

Влияние сферы исследований и разработок на экономики стран мира: статистический анализ

© 2024 г. М.С. Вареник

М.С. Вареник,

*Высшая школа государственного администрирования, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва;
e-mail: msvarenik@anspa.ru*

Поступила в редакцию 07.06.2024

Аннотация. Актуальность эффективного управления научной сферой нарастает год от года, требую непрерывного уточнения закономерностей получения экономической отдачи от сектора исследований и разработок. В статье рассмотрено современное состояние взаимного влияния развития и финансирования науки в различных странах мира, с одной стороны, и относительных (подушевых) объемов их экономик — с другой. Использовалась широкая линейка показателей, в том числе патентная активность, расходы на исследования и разработки, численность исследователей и число публикаций в изданиях, входящих в базу данных “Scopus”, по предметным областям (относительно численности населения стран). Показано, что наиболее тесная связь между уровнем ВВП по ППС на душу населения и показателями научно-инновационной активности имеет место для общего числа публикаций и для публикаций по предметной области, связанной с экономическими дисциплинами. Выведена формула линейной множественной регрессии взаимозависимости показателей научно-изобретательской деятельности стран мира и уровня их экономики. В формулу вошли только подушевые показатели числа публикаций по экономике и расходов на науку. Сравнение смоделированных данных с реальными показало, что страны, активно занятые добычей нефти и газа (в том числе Россия), демонстрируют уровень экономики выше ожидаемого. Большинство стран — лидеров мировой экономики (США, КНР, Япония, Германия, Франция, Великобритания) имеют уровень экономики, хорошо описываемый полученной моделью. Обеспечение высоких расходов на исследования и разработки имеет первостепенное значение для современного экономического роста. Кроме того, важен общий высокий уровень публикационной активности, с особым вниманием на развитие исследований в такой предметной области, как экономическая наука.

Ключевые слова: показатели развития науки, связь науки с экономическим развитием, исследования и разработки, расходы на НИОКР, публикационная активность, ВВП на душу населения.

Классификация JEL: O30, O33.

УДК: 330.105.

Для цитирования: **Вареник М.С.** (2024). Влияние сферы исследований и разработок на экономики стран мира: статистический анализ // *Экономика и математические методы*. Т. 60. № 4. С. 15–26. DOI: 10.31857/S0424738824040021

ВВЕДЕНИЕ

Наука и инновации являются ключевым ресурсом развития человечества в последние два столетия, а в перспективе — основой для полномасштабного развертывания цифровой экономики будущего (Макаров, Бахтизин, Логинов, 2022) и преодоления глобальных вызовов и их проекций на уровне отдельных стран и даже регионов (Макаров и др. 2014, 2016). Целью настоящей работы является уточнение глобальных закономерностей влияния различных параметров научной сферы и изобретательства на рост экономики с использованием некоторых новых показателей развития науки.

Среди классических фундаментальных работ, предлагавших учитывать развитие науки при изучении экономического роста, следует отметить статью П. Ромера «Эндогенные технологические изменения» (Romer, 1990) об эндогенной природе технологического прогресса, а также результаты Ф. Агиона и П. Хоуитта, разработавших модель эндогенного роста, учитывавшую роль НИОКР в экономическом росте. Их подход, основанный на идее «созидательного разрушения», показал значительное влияние на экономический рост со стороны инноваций (даже какая-либо одна

инновация потенциально способна в их модели трансформировать всю экономику в целом), наличия квалифицированной рабочей силы и продуктивности исследований (Aghion, Howitt, 1992). Целостное и детализированное описание теории эндогенного роста представлено в классической работе (Barro, Sala-i-Martin, 1995).

Практически одновременно можно отметить существенную активизацию исследовательского интереса к вопросу перетока знаний, генерируемых наукой (spillover effect), из ведущих в научном отношении субъектов к субъектам отстающим. Такой переток является одним из ключевых факторов экономического роста в эндогенной теории роста и может наблюдаться для разных типов субъектов на разных уровнях — к примеру, на локальном уровне было показано, что результаты инвестиций в НИОКР, осуществляемых частными корпорациями и университетами, перетекают к другим компаниям, которые могут пользоваться ими для повышения эффективности производства, оптимизации бизнес-процессов и т.д. (Jaffe, 1989; Acs, Audretsch, Feldman, 1994).

На межнациональном уровне Дж. Гроссман и Э. Хелпман показали, что подобный переток научных и технологических знаний между странами может являться одним из важных каналов, через которые осуществляется влияние уровня международной экономической открытости этих стран на их экономический рост (Grossman, Helpman, 1991). При этом было установлено, что кластеризация экономической деятельности активизируется там и тогда, где и когда генерируются новые знания за счет сочетания НИОКР с фундаментальной наукой, что становится возможным лишь при наличии квалифицированных кадров (Audretsch, Feldman, 1996).

Значительный массив научных знаний накоплен к настоящему времени по вопросу влияния *развития науки на суммарную факторную производительность (СФП)*. По состоянию на начало 1990-х годов Д. Коу и Э. Хелпман, оценив влияние запасов НИОКР самой страны и ее торговых партнеров на суммарную факторную производительность в данной стране, пришли к выводу, что благодаря перетоку знаний в глобальном масштабе примерно четверть всех выгод от инвестиций в НИОКР в семи крупнейших экономиках мира получали не сами эти экономики, а их торговые партнеры (Coe, Helpman, 1995). В этом свете стоит отметить также работу Х.-Ю. Энгельбрехта, который перепроверил результаты Коу и Хелпмана, дополнив их модель общей переменной человеческого капитала, «которая учитывает инновации за пределами сектора НИОКР и другие аспекты человеческого капитала, не охваченного формальными НИОКР» (Engelbrecht, 1997, p. 1479). В результате оценки важности НИОКР несколько снизились по сравнению с оценками, полученными Коу и Хелпманом, но остались однозначно статистически значимыми. При этом переток научных и технологических знаний оказался значимым и для развивающихся, и для развитых стран (Keller, 2004). В конце 2000-х годов Коу и Хелпман перепроверили свои результаты, расширив набор используемых данных, и показали, что запасы капитала в области НИОКР оказывают *измеримое влияние* на СФП, даже после учета влияния человеческого капитала. Д. Францен подтверждает, что как НИОКР, так и человеческий капитал играют значительную роль в СФП. При этом СФП испытывает влияние как внутренних (особенно в развитых странах), так и зарубежных НИОКР (Frantzen, 2000).

Более того, было показано, что переток знаний напрямую зависит от расстояния и оказывает-ся значительно более интенсивным между соседними странами (Bahar, Hausmann, Hidalgo, 2014). При этом расстояние (и соседство) может измеряться не только по географической близости, но и по иным параметрам сходства (близости) / различия (удаленности). Например, Э. Марроку с соавторами выделяют близость по институциональному, технологическому, социальному и организационному признакам и показывают, насколько генерация новых знаний в некотором регионе усиливается потоками знаний, поступающими из соседних регионов, зависит в первую очередь от технологической близости между этими регионами (этот вид близости оказывается даже более значимым, чем географическая) (Magroci, Paci, Usai, 2013). Переток также зависит от интенсивности миграционных потоков между странами — распространение знаний, по мнению ряда ученых, требует прямого человеческого взаимодействия; соответственно, *международное распространение знаний должно во многом следовать модели международной миграции* (Bahar, Rapoport, 2018).

Было установлено, что влияние науки на экономическое развитие в целом и СФП в частности весьма неоднородно, поскольку страны, «в которых простота ведения бизнеса и качество систем высшего образования относительно высоки, как правило, больше выигрывают от собственных усилий в области НИОКР, от международных вторичных эффектов НИОКР и от формирования человеческого капитала» (Coe, Helpman, Hoffmaister, 2009, p. 723). Иными словами, нет оснований утверждать, что переток научных знаний однозначно оказывается полезнее, например, для

развивающихся стран по сравнению с развитыми. Тем не менее именно развитие науки и интенсификация перетока научных знаний вкупе с ростом открытости могли существенно способствовать появлению экономической конвергенции начала XXI в., получившему в западной научной литературе название «the rise of the rest» («подъем остальных»).

Суть этого явления состоит в том, что вначале среднеразвитые, а затем и наименее развитые страны стали обгонять развитые страны по темпам экономического роста, что привело к сокращению экономического разрыва между ними, начиная примерно с 2000-х годов (Grinin, Korotayev, 2015; Korotayev, Zinkina, 2014). Разумеется, это обобщение скрывает за собой множество примеров отдельных стран с их специфическими особенностями. Однако было показано, что рост экономической открытости страны ведет к повышению конкуренции, что стимулирует генерацию инноваций на предприятиях этой страны (Shu, Steinwender, 2019; Aghion et al., 2001; Coelli, Moxnes, Ulltveit-Moe, 2022), для чего задействуются, в том числе, и полученные в результате перетока научные и технологические знания. Так, ряд ученых показывает, что подобные явления имели место, например в Китае, и внесли существенный вклад в темпы китайского экономического роста в XXI в. (Bloom, Draca, Reenen, 2016; Cai, Cui, Li, 2023).

К настоящему времени получено значительное число количественных оценок вклада развития науки в экономическое развитие. Например, в 2015 г. инвестиции в НИОКР в секторе информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в Европейском союзе составили около 30 млрд евро, что принесло европейской экономике около 581 млрд евро и обеспечило рабочими местами примерно 5,8 млн человек (Nair, Pradhan, Arvin, 2020). Уже довольно давно было показано, что в рамках Европы в отсталых регионах очень мало внимания уделяется НИОКР, а увеличение расходов на НИОКР имеет решающее значение для роста бедных европейских регионов (в том случае, если рост расходов на НИОКР поддерживается высоким качеством институтов) (Fagerberg, Verspagen, Caniels, 1997). Однако подобная трансформация скорее всего будет чрезвычайно медленной, поскольку большинству регионов необходимо развить для этого «способность местного населения усваивать любые исследования, проводимые на местном уровне или в соседних регионах, и превращать ее в инновационную и экономическую деятельность» (Rodríguez-Pose, Crescenzi, 2008, p. 63).

Имеется ряд исследований, сфокусированных на влиянии науки на экономическое развитие российских регионов и России в целом. В одном из таких исследований, в рамках которого рассматривалось 80 регионов России за период 2005–2013 гг., была показана значимость НИОКР и расходов на технологические инновации, а также установлено, что поглощающая способность отстающих в сфере инноваций регионов недостаточно высока для эффективной адаптации новых технологий из технологически инновационных регионов (Kaneva, Untura, 2019). Другое исследование того же авторского коллектива выявило для всех регионов, финансирующих НИОКР, рост не только ВРП на душу населения, но и изобретательской активности (Унтура, Канева, Заболотский, 2019). Еще одно исследование российских регионов выявило значительные затраты на НИОКР, соседство с более богатыми регионами и конкуренцию с «соседями» за человеческий капитал в качестве условий, необходимых для роста ВРП на душу населения (Голиченко, 2017). В то же время проведенный учеными Института проблем развития науки РАН сравнительный анализ изобретательской активности населения России показал, что она выше, чем можно было бы ожидать, исходя из кадрового научного потенциала России, а также уровня ВВП на душу населения и расходов на исследования и разработки (Заварухин, Чинаева, Чурилова, 2023).

Чаще всего в исследованиях, изучающих влияние науки на экономическое развитие, используется объем инвестиций в научную сферу (вложения в НИОКР). В работах (Заварухин и др., 2021a, 2021b; Черных и др., 2020; и др.) отмечается, что основными и наиболее информативными показателями развития науки являются внутренние затраты на исследования и разработки, ассигнования из средств государственного бюджета, а также удельный вес затрат на исследования и разработки в ВВП. Используется также показатель доли занятых в НИОКР во всем населении страны. Однако еще в 1995 г. Ч. Джоунс предостерегал от построения моделей, учитывающих эти показатели, на эффекте масштаба — удвоение численности занятых в НИОКР не приведет к удвоению производительности или темпов экономического роста на душу населения (Jones, 1995). Отдача от НИОКР также измеряется с использованием эконометрических моделей (подробное обсуждение вопросов измерения и эконометрических вопросов, возникающих при оценке моделей, представлено в работе Б. Холла и коллег (Hall, Mairesse, Mohnen, 2010)). Как было показано в систематическом обзоре исследований влияния инноваций на экономические показатели европейских регионов, такие исследования в основном использовали один из трех подходов: а) анализ связи

между инвестициями в НИОКР, патентами и экономическим ростом; б) исследование существования и эффективности региональных инновационных систем; в) изучение географического распространения знаний между регионами. Однако эти взаимодополняющие подходы редко комбинировались (Rodríguez-Pose, Crescenzi, 2008).

В настоящей работе предлагается для статистического анализа влияния развития науки на развитие экономики использовать, наряду с традиционными показателями развития науки — такими как расходы на НИОКР в пересчете на душу населения и численность исследователей в пересчете на душу населения, — относительно новый показатель числа научных публикаций в пересчете на душу населения — как в целом, так и по отдельным дисциплинам.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

На первом этапе исследования была сформирована выборка из 97 стран, по которым имелись данные по выбранному автором перечню показателей (по данным Всемирного банка, для других стран из данного перечня показателей не доставало):

- ВВП (ППС) на душу населения (долл.), 2022 г.;
- число научных публикаций на душу населения, 2022 г. (сведения по публикациям — данные наукометрического ресурса Scimago);
- число публикаций, индексируемых Scopus, в различных предметных областях на душу населения в 2022 г. (медицина, математика, компьютерные науки, экономика, эконометрика и финансы, гуманитарные науки, физика и астрономия, технические науки, сельскохозяйственные и биологические науки);
- заявки на патенты (резиденты) на душу населения в 2020 г. (ближайший год, для которого известно число заявок по максимальному числу стран в выборке);
- число исследователей, занимающихся НИОКР на душу населения в 2020 г. (или ближайший год, для которого данный показатель известен);
- расходы на исследования и разработки (долл.) на душу населения в 2020 г. (ближайший год, для которого известны показатели по большинству стран выборки).

Далее была построена и исследована множественная линейная регрессия взаимозависимости уровня экономики от данных показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На первом этапе исследования для проверки модели на предмет мультиколлинеарности была построена корреляционная матрица исследуемых показателей (табл. 1).

Представленные в табл. 1 данные свидетельствуют о весьма высоком уровне корреляции между уровнем публикационной активности стран мира и их подушевым ВВП по ППС. При этом патентная активность коррелирует с данным показателем довольно слабо (наибольшие ее показатели имеются у стран, не являющихся лидерами по формальному относительному уровню экономики, измеряемому в ВВП по ППС на душу населения). Публикационная активность в различных научных дисциплинах демонстрирует разную степень взаимосвязанности с уровнем развития экономики — больше всего с ним связана общая публикационная активность, а также уровень публикационной активности в области экономических наук. Наименее связаны с уровнем развития экономики показатели публикационной активности в физике и сельскохозяйственных науках. При этом уровни публикационной активности в различных научных дисциплинах хорошо коррелируют между собой, однако следует отметить, что именно для физики характерны наименьшие значения корреляции с другими дисциплинами.

Очевидно, публикационная активность является частью инновационного роста экономики, которая сама по себе является объектом научных исследований. Научные публикации сопровождают и являются следствием фундаментальных и прикладных исследований, процесса внедрения и его последствий. Кроме того, чем выше подушевой ВВП, тем больше возможности для большего числа людей заниматься наукой. Таким образом, подушевая публикационная активность стран

Таблица 1. Корреляционная матрица исследуемых параметров

Показатель	ВВП (ППС)*	Число научных публикаций	Число публикаций Scopus								Заявки на патенты, резиденты	Исследователи, занимающиеся НИОКР	Расходы на исследования и разработки*
			Медицина	Математика	Компьютерные науки	Экономика, эконометрика и финансы	Гуманитарные науки	Физика и астрономия	Технические науки	Сельскохозяйственные и биологические науки			
Год	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2020	2020	2020
ВВП (ППС)*, долл.	1												
Число научных публикаций Scopus*	0,79	1											
В том числе в предметных областях:													
медицина	0,77	0,96	1										
математика	0,75	0,91	0,80	1									
компьютерные науки	0,70	0,88	0,75	0,97	1								
экономика, эконометрика и финансы	0,78	0,92	0,84	0,91	0,89	1							
гуманитарные науки	0,72	0,96	0,89	0,87	0,86	0,91	1						
физика и астрономия	0,65	0,81	0,84	0,66	0,57	0,64	0,70	1					
технические науки	0,73	0,91	0,79	0,95	0,98	0,87	0,87	0,64	1				
сельскохозяйственные и биологические науки	0,64	0,88	0,87	0,70	0,65	0,80	0,88	0,75	0,68	1			
Заявки на патенты, резиденты**	0,17	0,11	0,12	0,08	0,08	0,03	0,02	0,24	0,14	0,06	1		
Исследователи, занимающиеся НИОКР**	0,68	0,78	0,77	0,67	0,63	0,69	0,72	0,80	0,69	0,74	0,44	1	
Расходы на исследования и разработки*, долл.	0,68	0,72	0,80	0,58	0,49	0,57	0,61	0,82	0,53	0,64	0,40	0,73	1

* На душу населения.

Источники: The World Bank: Data. GDP per capita, PPP (current international \$) (<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD>), Scimago Journal & Country Rank: All subject areas (<https://www.scimagojr.com/countryrank.php>), The World Bank: Data. Patent applications, residents (<https://data.worldbank.org/indicator/IP.PAT.RES.D>), The World Bank: Data. Researchers in R&D (per million people) (<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.SCIE.RD.P6>); The World Bank: Data. Research and development expenditure (% GDP) (<https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>), The World Bank: Data. Population, total (<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>).

оказывается наиболее значимым общим показателем научного развития, влияющим на экономический рост.

Для построения линейной регрессионной модели были использованы следующие входные данные (табл. 2—3). Результирующим показателем у является ВВП (ППС) (в долл. на душу населения) за 2022 г. по странам мира, а роль факторных переменных играют: 1) число индексируемых Scopus публикаций исследователей из данной страны по предметной области «экономика, эконометрика и финансы» (на душу населения) за 2022 г.; 2) расходы на исследования и разработки (в долл. на душу населения) за 2020 г. Показатель общего числа научных публикаций, индексируемых Scopus, на душу населения в 2022 г. не был включен в множественную регрессию из-за наличия сильной корреляции с показателем «Расходы на исследования и разработки в долларах, на душу населения, 2020 г.» (значение парной корреляции $|r| > 0,7$).

Таблица 2. Входные данные (на душу населения) для анализа

Страна	ВВП (ППС), тыс. долл.	Число публикаций Scopus (экономика, эконометрика и финансы)	Расходы на исследования и разработки, долл.
Австралия	62,63	0,12	946,14
Австрия	67,94	0,08	1562,52
Азербайджан	17,76	0,01	9,49
Аргентина	26,51	0,01	38,84
Армения	18,94	0,00	9,43
Беларусь	22,59	0,01	35,92
Бельгия	65,03	0,07	1582,75
Болгария	33,58	0,02	86,66
Босния и Герцеговина	20,38	0,02	12,56
Бурунди	0,84	0,00	0,46
Великобритания	54,60	0,10	688,63
Венгрия	41,91	0,06	259,24
Вьетнам	13,46	0,01	19,07
Гамбия	2,51	0,00	0,49
Гватемала	10,82	0,00	1,22
Германия	63,15	0,05	1470,66
Гонконг	69,05	0,12	455,40
Греция	36,84	0,07	264,20
Грузия	20,11	0,01	12,80
Дания	74,01	0,13	1804,03
Египет	15,09	0,00	34,36
Израиль	49,51	0,04	2437,70
Индия	8,38	0,00	12,55
Индонезия	14,65	0,01	10,94
Ирак	10,86	0,00	1,87
Иран	18,08	0,01	24,27
Ирландия	126,91	0,11	1052,66
Исландия	69,08	0,13	1453,74
Испания	45,83	0,05	378,89
Италия	51,87	0,06	489,60
Казахстан	30,81	0,01	11,50
Канада	58,40	0,06	736,00
Катар	114,65	0,06	277,95
Кипр	49,93	0,16	166,18
Китай	21,48	0,01	249,91
Колумбия	20,29	0,01	15,28
Коста-Рика	24,92	0,00	45,24
Куба	9,50	0,02	49,24
Кувейт	58,06	0,03	45,34
Киргизия	6,13	0,00	1,06
Латвия	39,96	0,04	128,45
Литва	48,40	0,08	235,26
Люксембург	142,21	0,24	1324,64
Маврикий	26,91	0,01	37,91
Мадагаскар	1,77	0,00	0,06
Макао	55,34	0,19	169,02
Македония	20,16	0,03	22,41
Малайзия	33,43	0,05	105,70
Мали	2,52	0,00	1,30

Окончание таблицы 2

Страна	ВВП (ППС), тыс. долл.	Число публикаций Scopus (экономика, эконометрика и финансы)	Расходы на исследования и разработки, долл.
Мальта	55,93	0,06	198,51
Мексика	21,51	0,01	26,05
Молдова	15,24	0,01	9,96
Монголия	14,23	0,01	5,38
Мьянма	4,87	0,00	2,18
Нидерланды	69,58	0,10	1196,73
Новая Зеландия	51,97	0,15	587,88
Норвегия	114,90	0,12	1555,42
Объединенные Арабские Эмираты	87,73	0,07	545,37
Оман	41,72	0,04	61,99
Пакистан	6,44	0,01	2,66
Панама	39,28	0,00	19,57
Парагвай	15,98	0,00	7,37
Перу	15,05	0,01	10,41
Польша	43,27	0,03	220,18
Португалия	41,45	0,09	359,75
Россия	36,49	0,02	113,79
Руанда	2,79	0,00	5,87
Румыния	41,89	0,03	61,37
Сальвадор	11,10	0,00	6,92
Саудовская Аравия	59,07	0,02	106,54
Сербия	23,91	0,03	70,06
Сингапур	127,57	0,10	1158,47
Словакия	37,46	0,08	178,13
Словения	50,03	0,05	548,55
США	76,40	0,04	2191,86
Таджикистан	4,89	0,00	0,76
Таиланд	20,67	0,01	80,00
Тринидад и Тобаго	27,78	0,01	8,47
Тунис	12,49	0,04	26,18
Турция	37,27	0,02	93,22
Узбекистан	9,53	0,00	2,45
Украина	12,67	0,02	14,41
Уругвай	28,84	0,02	75,60
Филиппины	10,13	0,00	10,39
Финляндия	59,03	0,10	1443,35
Франция	55,49	0,04	919,72
Хорватия	40,38	0,06	177,73
Черногория	26,98	0,03	27,89
Чехия	49,95	0,07	457,80
Чили	30,21	0,02	44,89
Швейцария	83,60	0,13	2695,49
Швеция	64,58	0,10	1863,71
Шри-Ланка	14,41	0,00	4,94
Эстония	46,70	0,08	422,94
Южная Африка (ЮАР)	15,91	0,02	35,33
Южная Корея (Республика Корея)	50,07	0,03	1527,22
Япония	45,57	0,01	1304,84

Источник: аналогично табл. 1. Число наблюдений — 97.

Таблица 3. Корреляционная матрица переменных модели

Переменная	ВВП (ППС), долл.	Число публикаций Scopus (экономика, эконометрика и финансы), ед.	Расходы на исследования и разработки, долл.
ВВП (ППС), долл. на душу населения	1		
Число публикаций Scopus (экономика, эконометрика и финансы) на душу населения	0,78	1	
Расходы на исследования и разработки в долларах на душу населения, 2020 г.	0,68	0,57	1

Рассмотрим основные результаты, представленные в табл. 4: t — критерий Стьюдента, использующийся для оценки статистической зависимости коэффициентов уравнения множественной регрессии. Так как наблюдаемые (фактические) значения в t -статистике выше (7,24; 8,13; 4,92), чем t -табличное (1,98), то коэффициент регрессии является значимым с данной доверительной вероятностью. Это свидетельствует о том, что расхождения между вычисленными средними значениями, существенны и имеют неслучайный характер, во временном ряду существует тенденция средней и имеет место тренд.

Таблица 4. Результаты регрессионного анализа (А — регрессионная статистика, Б — результаты дисперсионного анализа, В — переменные и коэффициенты формулы регрессии и их статистические параметры)

(А)						
Множественный R					0,83	
R^2					0,68	
Нормированный R^2					0,68	
Стандартная ошибка					16 769,7	
Наблюдения					97	
(Б)						
Показатель	df	SS	MS	F	Значимость F	F-критерий Фишера
Регрессия	2	57163956237	28581978118	101,63	3,15E-24	3,09
Остаток	94	26434960185	281222980,7			
Итого	96	83598916422				
(В)						
Переменная, на душу населения	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y-пересечение: ВВП (ППС)	16728,03	2311,88	7,24	1,238E-10	12137,75	21318,32
Переменная X1: число публикаций Scopus (экономика, эконометрика и финансы)	354,5	43,63	8,13	1,738E-12	267,88	441,12
Переменная X2: расходы на исследования и разработки	1,64E-05	3,33755E-06	4,92	3,74603E-06	9,77843E-06	2,3032E-05

Примечание. t -критерий = 1,98.

Фактическое значение F-статистики Фишера равно 101,63, что выше табличного значения 3,09 (при вероятности $\alpha = 0,05$ и степенях свободы $\nu_1 = 2$, $\nu_2 = 94$), указывает на статистическую значимость полученной модели.

Таким образом, в результате расчетов было получено уравнение множественной регрессии:

$$y = 16728 + 354,5x_1 + (1,64E-05)x_2. \quad (1)$$

Таким образом, расходы на науку и относительная публикационная активность оказываются наиболее значимыми среди других показателей научно-инновационной сферы для обеспечения экономического роста. Увеличение x_1 на 1 ед. изм. приводит к увеличению y в среднем на 354.5 ед. изм.; увеличение x_2 на 1 ед. изм. приводит к увеличению y в среднем на 1,64E-05 ед. изм. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Также установлено, что параметры модели статистически значимы. Полученное уравнение регрессии описывает 68,4% вариации величины ВВП (ППС) на душу населения.

Из графика на рисунке видно, что ряд точек, соответствующих реальным показателям стран, располагается выше, а ряд смоделированных значений — ниже. При этом для стран с относительно меньшим ВВП (ППС) на душу населения различие между наблюдаемыми и модельными значениями оказывается больше — можно отнести значительную часть этого явления на счет гипотезы о том, что на более низких уровнях экономического развития более значимыми оказываются иные факторы, чем развитие науки и инноваций. Однако эта гипотеза требует дополнительной верификации, выходящей за рамки настоящего исследования. Полученная формула регрессии демонстрирует общее и оптимальное сочетание влияния показателей сферы исследований и разработок на уровень экономического развития. В этой связи интересны значительные отклонения реальных значений данного уровня от смоделированных значений. Ниже смоделированных значений находится ряд нефтегазодобывающих стран: их ВВП по ППС на душу населения значительно выше, чем можно было бы ожидать, исходя из уровня их научно-инновационной активности, что

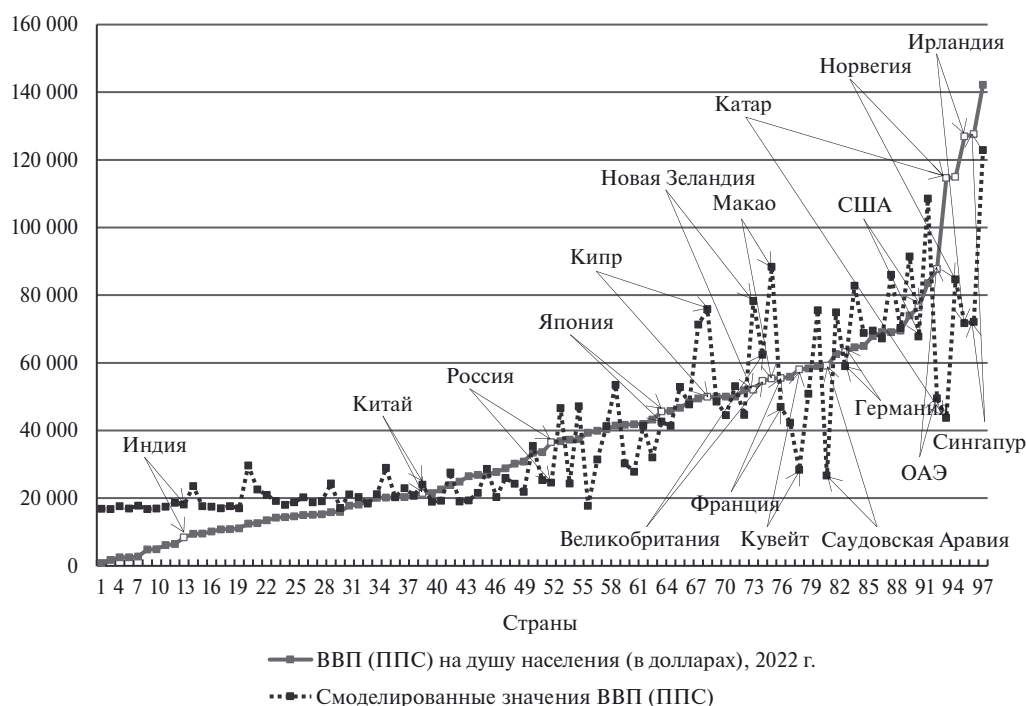


Рисунок. ВВП (ППС) стран мира на душу населения (в долл.) в 2022 г. и смоделированных (предсказанных) значений ВВП (ППС) на душу населения в 2022 г.

Примечание. По оси абсцисс: место страны в рейтинге рассматриваемых 97 стран по наблюдаемому в 2022 г. значению ВВП (ППС) на душу населения (в порядке по возрастанию); по оси ординат — ВВП (ППС) на душу населения в 2022 г.

Источник: данные Всемирного банка, расчетные результаты авторской модели.

естественно, поскольку их добывающая промышленность довольно слабо зависит от собственных научно-инновационных разработок. Важно, что смоделированные значения для крупных развитых экономик — США, Китая, Франции, Германии, Японии и Великобритании (отмечены на рисунке), как правило, демонстрируют небольшое отклонение от реальных значений. Очевидно также, что формула плохо работает для стран с низким подушевым ВВП. С одной стороны, это связано с тем, что линейная регрессия не совсем адекватна нелинейным процессам влияния науки на экономический рост, а с другой — развитие этих стран связано в основном с заимствованием внешних инноваций, а не с производством своих.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из полученных в работе результатов наиболее важно, что продуктивность исследований ученых стран мира оказалась наиболее значимым в универсальном плане показателем, влияющим (взаимно) на экономический рост, более, например, важным фактором, чем численность проводящих их исследователей и патентная активность. Интересно, что проведенное исследование выявило: из всех научных дисциплин именно экономическая наука оказывается в наибольшей степени связанной с показателями развития национальных экономик. Современная экономическая наука — междисциплинарна, ее развитие отражает и развитие математики, и развитие науки и образования в целом. Исследования сопровождают инновационный процесс на всех его стадиях — от фундаментальных работ и постановки инновационных задач до внедрения разработок и его последствий. При этом очевидно, что речь здесь идет именно о взаимном влиянии — высокие показатели научной активности определяются и высоким уровнем развития экономики, позволяющим финансировать исследования. Полученная формула регрессии отражает значительную зависимость экономик мира (начиная от уровня подушевого ВВП Китая и выше) от интенсивности исследований и расходов на науку. Конечно, линейная регрессия не является идеальным инструментом, описывающим созависимость уровня развития научной сферы и национальных экономик, эта зависимость, очевидно, сложнее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Голиченко О. (2017). Государственная политика и провалы инновационной системы // *Вопросы экономики*. № 2. С. 97–108. [Golichenko O. (2017). State policy and failures of the innovation system. *Voprosy Ekonomiki*, 2, 97–108 (in Russian).]
- Заварухин В.П., Соломенцева О.А., Солопова М.А., Чинаева Т.И. и др. (2021a). *Показатели развития российской и мировой науки: сравнительный анализ: аналитико-статистический сборник*. Вып. 3. 200 с. М.: Институт проблем развития науки (ИПРАН) РАН. DOI: 10.37437/9785912941689-21-sb4 [Zavarukhin V.P., Solomentseva O.A., Solopova M.A., Chinaeva T.I. et al. (2021a). *Indicators of the development of Russian and world science: comparative analysis: analytical and statistical collection*, 3. Moscow: Institute for the Study of Science (ISS RAS). DOI: 10.37437/9785912941689-21-sb4 (in Russian).]
- Заварухин В.П., Соломенцева О.А., Чинаева Т.И., Солопова М.А. (2021b). Сравнительный анализ основных показателей, характеризующих развитие научной сферы стран мира и России // *Инновации*. № 12 (278). С. 3–11. [Zavarukhin V.P., Solomentseva O.A., Chinaeva T.I., Solopova M.A. (2021b). Comparative analysis of the main indicators characterizing the development of the scientific sphere of the countries of the world and Russia. *Innovations*, 12, 278, 3–11 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Айвазян А.А., Афанасьев А.А., Бахтизин А.Р., Нанавян А.М. (2016). Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций // *Форсайт*. Т. 10. № 3. С. 79–90. [Makarov V.L., Ayvazyan A.A., Afanasyev A.A., Bakhtizin A.R., Nanavyan A.M. (2016). Modeling the development of the regional economy and the efficiency of the innovation space. *Foresight*, 10, 3, 79–90 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Бахтизин А.Р., Нанавян А.М. (2014). Оценка эффективности регионов РФ с учетом интеллектуального капитала, характеристик готовности к инновациям, уровня благосостояния и качества жизни // *Экономика региона*. № 4. С. 9–30. [Makarov V.L., Ayvazyan S.A., Afanasyev M. Yu., Bakhtizin A.R., Nanavyan A.M. (2014). Assessing the effectiveness of regions of the Russian Federation taking into account intellectual capital, characteristics of readiness for innovation, the level of well-being and quality of life of the population. *Economics of Region*, 4, 9–30 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Логинов Е.Л. (2022). *Применение экономико-математических методов и моделей оптимального планирования в цифровой экономике будущего*. М.: ЦЭМИ РАН. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Loginov E.L. (2022). *Application of economic and mathematical methods and models of optimal planning in the digital economy of the future*. Moscow: CEMI RAS (in Russian).]

- Унтура Г.А., Канева М.А., Заболотский А.А. (2019). Влияние науки, инноваций и концентрации производства на экономический рост регионов России // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. Т. 15. № 12. С. 2327–2343. [Untura G.A., Kaneva M.A., Zabolotsky A.A. (2019). The influence of science, innovation and production concentration on the economic growth of Russian regions. *National Interests: Priorities and Security*, 15, 12, 2327–2343 (in Russian).]
- Черных С.И., Фролова Н.Д., Байбулатова Д.В. и др. (2020). *Зарубежный опыт финансирования исследований и разработок и возможности его применения в России*. М.: Институт проблем развития науки (ИПРАН) РАН. DOI: 10.37437/9785912941511-20-m5 [Chernykh S.I., Frolova N.D., Baybulatova D.V. et al. (2020). *Foreign experience in financing research and development and the possibility of its application in Russia*. Moscow: Institute for the Study of Science (ISS RAS) RAS. DOI: 10.37437/9785912941511-20-m5 (in Russian).]
- Acs Z.J., Audretsch D.B., Feldman M.P. (1994). R&D spillovers and recipient firm size. *The Review of Economics and Statistics*, 76, 2, 336–340.
- Aghion P., Harris C., Howitt P., Vickers J. (2001). Competition, imitation and growth with step-by-step innovation. *The Review of Economic Studies*, 68, 3, 467–492.
- Aghion P., Howitt P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, 60, 2, 323–351.
- Audretsch D.B., Feldman M.P. (1996). R&D spillovers and the geography of innovation and production. *The American Economic Review*, 86, 3, 630–640.
- Bahar D., Hausmann R., Hidalgo C.A. (2014). Neighbors and the evolution of the comparative advantage of nations: Evidence of international knowledge diffusion? *Journal of International Economics*, 92, 1, 111–123.
- Bahar D., Rapoport H. (2018). Migration, knowledge diffusion and the comparative advantage of nations. *The Economic Journal*, 128, 612, F273–F305.
- Barro R.J., Sala-i-Martin X. (1995). *Economic Growth*. N.Y.: McGraw-Hill.
- Bloom N., Draca M., Reenen J. van (2016). Trade induced technical change? The impact of Chinese imports on innovation, IT and productivity. *The Review of Economic Studies*, 83, 1, 87–117.
- Cai M., Cui R., Li D. (2023). Trade with innovation benefits: A re-appraisal using micro data from China. *Journal of Asian Economics*, 89, 101664.
- Coe D.T., Helpman E. (1995). International R&D spillovers. *European Economic Review*, 39, 5, 859–887.
- Coe D.T., Helpman E., Hoffmaister A.W. (2009). International R&D spillovers and institutions. *European Economic Review*, 53, 7, 723–741.
- Engelbrecht H.J. (1997). International R&D spillovers, human capital and productivity in OECD economies: An empirical investigation. *European Economic Review*, 41, 8, 1479–1488.
- Fagerberg J., Verspagen B., Caniels M. (1997). Technology, growth and unemployment across European regions. *Regional Studies*, 31, 5, 457–466.
- Frantzen D. (2000). R&D, human capital and international technology spillovers: A cross-country analysis. *Scandinavian Journal of Economics*, 102, 1, 57–75.
- Grinin L., Korotayev A. (2015). *Great divergence and great convergence. A global perspective*. Moscow: Springer International Publishing.
- Grossman G.M., Helpman E. (1991). Trade, knowledge spillovers, and growth. *European Economic Review*, 35, 2–3, 517–526.
- Hall B.H., Mairesse J., Mohnen P. (2010). Measuring the Returns to R&D. *Handbook of the Economics of Innovation*. North-Holland, 2, 1033–1082.
- Jaffe A.B. (1989). Real effects of academic research. *The American Economic Review*, 79, 5, 957–970.
- Jones C.I. (1995). R&D-based models of economic growth. *Journal of Political Economy*, 103, 4, 759–784.
- Kaneva M., Untura G. (2019). The impact of R&D and knowledge spillovers on the economic growth of Russian regions. *Growth and Change*, 50, 1, 301–334.
- Keller W. (2004). International technology diffusion. *Journal of Economic Literature*, 42, 3, 752–782.
- Korotayev A., Zinkina J. (2014). On the structure of the present-day convergence. *Campus-Wide Information Systems*, 31, 2/3, 139–152.
- Marrocu E., Paci R., Usai S. (2013). Proximity, networking and knowledge production in Europe: What lessons for innovation policy. *Technological Forecasting and Social Change*, 80, 8, 1484–1498.
- Nair M., Pradhan R.P., Arvin M.B. (2020). Endogenous dynamics between R&D, ICT and economic growth: Empirical evidence from the OECD countries. *Technology in Society*, 62, 101315.

- Rodríguez-Pose A., Crescenzi R.** (2008). Research and development, spillovers, innovation systems, and the genesis of regional growth in Europe. *Regional Studies*, 42, 1, 51–67.
- Romer P.M.** (1990). Endogenous technological change. Part 2. *Journal of Political Economy*, 98, 5, S71–S102.
- Shu P., Steinwender C.** (2019). The impact of trade liberalization on firm productivity and innovation. *Innovation Policy and the Economy*, 19, 1, 39–68.

The impact of research and development on the economies of countries of the world: A statistical analysis

© 2024 M.S. Varenik

M.S. Varenik,

Advanced School of Public Administration, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;
e-mail: msvarenik@anspa.ru

Received 07.06.2024

Abstract. Effective management of national science and research is on the constant rise, so the task of revealing how economic “return” from the research and development sector can be maximized is becoming more and more relevant. The article examines the mutual influence of the development of science and the funding of research and development in 97 countries around the world, on the one hand, and their national per capita incomes, on the other hand. A wide range of indicators is used, including patent activity, research and development expenditures, the number of researchers and the number of Scopus-indexed publications by subject area (relative to the population of countries). Among all the subject areas studied, the number of publications in economics is most closely related to the level of GDP per capita (PPP). We then use linear multiple regression to study the relation between the number of Scopus-indexed publications in economics and expenditures on research and development. A comparison of simulated data with real data shows that oil and gas producing countries (including Russia) demonstrate an economic level higher than expected. The leading world economies (USA, China, Japan, Germany, France, Great Britain) are well described by our resulting model. Ensuring high expenditure on research and development is of paramount importance for modern economic growth. In addition, an overall high level of publication activity is important, with particular attention to the development of research in economics.

Keywords: indicators of science development, relation between science and economic development, research and development, R&D expenses, publication activity, GDP per capita.

JEL Classification: O30, O33.

UDC: 330.105.

For reference: **Varenik M.S.** (2024). The impact of research and development on the economies of countries of the world: A statistical analysis. *Economics and Mathematical Methods*, 60, 4, 15–26. DOI: 10.31857/S0424738824040021 (in Russian).