упрощает процесс прогнозирования экономической динамики. Однако линейная зависимость $Dtr(T)$ характерна только при $Dtr(T) < 50\%$. При приближении к уровню 75% данная зависимость будет плавно выходить на постоянный уровень, и по графику, относящемуся к Японии, такую тенденцию можно заметить при приближении к 2020 году. Также следует отметить, что для России, в которой в 2003 году достигнут уровень $Dtr = 54\%$, с тех пор сохраняется почти стабильный уровень $Dtr \leq 57\%$.

Может показаться, что линейный или более медленный рост Dtr противоречит экспоненциальному росту числа студентов, продемонстрированному на рис. 1. Однако на рис. 2 мы рассматриваем только крупнейшие экономики, а на рис. 1 представлена суммарная картина, которая свидетельствует о быстром включении в образовательный процесс развивающихся стран.

Для использования в дальнейшем в процессе прогнозирования важно понимать, каков темп роста уровня образования для разных стран. Данные о годовых темпах роста уровня образования (ΔDtr) приведены в таблице 4 по значениям Dtr за 2014–2019 годы.

Таблица 4. Годовой прирост уровня третичного образования в %

Страна	Китай	США	EU-22	Индия	Япония	Россия	Бразилия	Турция	Индонезия	Германия	Великобрит.	Ирландия	Южная Корея	Мексика
$\Delta Dtr, \%$	1,06	0,8	0,8	1,0	0,6	0,6	0,8	1,0	0,8	0,6	1,0	1,4	1,4	0

Для большинства рассматриваемых экономик темп роста доли работников с третичным образованием равен $0,8 \pm 0,2$, то есть весьма

высокий. Для активно развивающихся стран (Китай, Южная Корея, Ирландия) он выше 1,0, а для отдельных (Мексика) рост не определен.

3.2. Динамика числа работников НИОКР

Пятый член в формуле (2), а именно D_5 , относится не собственно к образованию, а к доле специалистов в области НИОКР (или R&D). Это именно те работники, которые в моделях экономического роста отвечают за технологическое развитие. Специалисты же с третичным образованием оказывают лишь поддержку использования знаний и технологий. Здесь существенно то, что вклад в ВВП этой части человеческого капитала по формату аналогичен вкладу специалистов с другими типами образования. Кроме того, мы уходим от необходимости анализировать распространение таких неосязаемых и сложно измеримых категорий, как знания и инновации, и переходим к анализу числа работников НИОКР. При этом неявные знания существуют только в сознании специалистов и их можно принять за единицу измерения неявных знаний.

Согласно традиционной модели, число специалистов в области НИОКР (N_s) удваивается каждые 10–15 лет. В аналитическом виде эта зависимость может быть представлена формулой (4).

$$N_s = 10^{T/50-33} \quad (4)$$

Однако, согласно этой зависимости, в 1666 году, когда была учреждена Академия наук Франции, в мире было всего два ученых. Существование античной науки вообще не согласуется с данной формулой. В работе [32] на основе анализа объема знаний человечества показано, что количество ученых в прошлом удовлетворительно описывается квадратичной гиперболой (5), где $A = 16 \cdot 10^9$.

$$N_s = A / (2050 - T)^2 \quad (5)$$

В соответствии с данной зависимостью в период Возрождения было около 60 000 специалистов в области НИОКР, в эпоху античности – 3000, а во времена древнего Египта – более 600, что лучше соответствует сложности создаваемых в то время сооружений, чем согласно формуле (4). Однако с приближением к точке сингулярности ($T_1 \approx 2025$ года) формула (5) становится некорректной.

Для того чтобы исключить влияние сингулярности, обратим внимание на то, что динамика мирового ВВП за последнее тысячелетие примерно соответствовала квадрату численности человечества [39] и приближенно выражается формулой (6), где $\gamma \approx 1,04 \cdot 10^{-6}$ долл./чел.²·год.

$$G = \gamma N^2 \quad (6)$$

С другой стороны, согласно уравнению Foerster [40], численность человечества приближенно выражается гиперболой (7), где $C \approx 180$ млрд, а $T_1 \approx 2025$ год.

$$N = C/(T_1 - T) \quad (7)$$

Отсюда следует, что мировой ВВП вдали от точки сингулярности по порядку величины выражается квадратичной гиперболой от времени. Соответственно, число ученых в мире примерно пропорционально мировому ВВП. Эта взаимосвязь достаточно логична, поскольку численность работников НИОКР зависит от возможностей финансирования их деятельности. С другой стороны, увеличение числа работников НИОКР ведет к росту ВВП. Таким образом, эти две переменные зависят друг от друга. Положительно, что данная закономерность не связана с точкой сингулярности.

Сделаем оценки отношения N_S/G в прошлом. При $T < 1700$ года можно считать, что $(T_1 - T) \approx (2050 - T)$. Отсюда следует, что $(T_1 - T) = A/N_S = C^2/N^2 = C^2\gamma/G$. Следовательно, выражение для N_S/G имеет вид (8).

$$N_S/G = A/\gamma C^2 \quad (8)$$

Подставляя значения констант, получим

$$A/\gamma C^2 \approx 16 \cdot 10^9 / (1,04 \cdot 10^{-6}) \cdot 1,82 \cdot 10^{22} = 475 \cdot 10^{-9} \quad (9)$$

или 475 на млрд долл. ВВП по ППС 1995 года. В международных долларах 2017 года $N_S/G = 318$ специалистов в области НИОКР на млрд долл. Таким образом, отношение N_S/G является по порядку величины постоянным во времени в период квазигиперболического роста человечества.

Отношение числа работников НИОКР к ВВП по ППС (N_S/G) в зависимости от ВВП/Д для различных стран в период с 1996 по 2018 год в междунар. долл. 2017 года приведено на рис. 3 [27, 28, 41]. Там же даны значения этих величин для мира в целом, с 2000 по 2015 год с шагом в 5 лет.

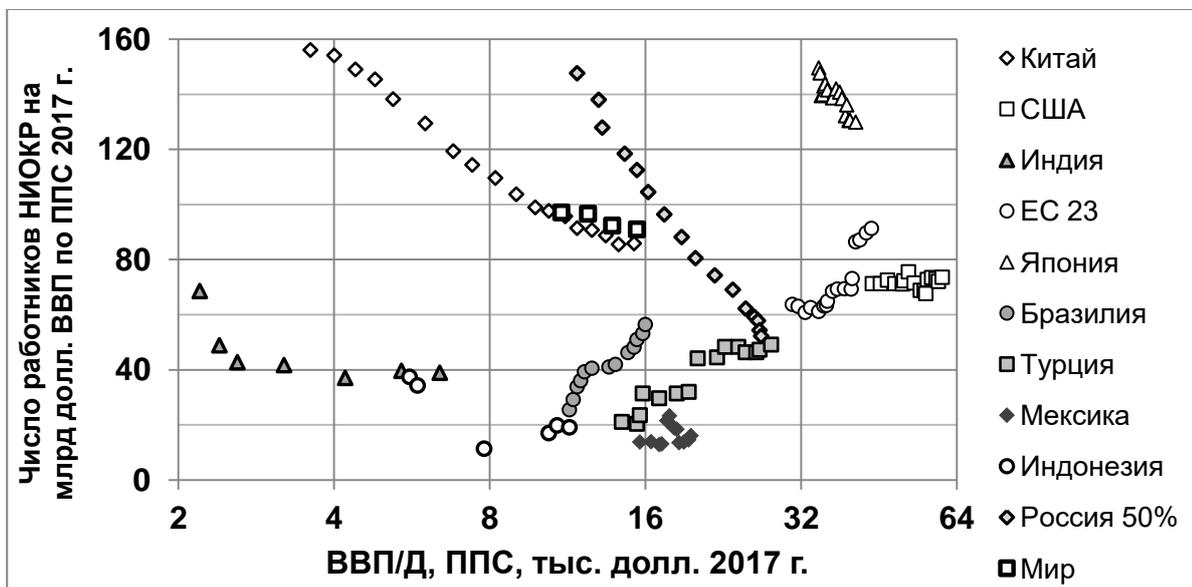


Рис. 3. Число работников НИОКР на млрд долл. ВВП

Согласно этим данным, при росте среднего мирового ВВП/Д с 11 до 15,5 тыс. долл. число работников НИОКР на млрд долл. уменьшилось с 97 до 91. Снижение N_S/G произошло в основном за счет достаточно быстрого роста ВВП, который опережал рост числа работников НИОКР.

В период 1996–2018 годов в США величина N_S/G колебалась в диапазоне 68–74 [41], что примерно на четверть меньше среднего мирового уровня. В Европейском союзе N_S/G за 22 года выросло примерно в полтора раза – с 61 до 91 и достигло среднего мирового уровня. В Японии N_S/G снизилось примерно со 150 до 130 и произошло сближение со средним мировым уровнем.

В большинстве стран БРИК происходило уменьшение N_S/G в связи с быстрым ростом ВВП/Д. Особенно быстро уменьшалось N_S/G в России – с 295 до 104 и Китае – со 168 до 86. В целом их уровень N_S/G приблизился к среднему мировому уровню. В Бразилии произошел быстрый рост N_S/G от 25 до 56 и сближение со средним мировым уровнем. Из стран БРИК только в Индии отношение N_S/G снизилось с 69 до 39, но за счет троекратного роста ВВП/Д, то есть число R&D-специалистов выросло примерно вдвое и в дальнейшем следует ожидать роста N_S/G . В Турции происходил быстрый рост отношения N_S/G с 21 до 49, и также прослеживается тенденция сближения с мировым уровнем. В Мексике и Индонезии закономерного изменения N_S/G не наблюдалось.

На основе сложившихся тенденций динамики N_S/G в ближайшей перспективе можно прогнозировать вначале некоторое уменьшение среднего мирового N_S/G до уровня примерно 80 работников НИОКР на миллиард. Но затем, по мере снижения темпов роста ВВП, средняя мировая величина N_S/G будет расти. Это будет происходить потому, что увеличение N_S/G будет важным инструментом ускорения роста ВВП. Примерно к такой же величине будет стремиться численность специалистов в области НИОКР в большинстве крупнейших экономик. В Мексике и Индонезии аналогичная динамика реализуется более медленными темпами.

Проведенный анализ динамики числа научных сотрудников показывает, что отношение N_S/G является важным показателем научной активности стран. Уместно задаться вопросом, является ли этот показатель, как характеристика скорости технологического прогресса, эндогенным? Каждая страна сама определяет, на каком уровне его поддерживать, хотя и ориентируется на его уровень в других странах и на свой уровень ВВП на душу населения. Его величина ориентируется не на страну лидера, а на среднее мировое значение, то есть среди крупнейших экономик в целом происходит конвергенция данного показателя.

В дальнейшем для прогнозирования коэффициента D_5 удобно будет пользоваться соотношением (10) с использованием полученных выше данных по изменению величины N_S/G , а также прогнозируемой величины ВВП/Д (G/N). Введение коэффициента 2 в формуле (10) связано с тем, что G/N относится ко всему населению, а D_5 только к работающему.

$$D_5 = 2 \cdot (N_S/G) \cdot (G/N) \quad (10)$$

3.3. Зависимость ВВП/Д от образования населения

Для определения удельного индекса человеческого капитала I_{HC} необходимо найти оптимальные значения коэффициентов K_i . Можно взять в качестве начальных значений для K_i линейное распределение пропорционально количеству лет обучения. В этом случае коэффициент вариации величины M_C для восьми стран $CV_8(M_C) = 48\%$, что явно неприемлемо.

Далее будем варьировать K_i , вычислять значения I_{HC} и M_C и определять значения коэффициентов вариации – $CV(M_C)$ для исследуемых экономик. За оптимальные значения K_i примем те, которые обеспечивают минимум коэффициента вариации $CV_8(M_C)$ для восьми крупнейших экономик. Полученные расчетные значения оптимальных K_i ,

а также коэффициенты вариации $CV_8(M_C)$, $CV_3(M_C)$ и среднеарифметическое значение M_C (M_8) приведены в таблице 5 применительно к образовательным характеристикам стран в 2017 году. В таблице 6 даны значения I_{HC} и M_C , полученные при оптимизации.

Таблица 5. Оптимальные K_i , коэффициенты вариации и M_8

K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$CV_8, \%$	M_8	$CV_3, \%$
0,00006	0,00025	0,50	1,0	19	15,8	0,877	11,4

Таблица 6. Расчетные значения параметров I_{HC} и M_C

	ЕС-23	США	Китай	Япония	Бразилия	Турция	Мексика	Индонезия	Среднее
$I_{HC}, \%$	46,47	56,96	17,07	61,97	20,23	27,22	23,72	11,75	
M_C	0,92	1,06	0,84	0,66	0,72	1,01	0,83	0,93	0,88

Видно, что за счет оптимизации удалось значительно уменьшить значения коэффициентов вариации. Видно также, что K_i для двух типов вторичного образования K_1 и K_2 более чем на три порядка меньше, чем коэффициенты вклада третичного образования, и их можно заменить одним коэффициентом, что далее будет проверено. Коэффициенты K_3 и K_4 достаточно близки друг к другу. Поскольку прогнозировать соотношение K_3 и K_4 на несколько десятков лет вперед сложно, то можно попытаться объединить эти два типа третичного образования. Проверим, не приведут ли такие упрощения к заметному увеличению коэффициента вариации. Результаты оптимизации коэффициентов K_i при объединении коэффициентов $D_{12} = D_1 + D_2$ и $D_{tr} = D_3 + D_4$ приведены в таблицах 7, 8.

Таблица 7. Оптимальные K_i и другие параметры при $K_1 = 0$

K_1	K_{12}	K_3	K_{TR}	K_5	$CV_8, \%$	M_8	$CV_3, \%$
0	0,0006	0	1,0	18,0	16,7	0,809	16,9

Та

Таблица 8. Параметры ИНС и МС, полученные при вычислении K_i в упрощенной модели

	ЕС-23	США	Китай	Япония	Бразилия	Турция	Мексика	Индонезия	Среднее
$I_{НС}, \%$	48,24	61,27	20,57	70,69	20,09	29,54	23,85	13,16	
M_C	0,89	0,99	0,70	0,57	0,73	0,93	0,83	0,83	0,81

Видно, что коэффициент K_5 уменьшился с 19,0 до 18,0. Минимизируемый коэффициент вариации CV_8 вырос относительно мало, с 15,8% до 16,7%, однако для трех крупнейших экономик CV_3 вырос с 11,4 до 16,9. Таким образом, можно использовать объединенные значения третичного и вторичного образования, но для более точной оценки роста GDP трех крупнейших экономик лучше использовать коэффициенты, представленные в таблицах 5, 6. Хотя значения $I_{НС}$ и M_C изменились, но их произведения, которые используются в формуле (1), остались неизменными.

Коэффициент для вторичного образования настолько мал, что будет влиять только на GDP стран с очень малыми долями третичного образования. Поэтому приближенная формула для удельного индекса человеческого капитала с учетом (10) имеет вид (11).

$$I_{НС} = Dtr + 36 \cdot (NS/G) \cdot (G/N) \quad (11)$$

Поскольку соотношение различных компонент образования меняется достаточно сильно, то важно проверить, в какой мере можно использовать для прогнозирования G/N формулы (1), (9) на протяжении длительного времени. С этой целью на рис. 4 приведены зависимости отношения ВВП/Д к $M_C \cdot I_{НС}$ от времени с 1996 по 2019 год. При этом использовались значения M_C , приведенные в таблице 8, применительно к 2017 году.

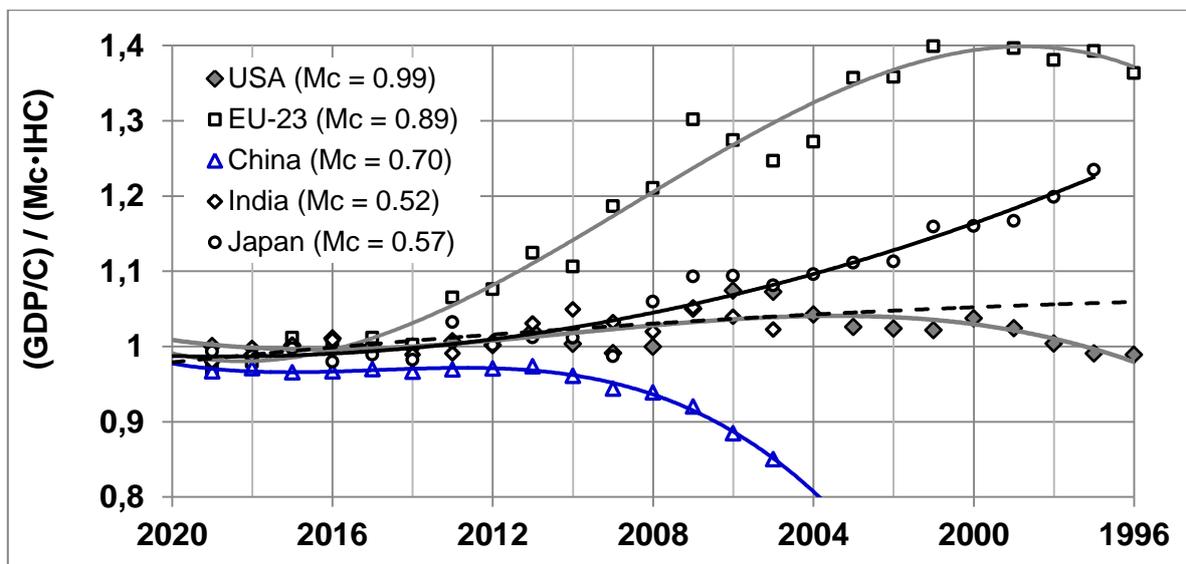


Рис. 4. Динамика отношения ВВП/Д к $M_C \cdot I_{HC}$ по времени

Видно, что на протяжении последних семи лет отношение ВВП/Д к $M_C \cdot I_{HC}$ изменяется относительно мало. Но в предыдущий период отклонение составляло до 40% применительно к Europeans Union. Можно предположить, что это связано с благоприятной для EU рыночной ситуацией после распада Советского Союза. Затем эти выгоды стали уменьшаться, а также оказал негативное влияние кризис 2008 года. Рост исследуемого отношения для Китая, вероятно, связан с успешным процессом его встраивания в мировую экономику. Для ведущей мировой экономики (США), а также для Индии данное отношение близко к постоянному. Относительная стабильность данного отношения на протяжении 23 лет свидетельствует о том, что формулы (1), (9) можно использовать для долговременного прогнозирования роста ВВП/Д. При этом коэффициент M_C , отражающий особенности стран, варьируется от 0,57 до 0,99, а его среднее значение $M_8 = 0,81$, как видно из таблицы 8.

При прогнозировании целесообразно принять, что коэффициент M_C со временем будет стремиться к среднему значению. Если сравнивать с моделью прогнозирования PwC , то коэффициент M_C аналогичен темпу наверстывания технологического развития по отношению к США,

который задается равным 1,5–2% в год. Однако коэффициенты M_C характеризуют эффективность использования удельного человеческого капитала I_{HC} и характеризуют, как внутренние особенности стран, так и влияние внешнего окружения, в частности близость ключевых рынков. Наибольшее значение он имеет у США и Турции. Из числа стран, данные которых использовались при оптимизации K_i , наименьшее $M_C = 0,57$ имеет Япония. Данные Индии и России не использовались при оптимизации, поскольку из предыдущих работ было известно, что у них очень мал коэффициент, аналогичный M_C [15]. В рамках данной работы показано, что для России $M_C = 0,4$, а для Индии $M_C = 0,52$.

Таким образом, общая картина динамики человеческого капитала следующая. Наибольшее влияние на рост удельного индекса человеческого капитала I_{HC} , а следовательно, и на ВВП/Д, в настоящее время оказывает быстрый, примерно линейный рост доли специалистов с третичным образованием – Dtr . Далее этот рост будет замедляться по мере приближения Dtr к уровню 75%. Существенное влияние на рост ВВП/Д оказывает также число работников НИОКР на миллиард долларов ВВП – N_S/G , но данный показатель в настоящее время меняется относительно медленно и в целом стремится к общемировому значению $N_S/G \approx 91$ чел./млрд долл. 2017 года (происходит конвергенция). По мере исчерпания роста Dtr будет в большей мере востребован рост показателя – N_S/G , как ресурса роста человеческого капитала. Этот рост может достигать значений в 2–3 раза больше современного среднего уровня. При этом один специалист в области НИОКР вносит вклад в ВВП примерно в 36 раз больше, чем специалист с третичным образованием.

3.4. Прогнозирование

С использованием уравнений (1), (2) и приведенных в таблицах 5, 7 значений коэффициентов K_i было выполнено прогнозирование роста

ВВП для крупнейших экономик с использованием электронных таблиц Excel. Вначале заполнялись данные об образовательном уровне работников на прогнозируемый период до 2100 года. До уровня $\Delta D_{tr} = 50\%$ уровень образования рос линейно в соответствии со значениями, представленными в таблице 4, а затем стремился к уровню 75% в 2100 году. Значения M_C изменялись линейно от уровня, представленного в таблице 8, до конечного значения в 2100 году – M_{Cf} . Параметр N_S/G изменялся линейно от начального значения, представленного на рис. 3 до I_S , которое могло быть либо среднемировым, либо более высоким. На втором этапе определялась величина G/N , при которой потребное значение I_{HC} (согласно формуле (1)) не превышает то, которое обеспечено уровнем образования работников в данный период времени. Полученные варианты динамики ВВП для США приведены на рис. 5.

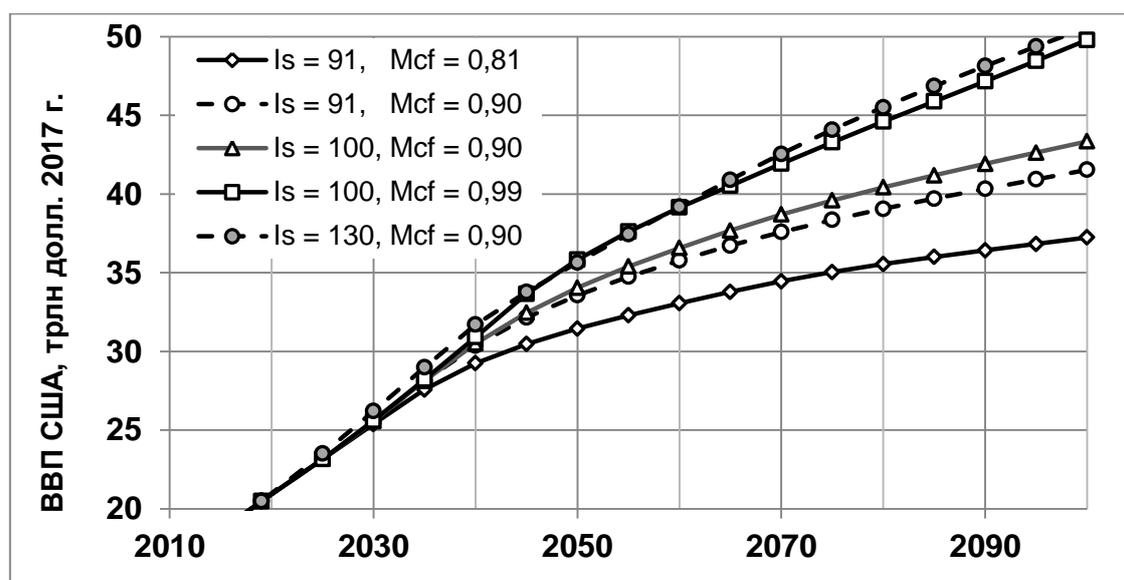


Рис. 5. Прогноз динамики ВВП по времени для США

Рассмотренные варианты роста ВВП в 2050 году лежат в диапазоне от 31,5 до 35,8 трлн междунар. долл. 2017 года. Согласно прогнозу PwC от 2017 года, для США ВВП = 34,8 трлн долл., что лучше всего согласуется с вариантом прогноза $I_S = 100, M_{Cf} = 0,9$, для которого в 2050 году ВВП = 34,1 трлн долл. (отличие 2%). Для варианта $I_S = 91, M_{Cf} = 0,9$ прогноз

ВВП = 33,6 трлн долл., отличие – 3,5%, что также хорошо для долговременных прогнозов.

Отличия вариантов прогнозов заключаются в том, что по одним из них конечное число $N_S/G = I_S$ в 2100 году равно среднемировому значению – 91, а по другим – 100 и 130. Также эффективность использования человеческого капитала к 2100 году в разных вариантах прогнозов или остается на современном для США уровне $M_{Cf} = 0,99$, или снижается до среднемирового $M_{Cf} = 0,81$, или занимает среднее между ними положение $M_{Cf} = 0,90$. Именно последний вариант наиболее близок к прогнозу PwC, и он наиболее вероятен в реальности. Согласно работе [28] OECD, по мере того, как экономическая активность будет смещаться в сторону Азии, страны, расположенные в Америке, будут становиться более отдаленными от основных рынков, и это будет оказывать давление на рост производительности труда в этих странах. Также будет оказывать влияние и снижение лидирующей роли США в мировой экономике.

При более высоких I_S и M_{Cf} величина ВВП возрастает, причем к 2100 году в одном из вариантов ВВП = 50,6 трлн долл. Показатель M_{Cf} влияет более сильно, чем I_S . Однако, как показано выше, величина I_S может варьироваться в широком диапазоне, вплоть до $I_S = 150...300$. И в условиях отсутствия других ресурсов увеличения человеческого капитала этот ресурс будет активизирован.

На рис. 6 представлены варианты динамики ВВП для Китая. Основной вариант прогноза характеризовался среднемировым уровнем $M_{Cf} = 0,81$ и скоростью роста уровня третичного образования, соответствующей современному уровню – $\Delta Dtr = 1,06\%$ в год. Для этого варианта в 2030 году ВВП = 39,9 трлн долл., что близко к прогнозу PwC (38 трлн долл.). Однако в 2050 году ВВП = 68,5 трлн долл., что на 17% больше, чем согласно прогнозам PwC (58,5 трлн долл.).

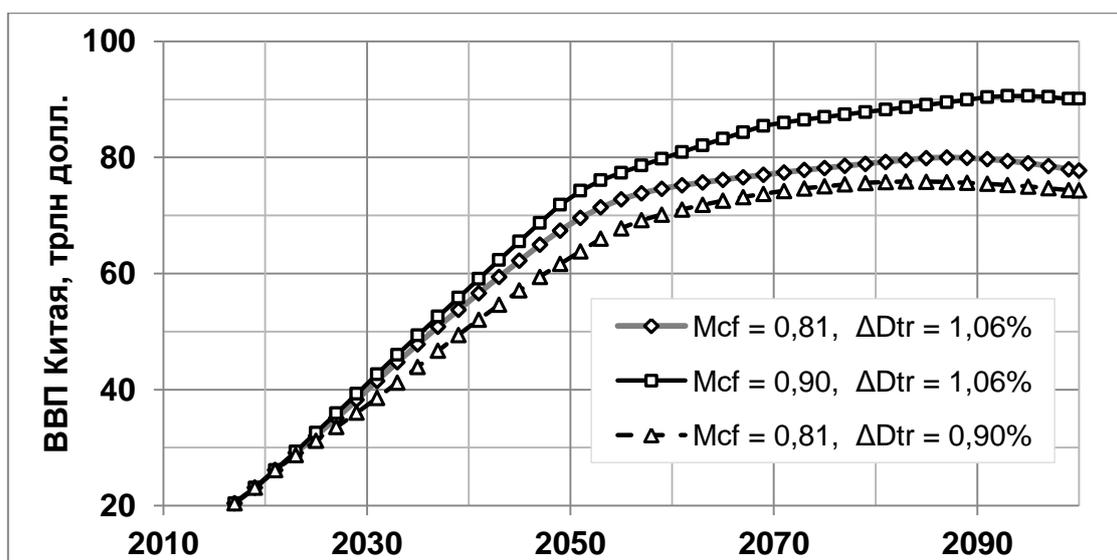


Рис. 6. Прогноз динамики ВВП Китая, трлн долл. 2017 г.

Нужно отметить, что до 2050 года темп роста образования остается постоянным, и, соответственно, как видно из рис. 6, линейно растет ВВП, а после 2050 года темп роста ВВП быстро снижается. Если скорость прироста уровня образования снизится до значений, близких к среднемировым – 0,9% в год, то, соответственно, более медленно растет ВВП и в 2050 году составит 61,7 трлн долл., что отличается от прогноза PwC не более чем на 5,5%.

В случае возрастания показателя M_{Cf} с 0,81 до 0,90 величина GDP к 2050 году возрастает до 73 трлн долл., что на четверть больше, чем согласно прогнозу PwC. Но такой рост вполне возможен при занятии Китаем более выгодной конкурентной позиции в мире за счет лидерства по объему ВВП и по числу специалистов НИОКР (для США в оптимистичном прогнозе $M_{Cf} = 0,99$). Заметно, что к 2100 году намечается тенденция к снижению ВВП Китая. Это связано с тем, что начиная с 2030 года численность населения Китая, согласно среднему прогнозу ООН, снижается и к 2100 году уменьшится на 400 млн человек по сравнению с максимумом.

На рис. 7 приведен расчет различных вариантов динамики ВВП России.

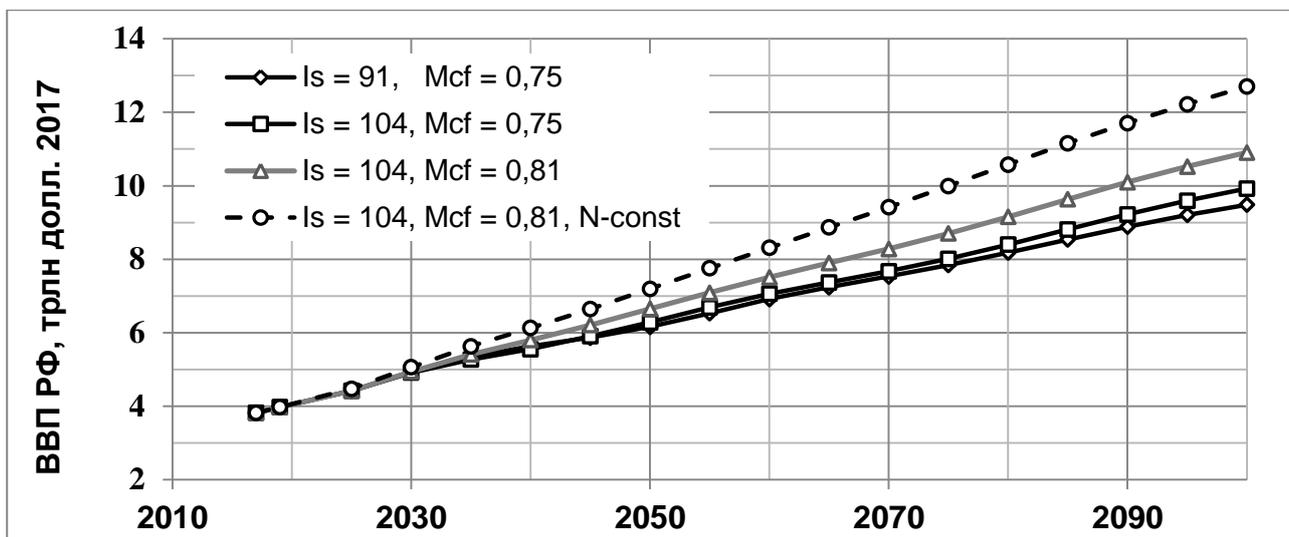


Рис. 7. Прогноз динамики ВВП России, трлн долл. 2017 г.

Видно, что увеличение числа научных работников от среднемирового значения $I_S = 91$ до современного для России значения (104) обеспечивает прирост ВВП на уровне 0,4 трлн долл. Увеличение параметра M_{CF} от 0,75 до среднего по крупнейшим экономикам значения (0,81) обеспечивает прирост ВВП еще на 1 трлн долл. Наиболее сильно влияет устранение депопуляции, т.е. сохранение численности населения на современном уровне. В этом случае величина ВВП в 2100 году увеличивается еще на 1,8 трлн долл. и достигает 12,7 трлн долл.

На рис. 8 дано сравнение динамики ВВП для шести экономик из числа крупнейших, включая страны БРИК, для параметров, приведенных в таблице 9.

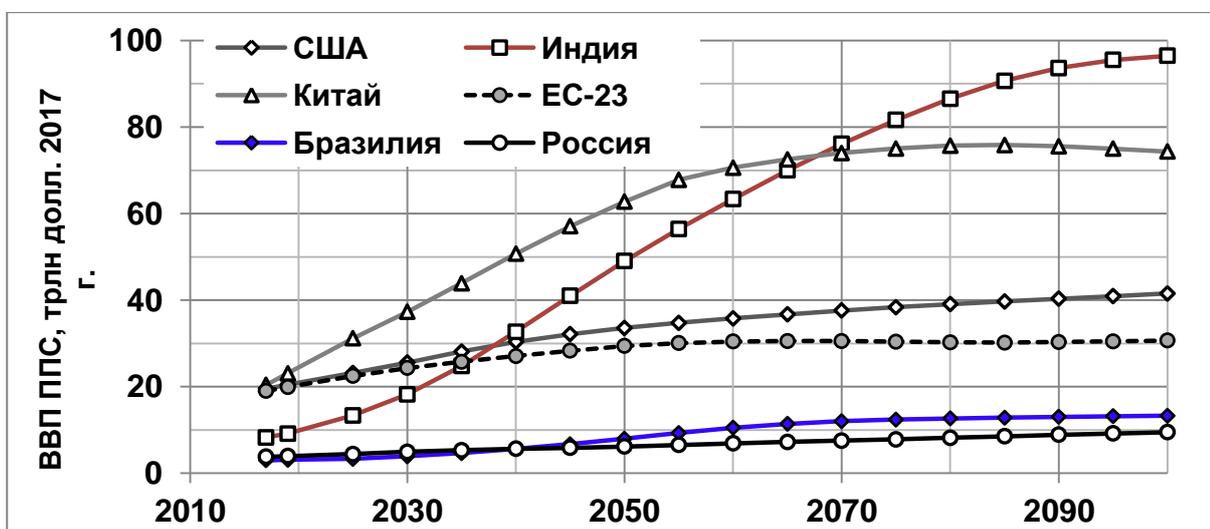


Рис. 8. Сравнение динамики ВВП для крупнейших экономик

Здесь опорное значение $M_{Cf} = 0,81$, но для США и ЕС-23, которые имеют высокий начальный M_C , величина M_{Cf} также выше, а для России и Индии, которые имеют очень низкие начальные M_C , величина M_{Cf} ниже опорного значения.

Таблица 9. Параметры для сравнительного прогноза динамики ВВП

	США	Индия	Китай	ЕС-23	Бразилия	Россия
Начальное M_C	0,99	0,52	0,70	0,89	0,73	0,40
Конечное $M_C - M_{Cf}$	0,90	0,75	0,81	0,85	0,81	0,75
Начальное N_s/G	73	38	86	91	56	104
Конечное $N_s/G - I_s$	91	91	91	91	91	91

Видно, что до 2067 года мировым лидером по ВВП по ППС является Китай, но после этой даты прироста производительности труда хватает только на то, чтобы компенсировать убыль населения. В то же время ВВП Индии быстро растет на протяжении всего столетия. К 2035 году он превзойдет ВВП США и Европейского союза (здесь вместе с UK). В 2067 году Индия опередит Китай, а к концу столетия будет опережать Китай на 30% (при населении стран в соответствии со средним прогнозом ООН). Стран, которые могут превзойти Индию по величине ВВП в будущем, не наблюдается.

Таким образом, Китай будет иметь почти 50 лет на то, чтобы реализовать свои возможности экономического и технологического лидерства, что не так много по меркам глобального развития. У США было около 75 лет для закрепления в качестве мирового лидера.

Динамика ВВП Китая демонстрирует, что демографический переход оказывает очень существенное влияние на экономический рост, хотя в случае с Китаем роль сыграла и демографическая политика государства, ограничившего рождаемость. На рис. 9 приведены зависимости роста ВВП/Д для рассматриваемых стран.

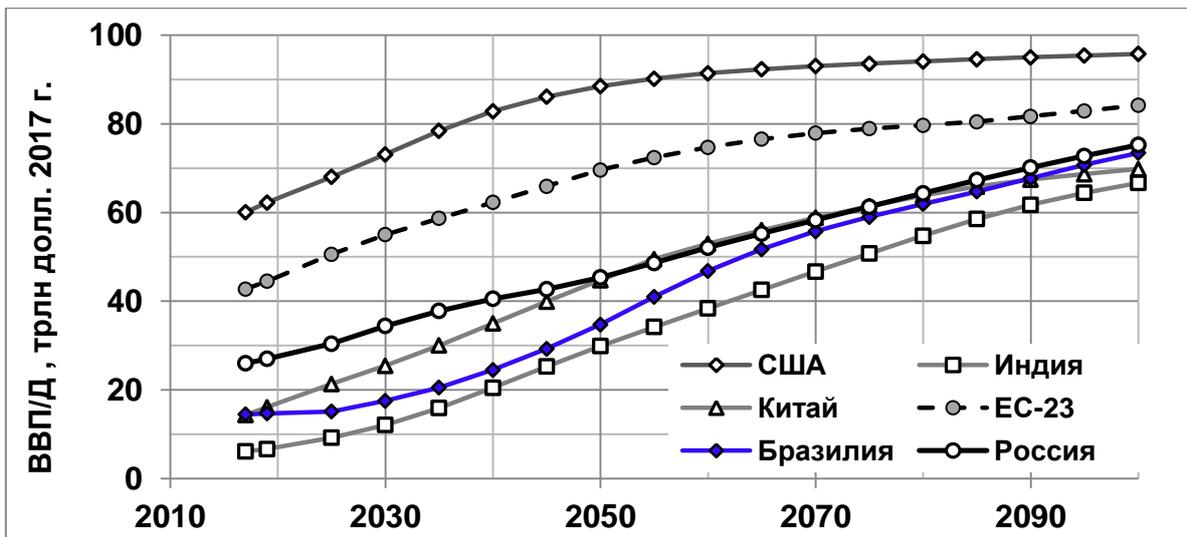


Рис. 9. Динамика ВВП/Д для крупнейших экономик

Видно, что рост ВВП на душу населения до 2050 года происходит в основном эквидистантно, а к 2100 году происходит конвергенция уровня ВВП/Д для всех экономик, но в меньшей мере для США, которые остаются лидером по этому показателю. Это означает, что США будут иметь запас ВВП для увеличения числа работников НИОКР с целью роста индекса человеческого капитала $I_{НС}$ и, соответственно, ВВП.

Динамика роста ВВП по ППС для следующих шести крупных экономик приведена на рис. 10, а величина ВВП в 2050 и 2100 годах для исследованных экономик дана в таблице 10.

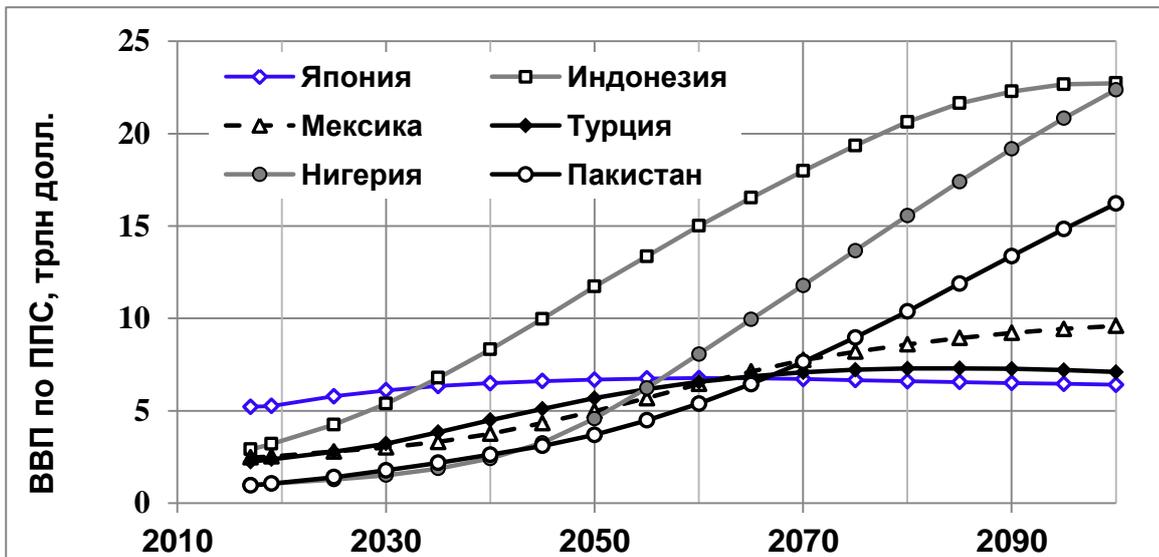


Рис. 10. Динамика GDP для ряда крупных экономик

Три из этих экономик (Япония, Мексика, Турция) практически исчерпывают свой потенциал роста ВВП к 2070 году, а Индонезия, Нигерия и Пакистан переходят в стадию быстрого роста и сохраняют потенциал увеличения ВВП и на следующее столетие. Их основным достоянием будет являться высокая численность населения (300–700 млн человек), которая в течение XXI столетия будет продолжать расти (Индонезия до 2070 года).

Таблица 10. Прогноз GDP в 2100 и 2050 годах для крупнейших экономик в трлн долларов

	Индия	Китай	США	ЕС-23	Индонезия	Нигерия	Пакистан	Бразилия	Россия	Мексика	Турция	Япония	Сумма
GDP 2100	96,5	74,3	41,5	30,7	22,7	22,4	16,2	13,3	9,5	9,5	7,1	6,4	350,1
GDP 2050	49,0	62,7	33,6	29,4	11,7	4,6	3,7	8,0	6,2	5,0	5,7	6,7	226,3

Данный прогноз показывает, что к 2100 году страны, которые в настоящее время являются развивающимися, будут доминировать в мировой экономике. Их доля в сумме ВВП исследованных экономик (350 трлн долл.) составит 78%.

Пять крупнейших экономик, как и в 2050 году, будут продолжать занимать первые места, и среди них меняются местами только Индия и Китай. Значительное изменение общей картины мест состоит также в том, что Нигерия и Пакистан перемещаются с 11–12-го на 6–7-е места, а Япония перемещается с 9-го на 12-е место, в основном за счет сокращения населения. Важным изменением, которое произойдет с экономической динамикой, является быстрое снижение темпов роста ВВП на душу населения. Значения относительной скорости роста ВВП/Д приведены в таблице 11.

Таблица 11. Относительная скорость роста ВВП/Д за год, %

	Китай	Индия	США	ЕС-23	Индонезия	Бразилия	Россия	Япония	Мексика	Турция	Нигерия	Пакистан	Средняя
2050	2,2	2,7	0,38	0,8	2,5	3,4	1,4	0,9	2,5	1,5	4,5	3,0	2,1
2100	0,22	0,55	0,07	0,3	0,27	0,64	0,6	0,32	0,70	0,17	0,65	1,7	0,5

Видно, что с 2050 по 2100 год она снизится в четыре раза. Это происходит в основном в результате того, что достигается предельное значение охвата работников высшим образованием (около 75%). Данное состояние требует изыскания новых ресурсов роста человеческого капитала, в частности, повышается актуальность инклюзивного подхода, а также увеличения числа работников НИОКР. В ряде развивающихся стран, в которых существуют ограничения на возможности обучения и работы для отдельных групп жителей, инклюзивные преобразования произойдут задолго до конца века, с целью поддержания экономической динамики.

Важной характеристикой развития крупнейших экономик является рост численности сотрудников НИОКР. На рис. 11 приведена гистограмма численности работников НИОКР в 2019–2100 годах для варианта темпов роста, представленного в таблице 9 и на рис. 9, 10.

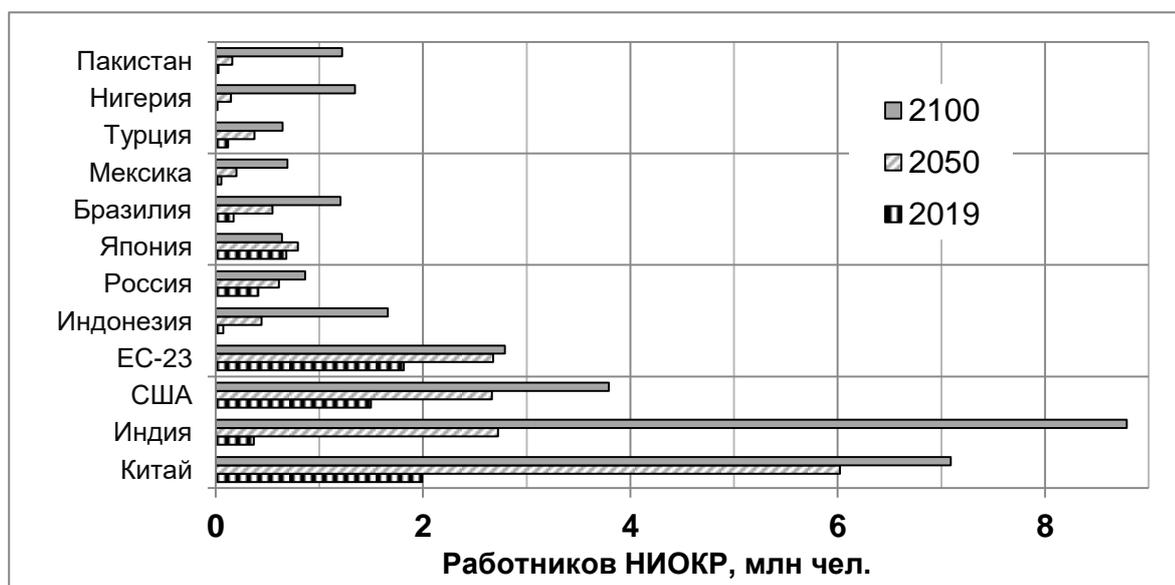


Рис. 11. Динамика числа работников НИОКР в XXI веке

Согласно этим данным, если в настоящее время 55% работников НИОКР работает в развитых странах, то к концу века их доля снизится до 23%, хотя численно вырастет почти вдвое. Всего же численность работников НИОКР вырастет до 17,3 млн чел. к 2050 году и до 30,7 млн чел. к концу века.

Доля России в численности работников НИОКР упадет с 5,7% до 3,5% к 2050 году и до 2,8% к 2100 году. Доля США также упадет почти вдвое: с 20,7% до 12,3% к 2100 году. При этом доля Китая составит к 2100 году 23%, а Индии – 29%, то есть их доминирование в научной сфере будет очень высоким.

3.5. Оценка погрешностей прогноза

Сравнение прогнозных значений ВВП в 2050 году, опубликованных компанией PwC в 2017 году (таблица 1), и в данной работе – ViC (2021 год), дано на рис. 10. Места, которые занимают в 2050 году шесть наиболее крупных и две наименьшие экономики, одинаковы в соответствии с обоими методам расчета. Несовпадение занимаемых мест наблюдается только среди четырех экономик, с близкими по величине ВВП, который лежит в диапазоне 5,0–7,3 трлн долл.

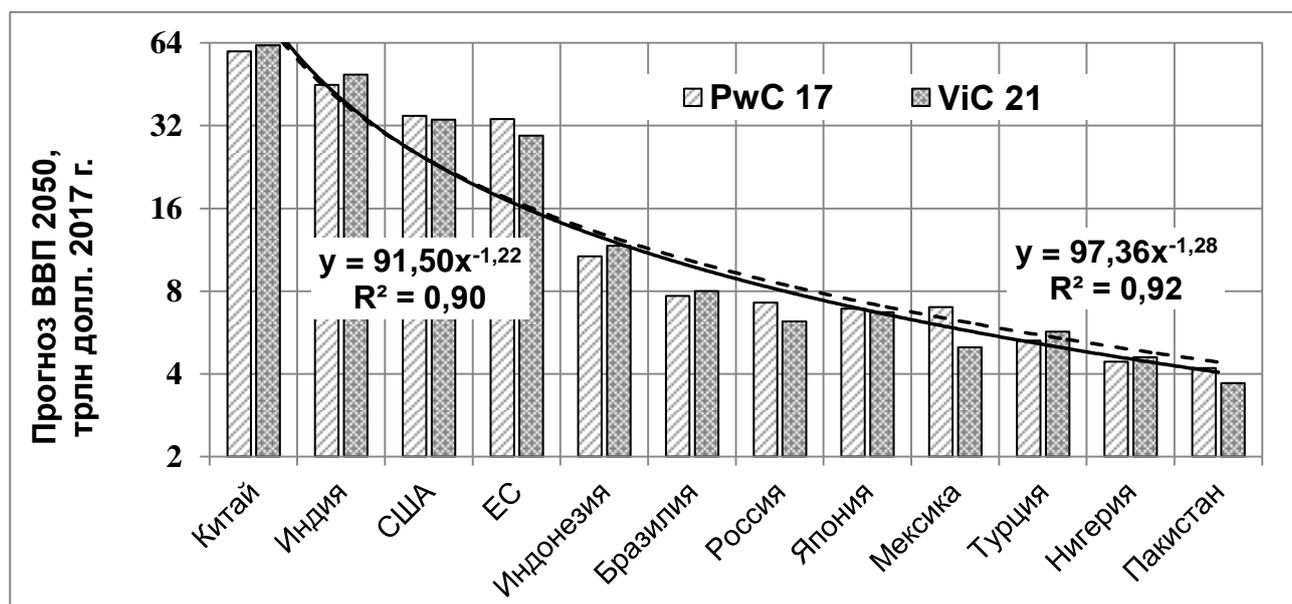


Рис. 12. Сравнение прогнозов ВВП в 2050 году по методу PwC и ViC

Тренды для обоих методов расчета на рис. 12 близки друг к другу (пунктиром обозначен тренд PwC). Среднее арифметическое значение разности значений ВВП по двум прогнозам равно 3%, а среднеквадратичное отклонение – 12%. Это позволяет утверждать, что эти два прогноза дают в целом близкие значения ВВП крупнейших экономик в 2050 году. В таблице 12 приведено сравнение относительного разброса (в %) значений прогноза PwC от ViC с разбросом между значениями PwC 2011–2017 годов (таблица 1).

Таблица 12. Относительный разброс значений прогнозов ВВП между PwC и ViC в %

Относительный разброс значений	Китай	Индия	США	ЕС-23	Индонезия	Бразилия	Россия	Япония	Мексика	Турция	Нигерия	Среднее
PwC 17–ViC 21, %	5	9	3	13	9	4	15	3	28	8	4	9
PwC 11–PwC 17, %	13	16	20	18	61	36	19	24	17	13	61	27

Видно, что относительный разброс прогнозов ВВП, выполненных PwC в разные годы, в среднем в три раза больше, чем отличие прогноза PwC 17 от ViC 21. Только отличие по Мексике прогнозов PwC от ViC больше, чем между прогнозами PwC. Это позволяет утверждать, что выполненный в данной работе прогноз с использованием методики ViC имеет достаточно высокую достоверность в сравнении с прогнозом PwC.

Отметим еще одну погрешность, которая связана с демографическими прогнозами. В работе использовался средний прогноз ООН [27], согласно которому численность населения Китая и России неестественно быстро падает со временем. Сравнение прогнозов ООН от 2015 [42] и 2019 годов [27] показывает, что они существенно различаются. Соответствующие значения приведены в таблице 13 в

миллионах человек. Относительная разность прогнозов определена по формуле $\Delta N = (N_{19} - N_{15}) / N_{15}$.

Видно, что прогнозы, сделанные в 2015 и 2019 годах, отличаются на величину до 13%. Соответственно, сравнительная ошибка прогнозов Китая относительно Индии может составить 19%, а России относительно Японии – 17%. Есть основания ожидать, что и в дальнейшем депопуляция России и Китая будет снижаться, что окажет влияние и на прогноз ВВП.

Таблица 13. Численность населения стран по прогнозам ООН

Прогнозируемый год	2050			2100		
	2015	2019	$\Delta N, \%$	2015	2019	$\Delta N, \%$
Индия	1705	1639	-3,9	1660	1447	-12,8
Китай	1348	1402	4,0	1004	1065	6,1
Нигерия	398,5	401,3	0,7	752,2	732,9	-2,6
США	388,9	379,4	-2,4	450,4	433,9	-3,7
Пакистан	309,6	338,0	9,2	364,3	403,1	10,7
Индонезия	332	330,9	-0,3	313,0	320,8	2,5
Бразилия	238,3	229,0	-3,9	200,3	180,7	-9,8
Мексика	163,8	155,5	-5,1	148,4	141,5	-4,6
Россия	128,6	135,8	5,6	117,4	126,1	7,4
Япония	107,4	105,8	-1,5	83,2	75,0	-9,9
Турция	95,8	97,1	1,4	88,0	86,2	-2,0
Сумма	5216	5214	0,0	5181	5012	-3,3

Проведенная разработка модели долгосрочного экономического прогнозирования эндогенного типа позволила сформировать сравнительные прогнозы для крупнейших мировых экономик на 80-летний период. Показано, что Китай будет существенно превосходить современного лидера США и другие страны по величине GDP примерно до 2065 года. Затем лидерство перейдет к Индии. К концу века борьба за лидерство будет переходить в сторону увеличения веса сферы НИОКР по показателю числа работников на миллиард ВВП.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Данный прогноз сформирован исходя из того, что основной рост GDP будет происходить в результате роста человеческого капитала, который происходит в связи с повышением уровня третичного образования и R&D-деятельности, а также влиянием демографических процессов. Однако в предыдущие циклы смены стран-лидеров [3] важную роль играли и технологические революции. В настоящее время созрели условия для очередной технологической революции [43], однако ее направление пока не определилось. Одни предсказывают киберфизическую революцию [44], а другие – биомедицинскую [45]. В зависимости от того, какие радикально новые технологии принесет эта революция, может измениться и процесс экономического роста. Особенно важно, в какой мере создание искусственного интеллекта может повлиять на сферу R&D. Изобретения в сфере биологии и медицины могут повлиять на демографические процессы. Конечно, возможны и более неожиданные события в технологической и других областях.

Полученные результаты сформированы исходя из осредненных моделей поведения стран. Однако на практике разные страны по-разному используют имеющиеся инструменты повышения уровня благосостояния, в частности численность R&D-специалистов. Разработанная модель позволяет оценить эффект от применения альтернативных стратегий экономического развития. Такие разработки могут способствовать выбору странами различных сценариев развития. Целесообразно в дальнейшем применить данную модель в связке со сценарным подходом.

Хотя разработанная модель является, в принципе, эндогенной, однако в ней имеется параметр, включающий в себя и влияние внешнего окружения, – MC. В работе финальное значение данного параметра MCf

оценивалось исходя из его начального значения, которое отражает культуру страны, среднемирового значения МС и оценки динамики внешнего окружения, прежде всего роста крупных региональных рынков. Однако модель расчета данного параметра требует дальнейшего совершенствования. В принципе, это может быть сделано за счет анализа статистики экономического роста более широкого круга стран.

Первоначальной целью данной работы было применение создаваемой модели для демонстрации выгод инклюзивных методов развития. Это удалось осуществить только в том плане, что для успешного экономического развития важно включать в трудовой и образовательный процесс максимальное число потенциальных работников. Те страны, которые пока ограничивают возможности полноценного обучения и трудовой деятельности женщин и других инклюзивных сегментов граждан, должны будут или изменить свои законы и нормы или смириться с отставанием в росте благосостояния. Тем не менее важно в дальнейшем осуществить поиск других методов использования данной модели, которые позволят более детально исследовать выгоды инклюзивного развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика ViC прогнозирования ВВП по ППС на период до 80 лет, которая сформирована на основе эндогенного подхода и образовательной модели человеческого капитала и позволяет оценить потенциал экономического лидерства крупнейших экономик.
2. Проведено обоснование прогностических моделей роста числа научных работников и коэффициентов вклада в ВВП специалистов различного образовательного уровня.
3. Выполнены расчеты динамики ВВП по ППС до 2100 года для 12 крупнейших на конец данного периода мировых экономик. Показано, что к концу века, в составе этих экономик с суммарным ВВП = 350

трлн междунар. долл. 2017 года, доминирующую долю в 78% будут иметь страны, которые в настоящее время относятся к развивающимся.

4. Первое место по объему ВВП к 2100 году будет занимать Индия с ВВП = 96,5 трлн междунар. долл. 2017 года, а второе – Китай с ВВП = 74,3 трлн долл. Не выявлено стран, которые потенциально могут превзойти Индию по величине ВВП и после 2100 года, если не возникнут новые факторы, которые резко и массово повысят производительность труда либо повлияют на демографические процессы.
5. Китай будет являться лидером по величине ВВП в течение примерно 47 лет, а затем его ВВП будет расти очень медленно, в результате быстрого уменьшения численности населения. Индия около 2067 года опередит по величине ВВП по ППС Китай и быстро уйдет в отрыв, превзойдя к концу века Китай на 30% ВВП.
6. Россия, согласно консервативному прогнозу, будет иметь в 2100 году ВВП на уровне 9,5 трлн долл. При сохранении числа ученых на млрд долл. на современном уровне ВВП составит 9,9 трлн долл. При увеличении параметра, характеризующего благоприятность взаимодействия с внешним окружением, до среднего мирового уровня ВВП увеличится еще на 1 трлн долл. При сохранении численности населения на современном уровне ВВП увеличится еще на 1,8 трлн долл. и достигнет 12,7 трлн долл.
7. Проведено сравнение полученного прогноза ВВП с помощью методики расчета эндогенного типа, с результатами прогнозирования компании PricewaterhouseCoopers, выполненными по экзогенной методике. Показано хорошее согласование этих двух прогнозов в 2050 году. Среднее арифметическое значение разности значений ВВП по двум прогнозам равно 3%, а среднеквадратичное отклонение – 12%. Относительная разность прогнозов ViC 21 от PwC 17 для

исследованных стран в среднем в три раза меньше, чем относительный разброс между четырьмя прогнозами, выполненными по методике PwC в 2011–2017 годах.

8. Хорошее согласование прогнозов по моделям ViC 21 и PwC 17 повышает доверие к полученному результату, согласно которому доминирующее влияние на экономический рост оказывает доля работников, имеющих третичное образования, и доля работников НИОКР. При этом вклад в ВВП специалиста уровня НИОКР превосходит вклад работника с третичным образованием примерно в 36 раз, что делает актуальной разработку различных сценариев активизации научной деятельности.

Список источников

1. Hawksworth J., Audino H., Clarry R. (2017). The World in 2050. The Long View How will the global economic order change by 2050? PwC. Economics & Policy services. URL: <http://www.pwc.com/world2050>. Accessed: 11.04.2021.
2. Megachange: The World in 2050. Edited by Franklin D., Andrews J. The Economist Newspaper Ltd., 2012.
3. Attali J. (2011) A brief history of the future: A Brave and Controversial Look at the Twenty-First Century. Arcade Publishing. 312 p.
4. Kapitsa S P “The phenomenological theory of world population growth” Phys. Usp. 39 57–71 (1996); DOI: 10.1070/PU1996v039n01ABEH000127
5. Wilson D., Parashothaman R. Dreaming with BRICs: The Path to 2050. – N.Y., Goldman Sachs Global Paper N 99, 2003, p. 19-20.
6. Guillemete Y., Turner D. (2018) The long view: scenarios for the world economy to 2060. OECD Economic Policy Paper 2018 No. 22. OECD Publishing, Paris.

7. Hawksworth J., Tiwari A. (2011) TheWorld in 2050. The accelerating shift of global economic power: challenges and opportunities. PricewaterhouseCoopers LLP www.pwc.co.uk/economics
8. Hawksworth J., Chan D. (2013) World in 2050. The BRICs and beyond: prospects, challenges and opportunities. PwC Economics.
9. Hawksworth J. (2015) The World in 2050 Will the shift in global economic power continue? PricewaterhouseCoopers LLP
10. Mincer J. (1994) The Production of Human Capital and The Lifccyclc of Earnings: Variations on a Theme. – Working Paper of the NBER, No 4838.
11. Barro, R. J. and X. Sala-i-Martin (2004), Economic Growth. The MIT Press, London, England.
12. Barro, R. J. and J. W. Lee (2015), Education Matters – Global Schooling Gains from the 19th to the 21st Century, New York: Oxford University Press.
13. The changing nature of work. World development report 2019. Washington, DC 20433. World Bank Group.
14. Schwab K. The Global Human Capital Report. World Economic Forum, Cologny/Geneva Switzerlan, 2019.
15. Orekhov V.D., Prichina O.S., Blinnikova A.V., Panfilova E.A., Shchennikova E.S. Indicative diagnostics of the educational component of human capital based on mathematical modeling. Opción, Año 35, VE, Especial No.20 (2019): 2337-2365.
16. Harrod, R.F. An Essay in Dynamic Theory// Economic Journal 49 (March 1939), pp.14-33.
17. Lewis A. W. The Roots of the Development Theory, in: Handbook of Development Economics. Vol. I. 3rd Ed. Amsterdam. 1993. P. 27-37.
18. Solow, R. M. A contribution to theory of economic growth. Quarterly Journal of Economic 70, February, 65–94.

19. Myrdal G. Asian Drama: An Inquiry into the Poverty of Nations. Vol. I — III N.Y., 1968.
20. Schultz, T. W. (1971) Investment in Human Capital: The Role of Education and of Research, New York: Free Press.
21. Mankiw G., Romer D., Weil D. Contribution to the Empirics of Economic Growth // The Quarterly Journal of Economics. – 1992. –vol. 107, № 2, – P. 407–437.
22. Акаев А. А. Модели инновационного эндогенного экономического роста AN-типа и их обоснование. M.I.R. (Modernization. Innovation. Reseaches), 2015, vol. 6, no. 2, pp. 70–79. DOI: 10.18184/2079-4665.2015.6.2.70.79
23. Davenport, T.H. and Prusak, L. Working Knowledge. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
24. Nonaka, I., Takeuchi, H. The Knowledge-creating company: How japenese create the dynamic of innovation, Oxford University Press, 1995.
25. Saaty, Thomas L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics) 102 (2), 2008-06. – P. 251 – 318.
26. Guillemette Y., Kopoin A., Turner D., De Mauro A. (2017) A revised approach to productivity convergence in long-term scenarios. OECD Economics Department Working Papers No. 1385. OECD Publishing, Paris.
27. World Population Prospects 2019. United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019).

28. Inflation, GDP deflator (annual %) - United States World Bank URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.DEFL.KD.ZG?locations=US&view=chart> Accessed: 11.04.2021.
29. Olga S. Prichina, Viktor D. Orekhov, Yulia V. Evdokimova et al. Evolution of Key Factors and Growth Potential of Human Capital. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 10, Issue 02, February 2019, pp.1784–1793.
30. Barro, R.J., Lee, J.W. (2001) International Data on Education and Attainment: Updates and Implications, Oxford Economic Papers, 2001, Vol. 53, No. 3; World Development Indicators. Washington: World Bank, 2005.
31. International Standard Classification of Education ISCED 2011. UIS UNESCO. 2013. Montreal, Canada. URL: <http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/isced-2011-ru.pdf>. Accessed: 11.04.2021.
32. Prichina, O. S., Orekhov, V. D., Shchennikova E.S. World number of scientists in dynamic simulation for the past and the future. Economic and Social Development Book of Proceedings. Varazdin Development and Entrepreneurship Agency; Russian State Social University. 2017. P. 69 – 81.
33. Schofer E., Meyer J. W. The Worldwide Expansion of Higher Education in the Twentieth Century, American Sociological Review. 2006.
34. Six ways to ensure higher education leaves no one behind. UNESCO Policy Paper 30, 2017. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247862> Accessed: 09.04.2021
35. Wechsler D. The Measurement And Appraisal Of Adult Intelligence. Baltimore (MD): Williams & Wilkins, 1958.
36. Education at a Glance 2020: OECD Indicators, OECD Publishing, Paris. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2020_69096873-en Accessed: 15.03.2021

37. Донецкая С.С., Цзи Цяньнань. Реформирование системы высшего образования в Китае: современные итоги // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 12. С. 79-92. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2018-27-12-79-92>
38. Education at a glance OECD Indicators. Centre for educational research and innovation, Paris, France, 1998. Accessed: 17.03.2021.
39. Maddison, A. Historical Statistics of the World Economy: 1–2008 AD. GGDC, 2010. URL: <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-database-2010>. Accessed: 11.04.2021.
40. Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.
41. Researchers in R&D (per million people) The World Bank. 2018 URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.SCIE.RD.P6?end=2018&start=1996> Accessed: 11.04.2021.
42. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division
43. Silbergliitt R., Anton P. S., et al. Global Technology Revolution-2020, In-Depth Analyses. (2006). RAND Corporation. URL: https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR303.html Accessed: 10.04.2021.
44. Schwab, K. (2016) The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York.
45. Prichina, O. S., Orekhov, V. D., Egorova E.N. et. al. Developing and Testing the Forecasting Algorithm for the Technological Revolution Theme through the Analysis of the SCImago JR Scientific Journal Database. Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 12, 04-Special Issue, 2020.

References

1. Hawksworth J., Audino H., Clarry R. (2017). The World in 2050. The Long View How will the global economic order change by 2050? PwC. Economics & Policy services. URL: <http://www.pwc.com/world2050>. Accessed: 11.04.2021.
2. Megachange: The World in 2050. Edited by Franklin D., Andrews J. The Economist Newspaper Ltd., 2012.
3. Attali J. (2011) A brief history of the future: A Brave and Controversial Look at the Twenty-First Century. Arcade Publishing. 312 p.
4. Kapitsa S P "The phenomenological theory of world population growth" Phys. Usp. 39 57–71 (1996); DOI: 10.1070/PU1996v039n01ABEH000127
5. Wilson D., Parashothaman R. Dreaming with BRICs: The Path to 2050. – N.Y., Goldman Sachs Global Paper N 99, 2003, p. 19-20.
6. Guillemete Y., Turner D. (2018) The long view: scenarios for the world economy to 2060. OECD Economic Policy Paper 2018 No. 22. OECD Publishing, Paris.
7. Hawksworth J., Tiwari A. (2011) TheWorld in 2050. The accelerating shift of global economic power: challenges and opportunities. PricewaterhouseCoopers LLP www.pwc.co.uk/economics
8. Hawksworth J., Chan D. (2013) World in 2050. The BRICs and beyond: prospects, challenges and opportunities. PwC Economics.
9. Hawksworth J. (2015) The World in 2050 Will the shift in global economic power continue? PricewaterhouseCoopers LLP
10. Mincer J. (1994) The Production of Human Capital and The Lifccyclc of Earnings: Variations on a Theme. – Working Paper of the NBER, No 4838.
11. Barro, R. J. and X. Sala-i-Martin (2004), Economic Growth. The MIT Press, London, England.

12. Barro, R. J. and J. W. Lee (2015), Education Matters – Global Schooling Gains from the 19th to the 21st Century, New York: Oxford University Press.
13. The changing nature of work. World development report 2019. Washington, DC 20433. World Bank Group.
14. Schwab K. The Global Human Capital Report. World Economic Forum, Cologny/Geneva Switzerland, 2019.
15. Orekhov V.D., Prichina O.S., Blinnikova A.V., Panfilova E.A., Shchennikova E.S. Indicative diagnostics of the educational component of human capital based on mathematical modeling. Opción, Año 35, VE, Especial No.20 (2019): 2337-2365.
16. Harrod, R.F. An Essay in Dynamic Theory// Economic Journal 49 (March 1939), pp.14–33.
17. Lewis A. W. The Roots of the Development Theory, in: Handbook of Development Economics. Vol. I. 3rd Ed. Amsterdam. 1993. P. 27–37.
18. Solow, R. M. A contribution to theory of economic growth. Quarterly Journal of Economic 70, February, 65–94.
19. Myrdal G. Asian Drama: An Inquiry into the Poverty of Nations. Vol. I – III N.Y., 1968.
20. Schultz, T. W. (1971) Investment in Human Capital: The Role of Education and of Research, New York: Free Press.
21. Mankiw G., Romer D., Weil D. Contribution to the Empirics of Economic Growth // The Quarterly Journal of Economics. – 1992. –vol. 107, № 2, – P. 407–437.
22. Akaev A. A. AN-type models of innovative endogenous economic growth and their justification. M.I.R. (Modernization. Innovation. Reseches), 2015, vol. 6, no. 2, pp. 70–79. DOI: 10.18184/2079-4665.2015.6.2.70.79

23. Davenport, T.H. and Prusak, L. *Working Knowledge*. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
24. Nonaka, I., Takeuchi, H. *The Knowledge-creating company: How Japanese create the dynamics of innovation*, Oxford University Press, 1995.
25. Saaty, Thomas L. *Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process*. RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics) 102 (2), 2008-06. – P. 251–318.
26. Guillemette Y., Kopoin A., Turner D., De Mauro A. (2017) *A revised approach to productivity convergence in long-term scenarios*. OECD Economics Department Working Papers No. 1385. OECD Publishing, Paris.
27. *World Population Prospects 2019*. United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019).
28. *Inflation, GDP deflator (annual %) - United States* World Bank URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.DEFL.KD.ZG?locations=US&view=chart> Accessed: 11.04.2021.
29. Olga S. Prichina, Viktor D. Orekhov, Yulia V. Evdokimova et al. *Evolution of Key Factors and Growth Potential of Human Capital*. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 10, Issue 02, February 2019, pp.1784-1793.
30. Barro, R.J., Lee, J.W. (2001) *International Data on Education and Attainment: Updates and Implications*, Oxford Economic Papers, 2001, Vol. 53, No. 3; *World Development Indicators*. Washington: World Bank, 2005.

31. International Standard Classification of Education ISCED 2011. UIS UNESCO. 2013. Montreal, Canada. URL: <http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/isced-2011-ru.pdf>. Accessed: 11.04.2021.
32. Prichina, O. S., Orekhov, V. D., Shchennikova E.S. World number of scientists in dynamic simulation for the past and the future. Economic and Social Development Book of Proceedings. Varazdin Development and Entrepreneurship Agency; Russian State Social University. 2017. P. 69–81.
33. Schofer E., Meyer J. W. The Worldwide Expansion of Higher Education in the Twentieth Century, American Sociological Review. 2006.
34. Six ways to ensure higher education leaves no one behind. UNESCO Policy Paper 30, 2017. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247862> Accessed: 09.04.2021
35. Wechsler D. The Measurement And Appraisal Of Adult Intelligence. Baltimore (MD): Williams & Wilkins, 1958.
36. Education at a Glance 2020: OECD Indicators, OECD Publishing, Paris. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2020_69096873-en Accessed: 15.03.2021
37. Donetsk S.S., Ji Qiannan. Reforming the higher education system in China: modern results // Higher education in Russia. 2018. Vol. 27. № 12. P. 79-92. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2018-27-12-79-92>
38. Education at a glance OECD Indicators. Centre for educational research and innovation, Paris, France, 1998. Accessed: 17.03.2021.
39. Maddison, A. Historical Statistics of the World Economy: 1–2008 AD. GGDC, 2010. URL: <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-database-2010>. Accessed: 11.04.2021.
40. Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.

41. Researchers in R&D (per million people) The World Bank. 2018 URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.SCIE.RD.P6?end=2018&start=1996> Accessed: 11.04.2021.
42. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division.
43. Silbergliitt R., Anton P. S., et al. Global Technology Revolution-2020, In-Depth Analyses. (2006). RAND Corporation. URL: https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR303.html Accessed: 10.04.2021.
44. Schwab, K. (2016) The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York.
45. Prichina, O. S., Orekhov, V. D., Egorova E.N. et. al. Developing and Testing the Forecasting Algorithm for the Technological Revolution Theme through the Analysis of the SCImago JR Scientific Journal Database. Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 12, 04-Special Issue, 2020.

Для цитирования: Орехов В.Д., Каранашев А.Х., Щенникова Е.С. Прогнозирование темпов роста России, в сопоставлении с динамикой крупнейших экономик до конца XXI века // Московский экономический журнал. 2021. № 8. URL: <https://qje.su/otraslevaya-i-regionalnaya-ekonomika/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-8-2021-39/>

© Орехов В.Д., Каранашев А.Х., Щенникова Е.С. 2021. Московский экономический журнал, 2021, № 8.