

Глава II. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕВОЛЮЦИЙ XXI ВЕКА

Причина О.С.¹⁴⁵, Горшенин В.П.¹⁴⁶, Кухаренко О.Г.¹⁴⁷, Морога Д.Ф.¹⁴⁸, Орехов В.Д.¹⁴⁹, Блинникова А.В.¹⁵⁰

Аннотация. Исследование посвящено прогнозированию технологических революций, которые ожидаются в течение XXI века и могут оказать кардинальное влияние на конкурентоспособность России. Показано, что между технологическими революциями типа длинных волн численность человечества ранее увеличивалась примерно в 1,4 раза, а объем явных знаний — в 1,5 раза. Технологические революции следуют парами, близкими по содержанию. Следующие технологические революции ожидаются в 2029, 2062 и примерно 2125 годах, причем последняя революция может не произойти в результате недостаточной численности населения Земли. По своему содержанию первая из этих революций, вероятнее всего, будет медико-биологической, вторая — предвестник знаниевой, а третья — знаниевая. Исследование современного состояния публикационной активности с использованием базы научных журналов SCImago JR показало, что первое место по значимости занимает медико-биологическая тематика (44,3% статей). Компьютерные науки, включая искусственный интеллект, охватывают 8,3% публикаций. Ключевым ориентиром научных публикаций (медицина, образование, социология и др.) является человеческий капитал. Опрос востребованности современными потребителями 84 инновационных продуктов показал, что лидером является медико-биологическое направление (лечение инфаркта, инсульта, рака, наркомании, алкоголизма и др.). При анализе поля сил, движущих технологические революции, эксперты отдали предпочтение медико-биологической революции, а онлайн-респонденты — киберфизической. Доминирующими силами киберфизического направления являются интересы ИТ-компаний (5-балльная оценка 4,4) и элиты Всемирного экономического форума (4,4). Среди медико-биологических сил лидируют фармкомпании,

¹⁴⁵Причина Ольга Сергеевна, доктор эконом. наук, профессор, профессор кафедры эконом. теории и мировой экономики, Университет «Синергия», 125190, РФ, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 80. E-mail: olgaprichina@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-3069-3755

¹⁴⁶Горшенин Владимир Петрович, доктор эконом. наук, профессор, профессор кафедры Международный менеджмент, главный научный сотрудник НПО «Андройдная техника», 109518, РФ, г. Москва ул. Грайвороновская, д. 23. E-mail: Gorvp.58@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-4269-9011

¹⁴⁷Кухаренко Ольга Геннадиевна, канд. эконом. наук, доцент, декан факультета экономики, Университет «Синергия», 125190, РФ, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 80. E-mail: ol.kukharenko@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-0068-0822

¹⁴⁸Морога Дэнуц Федорович, главный врач сети клиник по лечению позвоночника и суставов «ДЭМА», генерал. директор «Института физической реабилитации», 121352, РФ, г. Москва, Давыдовская улица, д. 3 ст. 1. E-mail: dmoroga@mail.ru ORCID ID: 0000-0003-0076-2200

¹⁴⁹Орехов Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, научный сотрудник, Международный институт менеджмента ЛИНК, 140181, РФ, г. Жуковский, ул. Менделеева, д. 11/4. vorehov@yandex.ru; тел. 8 903 258 3075. ORCID ID: 0000-0002-5970-207X

¹⁵⁰Блинникова Алла Викторовна, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры информационных систем, Государственный университет управления (ГУУ), 109542, РФ, г. Москва, Рязанский пр., д. 99. E-mail: allarest@mail.ru; тел. 8(903) 258 3041 ORCID ID: 0000-0003-4561-8894

производящие вакцины (4,3). Малая дифференциация сил и выгод тормозит выбор инвесторами направлений инвестиций в новые технологии.

Ключевые слова: технологическая революция, длинные волны, знания, циклическое развитие, человеческий капитал, медико-биологическая революция, киберфизическая революция, революция знания, кризис, ВВП.

§ 3. Закономерности следования технологических революций

Одним из основных факторов экономической динамики являются технологические революции^{151, 152, 153, 154}, в ходе которых происходит трансформация мировой промышленности на основе качественно новой технологии. Эта трансформация сопровождается глобальным экономическим кризисом и следующим далее подъемом деловой активности. Достаточно часто эти кризисы выливаются в ожесточенные военные столкновения, вплоть до мировых войн.

Начавшийся в 2008 году экономический кризис и современное состояние мировой экономики можно воспринимать как индикаторы наступления технологической революции. Однако ряд феноменов, которыми сопровождается эта технологическая трансформация, дают противоречивые сигналы относительно направленности данной технологической революции.

В частности, прогнозируемый рядом авторов киберфизический характер очередной революции¹⁵⁵ противоречит логике принципиальной новизны направления технологической трансформации, поскольку революция кибернетического (информационного) типа началась около 60 лет назад. Предыдущие технологические эпохи отличались друг от друга радикально, даже по используемой рабочей субстанции: знания, пар, электричество, информация. В этом ряду более уместной следующей субстанцией представляется — биологическая ткань.

Важной проблемой является то, что многие авторы предлагают принципиально различные механизмы, движущие технологические революции, но убедительные доказательства того, какие из них действуют в реальности, отсутствуют.

¹⁵¹ Орехов В.Д. Технологические революции как ключевой фактор отраслевого стратегического планирования. В книге: Стратегическое планирование и развитие предприятий. Материалы Восемнадцатого всероссийского симпозиума. Под редакцией Г.Б. Клейнера. 2017. С. 782–785.

¹⁵² Причина О.С., Горшенин В.П., Орехов В.Д. Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции. Проблемы экономики и юридической практики. № 6, 2017. М., Юр-ВАК.

¹⁵³ Prichina O.S., Orekhov V.D., Kukharensko O.G., Blinnikova A.V. et al. Developing and Testing the Forecasting Algorithm for the Technological Revolution Theme through the Analysis of the SCImago JR Scientific Journal Database. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, Volume 12, 04-Special Issue, p. 712–724.

¹⁵⁴ Орехов В.Д., Причина О.С. Экономико-математическое моделирование процессов управления в области инноватики / под ред. В. Д. Орехова. — Москва: Знание-М, 2022. — 218 с. Doi 10.38006/00187-180-4.2022.1.219

¹⁵⁵ Шваб К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб — «Эксмо», 2016.

Для России очень важно правильно понимать направленность очередной технологической революции и силы, которые ее инициируют, чтобы не отстать от происходящих в мире изменений и обеспечить человеческому капиталу страны возможность эффективного приложения своих творческих способностей.

Целью исследования в данном разделе является изучение генезиса и направлений реализации технологических революций во взаимосвязи с развитием человеческого капитала — генератором инноваций.

Основные результаты, изложенные в данном разделе, продолжались и дополнялись на протяжении восьми лет и опубликованы за это время в ряде работ^{156, 157, 158, 159}.

3.1. Обзор по тематике технологических революций

Одну из первых теорий циклической экономической динамики разработал Н.Д. Кондратьев¹⁶⁰, который ввел понятие «длинных волн», имеющих продолжительность 50–60 лет. Он также отметил, что на завершающем этапе понижительной стадии волны наблюдается активизация внедрения инноваций. Развивая это наблюдение, J. A. Schumpeter¹⁶¹ указал, что именно инновации придают активность циклической динамике и важную роль играют предприниматели, которые реализуют наиболее плодотворные инновации в сочетании с имеющимися факторами производства.

В начале 70-х годов G. Mensch¹⁶² показал, что в развитии экономики регулярно возникает патовая ситуация, выход из которой не реализуется в рамках существующих технологий. Согласно его теории, каждая длинная волна имеет вид S-образной кривой, характеризующей жизненный цикл технологического способа производства. Период перехода к новому способу производства он именуется технологическим патом. Затем следует относительно короткий период технологической революции, а за ним следует длительный эволюционный период роста. G. Mensch разделил инновации на базисные, формирующие новые технологические сегменты, на улучшающие, которые возникают при реализации базисных, и псевдоинновации. G. Mensch утверждает, что преодоление кризиса и следующий период экономического подъема начинаются именно с базисных инноваций.

¹⁵⁶ Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

¹⁵⁷ Орехов В.Д., Причина О.С. Экономико-математическое моделирование процессов управления в области инноватики // Монография под ред. В.Д. Орехова Москва: Знание-М, 2022, 218 с. Doi: 10.38006/00187-180-4.2022.1.219

¹⁵⁸ Причина О.С., Орехов В.Д., Горшенин В.П. Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции. Проблемы экономики и юридической практики. № 6, 2017. М., Юр-ВАК.

¹⁵⁹ Блинникова А.В., Орехов В.Д., Андрущенко Г.И. Исследование генезиса, направлений реализации и дат технологических революций во взаимосвязи с развитием человеческого капитала. Московский экономический журнал. 2022. № 2. — С. 500–531.

¹⁶⁰ Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. — 1925. — Т. I. — Вып. 1.

¹⁶¹ Schumpeter J. A. A Theorist's Comment on the Current Business Cycle. Journal of the American Statistical Association V.30 (189), 1935.

¹⁶² Mensch, Gerhard: Das technologische Patt: Innovationen überwinden die Depression. Frankfurt a.M. 1975.

С. Freeman¹⁶³ ввел понятия национальной инновационной системы. Он отмечал важную роль государственных инвестиций в создании инфраструктуры и реализации институциональных изменений, открывающих возможность распространения новых технологий, а также в подготовке работников новых специальностей. Он акцентирует внимание еще и на том, что важнейшую роль в экономическом развитии играют человеческий капитал и накопленные знания.

С. Perez¹⁶⁴ детально проанализировала взаимосвязь длинных волн и финансовых кризисов. Детализируя понимание волн развития, она выделяет в их структуре период становления, включающий в себя этапы внедрения и агрессии, и период развертывания с этапами — синергия и зрелость. Рождение волны начинается с «большого взрыва»¹⁶⁵ — технологической революции, происходящей в мире, которому угрожает спад.

Каждая новая революция вызывает смену техноэкономической парадигмы — модели лучшей деловой практики в новых условиях. Отметим ряд установок, которые С. Perez приводит в своем примере парадигмы информационной революции: интенсивное использование информационных ресурсов на основе микроэлектроники, сетевые структуры, знание как капитал, экономия на масштабе, глобализация, кластеры, мгновенная связь и т.д. Всего же она рассматривает пять технологических революций, годы начала которых: 1771, 1829, 1875, 1908, 1971¹⁶⁶.

Темп и направление развития технологических эпох определяются взаимодействием между финансовым и производственным капиталом. Финансовый капитал во время становления новой парадигмы производит агрессивное инвестирование и создает на рынке ценных бумаг пузырь. После коллапса пузыря, примерно посередине волны, происходит переломный момент. Модернизированный производственный капитал перехватывает контроль и обеспечивает более упорядоченный процесс роста — развертывание революции.

Согласно этой теории, в качестве движущих сил волнообразного развития действуют: технологические перемены, формирующие технологическую революцию, финансовый и производственный капиталы, получающие прибыль различными способами, а также социально-институциональная структура.

В ряде представленных выше работ авторы утверждают, что технологические революции следуют с периодом примерно 50–60 лет. Другие авторы^{167, 168, 169, 170} считают, что

¹⁶³ Freeman, C. (1987). *Technology, Policy, and Economic Performance: Lessons from Japan* (p. 44–45). London: Pinter Publishers.

¹⁶⁴ Perez C. (2002) *Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.

¹⁶⁵ Примечание авторов. Последнее утверждение весьма спорно.

¹⁶⁶ Примечание авторов. Похоже, что между 1908 и 1971 годами пропущено несколько революций.

¹⁶⁷ Vinge V. *The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era*?. Whole Earth Review, 1993.

¹⁶⁸ Kurzweil R. *The Singularity Is Near. When Humans Transcend Biology*. Y.: Viking, 2005.

¹⁶⁹ Tateisi K. *The Eternal Venture Spirit: An Executive's Practical Philosophy*. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1989.

¹⁷⁰ Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. — М., 2012. — С. 79.

циклические изменения в экономике происходят, ускоряясь во времени с приближением к условной точке технологической сингулярности, которая соответствует примерно 2027 году.

После финансового кризиса 2008 года активизировались работы в области исследования длинных волн. D. Smihula¹⁷¹ выявил в историческом развитии до промышленных революций признаки длинных волн и показал, что длительность этих волн с течением времени сокращается. В частности, он указал на волну, связанную с внедрением бумажного производства, и волну Возрождения.

J. Attali, исследуя историю новой эры, обнаруживает 9 инновационных сдвигов, начало которых приходится на следующие даты: 1200, 1350, 1500, 1560, 1620, 1788, 1890, 1929, 1980 годы¹⁷². По его мнению, современная технологическая эпоха исчерпает себя к 2030 году. Ряд авторов^{173, 174, 175, 176, 177} указывают другие даты технологических революций прошлого и будущего, и закономерности их следования будут изучены далее.

Активные дискуссии идут не только о том, когда состоится очередная технологическая революция, но и какова будет ее техноэкономическая парадигма. Так, в 2006 году RAND Corporation опубликовала прогноз¹⁷⁸, согласно которому революция произойдет в 2020 году. Из числа ее основных трендов шесть относятся к информационно-коммуникационным, пять к биологическим и пять к энергетике, экологии и жилищному хозяйству.

Основатель и президент Даосского экономического форума К. Schwab утверждает, что драйвером очередной технологической революции будет интеграция киберфизических систем¹⁷⁹. Он отмечает три мегатренда, выделенных экспертами форума: цифровой, физический и биологический. Все эти мегатренды основаны на использовании цифровых и информационных технологий, включая искусственный интеллект. По многим из основных технологий этой революции, согласно прогнозам экспертного сообщества, к 2025 году будет достигнут переломный момент. Датировка индустриальных революций Клауса Шваба существенно отличается от других авторов. Он выделяет вдвое меньше

¹⁷¹ Daniel Šmihula. Long Waves of Technological Innovations. Štúdie a analýzy URL: https://www.sav.sk/journals/uploads/04201200SPS_2_2011_D%20%20Smihula.pdf

¹⁷² Attali J. (2011). A Brief History of the Future: A Brave and Controversial Look at the Twenty-first Century. Skyhorse Publishing Inc.

¹⁷³ Toffler A. The Third Wave, London, Pan Books Ltd, 1981.

¹⁷⁴ Глазьев С.Ю., Воронов А.С., Леонтьева Л.С., Орлова Л.Н., Сухарева М.А. О формировании человеческого капитала на разных этапах социально-экономического развития. Государственное управление. Электронный вестник. Выпуск № 82. Октябрь 2020 г. DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10096

¹⁷⁵ Grinin L., Grinin A., Korotayev A. A. (2020). Quantitative analysis of worldwide long-term technology growth: From 40,000 BCE to the early 22nd century. Technological Forecasting and Social Change, Volume: 155. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.119955

¹⁷⁶ Bell, D. The coming of post-industrial society: A venture of social forecasting. N.Y.: Basic Books, 1973.

¹⁷⁷ Wallerstein I. The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century. University of California Press, 2011. P. 14–65.

¹⁷⁸ Silbergitt R., Anton P. S., et al. Global Technology Revolution-2020, In-Depth Analyses. (2006). RAND Corporation.

¹⁷⁹ Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York, 2017, 192 p.

технологических революций в период с начала XVII века, то есть указывает на их парное происхождение (первая и вторая промышленные и т.д.). В целом имеется большое количество прогнозов дат технологических революций, что делает актуальным вопрос о системе их взаимосвязи.

3.2. Периодичность технологических революций

Для исследования закономерности следования этих революций представим даты начала соответствующих технологических сдвигов и кризисов в виде таблицы 3.1. Здесь в строке 1 пронумерованы последовательно (номер — n) все революции примерно с 500 года новой эры. В столбце 1 указаны авторы соответствующих датировок и ссылка на источник.

Таблица 3.1. Датировка начала технологических революций

Автор	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Глазьев С.Ю. ¹⁸⁰							1770	1830	1880	1930	1970		2010	
Гринин Л.Е. ¹⁸¹		800			1430	1600	1730	1830	1890	1929	1955	1995		2030
Капица С.П. ¹⁸²	500				1500			1840			1955		2000	2050
Кондратьев Н.Д. ¹⁸³							1789	1845	1898		1949	1985	2018	
Молчанов А.В. ¹⁸⁴	630			1325		1674		1848		1934		1978		
Орехов В.Д. ¹⁸⁵	630	1038	1342	1531	1668	1770	1844	1899	1939	1968	1990	2006	2026	
Панов А.Д. ¹⁸⁶	500				1500			1835			1950	1991		
Подлазов А.В. ¹⁸⁷				1350			1770			1930		1990		
Яковец Ю.В. ¹⁸⁸	450			1350			1731					1973		
Attaly J. ¹⁸⁹		1200	1350	1500	1620	1788		1890	1929		1980			2030

¹⁸⁰ Глазьев С.Ю., Львов Д.С. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП // Экономика и математические методы. — М., 1986. — № 5. — С. 793–804.

¹⁸¹ Grinin L., Grinin A., Korotayev A.A. (2020). Quantitative analysis of worldwide long-term technology growth: From 40,000 BCE to the early 22nd century. Technological Forecasting and Social Change, Volume: 155.

¹⁸² Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. — М., 2012. — С. 79.

¹⁸³ Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. — 1925. — Т. I. — Вып. 1.

¹⁸⁴ Молчанов А.В. Развитие теории С.П. Капицы. Гипотеза сети сознания // Око планеты. — 2009 // Естествознание. — 2009 // Наука и техника. — 2009.

¹⁸⁵ Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

¹⁸⁶ Панов А.Д. Единство социально-биологической эволюции и предел ее ускорения. Историческая психология и социология истории. № 2, 2008. — С. 35.

¹⁸⁷ Подлазов А.В. Теоретическая демография как основа математической истории. — М., 2002.

¹⁸⁸ Яковец Ю.В. Циклы. Кризисы. Прогнозы. — М., 1999. — Табл. 9. <http://abuss.narod.ru/Biblio/jakovets.htm>

¹⁸⁹ Attali J. (2011). A Brief History of the Future: A Brave and Controversial Look at the Twenty-first Century. Skyhorse Publishing Inc.

Автор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bell D. ¹⁹⁰										1961			
Berry B. ¹⁹¹					1619	1729	1817	1866	1921		1981		
Bunch B. ¹⁹²	530			1453	1660	1735	1820	1895	1945	1972		2003	
Facchini F. ¹⁹³	500			1500			1840			1960		2005	2050
Perez C. ¹⁹⁴						1771	1829	1875	1908	1971			
Tateisi K. ¹⁹⁵	700		1302			1765		1876	1945	1955	1974	2005	2025
Toffler A. ¹⁹⁶						1800				1956			2025
Schumpeter J. A. ¹⁹⁷						1780	1840	1900		1955	1990	2015	
Schwab K. M. ¹⁹⁸						1784		1870		1956			2025
Smihula D. ¹⁹⁹	300	930	1340	1470	1600	1780	1840	1880	1940		1985	2015	2035
Unctad ²⁰⁰						1775	1830	1875	1908	1971		2007	
Wallerstein I. ²⁰¹				1450	1640	1730	1840						
Среднее — T(n)	527	992	1337	1482	1635	1765	1835	1884	1930	1960	1984	2008	2033
S, %	118	169	18	32	30	24	9	12	12	8,0	7,1	5,9	10
ΔT(n)		465	345	145	154	129	71	49	46	30,4	24,1	24,1	24,5

Аналогичные исследования были проведены авторами в предыдущих работах^{202, 203}. Однако в этом исследовании количество источников данных о революциях увеличено в полтора раза и нумерация некоторых дат революций уточнена.

¹⁹⁰ Bell, D. The coming of post-industrial society: A venture of social forecasting. N.Y.: Basic Books, 1973.

¹⁹¹ Berry B. J. (2017) Seven Long Waves in America's History. School of Economic, Political and Policy Sciences at the University of Texas at Dallas.

¹⁹² Berry B. J. (2017) Seven Long Waves in America's History. School of Economic, Political and Policy Sciences at the University of Texas at Dallas.

¹⁹³ Facchini F. Le origini l'uomo. Introduzione alla paleoantropologia/ Pref. di Y. Coppens. Milano: JACA Book, 1993.

¹⁹⁴ Perez C. (2002) Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.

¹⁹⁵ Tateisi K. The Eternal Venture Spirit: An Executive's Practical Philosophy. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1989.

¹⁹⁶ Toffler A. The Third Wave, London, Pan Books Ltd, 1981.

¹⁹⁷ Schumpeter J. A. A Theorist's Comment on the Current Business Cycle. Journal of the American Statistical Association V.30 (189), 1935.

¹⁹⁸ Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York, 2017, 192 p.

¹⁹⁹ Daniel Šmihula. Long Waves of Technological Innovations. Štúdie a analýzy

²⁰⁰ Unctad. Catching technological waves Innovation with equity. Technology and innovation report 2021. United Nations conference on trade and development Unctad. Geneva.

²⁰¹ Wallerstein I. The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century. University of California Press, 2011. P. 14–65.

²⁰² Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

²⁰³ Причина О.С., Орехов В.Д., Горшенин В.П. Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции. Проблемы экономики и юридической практики. № 6, 2017. М., Юр-ВАК.

В последних строках таблицы 3.1 даны: среднее значение даты — $T(n)$ для каждого столбца, среднее квадратичное отклонение — S и средний промежуток времени между революциями в годах — $\Delta T(n) = T(n) - T(n-1)$. Средние значения $\Delta T(n)$ в зависимости от номера n приведены на рис. 3.1 в экспоненциальной (двоичной) системе координат. Для революций до 1970 года дан также экспоненциальный тренд, который имеет вид (3.1). Здесь \wedge — показатель степени.

$$\Delta T(n) = 80010^{(-0,332n)} \tag{3.1}$$

На рис. 3.1 для сравнения даны также точки геометрической прогрессии вида (3.2), где $\Delta T(1) = 600$ лет. Видно, что эти точки близки к линии тренда.

$$\Delta T(n) = \Delta T(n-1)/2^{0,5} \tag{3.2}$$

Примерно с 1980 года ($n \geq 10$) периоды между революциями не соответствуют экспоненциальной зависимости (3.1) и близки к постоянному уровню $24,3 \pm 0,2$ года. Точки до $n = 10$ близки к линии тренда, причем коэффициент детерминации имеет высокое значение $R^2 = 0,962$.

Полученные таким образом зависимости (3.1), (3.2) не соответствуют утверждению о примерно постоянном периоде длинных волн, которое Н.Д. Кондратьев сделал по наблюдениям первых трех волн с 1760 года.

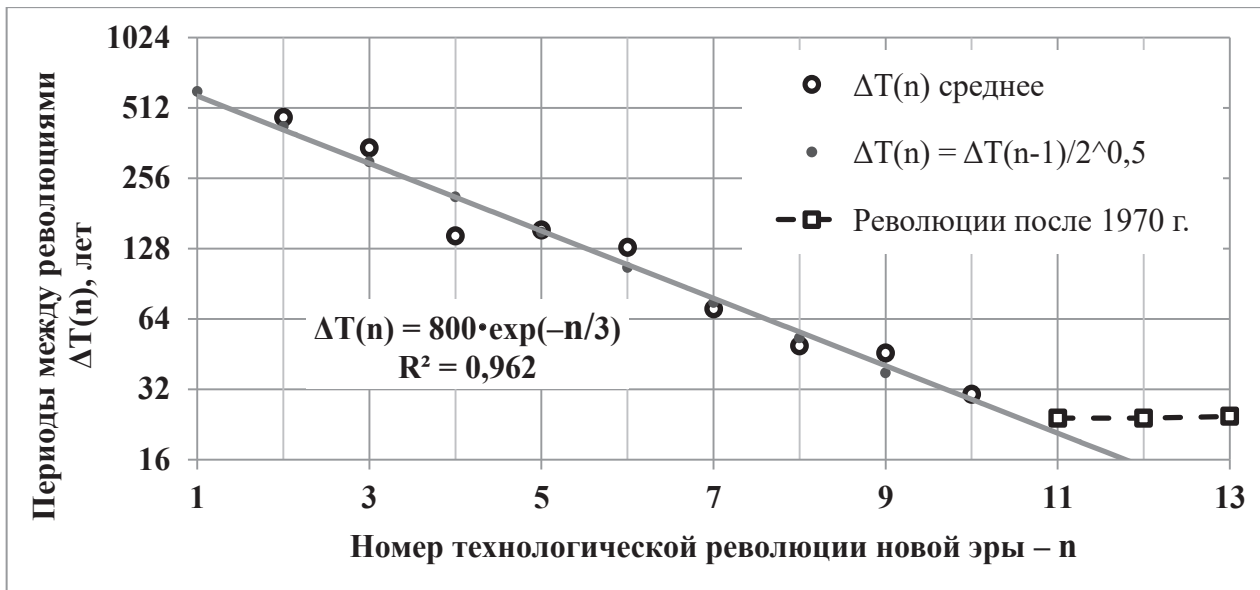


Рис. 3.1. Зависимость периода между революциями от номера революции

Геометрическая прогрессия периодов между революциями (3.2) может быть связана с гиперболическим законом роста численности населения (глава 1), согласно которому число людей выражается формулой^{204, 205}:

$$N \approx C/(T_L - T) \tag{3.3}$$

²⁰⁴ Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. — М., 2012. — С. 79.

²⁰⁵ Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.

Здесь T — время, измеряемое в годах, $C \approx 180\text{--}200$ млрд — постоянная с размерностью [чел.·лет], а T_L — условная дата сингулярности (примерно 2025 год). При приближении к дате сингулярности (после 1960 года) закономерность роста населения Земли начинает отставать от гиперболической зависимости (1.7), и это может быть причиной того, что периоды между технологическими революциями перестают сокращаться, как это видно из рис. 3.1. Сумма геометрической прогрессии типа (3.2) со знаменателем $2^{-1/2} \approx 0,707$ имеет вид:

$$T(n) = A - B2^{n/2} \quad (3.4)$$

Для определения коэффициентов A и B зададим начальные значения этих коэффициентов и определим разность $\Delta_T(n)$ между значениями $T(n)$ согласно формуле (3.4) и величиной $T(n)$ из таблицы 3.1. Затем, варьируя величину B , найдем такое ее значение, которое обеспечивает минимум среднеквадратичного отклонения S_B для величины $\Delta_T(n)$ на континууме революций № 4–11. Далее определим коэффициент A , для которого достигается минимум среднеквадратичного отклонения — S_A для величины — $\Delta_T(n)/\Delta T(n)$, применительно к революциям $n = 1\text{--}11$. Полученные оптимальные значения равны: $A = 2027$, $B = 2190$. При этом $S_B(\Delta_T(n)) = 5,5$ года, а $S_A(\Delta_T(n)/\Delta T(n)) = 11\%$. Соответственно, формула для дат технологических революций (3.4) примет вид:

$$T_n = 2027 - 21902^{-n/2} = -163 + 2190(1 - 2^{-n/2}) \quad (3.5)$$

Сравнение разности $\Delta_T(n)$ между датами технологических революций $T(n)$, согласно таблице 3.1. и формуле (3.5), приведено в таблице 3.2. Видно, что для революций индустриальной эпохи разность $\Delta_T(n)$ не превосходит 13 лет, а отношение $\Delta_T(n)/\Delta T(n)$ не выше 12%.

Таблица 3.2. Даты революций согласно формуле (3.5) и средние из таблицы 3.1

n революции	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее (n)		527	992	1337	1482	1635	1765	1835	1884	1930	1960	1984
$T(n)$ по формуле (4.5)	-163	478	932	1253	1480	1640	1753	1833	1890	1930	1959	1979
Разность $\Delta_T(n)$		-48	-60	-84	-2	5	-11	-2	6	0	1	-5
$\Delta T(n)$ по (4.5)		641	454	321	227	160	113	80	57	46	30	24
$\Delta_T(n)/\Delta T(n)$, %		-8	-13	-26	-1	3	-10	-2	11	1	-5	-22

Отметим, что при $n \rightarrow \infty$ в соответствии с формулой (3.5) $T_n \rightarrow 2027$, то есть к дате, близкой к условной сингулярности (пределу гиперболического развития) — T_L . Для революций, начиная с 1984 года, формула (3.5) дает значения, существенно отклоняющиеся от представленных в таблице 3.1.

3.3. Содержание технологических эпох

Представленная в таблице 3.2 датировка технологических революций, начиная с 1765 года, примерно соответствует длинным волнам Н.Д. Кондратьева²⁰⁶. Однако, соглас-

²⁰⁶Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. — 1925. — Т. I. — Вып. 1.

но нумерации К.М. Schwab²⁰⁷, число волн вдвое меньше, то есть их можно сгруппировать парами.

Содержание технологических эпох, следующих после революций, отражается в их наименовании или названии соответствующей революции. Так, С. Perez называет первую из этих революций «Промышленной», иногда ее называют «Первой промышленной»²⁰⁸. Следующие эпохи она называет: «Эпоха пара и железных дорог», «Эпоха стали, электричества и тяжелой промышленности», «Эпоха нефти, автомобиля и массового производства» и «Эпоха информации и телекоммуникаций». Как мы видим, в эти названия включено по несколько ключевых изобретений.

Согласно нумерации К.М. Шваба, в период с 1760 по 1840 год длилась «Первая промышленная» революция, пусковым механизмом для которой стало изобретение парового двигателя и строительство железных дорог. Революцию, которая происходила с конца XIX до начала XX века, он называет «Второй промышленной» и считает ее основным достижением: «Возникновение массового производства благодаря распространению электричества и внедрению конвейера. Третья промышленная революция началась в 1960-х годах»²⁰⁹. Ее называют компьютерной, цифровой, информационной или кибернетической. Ее катализатором стало развитие полупроводников и больших ЭВМ. К.М. Шваб также отмечает важность для этой революции персональных компьютеров в восьмидесятих годах и Интернет в девяностых.

К. М. Шваб утверждает, что сегодня начинается четвертая промышленная революция. В качестве основных ее сторон он отмечает вездесущий мобильный интернет, миниатюрные производственные устройства, искусственный интеллект и обучающиеся машины. Вместе с тем он указывает на волны дальнейших прорывов «Индустрии 4.0»: нанотехнологии, генетика, квантовые вычисления и возобновляемые энергоресурсы.

Как мы видим, имени собственного для некоторых технологических революций К.М. Шваб не называет, а лишь нумерует их. Не выделяет он и основного ядра четвертой промышленной революции, перечисляя несколько ключевых инноваций. Данный момент вызывает сомнение. С точки зрения системного подхода, если технологическая революция или эпоха является системой, а не «кучей», то она должна иметь имя собственное, которое отражает ее парадигму.

Для более полного представления о парах революций в таблице 3.3 приведены основные инновации, появившиеся во временные периоды, соответствующие формуле (3.5)^{210, 211}.

²⁰⁷ Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York, 2017, 192 p.

²⁰⁸ Perez C. (2002) Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.

²⁰⁹ Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York, 2017, 192 p.

²¹⁰ Bunch, B., Hellems, A. The history of science and technology. Houghton Mifflin company, Boston –New York, 2004.

²¹¹ Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

Аналогичный перечень часто называют технологическим укладом²¹², однако в данном случае рассматриваются не только технические достижения, но и те, что связаны с жизнеберегающими технологиями и распространением знаний. При этом за даты соответствующих инноваций принято время, когда их использование находилось в стадии быстрого роста, вблизи точки перегиба логистической кривой (даты округлены до десятилетий). Поскольку для нас наиболее важны близкие к современности технологические сдвиги, ограничимся событиями, начинающимися с ремесленной революции.

При этом первую из пары революций предлагается считать «предвестником» и использовать для ее обозначения приставку «пре».

Для характеристики технологических достижений эпох по мере наличия соответствующих инноваций в таблице 3.3 использованы следующие факторы: название революции, способ производства, ключевой фактор, двигатель, энергоноситель, транспортное средство, инструмент, материал, оружие, метод лечения, технология передачи информации, метод обучения, инноваторы и др.

Таблица 3.3. Инновации, характеризующие технологические эпохи

п	Годы	Технические, технологические и другие достижения
2	930–1250	Предремесленная революция: гидравлический пильный станок, водяная мельница, шлюз, кормовой руль, компас, цепной привод, шестерня, чугун, шелк, прялка, порох, очки, угольная шахта, простейшая домна, наборный шрифт, многоцветная печать, бумажные деньги, бомбы с шрапнелью, законы оптики, цифра ноль, десятичное счисление, решение кубических уравнений, буквы как переменные, натурфилософия Роджера Бэкона
3	1250–1480	Ремесленная революция (проторенессанс): ремесленное производство, ручной труд, цеховая система, банк, ветряная мельница, полностью парусные суда, навигация, астролябия, медицинские инструменты, листовое стекло, арбалет, артиллерия, техника живописи, принципы перспективы, университет, открытие Америки, изобретения Леонардо да Винчи
4	1480–1640	Возрождение: товарное производство, авторское и патентное право, географические открытия, гуманитарные науки, конный плуг, токарный станок, зеркало, огнестрельное ружье, аналитическая геометрия, таблица логарифмов, книгопечатание, труды Н. Коперника, Г. Галилея, И. Кеплера, Е. Торричелли, Ф. Парацельса
5	1640–1750	Классическая наука: научный подход, телескоп, микроскоп, маятниковые часы, термометр, арифмометр, фрезерный станок, паровой двигатель, оружие с кремниевым затвором, дифференциальное исчисление, академия наук, научный журнал, педагогика, законы И. Ньютона
6	1750–1830	Первая промышленная революция (К1): мануфактурное производство, текстильная машина, жатка, энергия каменного угля и воды, транспортный канал, велосипед, монгольфьер, железо, ковкий чугун, «вольтов столб», нарезное оружие, стальное перо, печатная машинка
7	1830–1890	Вторая промышленная революция (К2): фабричное производство, системы машин, станки, машиностроение, угледобыча, черная металлургия, керосин, электрогенератор, электролампа, турбина, железнодорожный транспорт, пароход, бетон, телеграф, почтовая связь

²¹²Глазьев С.Ю., Львов Д.С. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП // Экон. и мат. методы. — 1986. — № 5. — С. 793–804.

8	1890–1930	Предвестник НТР (К3): автоматическое производство, электрический двигатель, двигатель внутреннего сгорания, электричество, бензин, сталь, тяжелое машиностроение, цветная металлургия, неорганическая химия, автомобиль, дирижабль, самолет, танк, автоматическое оружие, электронная лампа, обучение по переписке
9	1930–1960	Научно-техническая революция (К4): современная наука, серийное производство, конвейер, автоматика, дизельный двигатель, ТРД, авиация, нефтепродукты, органическая химия, пластмассы, сплавы, алюминий, рентген, радар, кондиционер, холодильник, телефон, телевидение, ЭВМ, транзистор, радиотехника, теория относительности, квантовая физика, ядерное оружие, спутник, СМИ, вакцины, антибиотики, заочное обучение
10	1960–1980	Предкибернетическая (постиндустриальная) революция: инновационная экономика, преобладание сферы услуг, сетевое производство, демографический переход, возрождение развивающихся стран, резкий рост качества жизни людей, электроника, кибернетика, информатика, языки программирования, интегральные микросхемы, суперкомпьютер, ракетная техника, космические полеты, ядерная энергия, газ, синтетические волокна, пленки, сети супермаркетов, массовая культура, программированное обучение, деловые игры, мозговой штурм, ТРИЗ
11	1980–2010	Кибернетическая (информационная) революция (К5): информатизация, телекоммуникации, гибкое производство, фабрика услуг, газовая энергетика, персональный компьютер, Интернет, оптоволокно, бытовая электроника, мобильная связь, лазер, светодиод, высокотемпературная сверхпроводимость, робототехника, спутник связи, спейс шаттл, космический телескоп, темная материя, бозоны Хигса, композитные материалы, кардиохирургия, томограф, платежные системы, интернет-торговля, корпоративные информационные системы, поисковые машины, тотальная мобильная связь, социальные сети, системы распознавания, секвенирование, анализ генома человека, ГМО, клонирование, дистанционное обучение, компьютерная грамотность
12	2010–2040	Предвестник медико-биологической революции (К6): глобализация, генная инженерия, нанoeлектроника, нанотехнология, новая фармацевтика, биомедицина, нейронауки, имплантация, клеточные технологии, репродуктивные технологии, возобновляемая энергетика, сланцевый газ, наноматериалы, мультимедиа, 3D-печать, искусственный интеллект, освоение Луны, управление знаниями, элементы экономики знания, электронное обучение
13	2040 ...	Медико-биологическая революция: продление срока жизни людей до 150 лет, лечение самых опасных болезней, регенерация органов, генно-модифицированные люди, первые бессмертные, возрождение вымерших животных, рождение детей в искусственной среде, мыслящие животные, телепатия, управление демографией, биоэнергетика, квантовый компьютер, термоядерный реактор, космический лифт

Отметим, что ряд важных изобретений (бумага, порох, книгопечатание, компас) не получили глобального распространения в результате изолированности стран, в которых они первоначально были созданы. Спустя много лет они широко распространялись в другом регионе (арабские страны, Европа). В результате такой бифуркации датировка изобретений не вполне однозначна. Изобретения революций № 12, 13 показаны в соответствии с представлением на 2015 год²¹³.

²¹³ Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

По поводу содержания последних технологических сдвигов 2010–2040 годов у разных авторов существуют различные мнения, однако в настоящее время наибольший объем научных публикаций в мире сосредоточен в областях, связанных с медициной и биотехнологиями. Ряд авторов убедительно аргументируют, почему именно это направление технологического развития наиболее перспективно^{214, 215, 216}. В этих областях наблюдается наибольший объем революционных достижений, но их использование еще не привело к реальному изменению жизни людей и экономики. Видимо, этого следует ожидать от следующего элемента пары технологических революций, результаты которого можно лишь прогнозировать, что мы сделаем далее.

Отметим, что до сих пор продолжается поток новых технических решений, являющихся результатом кибернетической революции. Среди них не исключено возникновение радикальных инноваций, например в области искусственного интеллекта. Кроме того, важным фактором развития является использование нанотехнологий.

Значительных результатов, которые можно было бы отнести к НТР, относительно мало, например 3D-печать и космические технологии. Следует отметить, что все выявленные сдвиги-предвестники несут значительный объем инноваций, мало уступающий по количеству основному сдвигу. Однако результаты второго из пары сдвигов, как правило, более значимы для людей, поскольку позволяют полностью реализовать потенциал революции.

Из таблицы 3.3 можно заметить, что соответствующие указанным датам инновационные эпохи по своему содержанию попарно связаны. Так, эпоха Возрождения (с 1480 г.) прошла под знаменем книгопечатания и возрождения науки. Она дала миру такие нововведения, как авторское и патентное право, аналитическая геометрия, таблица логарифмов²¹⁷, огнестрельное ружье, товарное производство, гуманитарные науки. Развитию наук способствовали труды таких исследователей, как Леонардо да Винчи, Н. Коперник, Г. Галилей, И. Кеплер, Е. Торричелли, Ф. Парацельс.

Следующую эпоху (с 1640 г.) можно назвать эрой становления классической науки, основанной на измерениях. Ее характеризуют следующие нововведения²¹⁸: телескоп, микроскоп, маятниковые часы, термометр, арифмометр, паровой двигатель, научный подход, академия наук, научный журнал, дифференциальное исчисление, педагогика, законы И. Ньютона.

Эти две эпохи вводят в широкое использование печатную книгу, как инструмент для распространения явных знаний, и научные исследования на основе измерений и вычисле-

²¹⁴ Tateisi K. *The Eternal Venture Spirit: An Executive's Practical Philosophy*. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1989.

²¹⁵ Dodson, M., Gann, D. and Salter, A. (2008) *The Management of Technological Innovation*, Oxford, Oxford University Press.

²¹⁶ Гринин А.Л., Гринин Л.Е. *Ведущие технологии шестого технологического уклада*. 2017.

²¹⁷ Bunch, B., Hellemans, A. *The history of science and technology*. Houghton Mifflin company, Boston — New York, 2004.

²¹⁸ Там же.

ний для получения проверенных знаний. В дальнейшем это позволило осуществить промышленные революции.

Более сложно выявить ядро изобретений двух ремесленных революций. Представляется, что оно сформировано успехами в области гидродинамической техники и смежных областей: водяная и ветряная мельницы, полностью парусные суда, кормовой руль, навигация, астролябия компас, шлюз, гидравлический пильный станок. Освоение сил воды и ветра создало начальный базис для промышленного производства (цеховая система) и межконтинентальной логистики. Все это привело к активизации морских плаваний и открытию Америки. Началось избавление человека от тяжелого физического труда.

Взаимосвязь Первой и Второй промышленных революций (1750, 1830 годы) основывается на едином базисе возрастающего применения механизмов, паровых двигателей и фабричной организации производства. Хотя паровой двигатель был разработан еще в начале XVII века, но модель, получившая широкое распространение, была запатентована Д. Уаттом в 1769 году²¹⁹. Далее число паровых машин и их мощность быстро росли. Динамика суммарной мощности паровых двигателей в Великобритании в 1760–1907 годах²²⁰ представлена на рис. 3.2.

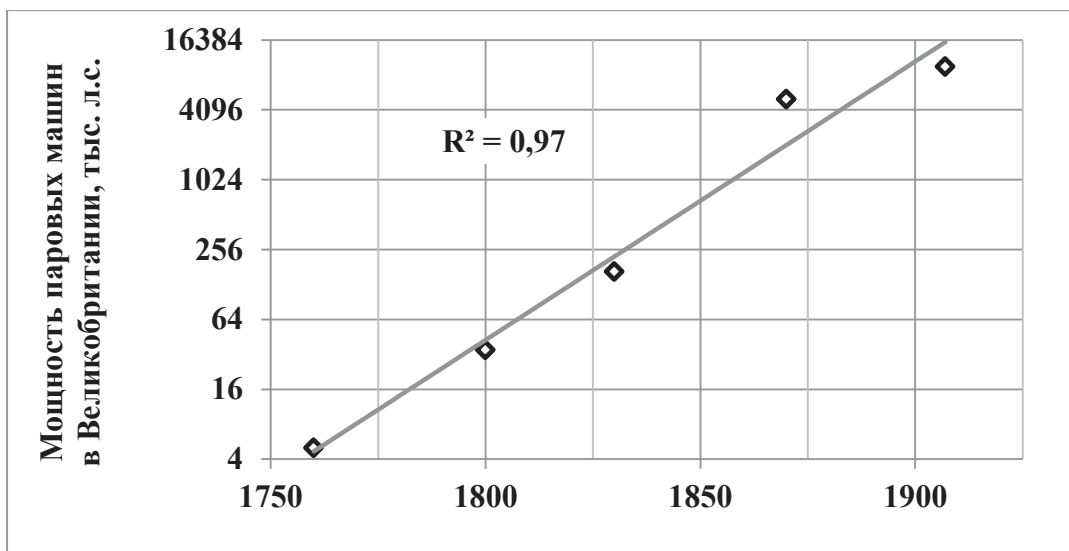


Рис. 3.2. Мощность паровых двигателей в Великобритании

Данные на этом рисунке аппроксимируются единой экспоненциальной зависимостью на протяжении Первой и Второй промышленных революций с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,97$.

Однако видно, что к концу XIX века темп роста мощности двигателей снижается. Также в работе Н. Крафтса²²¹ отмечается, что на протяжении Первой промышленной революции вклад паровых двигателей в экономический рост был невелик, и только после 1830 года они стали вносить существенный вклад в производительность труда. Это было связано

²¹⁹ Там же.

²²⁰ Nicholas Crafts. Steam as a General Purpose Technology: A Growth Accounting Perspective. The Economic Journal. Vol. 114, No. 495 (Apr., 2004), p. 338–351.

²²¹ Там же.

с малой эффективностью двигателей и доминированием энергии воды в промышленности. Изобретение Д. Уатта сложно назвать большим взрывом. Оно было одним из большого ряда усовершенствований, и экономичность паровых машин повышалась постепенно. К концу XIX века британская экономика исчерпала выгоды роста паровой энергии. Однако к этому времени она обогнала Францию в полтора раза²²² и заняла место мирового лидера по величине ВВП.

Следующая пара революций, начавшаяся в конце XIX века, в качестве инновационной основы содержала использование электричества (электротехники) и автоматики. Электротехника постоянного тока длительное время развивалась до этого. Революционным изобретением, которое дало толчок широкому развитию электроэнергетики, стало изобретение Н. Тесла в 1887 году^{223, 224} системы переменного тока, включая генератор, электродвигатель и трансформатор. Если первая электростанция, созданная в 1882 году Т. Эдисоном, имела мощность 500 кВт, то затем, на протяжении около 80 лет, рост производства электроэнергии происходил в соответствии с единой экспонентой, возрастающей в 2,35 раза за 10 лет (рис. 3.3)^{225, 226, 227}. Это указывает на генетическую связь двух технологических эпох, начиная примерно с 1890 года.

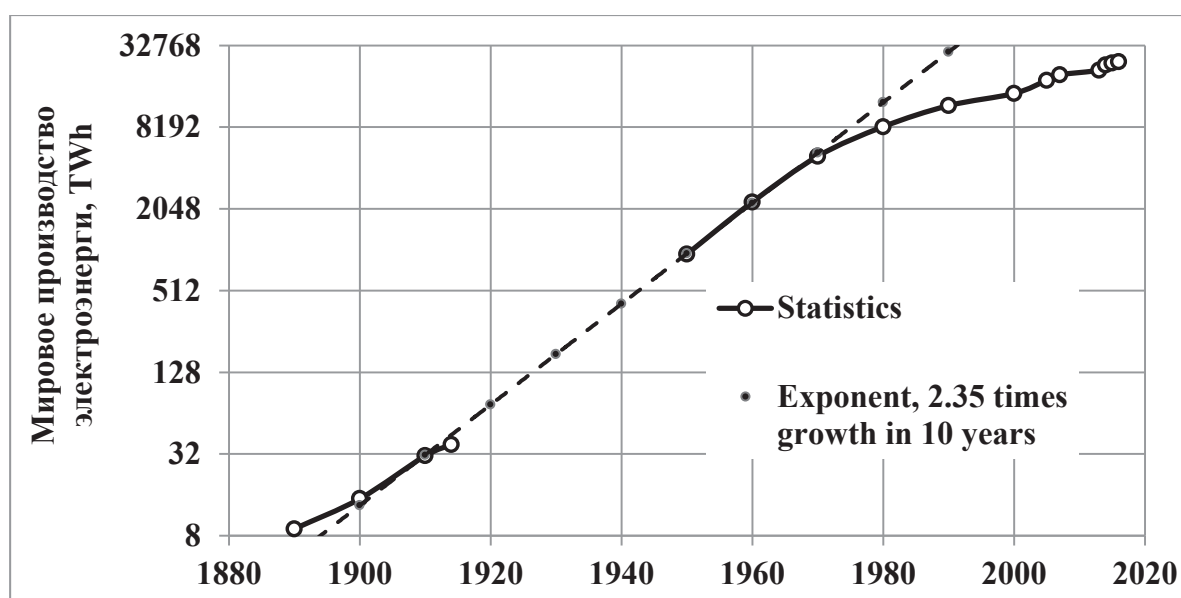


Рис. 3.3. Мировое производство электроэнергии, TWh

²²² Андрющенко Г.И., Орехов В.Д., Блинникова А.В. Анализ конкурентоспособности России при переходе к многополярному миру. Московский экономический журнал. 2022. № 2. — С. 500–531. doi: 10.55186/2413046X_2022_7_2_86

²²³ Bunch, B., Helleman, A. The history of science and technology. Houghton Mifflin company, Boston — New York, 2004.

²²⁴ Margaret Cheney. Tesla: Man Out of Time. — Simon and Schuster, 2001. — С. 33. — 422 с.

²²⁵ Орехов В.Д., Причина О.С., Горшенин В.П. Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции. Проблемы экономики и юридической практики. 2017. № 6. С. 43–48. М., Юр-ВАК.

²²⁶ Электроэнергия. Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электроэнергия>

²²⁷ Global Energy Statistical Yearbook 2016, URL: <https://yearbook.enerdata.ru>

Изобретение техники переменного тока сложно назвать «большим взрывом». С технической точки зрения это одно из многих усовершенствований в области электротехники, хотя результат оказался весьма впечатляющим из-за его практической ценности. Нужно отметить, что к 1900 году электротехника уже имела серьезный фундамент в виде законов А. Ампера, М. Фарадея, Д. Максвелла и других ученых, а также большое количество изобретений в этой области. Однако именно трехфазные генераторы и электродвигатели обеспечили экономичный способ преобразования механической энергии в электрическую и обратно и изменения напряжения с помощью трансформаторов, что способствовало быстрому развитию электроавтоматической индустрии.

Если промышленные революции избавили человека от тяжелой физической работы, создав механическую индустрию, использующую энергию пара, то эпоха электричества освободила человека от необходимости рутинного управления механизмами, создав на основе электрического привода автоматическое управление.

Однако автоматика может обеспечить лишь управление относительно простыми процессами, что стало тормозить дальнейшее развитие технологий. Первый программируемый ламповый электронный компьютер ENIAC был создан в 1946 году²²⁸ и весил 30 тонн. В дальнейшем было разработано несколько десятков электронных вычислительных машин, но преодолеть их принципиальный недостаток (габариты) не удалось.

В начале 60-х годов в полупроводниковой промышленности произошел прорыв — были созданы первые полупроводниковые микросхемы. И уже в 1963 году вошел в строй первый транзисторный суперкомпьютер CDC 6600²²⁹, который ознаменовал старт кибернетической эпохи. Процесс развития кибернетической техники можно отследить с использованием закона Мура²³⁰. Согласно ему число транзисторов на микросхеме удваивается примерно за 1,5–2 года, в соответствии с экспоненциальной зависимостью. Так же быстро росла скорость быстрогодействия суперкомпьютеров.

На рис. 3.4 представлены зависимости²³¹ от времени десятичного логарифма (Lg) числа транзисторов на микрочипе (N) и производительности суперкомпьютеров в флопсах (F)^{232, 233, 234}. Видно, что обе эти зависимости экспоненциальные.

Если соотнести эти закономерности с датами технологических революций (таблица 3.2), то увидим, что они действовали на протяжении двух технологических эпох, начиная

²²⁸ The Eniac, an Electronic Computing Machine // Nature (12 October 1946) vol. 158. — P. 500–506.

²²⁹ Control Data Computer Exceeds Specifications. (англ.) // Missiles and Rockets: The Weekly of Space Systems Engineering. — Washington, D.C.: American Aviation Publications, Inc., September 2, 1963. — Vol.13 — No. 10 — P. 39.

²³⁰ Moore's Law Transistor Count 1970-2020.png. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moore%27s_Law_Transistor_Count_1970-2020.png

²³¹ Орехов В.Д., Мельник М. С., Причина О. С. Исследование новых тенденций и закономерностей воздействия цифровой экономики на производительность труда. Проблемы экономики и юридической практики. 2018. № 2. С. 20–26.

²³² Moore G. Cramming More Components onto Integrated Circuits. Electronics, pp. 114–117, April 19, 1965.

²³³ Denning P. J., Lewis T. G. Exponential Laws of Computing Growth. Communications of the ACM, January 2017, Vol. 60 No. 1, P. 54–65.

²³⁴ FLOPS. Wikipedia URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/FLOPS>

с 1960 года, и продолжают действовать до сих пор. Причем за 60 лет производительность компьютерных устройств выросла в миллиарды раз. И хотя вторая кибернетическая революция в начале 80-х годов ознаменовалась резким расширением применения компьютерной техники за счет распространения персональных компьютеров, но из рис. 3.4 видно, что генетически это единая технологическая революция.

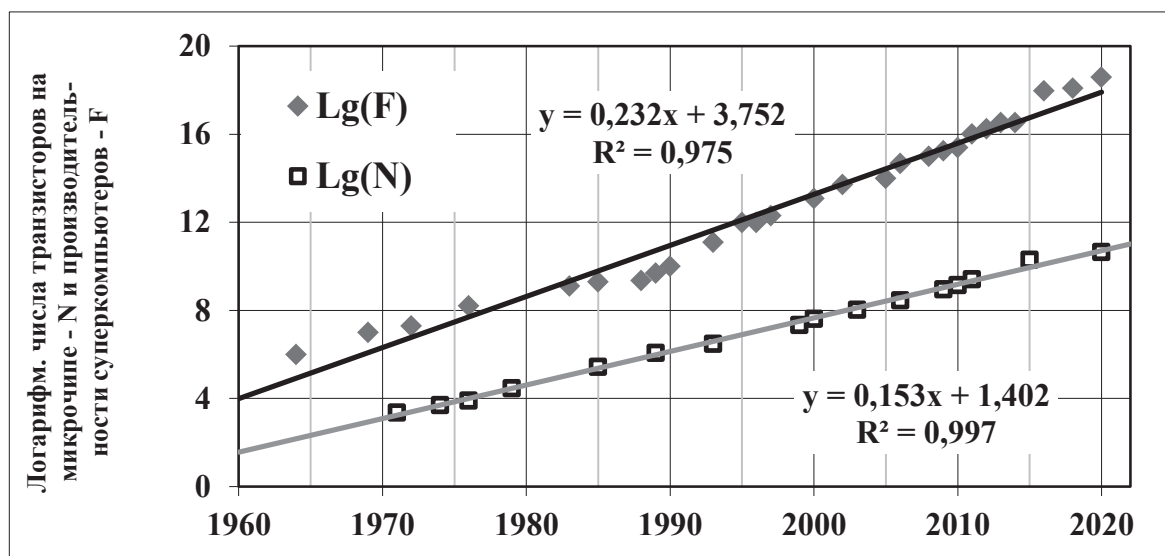


Рис. 3.4. Закон Мура и производительность суперкомпьютеров в флоссах

Суммируя закономерности динамики технологических революций, можно отметить, что они следуют парами, базирующимися на единой технологической основе: книгопечатание и научное исследование (1480–1750 гг.), механизация и использование силы пара (1750–1890 гг.), электричество и автоматизация (1890–1960 гг.), кибернетика и информатизация — 1960 год и далее (даты округлены до десятилетий). На протяжении пар этих технологических эпох происходит «экспоненциальная эволюция» характеристик базовых технологий. Рабочая среда разных пар революций принципиально отличается: книга (знания), энергия пара, электричество, информация. Группировка революций в пары позволяет более контрастно понять принципиальное отличие технологий каждой пары.

Технологические революции происходят не внезапно, а в результате длительного развития технологий. Ко времени первой из каждой пары технологической революции уже наработан значительный технологический задел, и старт новой революции дает относительно небольшое, но важное улучшение уже созданной техники. Так, книгопечатание вначале было не дешевле рукописного изготовления книг, но в массовом производстве позволило массово и недорого распространять знания. По мере роста распространения знаний возрастала и экономическая мощь общества. В результате прирост выпуска стал пропорциональным величине выпуска, то есть он приобретал экспоненциальный вид.

Паровая машина Д. Уатта отличалась от машины Т. Ньюкомена в основном наличием конденсатора и кривошипно-шатунного механизма. Идея использования трехфазного тока вместо постоянного позволила резко повысить эффективность электрических машин и сделать электротехнику массовой и относительно недорогой. Микросхемы, давшие толчок кибернетической революции, были созданы на основе уже имевшейся

полупроводниковой элементной базы, теории кибернетики и с учетом опыта создания ламповых компьютеров.

Можно предполагать, что и следующая пара технологических революций будет реализована на основе уже имеющихся технологий, которые после некоторых инноваций начнут развиваться экспоненциально. При этом опыт следования предыдущих революций подсказывает, что это вряд ли опять будет революция из разряда кибернетических, хотя она и будет широко использовать достижения информационных технологий.

3.4. Связь дат технологических революций и характеристик человеческого капитала

Таким образом, мы выяснили, что технологические революции следуют друг за другом в соответствии с зависимостью экспоненциального типа с высокой точностью ($R^2 = 0,96$), что предполагает наличие в высокой степени детерминированного, а не стохастического процесса. Поскольку периоды между смежными революциями отличаются в $2^{0,5}$ раза, то период между парами революций отличается в 2 раза, что также свидетельствует об относительно простом механизме инициации технологических революций.

Анализ датировки революций позволил выявить их связь с гиперболическим законом роста численности населения (1.7), а также временным пределом использования этой зависимости — примерно до 1980 года. Поэтому логично проверить наличие более тесной взаимосвязи между человеческим капиталом и технологическими революциями. Используя формулы (1.7) и (3.4), при $T_L \approx A$ получим выражение для численности населения Земли в моменты начала технологических революций в зависимости от их номера n :

$$N_n = C / (T_L - T_n) \approx (C/B)2^{n/2} \quad (3.6)$$

Приблизленно $C/B = 200$ млрд чел.·лет / 2180 лет ≈ 92 млн чел. Из этой формулы следует, что численность населения Земли между двумя последовательными революциями увеличивается примерно в $2^{0,5} \approx 1,414$ раза, а за пару революций — в 2 раза.

Поскольку численность населения является одним из основных показателей человеческого капитала (величина порядка), то тем самым мы подтверждаем наличие зависимости дат технологических революций от величины человеческого капитала. Более того, мы можем использовать эту зависимость для прогнозирования дат следующих технологических революций. В частности, численность человечества в дату следующей революции (относительно современной даты) должна вдвое превосходить численность, соответствующую революции 1981 года ($N_{11} = 4,45$ млрд чел.), и составлять $N_{13} = 8,9$ млрд чел. Согласно среднему прогнозу ООН [36] это произойдет в 2035 году, что близко к среднему значению $T(n) = 2033$, приведенному в таблице 3.1.

Однако эмпирическая зависимость (3.6) не раскрывает механизм связи технологических революций с человеческим фактором, поэтому рассмотрим ее более детально. Как отметил С.П. Капица²³⁵, гиперболическая закономерность роста числа людей (1.7) означает, что скорость роста популяции пропорциональна квадрату численности человечества

²³⁵ Капица С. П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. — М., 2012.

$dN/dT = N^2/C$. Это значит, что существует коллективное взаимодействие, которое «...определяется механизмом распространения и размножения обобщенной информации в масштабе человечества»²³⁶. Можно предположить, что это взаимодействие реализуется на основе роста объема явных знаний человечества.

Чтобы оценить их динамику, можно использовать информацию об объеме хранения книг и брошюр в наиболее крупных мировых библиотеках, например в библиотеке Конгресса США^{237, 238, 239} (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Фонды библиотеки Конгресса США

Единиц хранения, млн	1960	2000	2012	2019	2021 ²⁴⁰
Книг и брошюр	14,5	30	35,8	39	40,9
Томов переплетенных газет	1,32	> 1			
Рукописных материалов	29	58	68	70	75,7
Публикаций правительства США		> 1			
Нотно-музыкальной литературы	3,3		6,6		8,2
Географических карт	3	4,8	5,5	5,5	5,6
Фотографий		12		14	17,5
Звукозаписей		2,7	3,4	8,1	
Микрофильмов		0,5	16,7		17,5
Всего единиц хранения		130	155		173
Длина полок, км		850			
Объем в цифровом виде, Гбайт		18 000			

Понятно, что в библиотеке Конгресса хранятся не все знания мира, но она является крупнейшим хранилищем знаний в последнее столетие. Кроме того, в ней имеются дубликаты. Поэтому с некоторым приближением можно принять объем хранения в ней за все знание человечества. К разряду «знания» в табл. 3.4 относятся в основном книги и брошюры (журналы). Остальные позиции содержат в большей мере информацию, данные, гипотезы, ретрознания и т.д.

Для определения единицы явного знания воспользуемся данными, относящимися к 2000 году, для которого имеются оценки объема хранения в библиотеке Конгресса и в цифровом, и в бумажном виде. В это время он составлял 18 гигабайт, или 30 млн книг и брошюр.

²³⁶ Там же.

²³⁷ Ушаков К. Хранилище вечности // СЮ. — 2007. — № 7.

²³⁸ Библиотека Конгресса. — Википедия, 2012. <http://ru.wikipedia.org/wiki>.

²³⁹ General Information — About the Library (Library of Congress). 2012. <http://www.loc.gov/about/general-information>

²⁴⁰ Главная Информация. Библиотека Конгресса. URL: <https://www.loc.gov/about/general-information/> — 2022.

В качестве единицы измерения знания (Z) введем единицу — «условная книга», или сокращенно (у.к.). Размерность Z равна $[Z] = \text{у.к.}$. Одна условная книга равна по объему знания книге, которая при оцифровании будет содержать объем информации в размере 1 Мбайт. Введением такой единицы мы показываем значительное различие между знанием и информацией. В печатном виде 1 у.к. имеет объем примерно 100 страниц формата А4 с малым содержанием иллюстраций. В 2000 году объем знаний в библиотеке Конгресса составлял 18 гигабайт, что соответствует 18 млн у.к. Таким образом, одна книга (брошюра, журнал) в этой библиотеке эквивалентна 0,6 у.к.

В качестве еще одной точки для определения количества знаний можно взять Александрийскую библиотеку. Она была создана примерно в 300 году до н.э. В ее хранилищах было от 100 000 до 700 000 свитков²⁴¹. Исходя из представления об объеме свитка, можно принять, что количество размещенных на нем знаний составляет порядка 1/5 у.к. Будем считать объем знаний, хранящихся в этой библиотеке, за все знания мира на то время ~ 80 тыс. у.к. Суммарные данные о динамике явных знаний человечества приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5. Динамика объема явных знаний человечества

№	Библиотека	Год	Население Земли, млрд чел.	Количество знаний, млн у.к.	Объем хранения (брошюр), млн	Количество знаний на 1000 человек, у.к.
		T	N	Z		Z / N
1	Конгресса (США)	2021	8,00	24,54	40,9	3,07
2		2019	7,70	23,4	39	3,03
3		2017	7,55	23,4	39	3,10
4		2012	7,13	21,5	35,8	3,02
5		2000	6,14	18,0	30	2,93
6		1996	5,82	18,0	30	3,09
7		1960	3,03	8,7	14,5	2,87
8	Александрийская	-300	0,086	0,08	0,13	0,93

Для определения аналитической зависимости количества знаний от численности человечества построим регрессионную зависимость (рис. 3.5) для данных, представленных в таблице 3.5. Здесь квадратная точка соответствует Александрийской библиотеке, а ромб — 1960 году.

Как видно из рис. 3.5, темп роста знаний человечества пропорционален числу людей в степени примерно 1,266. Выражение для объема знаний человечества представлено в формуле (3.7). В квадратных скобках указана размерность величин Z и N .

$$Z [\text{млн у.к.}] = 1,845 \cdot N [\text{млрд чел.}]^{1,266} \quad (3.7)$$

²⁴¹ Советский энциклопедический словарь. — М., 1987.

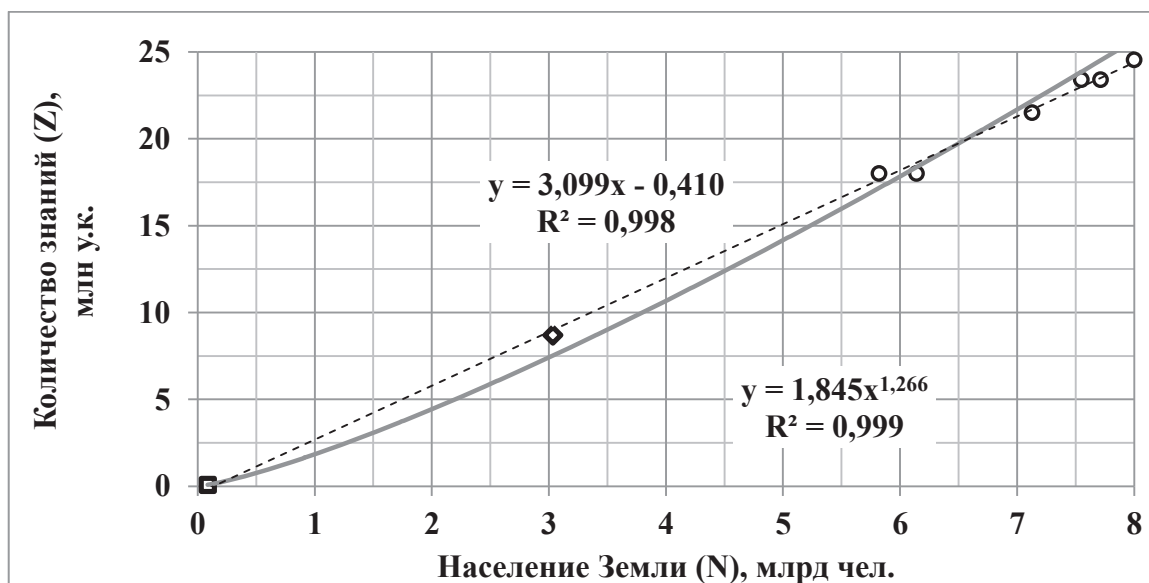


Рис. 3.5. Зависимость количества знаний человечества от числа людей

Погрешность регрессии для зависимости (3.7) составляет $\Delta R^2 = 1 - R^2 = 0,1\%$. Данные точки хорошо аппроксимируются и линейной зависимостью (пунктирный тренд на рис. 3.5), но тогда погрешность регрессии возрастает до $\Delta R^2 = 0,2\%$, что можно считать приемлемым.

Полученная зависимость количества знаний от числа людей позволяет выявить очень важную закономерность. Рассмотрим темп роста мирового ВВП на душу населения (далее ВВП/Д или G/N) по паритету покупательной способности (ППС), в зависимости от численности человечества (N). Соответствующая зависимость представлена на рис. 3.6, согласно данным А. Maddison²⁴². Здесь ВВП дан в тысячах международных долларов (K\$) 1990 года. Тренд данной зависимости выражается формулой:

$$G/N [K\$] = 0,672 \cdot N [\text{млрд}]^{1,267} \quad (3.8)$$

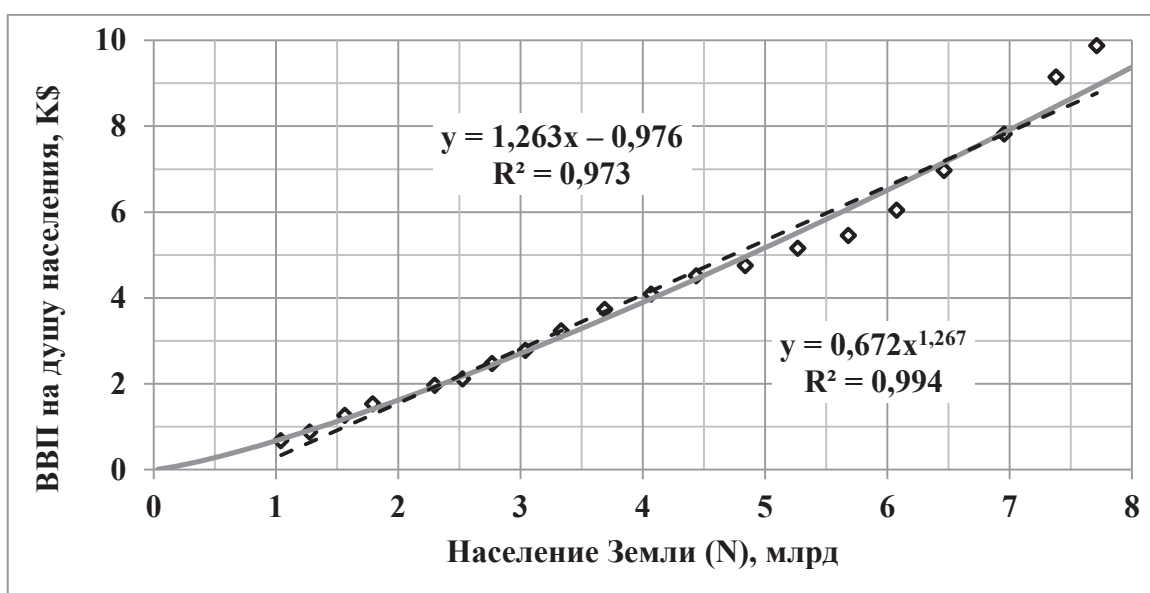


Рис. 3.6. Зависимость ВВП/Д от численности населения Земли

²⁴²Maddison, A. (2008) Historical Statistics of the World Economy: 1-2008 AD. GGDC.

Видно, что данная зависимость (3.8) также является степенной с показателем степени 1,267, причем погрешность аппроксимации также достаточно мала — $\Delta R^2 = 0,6\%$. Из выражений (3.7) и (3.8), с точностью до показателя степени, отличающегося в третьем знаке, следует, что величина ВВП/Д пропорциональна объему знаний человечества — Z и выражается формулой:

$$G/N [K\$, 1990] = 0,364 \cdot Z [\text{млн у.к.}] \quad (3.9)$$

В формуле (3.9) величина G/N выражена в тыс. долл. 1990 года, а количество знаний — в млн. у.к. Если перевести величину ВВП в доллары 2021 года (дефлятор 1,841²⁴³), то формула (3.9) примет вид:

$$G/N [K\$, 2021] = 0,670 \cdot Z [\text{млн у.к.}] \quad (3.10)$$

В 2021 году количество знаний человечества составляло 24,5 млн у.к., откуда, согласно (3.10), следует, что $G/N = 16,4$ К\$. Величина мирового ВВП по ППС в 2021 году составила 146,1 трлн долл. США, а население Земли — 7,95 млрд чел. Соответственно, $G/N = 18,4$ К\$, что больше, чем согласно формуле (3.10). Однако, как видно из рис. 3.6, реальное значение ВВП на душу населения вблизи точки с $N = 8$ млрд примерно на 10% больше, чем согласно тренду (3.10), чем и объясняется полученное рассогласование.

Величина ВВП/Д характеризует среднюю стоимость получаемых населением товаров и услуг. Но поскольку большинство благ производится работниками, численность которых составляет около 50% населения, то с коэффициентом, примерно равным двум, величина G/N характеризует среднюю производительность труда.

Из этого следует очень важный вывод: средняя производительность труда в мире прямо пропорциональна количеству явных знаний человечества.

Для того чтобы избавиться в формуле (3.7) от иррациональности в степени, перейдем от показателя $k = 1,266$ к близкой величине — показателю $k = 5/4 = 1,25$. Как было показано выше, даже при $k = 1$ погрешность регрессии для количества знаний остается на уровне не выше 0,2%. При $k = 5/4$ погрешность регрессии будет незначительно больше 0,1%, однако несколько изменится коэффициент в формуле (3.7), который определим при $T = 2000$. В этом случае коэффициент в формуле (3.7) увеличится с 1,85 до 1,90. Если число людей дано в единицах, а не в миллиардах, то выражение для Z будет иметь вид:

$$Z [\text{млн у.к.}] = 7,65 \cdot 10^{-6} \cdot N [\text{чел.}]^{1,25} \quad (3.11)$$

Согласно уравнению (1.7), до 1960 года число людей выражается формулой $N \approx C/(T_L - T)$. Подставляя это выражение в выражение (3.11), получим зависимость количества знаний от времени в период гиперболического роста человечества:

$$Z [\text{у.к.}] = 1,5 \cdot 10^9 / (2025 - T)^{1,25} \quad (3.12)$$

²⁴³ Inflation, GDP deflator (annual %) — United States. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.DEFL.KD.ZG?locations=US&view=chart>

Формула (3.12) верна в период гиперболического роста человечества (до 1960 года и с некоторой погрешностью до 1975 года). Используя формулу (1.7), можно получить выражение для объема знаний, корректное и в период демографического перехода^{244, 245}:

$$Z [\text{y.к.}] \approx Z_0(N/N_0)^{1,25} = 20(N/N_0)^{1,25} \quad (3.13)$$

(здесь $N_0 = 0,1$ млн — условная начальная численность человечества²⁴⁶, а Z_0 — начальный объем знаний). Погрешность, с которой аппроксимирует формула (3.13) количество знаний из табл. 3.5, не превышает 10% в течение последнего столетия и не более 16% для 300 года до н.э.²⁴⁷

Таким образом, из формул (3.12), (3.13) видно, что объем знаний человечества зависит, в основном, от числа людей и, соответственно, от времени в период гиперболического роста.

Кроме того, существует показатель, связывающий рост объема знаний с совершенствованием человеческого мозга. Из формулы (3.7) видно, что объем знаний растет не пропорционально числу людей, а быстрее — в степени 1,266. Увеличение показателя степени на 0,266 характеризует темп прироста возможностей человеческого мозга и используемых им инструментов со временем. Если рост числа людей со времени появления человека составил, согласно формуле (1.7), 80 000, то рост возможностей мозга человека создавать знания увеличился примерно в 20 раз. Объем мозга человека за это время увеличился примерно в два раза, но та часть мозга, которая ответственна за высшие функции разума и мышления, увеличилась значительно больше. Кроме того, повысилась эффективность его работы, а также инструментальные возможности, такие как речь и письменность.

Конечно, использование информационных технологий может дополнительно повысить эффективность работы человека как создателя знаний, однако многие авторы относятся к этому весьма скептически.

Годовой прирост знаний можно оценить как по формулам (3.12), (3.13), так и по годовому объему публикаций и патентов в мире. Такое сравнение показывает, что число людей, оказывающих влияние на создание знаний, необходимо корректировать²⁴⁸ на время взросления и обучения, которое составляет около 25 лет. В этом случае формулы (3.12), (3.13) приобретают приближенно вид (3.14), (3.15).

$$Z \approx 2,2510^9 / (2050 - T)^{1,25}; \quad (3.14)$$

$$Z \approx 30(N(T - 25)/N_0)^{1,25}. \quad (3.15)$$

²⁴⁴ Орехов В. Д. Прогнозирование в сложном окружении // XIV всерос. симпоз.: «Стратегическое планирование и развитие предприятий». — М., ЦЭМИ РАН. 2013. — № 5. — С. 108.

²⁴⁵ Орехов В. Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

²⁴⁶ Капица С. П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. — М., 2012. — С. 42.

²⁴⁷ Орехов В. Д., Причина О. С. Экономико-математическое моделирование процессов управления в области инноватики. // Монография, под редакц. В. Д. Орехова DOI: 10.38006/00187-180-4.2022.1.219

²⁴⁸ Орехов В. Д., Причина О. С. Экономико-математическое моделирование процессов управления в области инноватики // Монография Под редакц. В. Д. Орехова. — 2022. — С. 56. DOI: 10.38006/00187-180-4.2022.1.219

Сравнение аппроксимационных формул (3.12) и (3.14) для объема знаний, в зависимости от времени (T), а также опорных точек из табл. 3.5, с начала демографического перехода дано на рис. 3.7.

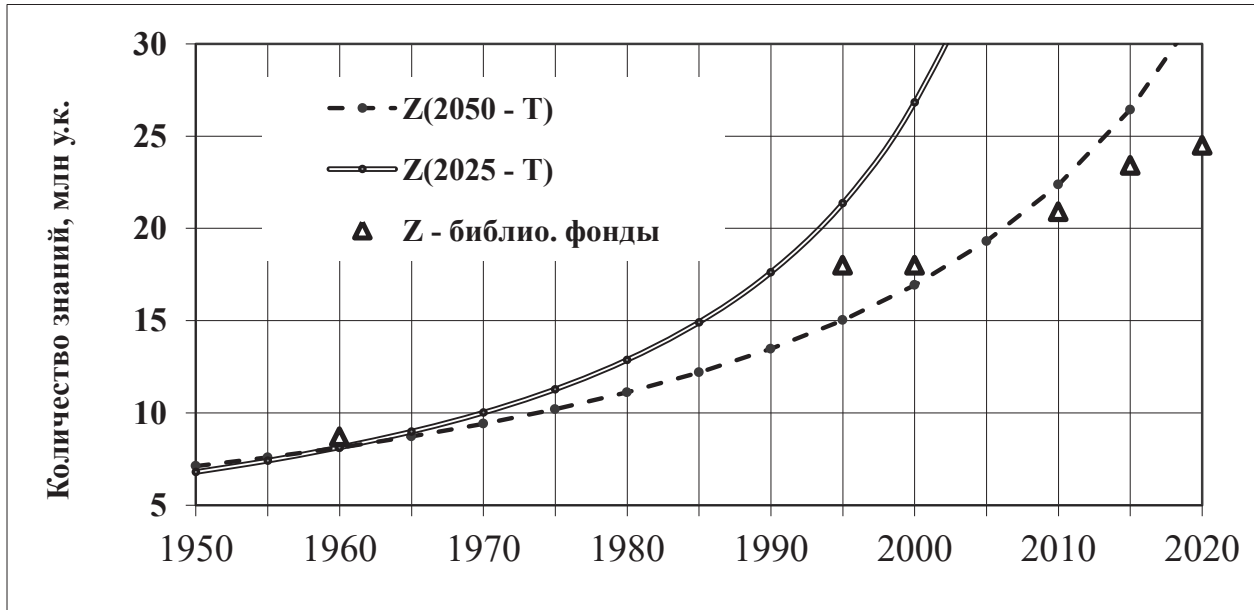


Рис. 3.7. Сравнение аппроксимационных формул (3.12) и (3.14)

Видно, что формула (3.14) значительно лучше аппроксимирует опорные точки в области демографического перехода, чем формула (3.12). При этом за счет сдвига в 25 лет гиперболическая зона и, соответственно, область применимости формулы (3.14) для количества знаний распространяется примерно до 2012 года. Сравнение формул (3.13) и (3.15), приведенное на рис. 3.8, показывает, что в данной области они примерно с одинаковой точностью аппроксимируют точки из таблицы 3.5 по количеству знаний.

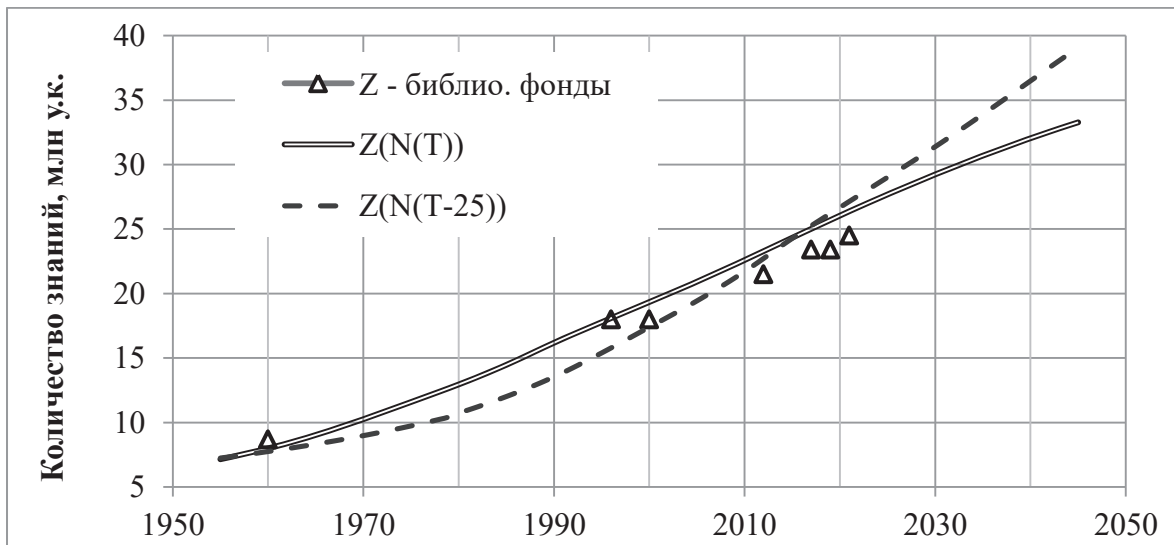


Рис. 3.8. Сравнение аппроксимационных формул (3.13) и (3.15)

В области 1975 года объем знаний по формуле (3.15) растет более медленно, чем по (3.13), что отражает заниженную численность человечества после войны (на 25 лет

ранее), и, соответственно, более быстро растет после 1990 года, что отражает быстрый послевоенный рост численности населения. Важно, что прирост количества знаний после 2015 года, согласно гиперболической формуле (3.14) в зависимости от времени — T , значительно выше, чем по формулам с конкретными значениями численности населения — N (3.13), (3.15).

3.5. Связь технологических революций с ростом количества знаний

Оценка роста знания между технологическими революциями

Приведенные выше выражения для связи численности человечества N и количества его знаний Z позволяют сделать оценки соответствующих величин в периоды различных технологических революций, указанных в табл. 3.1, 3.2, и выявить закономерности их изменения^{249, 250}. Соответствующие данные, полученные с использованием выражений (1.7), а также (3.12) до 1959 года и (3.13) позднее, приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Характеристики технологических эпох

Год	Технологическая революция (эпоха)	N , млрд	Z , млн у.к.	Рост Z , раз	Рост N , раз
932	Предвестник ремесленной	0,18	0,24	1,544	1,415
1253	Ремесленная	0,26	0,37	1,544	1,416
1480	Возрождение	0,37	0,57	1,545	1,417
1640	Классическая наука	0,52	0,88	1,544	1,416
1753	Первая промышленная	0,74	1,36	1,544	1,415
1833	Вторая промышленная	1,04	2,10	1,546	1,417
1890	Предвестник НТР	1,48	3,26	1,553	1,422
1930	Научно-техническая	2,11	5,06	1,552	1,421
1959	Предкибернетическая	2,98	7,8	1,548	1,416
1979	Кибернетическая	4,38	12,7	1,618	1,470
2005	Предвестник медико-биологической	6,54	20,9	1,651	1,493
2033	Медико-биологическая	8,76	30,1	1,441	1,339
	Среднее значение			1,552	1,421

Видно, что между технологическими революциями численность человечества увеличивалась примерно в 1,42 раза, а объем знаний — в 1,55. Отклонение от этой закономерности до демографического перехода не превышает 0,4%, причем данная погрешность во многом связана с использованием целых значений лет.

Наибольшее отклонение от данной закономерности наблюдается начиная с 1979 года, что связано с демографическим переходом и неприменимостью закономерности (3.5) следования дат технологических революций (используется среднее значение прогнозов даты из

²⁴⁹ Орехов В.Д. Знания в системе развития общества//Бизнес-образование, РАБО. — 2010. — № 28 — С. 78.

²⁵⁰ Орехов В.Д. О парной взаимосвязи длинных волн: Тр. XV междунар. научн.-практ. конф. «Качество дистанционного образования: концепции, проблемы, решения». — М., 2013. — С. 165.

таблицы 3.1). Но и здесь отклонение составляет около 6% от прогнозируемого количества знания. Это вполне приемлемо с учетом отсутствия более точной количественной модели прогнозирования дат революций в период демографического перехода. Также оказывает влияние то, что в отдельные периоды число людей отклоняется от модели (1.7) довольно значительно.

Отметим также, что для медико-биологической революции отклонение величин Z и N от полученной закономерности равномерного роста является более значительным, что свидетельствует о низкой точности прогноза этой даты.

Таким образом, прослеживается весьма интересная и, предположительно, фундаментальная закономерность увеличения объема знаний и числа людей между технологическими революциями в постоянное число раз.

Прогнозирование будущих технологических революций

Полученная закономерность роста знаний между технологическими революциями дает нам возможность сформировать новую методику уточнения дат революций прошлого и прогнозирования дат будущих революций. Для этого дополним ее гипотезой о том, что закономерность роста количества знаний между революциями распространяется и на дальнейшие революции.

Однако для ее применения необходимо обосновать величину коэффициента, на который увеличивается количество знаний между революциями. С этой целью используем две реперные точки: революцию «Предвестник НТР» (1890 год) и революцию «Предвестник медико-биологической» (примерно 2008 год).

Результаты расчетов континуума технологических революций после 1890 года с использованием таких предположений приведены в таблице 3.7. Для повышения точности расчетов в период демографического перехода использовались: формула (3.14) до 1967 года включительно, а далее формула (3.15). В выражении для численности населения $N(T-25)$ использовались данные среднего прогноза ООН²⁵¹ 2019 года.

Сравнение прогнозов, представленных в таблицах 3.6, 3.7, показывает, что в последнем из них дата медико-биологической революции сдвигается на несколько более раннюю дату (— 4 года).

Таблица 3.7. Уточненные характеристики технологических эпох XXI, XXII века

Год	Технологическая революция (эпоха)	N, млн	Z, млн у.к.	Рост Z, раз	Рост N, раз
1890	Предвестник НТР	1,48	3,95	1,51	1,46
1935	Научно-техническая	2,22	5,97	1,51	1,50
1967	Предкибернетическая	3,48	8,98	1,50	1,57
1990	Кибернетическая	5,33	13,5	1,51	1,53
2007	Предвестник медико-биологической	6,71	20,4	1,51	1,26
2029	Медико-биологическая	8,48	30,9	1,51	1,26
2062	Предвестник знаниевой	10,2	46,9	1,52	1,21
2125	Знаниевая (не достигается)	10,9	59,2	1,26	1,07

²⁵¹ World Population Prospects: Online Edition. Rev. 1. Revision. (2019). United Nations. New York.

Следующая революция, которую мы условно называем «предвестник революции знания», прогнозируется примерно на 2062 год, то есть через 33 года после медико-биологической. Далее за ней следует технологическая революция, которую мы называем «знаниевая», при среднем прогнозе ООН не обеспечивается необходимой численностью населения — только примерно 10,9 млрд человек.

Тот факт, что революция, которая может произойти после 2100 года, не обеспечивается численностью населения (согласно текущим прогнозам), свидетельствует о том, что у человечества существует принципиальное ограничение для развития — «Барьер знаний». Решить это можно только увеличив темп производства знаний. Именно поэтому мы условно относим революции 2062 и после 2100 года к типу знаниевых.

Существует несколько способов для преодоления «Барьера знаний».

Первый вариант — увеличение численности населения Земли. Так, согласно High variant прогноза численности населения ООН²⁵², необходимая численность населения может быть достигнута, что, впрочем, весьма сомнительно²⁵³.

Второй вариант заключается в использовании инклюзивного пути развития^{254, 255}. В уравнении для количества знаний фигурирует общее число людей, вне зависимости от того, занимаются ли они производительной деятельностью и какой имеют уровень образования, а также вносят ли они вклад в создание и применение сложных знаний. В реальности же число людей, которые вносят вклад в производительную деятельность $N_w \sim 0,5 \cdot N$. Кроме того, значительная доля людей имеет низкий образовательный уровень или не имеют работы. Повышение доли населения Земли, имеющей высокий уровень образования, может значительно изменить «Систему создания и использования знаний» на планете и тем самым способствовать преодолению «Барьера знаний» и повысить среднюю производительность труда людей.

Третий вариант. В настоящее время развитые страны создают около 2/3 научных публикаций и наиболее активно вовлекают их в производственный процесс. Проблема заключается в том, что система создания знаний развитых стран в последнее время практически не увеличивает свою производительность^{256,257}. Поэтому рост производства

²⁵² Там же.

²⁵³ Орехов В.Д. Разработка моделей и методов прогнозирования развития социально-экономических систем с учетом фактора человеческого капитала: монография / В. Д. Орехов. — Москва: Знание-М, 2022. Prichina O.S, Orekhov V.D., Shchennikova E.S. (2017) 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. С. 69–81.— С. 38.

²⁵⁴ The Growth Report. Strategies for Sustained Growth and Inclusive Development. Commission on Growth and Development. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. 2008.

²⁵⁵ Каранышев А.Х., Орехов В.Д. Инклюзивное развитие человеческого капитала как парадигма обеспечения устойчивой экономической динамики. Стратегическое управление устойчивым развитием экономики в новой реальности: монография / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. — СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. — С. 631–668. DOI 10.18720/IEP/2022.2/22

²⁵⁶ Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: монография. Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

²⁵⁷ Prichina O.S, Orekhov V.D., Shchennikova E.S. (2017) 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. С. 69–81.

знаний, в основном, будет происходить за счет развивающихся стран. Позитивное взаимодействие между двумя частями создания знаний может дать положительный результат для всего человечества. Однако в настоящее время борьба за мировое доминирование и конкуренция снижают возможности синергетического взаимодействия этих двух частей мировой системы создания знаний. Ситуация может значительно измениться в результате формирования полицентричного мира.

Четвертый вариант заключается в совершенствовании синергетического взаимодействия научных команд по производству знаний²⁵⁸. Однако широкое развертывание такого взаимодействия пока маловероятно.

Пятый вариант. В результате медико-биологической революции можно ожидать разработки медико-биологических технологий, которые позволят повысить уровень интеллекта людей и их способность производить знания.

Шестой вариант заключается в создании систем искусственного интеллекта, способных производить знания. Это наиболее опасный путь, поскольку при увеличении вклада ИИ в создание знаний человечества в несколько раз мы начинаем становиться зависимыми от работы данной системы.

Все эти направления могут развиваться в технологии революции знания.

Выполненная выше оценка даты революции середины XXI века — «Предвестник революции знания» — имеет большое значение для понимания динамики медико-биологической революции. Как было показано выше, технологии различных революций внедряются постепенно, и после революции предшественника они вносят слабый вклад в общественное производство. Только к концу второй из пары революций эти технологии всесторонне внедряются в большую часть общественно-экономической деятельности человечества. Так происходит сейчас с результатами внедрения информационных (кибернетических) технологий. Только к 2060 году то же самое должно произойти с внедрением медико-биологических технологий.

Причины технологических революций

Как показано в предыдущем параграфе, количество нового знания, появившегося между революциями (включая революции-предвестники), составляет около 55% от всего знания, накопленного за все предыдущие технологические эпохи, а прирост числа людей — 42% от их численности в конце предыдущей технологической эпохи. При этом прирост знаний примерно в полтора раза превышает прирост знаний, созданный за предыдущую технологическую эпоху. Это важно с точки зрения изменения приоритетов для инноваторов и предпринимателей, поскольку при меньших объемах переключение стереотипов мышления будет происходить у относительно малой части предпринимателей.

Ясно что для использования такого большого количества новых работников и знаний, а также применения их для создания новых инноваций и материальных ценностей требуется

²⁵⁸ Орехов В.Д., Караньшев А.Х., Головчанов С.С. Исследование эффективности командной работы в сфере НИОКР: резервы роста человеческого капитала. Московский экономический журнал. № 9, 2021. — С. 1–19 doi: 10.24411/2413-046X-2021-10555

радикальное преобразование всей мировой экономики, хозяйственного и общественного уклада. При этом нужно включить в работу резко возросшее количество людей, обучив их новым профессиям, необходимым для реализации нового знания. В результате количественный рост объема знаний переходит в качественный скачок, а он, как показывает практика, реализуется через мощный экономический кризис (революцию).

Отметим, что пики роста патентования изобретений²⁵⁹ по-разному ведут себя для основных революций и предвестников. Для определения профиля инновационной активности технологических эпох воспользуемся данными о крупных изобретениях, приведенными в работе Э.Ф. Немцова²⁶⁰, а также датами технологических революций согласно табл. 3.2. При этом будем рассматривать соответствующие революции попарно — революция-предвестник и основная. Для того чтобы сравнить профили активности патентования, нормируем значения числа крупных изобретений N к среднему по профилю за каждую пару революций и среднее значение N приравняем к уровню 50%. По оси абсцисс отложим точку от начала революции, причем точке 1 соответствует начало революции-предвестника, точке 11 — начало основной технологической революции, а точке 21 — конец цикла и начало следующей революции-предвестника (шкала равномерная).

Соответствующие профили представлены на рис. 3.9. Двойной линией обозначен тренд (полином 6-й степени) для среднего арифметического значения инновационной активности, для которого коэффициент детерминации равен — 0,69.

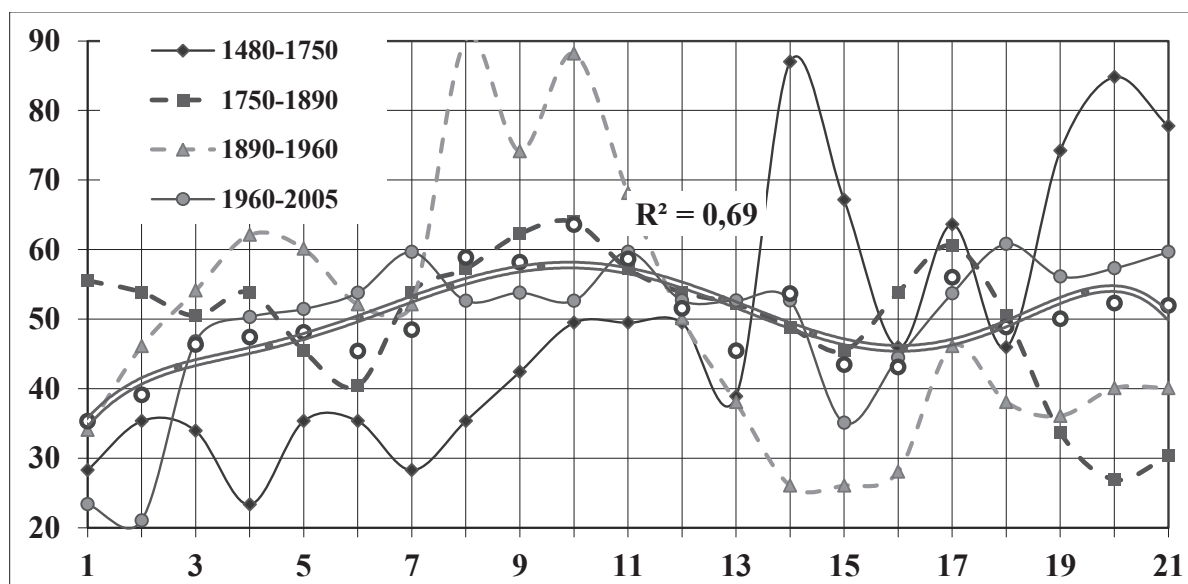


Рис. 3.9. Относительные профили инновационной активности

Согласно рис. 3.9 число крупных изобретений минимально в начале революции-предвестника и далее растет до конца эпохи предвестника. С началом основной революции количество крупных изобретений начинает падать и является минимальным в середине этой эпохи.

²⁵⁹Орехов В.Д., Причина О.С. Экономико-математическое моделирование процессов управления в области инноватики // Монография Под редакц. В.Д. Орехова. — 2022. — С. 28.

²⁶⁰Немцов Э.Ф. Человечество становится всё изобретательнее. — 2011. URL: <http://nemtsov.ners.ru/articles/chelovechestvo-stanovitsya-vs-izobretatelnee.html>

Из различия в поведении инновационной активности в начале двух типов революций следует, что инновационная активность с низкой вероятностью является активатором технологических сдвигов.

Рост числа людей несет в себе качественные изменения только через неравномерность роста в различных регионах, а не через количественный рост. Это создает потенциал изменений в странах с быстро растущим населением, но также приводит к увеличению нагрузки на экономику, связанной с необходимостью материального обеспечения новых граждан. Поэтому численный рост сам по себе вряд ли является активатором технологических революций.

В то же время рост явных знаний вполне может претендовать на ведущую роль в инициировании технологических революций. Выявленные выше закономерности позволяют сформулировать новую модель циклического развития человечества²⁶¹, которая в виде схемы представлена на рис. 3.10.

Суть модели «волны знания» заключается в следующем: существует цикл оборота знания (рис. 3.10), включающий в себя последовательность влияющих друг на друга факторов.



Рис. 3.10. Модель циклического развития человечества «волны знания»

Взаимодействие происходит следующим образом:

1. Рост ВВП на душу населения (G/N) приводит к росту численности населения Земли (N).
2. Рост численности населения приводит к росту объема знания человечества (Z) с задержкой примерно в 25 лет.
3. Рост ВВП на душу населения и знания приводят к возникновению новых актуальных потребностей человечества, однако бизнес не готов их удовлетворить.
4. Рост знания в определенный момент приводит к превышению порогового значения, характерного для начала технологических революций.

²⁶¹ Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

5. Превышение порогового значения в совокупности с качественно новыми потребностями людей и ростом спроса приводит к инновационному импульсу.
6. Инновационный импульс инициирует инвестиционный выбор направления новой технологической революции.
7. Массовые инвестиции в выбранное направление развития приводят к перестройке экономики, производства, законодательства, образования и всей системы мирового хозяйства.
8. Перестройка мирового хозяйства дает новый импульс росту ВВП.

В таблице 3.8 дано краткое описание данной модели в сопоставлении с аналогичными моделями Н.Д. Кондратьева и Й.А. Шумпетера.

Видно, что эти модели существенно различаются, хотя важной составляющей их всех является инновационная компонента. Однако в моделях Й.А. Шумпетера и Н.Д. Кондратьева инновации служат первоначальным импульсом, а в модели «волны знания» инновации являются следствием триггерного эффекта от роста количества знания.

Таблица 3.8. Модели циклического развития человечества

Волны Кондратьева	Цикл Шумпетера	Волны знания
Обновление основных капитальных благ, связанное с оживлением в сфере инноваций	Движущая сила процветания — предпринимательские инвестиции в основной капитал, которые служат воплощению инноваций через созидательное разрушение	Цикл роста знания, включающий в себя рост ВВП на душу населения, численности населения и объема знаний мира, приводит к превышению порогового значения объема знаний, что порождает инновационный импульс, активирующий технологическую революцию

Следует отметить, что система факторов, влияющих на осуществление технологических революций, в рамках экономической динамики, достаточно сложна, и кроме роста знания есть еще ряд факторов, влияющих на их реализацию. Видение авторами ее системной схемы²⁶² приведено на рис. 3.11.

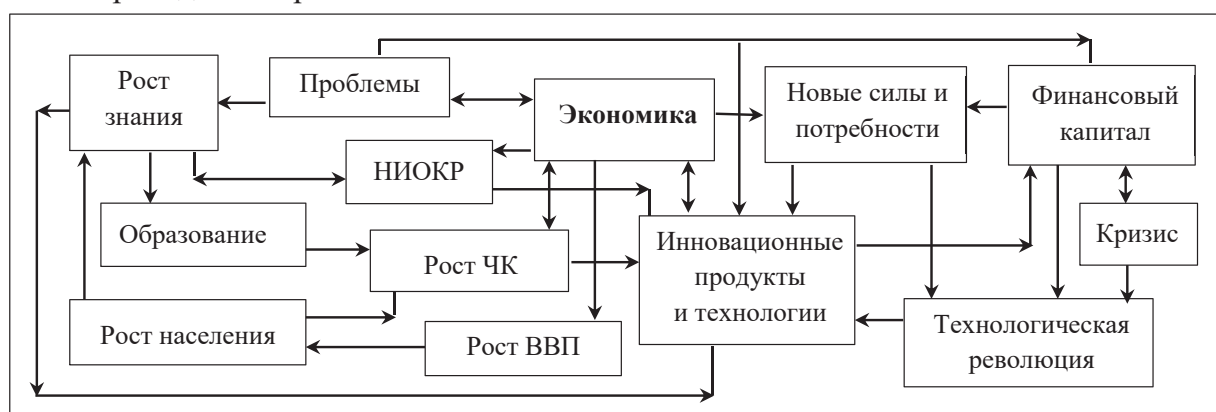


Рис. 3.11. Система факторов, ведущих к технологической революции

²⁶² Блинникова А.В., Орехов В.Д., Андриющенко Г.И. Исследование генезиса, направлений реализации и дат технологических революций во взаимосвязи с развитием человеческого капитала. Московский экономический журнал. 2022. № 2. — С. 500–531.

Ясно, что на наступление технологической революции влияет не только непосредственно рост объема знаний, хотя, как мы видели выше, этот фактор является доминирующим. Но также влияет и то, какие проблемы существуют в обществе, какие возникают потребности по мере экономического роста и какие общественные силы способствуют наступлению революции. Важную роль играет поведение финансового капитала и возникающий финансовый кризис.

Далее необходимо более полно исследовать влияние различных факторов на реализацию очередной технологической революции, в частности ее направленность.

Выводы по § 3

1. Проведены исследования основных закономерностей следования технологических революций и обоснована количественная модель основных факторов, характеризующих их протекание.
2. Показано, что датировка технологических революций связана с ростом человеческого капитала посредством роста явного знания и примерно до 1980 года выражается геометрической прогрессией $T_n = 2027 - 2190 \cdot 2^{-n/2}$, причем явно выражено парное следование революций, близких по содержанию.
3. Пары технологических эпох имеют единые показатели технологического развития, которые растут экспоненциально в течение этих эпох, в частности: мощность паровых машин с 1760 по 1890 год, мировое производство электроэнергии с 1890 по 1970 год и производительность суперкомпьютеров с 1970 по 2020 год. Разные пары революций существенно отличаются по своей парадигме, и динамика показателей их технологического развития с приходом новой пары революции значительно меняется.
4. Средняя производительность труда в мире (ВВП на душу населения — G/N) прямо пропорциональна количеству явных знаний человечества (Z , в млн условных книг) и в межд. долл. 2021 г. выражается формулой $G/N = 670 \cdot Z$.
5. Между технологическими революциями численность человечества увеличивалась примерно в 1,4 раза, а объем знаний — в 1,5 раза.
6. Очередная технологическая революция, согласно прогнозу, состоится в 2029 году, а следующая ориентировочно в 2062 году.
7. Третья от настоящего времени технологическая революция, предположительно, будет по своему содержанию знаниевой, и численности человечества может не хватить для ее реализации.
8. Для преодоления «Барьера знаний» человечество должно предпринять согласованные меры, которые могут включать в себя следующие мероприятия:
 - рост населения Земли по сравнению со средним прогнозом ООН,
 - инклюзивное развитие,
 - активизация системы создания знаний развивающихся стран,
 - разработка ИИ — генератора знаний,
 - медико-биологический метод повышения производительности знаний,

- синергетическое взаимодействие научных команд,
 - новые технологии создания знаний, которые появятся после 2062 года.
9. Сформирована модель циклического развития человечества «волны знания», в которой ключевую роль играет рост знаний, а также модель факторов, ведущих к технологической революции.

§ 4. Прогнозирование направлений научно-технологического развития

Картина публикационной активности в мире к 2010 году, согласно реферативной базе Scopus²⁶³, показывает, что наиболее активно исследования и разработки ведутся в области медицины. Кроме того, достаточно большой блок публикаций посвящен биохимии, генетике, молекулярной биологии, агрокультурам и биологическим наукам. В таблице 4.1 приведено распределение тематики публикаций в журналах, индексируемых Scopus.

Таблица 4.1. Направленность научных исследований в мире, согласно Scopus

Направления исследований	%	Направления исследований	%
Медицина	31	Компьютерные науки	4
Биохимия, генетика, молекулярная биология	11	Экология	4
Физика и астрономия	11	Науки о Земле и планетах	3
Агрокультура и бионауки	7	Материаловедение	2
Техника	7	Химическое машиностроение	2
Математика	7	Нейронауки	2
Химия	5	Энергетика	1
Социальные науки	4	Нанотехнологии	

Согласно этой статистике, в медико-биологической области публикуется около 44% всех научных работ. В компьютерной сфере доля публикаций в 11 раз меньше. Этот факт является одним из важных аргументов против прогнозов киберфизической технологической революции. В связи с этим необходимо изучить направленность научных исследований более детально.

4.1. Прогнозирование тематики технологической революции с использованием анализа базы научных журналов SCImago JR²⁶⁴

Мир находится на пороге новой технологической революции²⁶⁵, но по вопросу ее содержания идут активные дискуссии. Так, согласно прогнозу RAND Corporation «Глобаль-

²⁶³ Mosher D. Genealogy of Science According to Scopus, Wired Magazine, 2011.

²⁶⁴ Основные результаты опубликованы в работе: Prichina O.S., Orekhov V.D., Egorova E.N, Kukharensko O.G, Blinnikova A.V. Developing and Testing the Forecasting Algorithm for the Technological Revolution Theme through the Analysis of the SCImago JR Scientific Journal Database” J. of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12. P. 712–724. Special Issue.

²⁶⁵ Schwab K. The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York, 2016, 192 p. (Рус. пер.: Шваб К. Четвертая промышленная революция. — «Эксмо», 2017).

ная технологическая революция 2020»²⁶⁶, опубликованному в 2006 году, ожидаемая революция будет междисциплинарной, и ее опорой станут биологические, информационные и нанотехнологии. В качестве основных трендов ими было выбрано шестнадцать наиболее практически и коммерчески полезных технологий, способных вызвать значительные социально-экономические последствия. Из них пять относятся к биомедицинским, шесть — к информационным и пять — к экологии, энергетике и жилищному строительству. Сейчас, в 2024 году, создается впечатление, что по этим направлениям произошло мало что революционное, если не считать глобальной революцией внедрение генномодифицированных организмов и широкое распространение мобильной связи.

Особенностью современной эпохи является то, что человеческий капитал составляет до 80% национального богатства развитых и крупнейших развивающихся стран мира²⁶⁷. Поэтому для успешной реализации очередной технологической революции ключевое значение имеет опережающая подготовка специалистов новых специальностей. Спрос на работников, не прошедших кардинальную переподготовку, резко снизится, и вопрос их занятости станет острым. Для организаций высшего образования возникает необходимость внимательно следить за перспективами изменения потребностей рынка труда.

Однако для того чтобы определить эти перспективы, необходимо иметь адекватные инструменты прогнозирования. RAND Corporation является одним из лидеров в разработке и использовании технологий прогнозирования, но и она, как представляется, не смогла дать удовлетворительный прогноз очередной технологической революции.

Возможно, это является следствием использования RAND Corporation метода «Форсайт», который ориентирован на выявление нескольких перспективных технологических направлений долговременного развития и создание условий для их реализации^{268, 269}.

В связи с этим возникает задача подготовки методики (алгоритма), соответствующей задаче прогнозирования технологической революции. Разнообразные методики и технологии прогнозирования достаточно детально разработаны. Принципиально вряд ли требуется разрабатывать новые методики, поскольку их создано более чем достаточно²⁷⁰. Но необходимо выбрать технологию или комплекс методик, алгоритмов, адекватных ситуации прогнозирования технологической революции, доработать ее в соответствии с решаемой задачей, адаптировать к структуре (модели) выбранных баз данных и провести опробование

²⁶⁶ Silbergliitt R., Anton P. S., et al. Global Technology Revolution-2020, In-Depth Analyses. (2006). RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR303.html

²⁶⁷ Корицкий А. В. Влияние человеческого капитала на экономический рост: учеб. пособие / А. В. Корицкий; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. — 244 с.

²⁶⁸ Becker P. Corporate Foresight in Europe: A First Overview. Luxembourg, 2003.

²⁶⁹ Ладыкова Т.И., Васильева И.А., Завиша Е.Н. Форсайт-технологии в прогнозировании инновационного развития региона. Управление экономическими системами. 2015, № 4.

²⁷⁰ Турчин А. В. Футурология: бессмертие или глобальная катастрофа? // А.В. Турчин, М.А. Батин. — М.: Бином. Лаборатория знаний. 2013. — 263 с.

применительно к реальной ситуации. Следующим после этапа цифрового прогнозирования является этап анализа полученных результатов и сопоставления их с имеющимися данными в изучаемой научной области.

Технологическая революция является единым синергетическим процессом реализации накопленного человечеством задела знаний, технологий и актуализированных потребностей, реализующихся через преодоление кризиса предыдущей технологической эпохи²⁷¹. Выявление дискретных технологических трендов, на что нацелен «Форсайт», вряд ли приведет к пониманию единого видения революции, если такая задача не внедрена изначально в методику осуществления проекта. Ориентация на выявление трендов, которые могут быть реализованы в формате устойчивого развития в определенных временных и ресурсных рамках, нормативный характер результатов «Форсайта» также не лучшим образом соответствуют цели поиска потенциальной революции.

Целью данного раздела является актуализация алгоритма прогнозирования направленности очередной технологической революции и создания основы для прогноза спроса на специалистов новых профессий.

Концептуальной основой служит видение того, что технологическая революция является процессом, происходящим, прежде всего, в сфере создания знания, а не коммерциализации инноваций²⁷². Только на втором этапе революции более важным становится процесс внедрения инноваций.

С другой стороны, опыт реализации предыдущих технологических революций показывает, что новое пробивает себе дорогу через отрицание предшествующего, а не как его непосредственное продолжение. По мнению С.Б. Переслегина, «...главным содержанием текущей исторической эпохи является кризис промышленной цивилизации. Этот кризис носит системный характер и неизбежно приведет к размонтированию современной индустриальной цивилизации»²⁷³.

Однако в кризисе можно и законсервироваться, и невнятное мировое развитие после кризиса 2008 года — это симптом того, что противоречия между Индустрией-3 и нарождающейся технологией не находят разрешения. Именно это придает особую актуальность данному исследованию.

Обзор методов и технологий прогнозирования

С целью подготовки методики исследования проведем анализ существующих методов прогнозирования. Их предтечей были различные виды фантастических произведений и утопий²⁷⁴. Нередко именно выдвинутые фантастические идеи задают первоначальный спектр реперных ситуаций и направлений прогнозирования, который затем просматри-

²⁷¹ Переслегин С.Б. Новые карты будущего, или Анти-Рэнд. — М.: АСТ; СПб.: Terra Fantastica, 2009. 702 с. <https://windjview.sourceforge.io/ru>

²⁷² Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания. Моногр. Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. 210 с.

²⁷³ Переслегин С.Б. Новые карты будущего, или Анти-Рэнд. — М.: АСТ; СПб.: Terra Fantastica, 2009.

²⁷⁴ Бестужев-Лада И. В., Наместников Г.А. Социальное прогнозирование. Курс лекций. М.: Педагогическое общество России, 2002.

вается более детально. На современном уровне данный подход реализуется с помощью мозгового штурма или других методов поиска и отбора неординарных решений^{275, 276, 277, 278}.

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ)²⁷⁹ дает широкий спектр алгоритмов нахождения нетривиальных решений. Одна из базовых рекомендаций предлагает найти «вектор инерции мышления» и рассмотреть альтернативные варианты. При прогнозировании технологических революций важно разглядеть реальный росток промышленного сдвига, созревший до готовности радикально изменить мировое развитие на фоне разноречивых прогнозов и предсказаний в высшей мере заинтересованных субъектов, представляющих уходящую эпоху. Поэтому важно строить прогнозы на серьезной информационной основе.

Другим источником методов прогнозирования являются математические методы экстраполяции, которые особенно плодотворны, если речь идет о выявлении долговременных закономерностей и факторов порядка величины (численность населения, рост ВВП, концентрация CO₂). Для эффективной работы таких методов необходимо иметь мощные и долговременные базы данных²⁸⁰.

Однако использование количественных методов имеет ограниченную сферу применения, поэтому специалисты в области прогнозирования стали все больше применять качественные методы, основанные на опросе квалифицированных экспертов, согласовании и обработке результатов их мнений²⁸¹. Важную роль в обеспечении перехода к новой методологической парадигме прогнозирования сыграл подготовленный корпорацией «РЭНД» в 1964 г. и получивший затем широкую мировую известность «Доклад об изучении долгосрочного прогнозирования»²⁸².

Первой методикой, доведенной корпорацией «РЭНД» до уровня технологии²⁸³, стал метод «Дельфи», основанный на итерационном согласовании мнений большого числа экспертов. Однако этот метод также не может значительно выйти за пределы представлений существующего видения ситуации. Дельфийские оракулы, которые предсказывали, впадая в транс, были более разнообразны в своих видениях.

²⁷⁵ Gordon, W.J.J. *Sinectics: The Development of Creative Capacity*. New York, 1961.

²⁷⁶ Де Боно Э. *Шесть шляп мышления*. СПб., 1997.

²⁷⁷ Zwicky, F. *Discovery Invention, Research Through the Morphological Approach*, McMillan, 1969.

²⁷⁸ Щедровицкий Г.П. Организационно-деятельностная игра как новая форма организации коллективной мыследеятельности // *Методы исследования, диагностики и развития международных трудовых коллективов*. М., 1983.

²⁷⁹ Альтшуллер Г.С., Шапиро Р.Б. О психологии изобретательского творчества//*Вопросы психологии*. 1956, № 6. С. 37–49.

²⁸⁰ Турчин А.В., Батин М.А. *Футурология. XXI век: бессмертие или глобальная катастрофа?* М. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 263 с.

²⁸¹ Дагаев А.А. Эволюция и перспективы совершенствования методологии долгосрочного экономического прогнозирования // *Российское предпринимательство*. 2006. Т. 7, № 4. С. 81–85. https://creativeconomy.ru/lib/1633#_ftnref7

²⁸² Gordon T.J., Helmer O. *Report on Long-Range Forecasting Study*. The RAND Corporation, Santa Monica, Calif., Sept., 1964.

²⁸³ Переслегин С.Б. *Новые карты будущего, или Анти-Рэнд*. — М.: АСТ; СПб.: Terra Fantastica, 2009.

Другой технологией прогнозирования, разработанной корпорацией «РЭНД», является «Форсайт». Отличие этого подхода от большинства методов прогнозирования заключается в том, что он ориентирован на реализацию конкретных проектов, начиная с момента исследования. Фактически это метод изменения будущего, причем для его проведения создается команда экспертов из различных слоев общества, способных активно влиять на реализацию данного проекта²⁸⁴. При этом для реализации принимаются проекты, позволяющие надеяться на наибольшую вероятность воплощения и получения значительных выгод. В целом «Форсайт» находится на стыке методов прогнозирования и планирования.

Среди современных методов прогнозирования следует отметить метод когнитивного моделирования²⁸⁵, предложенный R. Axelrod, который сочетает в себе качественные и количественные подходы. Цифровая модель изучаемой сложной системы при этом формируется на основе мнений экспертов о ее структуре и силе парных взаимосвязей концептов в виде нечеткой когнитивной карты (FCM — Fuzzy Cognitive Maps)²⁸⁶. Далее производится обработка FCM с помощью электронной системы принятия решений и определяется ее поведение под воздействием различных управляющих факторов^{287, 288}. За счет этого удается выяснить поведение сложной, слабо структурированной системы с тысячами взаимосвязей, осознать взаимодействие которых сознание человека и даже группы экспертов не в состоянии.

Важным современным алгоритмом прогнозирования является сценарный подход, разработанный Германом Каном²⁸⁹, в соответствии с которым выявляется спектр прогнозных ситуаций, позволяющий повысить альтернативность прогноза и выявить возможные риски и смены трендов²⁹⁰.

Одной из основных проблем прогнозов является возможность возникновения «пузыря» завышенных ожиданий — цикл хайпа (hype)²⁹¹, разработанный компанией Gartner. Согласно этой концепции, жизненный цикл любой технологии имеет пять этапов: запуск инновации, пик ожиданий, спад, переосмысление, ниша востребованности (терминология наша). Пузырь ожиданий может привести к росту инвестиций в технологическое направление, а затем к разочарованию от неоправданных коммерческих и социальных результатов.

²⁸⁴ Турчин А.В., Батин М.А. Футурология. XXI век: бессмертие или глобальная катастрофа? М. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 263 с.

²⁸⁵ Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton // NJ: Princeton University Press, 1976. 404 p.

²⁸⁶ Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies, 1986. Vol. 1. P. 65–75.

²⁸⁷ Кулинич А.А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления. 2010, № 3.

²⁸⁸ Подвесовский А.Г., Лагерев Д.Г., Коростелев Д.А. СППР «ИГЛА». (Свидетельство отраслевого фонда алгоритмов и программ Росстата № 50200701348). 2007. URL: <http://ipo.tu-bryansk.ru/quill/developers.html> Дата обращения 2018.

²⁸⁹ Kahn H. The Next Two Hundred Years: A Scenario for America and the World. 1976.

²⁹⁰ Cornish E. Futuring: The Exploration of the Future. 2005.

²⁹¹ Gartner Hype Cycle (2019). URL: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>

Эту концепцию можно отнести и к технологическим революциям. Все прошедшие революции пережили пик восхищения и затем нашли свою нишу востребованности. Нельзя неоправданно продлять восхищение — это может привести к увеличению периода спада. Ранее в конкурентной межгосударственной среде это происходило достаточно ограниченно, поскольку застывшие в развитии государства теряли лидирующую позицию. Сейчас, с появлением мощных маркетинговых институтов, глобального управления на уровне государств и суперкорпораций, это стало вполне реальным фактором влияния на ход реализации технологических революций, включая переход в стадию долговременной консервации экономического развития.

Вполне возможно, что именно это происходит с кибернетической (информационной) технологической революцией, которой пытаются неоправданно продлить стадию восхищения.

Отметим еще одну опасность, связанную с прогнозированием технологических революций. Это так называемые ловушки сознания, которые возникли в процессе эволюции мозга человека и связаны с особенностями его устройства и физиологией речевой коммуникации людей. Наиболее известными из них являются стереотипы и доминанты. Среди ловушек, проявляющихся при принятии стратегических решений, С. Roxburgh отмечает следующие²⁹²: излишняя самоуверенность, двойной счет, сохранение Status Quo, фиксация на известном, стадный инстинкт, мнимый консенсус и другие.

Методика исследования

Основные параметры проекта

Первым этапом исследования по прогнозированию технологической революции является определение основных параметров проекта²⁹³, которые представлены ниже.

1. Цель исследования, которая указана выше, — актуализация алгоритма прогнозирования направленности очередной технологической революции и создания основы для прогноза спроса на специалистов новых профессий.
2. Заинтересованной стороной проекта является мировое бизнес-сообщество, и в первую очередь Россия.
3. Объект прогноза — научно-техническая деятельность в условиях развитой информационно-кибернетической эпохи.
4. Предмет прогноза — направление развития в результате следующей научно-технической революции.
5. Охват прогноза — глобальный.
6. Проблемная ситуация — наличие условий для технологической революции, которые в течение более десятилетия не ведут к определению направления революции (разнообразные трактовки направления революции) и активизации развития мировой экономики.

²⁹² Roxburgh С. Adjusted for the brain. The McKinsey Quarterly. 2003, № 2.

²⁹³ Бестужев-Лада И. В., Наместников Г. А. Социальное прогнозирование. Курс лекций. М.: Педагогическое общество России, 2002.

7. Стоимость ошибки в определении революции для мировой экономики составляет десятки триллионов долларов, а для России на порядок меньше, плюс потери в области конкурентоспособности страны.
8. Период прогнозирования (проспекция) — среднесрочный (10 – 20 лет), поскольку за такой период технологическая революция должна произойти и быть идентифицирована. Среднесрочный горизонт дает возможность использовать количественные методы прогнозирования.
9. Ориентация проекта — на поисковое прогнозирование.
10. Тип прогноза — количественный (возможны варианты качественно-количественного прогнозирования).
11. База данных для прогноза — библиометрическая база SCImago Journal & Country Rank.
12. Ретроспекция — 19 лет (с 1999 по 2018 год), соответствует по продолжительности проспекции.
13. Уровень новизны — уточняющий. Предварительная модель и прогноз опубликованы авторами в монографии²⁹⁴ В.Д. Орехова.
14. Исходные гипотезы, обоснованные в книге²⁹⁵ положения:
 - технологические революции происходят в результате накопления научно-технологических знаний примерно в 1,4 раза выше уровня, характерного для предыдущей революции;
 - революции следуют парами, близкими по направленности (в формате длинных волн Кондратьева), первая из которых задает инновационный вектор, а вторая преобразует полученное технологическое развитие в рост экономики;
 - информационно-кибернетическая революция уже прошла два пика, первый из которых связан с созданием микрочипов и суперкомпьютеров после 1960 года, а второй произошел около 1990 года и привел к овладению большей части населения Земли личными компьютерами, каналом Интернет, средствами мобильной связи и т.д.;
 - большинство технологических революций в прошлом имели относительно узкую конкретную направленность. Поэтому выдвижение на роль новых претендентов нескольких направлений нежелательно.
15. Претенденты на роль потенциального лидера технологической революции: энергетика, киберфизическая сфера, медицина, биотехнологии, NBIC (нано, био, инфо, когно), экология.
16. Алгоритм определения лидирующих направлений потенциальной технологической революции заключается в следующем. Математический анализ библиометрической базы SCImago JR позволяет определить количество журналов различной научной направленности, а следовательно — рост знаний по различным направлениям. Кроме того, следует принимать во внимание позицию, которую занимают журналы

²⁹⁴ Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания. Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.

²⁹⁵ Там же.

в рейтинге SCImago JR и с учетом индекса Хирша, то есть уровень значимости журналов для научного сообщества. Также следует учитывать динамику числа журналов во времени.

17. Модель исследуемого объекта. Научно-техническая деятельность представлена в базе научных журналов SCImago JR. Она включает в себя такие показатели, как «предметные области» (subject areas) и «тематические категории» (subject categories), а также детальную информацию о категориях научных статей, принимаемых в каждый журнал, названия журналов и другие характеристики²⁹⁶. Многие журналы отнесены к нескольким категориям, в которых они имеют признанный квартиль, причем это могут быть категории из различных предметных областей. Например, третий в рейтинге журнал Nature Reviews Materials отнесен к пяти категориям с квартилем Q1: Biomaterials; Electronic, Optical and Magnetic Materials; Energy (miscellaneous); Materials Chemistry; Surfaces, Coatings and Films. В результате суммарное число журналов в SCImago JR в 2018 году составляет 31 971, число журналов, отнесенных к 27 предметным областям, — 52 825, а число изданий в 309 категориях — 73 996. Таким образом, отнесение издания к конкретной предметной области или тематической категории не является однозначным.

Отметим также, что в составе предметных областей не выделены такие важные науки, как нанотехнология и образование, хотя в категориях их одна и четыре соответственно, а по числу журналов: 88 и 1323 (~1,8%). Компьютерные науки по предметным областям составляют 10,5%, а исходя из отнесения к тематическим категориям — 16,6%. Таким образом, отнесение журналов к различным областям и категориям, скорее всего, будет не однозначным и с погрешностью идентификации. Поэтому необходимо проводить идентификацию с использованием различных показателей базы.

В целях определения потенциальных направлений технологических революций целесообразно уменьшить разнообразие числа предметных областей. Представленные в SCImago JR области знаний, с точки зрения исследуемой задачи, можно сократить с 27 до 15²⁹⁷, в частности, сгруппировав медицинские дисциплины: медицина, фармакология, токсикология, фармацевтика, иммунология, микробиология, лечение зубов, медицинские профессии, сестринское дело. Также уместно сгруппировать следующие области: экономика, эконометрия, финансы, бизнес, менеджмент, маркетинг, бухгалтерия, стратегическое управление, инновационный менеджмент и принятие решений. Агрономию и бионауки можно объединить с ветеринарией, зоологией и продуктами питания; химию — с химическим машиностроением и т.д. Кроме того, желательно добавить такие области, как нанотехнологии и образование, а также дифференцировать область «Социальные науки».

Алгоритм анализа полной базы данных

Поскольку деление совокупности журналов на области и категории неоднозначно и не учитывает «вес» журналов, то будет проведен анализ полной базы данных. Номер журнала — J в базе SCImago JR соответствует его рейтинговому значению, которое имеет определенное

²⁹⁶ SCImago Journal & Country Rank. Scimago Institutions Rankings. URL: <https://www.scimagojr.com/>

²⁹⁷ Mosher D. Genealogy of Science According to Scopus, Wired Magazine, 2011.

числовое значение. Ввиду того что суммарное число журналов велико — в 2018 году их число составило $\Sigma J = 31\,971$, анализ тематики журналов проводился блоками (выборками) по 300 журналов. В работе использовалось девять основных выборок, отличающихся в 1,5–2 раза и начинающихся с номеров: 0, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 15000, 20000, 30000. Кроме того, отдельно рассматривались выборки с меньшим числом журналов: 0–50 и 0–100 первых изданий. В составе каждой выборки определялась средняя арифметическая доля (частота) журналов различной тематики.

Характеристики каждой выборки с номером I были расширены до середины промежутка до соседней выборки слева и справа. Затем были определены число NI и доля журналов DI , попадающих в данную зону влияния. Характеристики выборок и зон влияния для журналов 2018 года приведены в табл. 3.1.

Левые три точки (рис. 5.1) представляют собой выборки из одного и того же блока в 300 журналов ($I = 1-3$), поэтому угол наклона прямой в этой области резко меняется. В остальной части базы журналов средний для выборки индекс Хирша связан линейной зависимостью со средним значением номеров выборок.

Таблица 4.2. Характеристики выборок и их зон влияния, 2018 г.

Номер выборки — I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер первого журнала выборки, тыс.	0	0	0	0,5	1	2	5	10	15	20	30
Среднее значение номера журнала выборки, тыс.	0,025	0,05	0,15	0,65	1,15	2,15	5,15	10,15	15,15	20,15	30,15
Нижняя граница зоны влияния, тыс.	0	0	0	0,4	0,9	1,65	3,65	7,65	12,65	17,65	25,15
Верхняя граница зоны влияния, тыс.	0,05	0,1	0,4	0,90	1,65	3,65	7,65	12,65	17,65	25,15	31,97
Размер зоны влияния — N_I , тыс.	0,05	0,1	0,4	0,5	0,75	2	4	5	5	7,5	6,82
Доля журналов в зоне влияния — D_I , %	0,16	0,31	1,25	1,56	2,35	6,26	12,5	15,6	15,6	23,5	213

Хотя номер журнала J в базе SCImago JR соответствует его рейтинговому значению, однако представляется более удобным использовать в качестве характеристики значимости журналов их индекс Хирша — H , который аналогично индивидуальным индексам Хирша равен числу публикаций с определенным числом ссылок. Взаимосвязь между номером журнала и средним индексом Хирша представлена на рис. 4.1.

Для удобства представления на одном графике и ведущих журналов, и аутсайдеров используется двоичная логарифмическая шкала номеров журналов в нумерации SCImago JR. Хотя у журналов начальных номеров индекс Хирша выше, но их число в выборке меньше, поэтому основная масса научных знаний содержится в журналах, удаленных от начала.

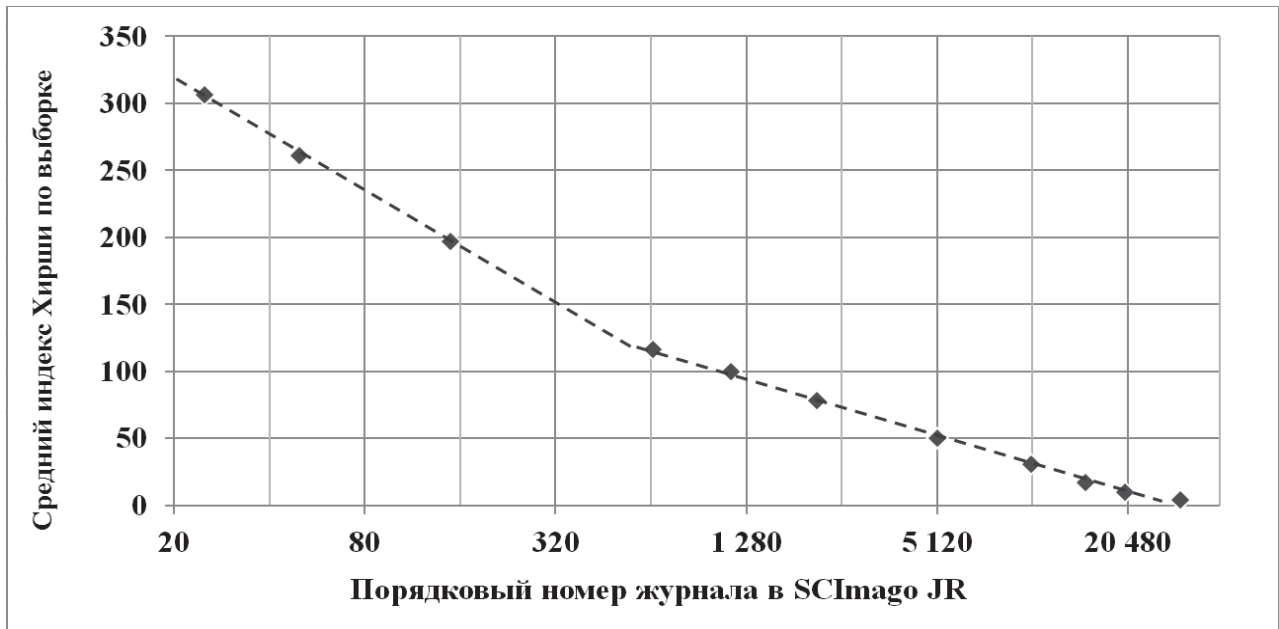


Рис. 4.1. Зависимость между номером журнала и средним индексом Хирша

Величина «веса» различных выборок P_1 с учетом значимости журналов по индексу Хирша H определялась как произведение относительного числа журналов, попавших в зону влияния $D_1 = N_1/N_2$, на средний арифметический индекс Хирша выборки H_1 по формуле:

$$P_1 = H_1 \cdot N_1 / N_2. \quad (4.1)$$

График весов P_1 различных выборок в зависимости от их номера в % приведен на рис. 4.2.

Видно, что при используемой группе выборок основной вклад дают журналы в области влияния выборок от 2000-го до 10 000-го номера — 56%. Далее вес журналов резко падает за счет влияния падения индекса Хирша, и доля вклада номеров свыше 25 000-го составляет 2,8%.

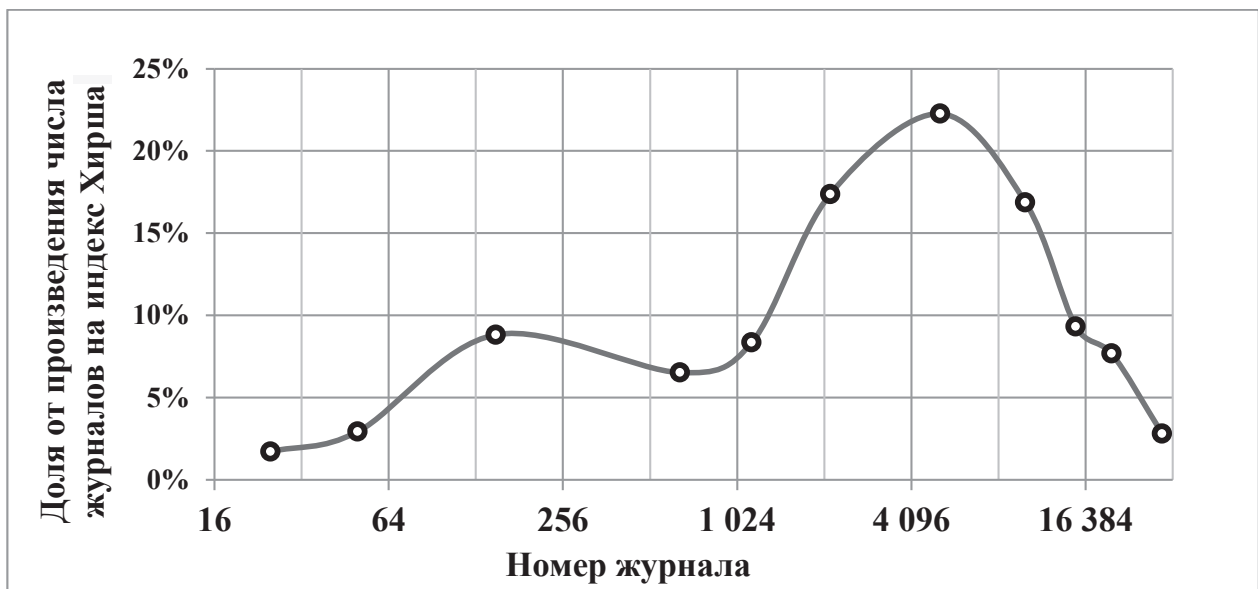


Рис. 4.2. Веса различных выборок в зависимости от номера SCImago JR

Еще одним показателем качества журналов является «квартиль». Соотношение показателя квартилей неоднозначно соотносится с номером журнала в базе SCImago JR. Распределение журналов с различными квартилями в зависимости от номера J в базе SCImago JR дано на рис. 4.3.

Нужно отметить, что до 2000-го номера присутствуют журналы практически только первого квартиля. После 7000-го номера доминируют журналы с квартилем Q2. К 16 000-му номеру больше всего журналов — Q3. После 20 000-го номера доминирует — Q4, значительную долю занимают журналы без квартилей (Q –), но присутствуют и Q2, и Q3. Доминирующую часть журналов занимают квартили Q1 и Q2. На рис. 4.3 для ориентировки указана двойной линией доля журналов в каждой выборке, причем для равномерности распределения добавлена выборка, начинающаяся с номера журнала 25 000.

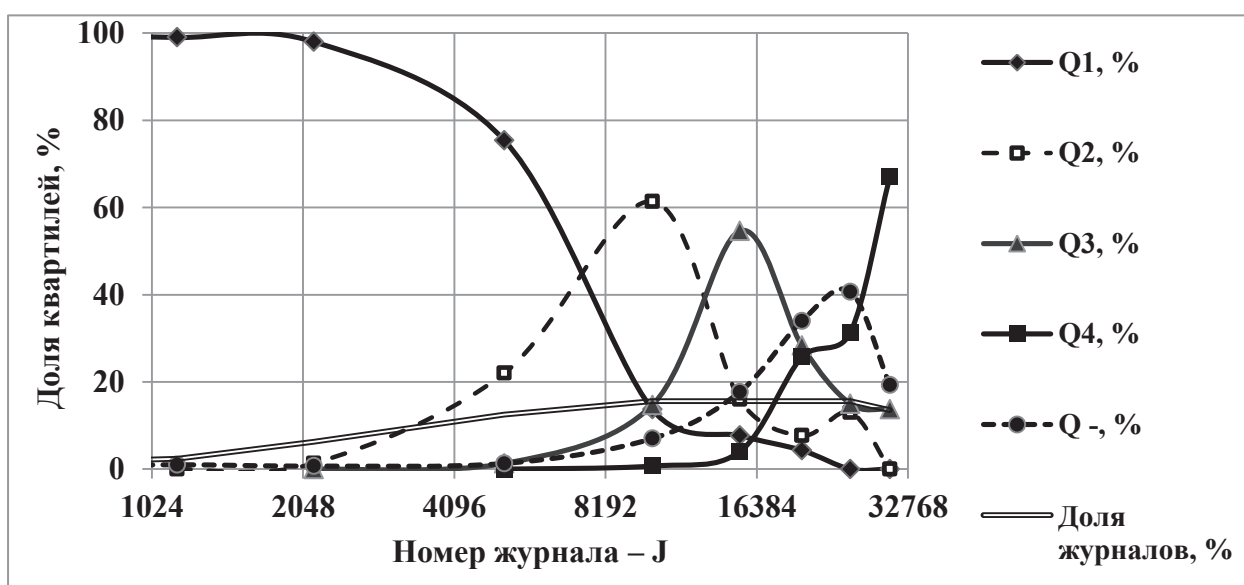


Рис. 4.3. Распределение журналов с различными квартилями

Результаты анализа базы SCImago JR

Количество журналов в базе SCImago JR, изданных в различные годы, приведено на рис. 4.4²⁹⁸. Как видно из него, имеется тенденция к снижению прироста публикаций после 2017 года, что связано со снижением темпов роста человечества.

Распределение журналов за 2018 год

На рис. 4.5 приведено распределение журналов по предметным областям, количество которых сжато с 27 до 15. Видно, что наибольшее число журналов относится к медицине и смежным тематикам — 19,2% в 2018 году. По отношению к 1999 году их доля уменьшилась, но в связи с ростом числа журналов абсолютное количество изданий этой тематики увеличилось примерно на 30%. Вместе с биогенетическими науками, психологией, нейронауками, био-, агро-, зоонауками они занимают в 2018 году 31,2%.

²⁹⁸Причина О. С., Орехов В. Д., Блиникова А. В. Вызовы развития человеческого капитала России в условиях экономики знаний // Проблемы экономики и юридической практики. 2023. Т. 19. № 4. С. 177–185. EDN: UOAVGM

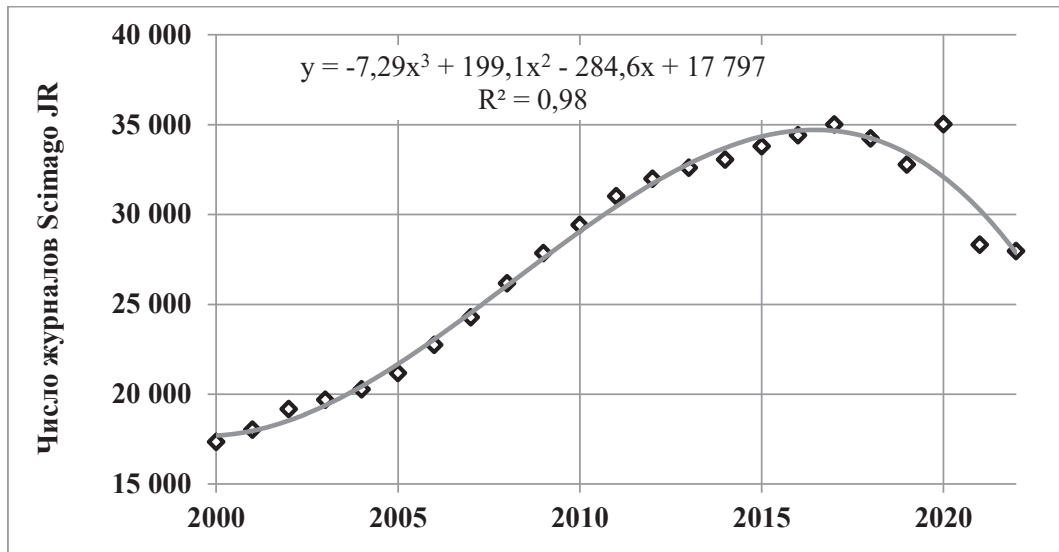


Рис. 4.4. Число журналов SCImago JR, изданных в различные годы

На втором месте находятся социальные науки — 12,6%, а вместе с гуманитарными науками и искусством они занимают 20,2%. С 1999 года их доля значительно возросла.

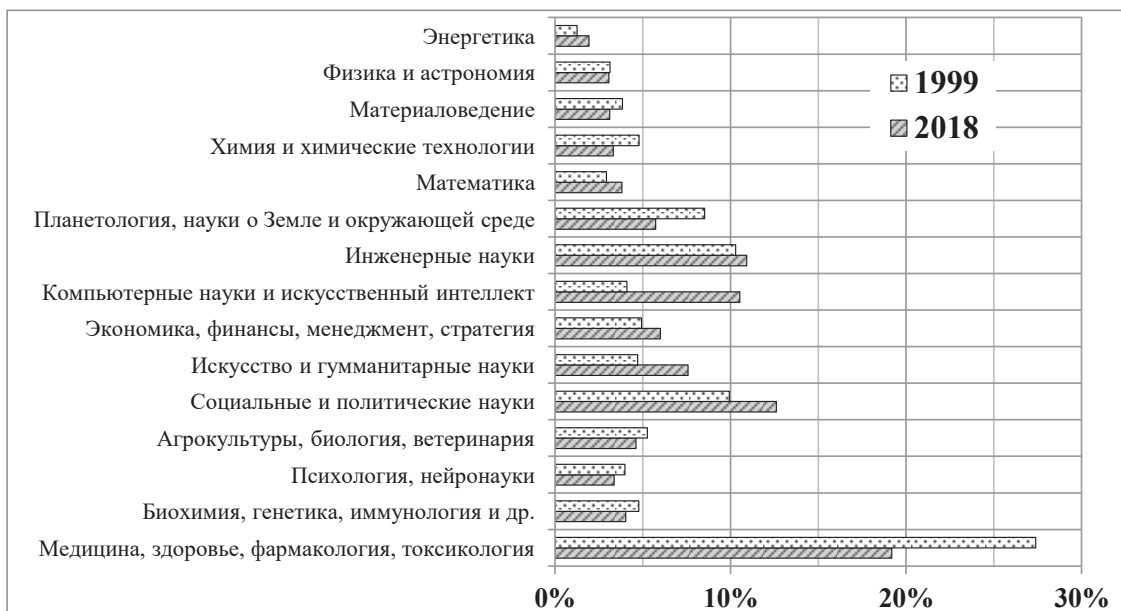


Рис. 4.5. Доля журналов различных предметных областей

Доля экономических наук, включая финансы, менеджмент, маркетинг, стратегию и принятие решений, выросла к 2018 году до 6%.

Компьютерные науки представлены относительно небольшой долей журналов для претендента на технологическое лидерство — 10,5%, но их доля выросла за 19 лет более чем вдвое.

Выросла также доля изданий, связанных с энергетикой, но она составляет всего лишь 1,9%.

Основные точные науки: физика, астрономия, материаловедение, химия и математика — охватывают 13,3% журналов, что несколько меньше, чем в 1999 году.

Остальные области наук, включая технические, энергетику, науки о Земле и планетах, а также экологию, но без компьютерных наук, представляют 18,6% изданий, что также меньше, чем в 1999 году.

Далее мы более детально рассмотрим распределение журналов по их значимости и, соответственно, позиции в рейтинге SCImago JR. На рис. 4.6 показано распределение доли журналов — D_1 в выборках (в %) в зависимости от номера журнала в рейтинге SCImago JR для пяти тематик медико-биологической направленности, которая является наиболее массовой в рассматриваемой базе научных журналов.

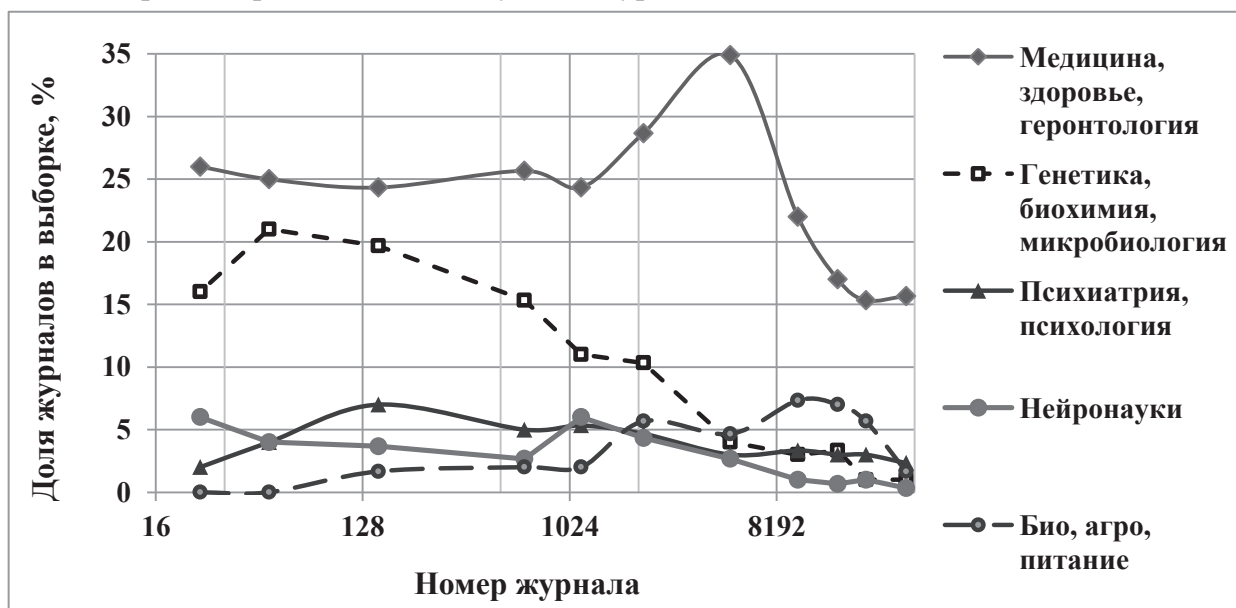


Рис. 4.6. Распределение долей журналов медико-биологической тематики

Видно, что ведущее место занимают медицинские журналы, доля которых в числе первой 1000 журналов составляет 25%, а к 5000-му вырастает до 35%. Затем доля уменьшается, но не менее чем до 15%. Высокая доля этих изданий в первой тысяче означает, что это передовые, инновационные исследования. Пик в области 5000 означает, что и более традиционные медицинские дисциплины активно развиваются и массово публикуются. Довольно высокая доля данной тематики в конце рейтинга свидетельствует о широком практическом применении медицинской науки.

На втором месте группа журналов по биохимии, генетике, микробиологии и смежным дисциплинам, включая медицинские. Максимальная их доля расположена в первой тысяче журналов, соответствуя тому, что это высоко инновационная тематика. Резкое снижение доли этой тематики к концу рейтинга означает относительно низкий уровень практического применения.

Психиатрия имеет достаточно высокий рейтинг — на уровне 5% в первой 1000, и снижается примерно вдвое к концу рейтинга, что отражает средний уровень практического применения знаний данной тематики.

Доля нейронаук составляет порядка 4% в первой 1000, но к концу рейтинга их доля резко падает, что свидетельствует об их малом практическом применении. Нужно отметить, что в данный блок попали журналы о нейронауках, как биолого-медицинской, так и кибер-

нетической направленности, поскольку они сложно различимы. При оценке по доле журналов в предметных областях доля нейронаук составляет 1,1%.

Блок наук биологической (зоология, агрономия, ветеринария и др.) направленности, а также продуктов питания имеет максимум (до 7%) в области журналов с номером свыше 5000, что характерно для наук с высокой прикладной направленностью.

На рис. 4.7 представлено распределение относительной доли журналов — X медико-биологической тематики с учетом их веса P_p , определенной по формуле (4.1). В отличие от рис. 4.6, на котором приведена доля журналов в каждой выборке, здесь представлена отдельно доля журналов разной тематики и выборок в общей выборке в процентах.

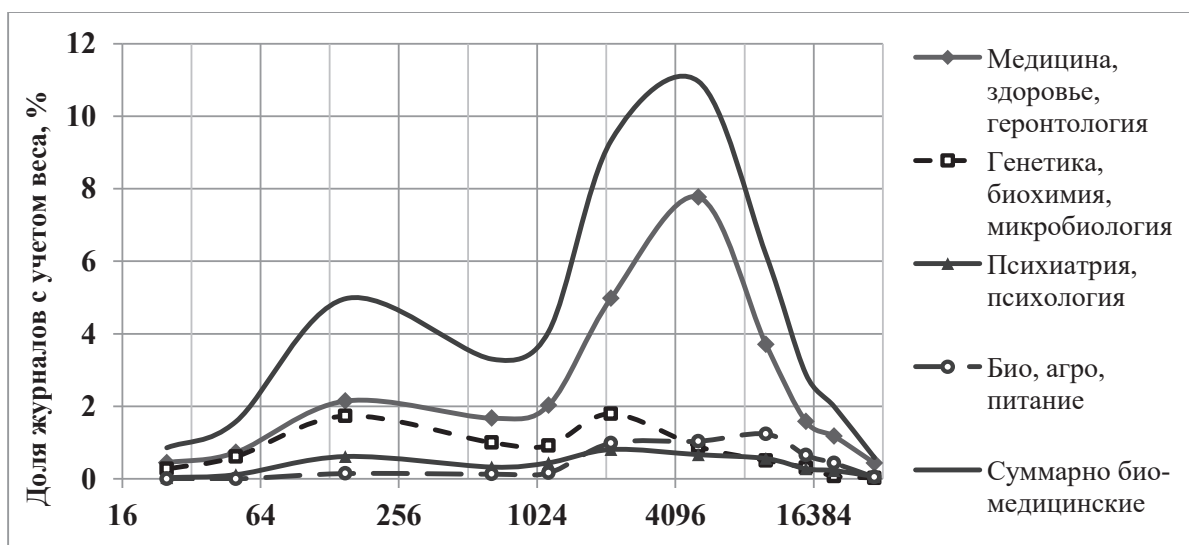


Рис. 4.7. Доля журналов медико-биологической тематики с учетом веса

В результате учета относительного числа журналов, попавших в зону влияния выборок N_i/N_Σ , на рис. 4.7 проявляется доминирование журналов с номерами в диапазоне 1–10 тыс. Видно также, что медицинская тематика значительно превосходит биогенетическую, особенно в составе журналов с большими номерами.

Для определения общего веса тематики в составе всех журналов нужно просуммировать его веса по всем выборкам. В табл. 4.3 дано сравнение доли журналов различной тематики с весом согласно формуле (4.6) и без учета веса выборок, а также их доля в предметных областях (рис. 4.5).

Видно, что учет влияния веса P_i по формуле (4.1) относительно слабо сказывается на средних значениях различных тематик. Однако из сравнения рис. 4.6 и рис. 4.7 видно, что значимость первых номеров журналов при рассмотрении выборок по отдельности значительно преувеличена. Также можно заметить значительное различие в определении доли журналов по предметным областям.

Относительно нейронаук это может происходить по причине отнесения к данной области журналов, публикующих исследования в области кибернетики. Также есть значительное число журналов, связанных с психологией образования и другими сферами деятельности, которые сложно однозначно идентифицировать. Вместе с тем с учетом неоднозначности отнесения журналов к конкретным областям и категориям такая погрешность представля-

ется допустимой. С точки зрения решаемой задачи прогнозирования подобная погрешность также является приемлемой.

Таблица 4.3. Влияние «веса» на долю журналов (%)

	Медицина, здоровье, геронтология	Генетика, биохимия, микробиология	Психиатрия, психология	Нейронауки	Био-, агро-, зоопитание	Суммарно биомедицинские
Средняя доля журналов в выборке (D), %	23,1	7,6	4,1	2,5	4,2	41,5
Доля журналов с учетом веса (X), %	25,5	7,3	4,0	2,7	4,8	44,3
Доля по предметным областям, %	19	4	2,3	1,1	4,6	31,2

Для детализации распределения журналов блока наук, занимающих ведущие места, на рис. 4.8 показано распределение доли журналов в выборках, а на рис. 4.9 — доли журналов с весом. На первом месте в обоих представлениях находятся медицинские науки. На втором месте, в числе журналов с высоким рейтингом, представлена экономическая тематика. Доля публикаций этой тематики уменьшается монотонно, и к 1000-му номеру их частота (на выборку) снижается с 22% до 10%. С учетом веса экономические науки составляют около 1% на выборку.

Экономические науки широко представлены и в первых номерах, и в средней части списка журналов, что свидетельствует о достаточно широком их внедрении в практику.

На третьем месте по частоте представленности находятся компьютерные, кибернетические, информационные науки и журналы по искусственному интеллекту.

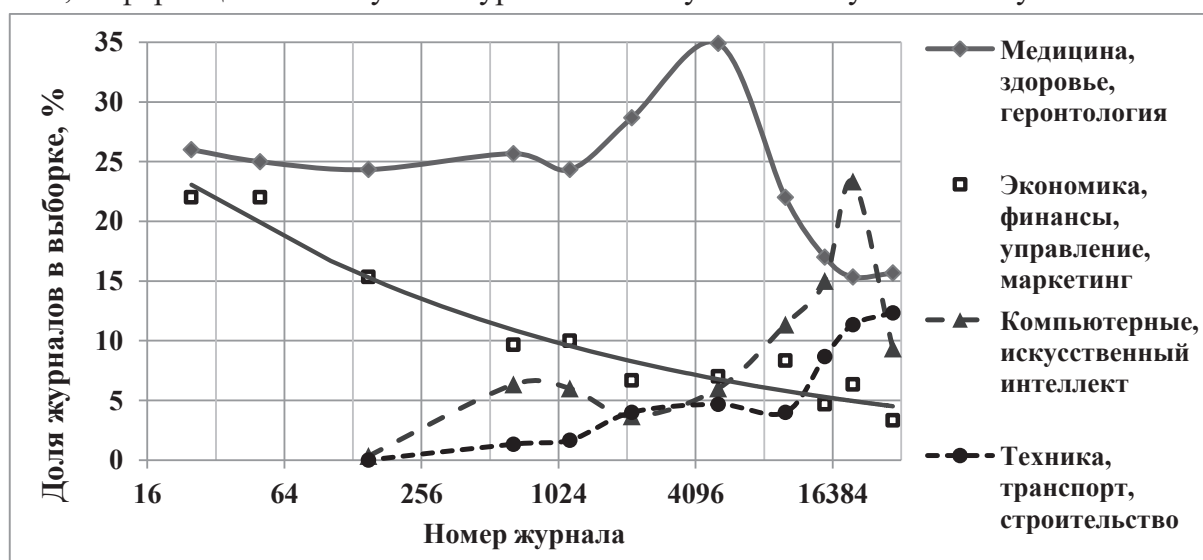


Рис. 4.8. Распределение доли журналов массовых тематик

В составе первых 300 журналов их практически нет; в области 500–5000-х номеров их доля составляет около 6%, а максимум 23% находится в области 20 000-го номера. Такая представленность данного блока наук не свидетельствует о его готовности стать

ведущим в очередной технологической революции, тем более на фоне мощного научно-публикационного потенциала биомедицинских наук.

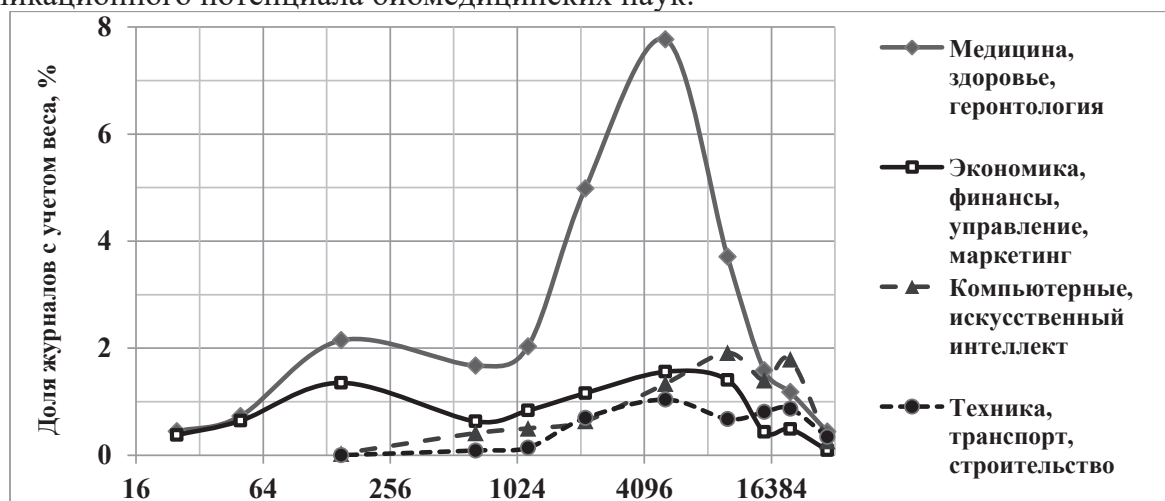


Рис. 4.9. Распределение доли журналов массовых тематик с весом

На четвертом месте находятся технические науки, включая автоматiku, электронику, транспорт, строительство и другие. Максимум находится в конце рейтинга и достигает 12%, что соответствует статусу наук, имеющих широкое практическое применение.

Суммарные доли этих массовых наук как средняя арифметическая, так и с весом приведены в табл. 4.4. Там же обозначены зоны максимума публикаций по этим тематикам с весом и без него. Знаком + обозначены те науки, которые вызывают интерес научного сообщества своей новизной.

Таблица 4.4. Суммарные показатели журналов по передовым наукам

	Биомедицинские, всего	Медицина, здоровье, геронтология	Экономика, финансы и др.	Компьютерные, ИИ	Техника, транспорт, строительство	Физика, астрономия
Средняя доля журналов в выборке, %	41,5	23,1	7,9	9,9	5,3	2,1
Доля журналов с учетом веса, %	44,3	25,5	8,0	8,3	4,7	2,3
Доля по предметным областям, %	31,2	19	6	10,5	10,9	3,1
Зона максимума средней доли, тыс.	0–5	0–2	0–0,3	15–20	15–30	0–0,3
Зона максимума с весом, тыс.	2 — 10	2 — 10	0,3–10	5–20	2–20	0–0,3; 2–10
Уровень новизны	+	+	+	–	–	+

Показатели более широкого спектра наук технической направленности представлены в табл. 4.5. Суммарно они охватывают около 35% всех журналов — почти столько же, сколько биомедицинские (43%).

Таблица 4.5. Суммарные показатели журналов по техническим наукам

Наука	Средняя доля журналов в выборке, %	Доля журналов с учетом веса, %	Доля по предметным областям, %	Зона максимума средней доли, тыс.	Зона максимума с весом, тыс.	Уровень новизны
Физика, астрономия	2,1	2,3	3,1	0–0,3	0–0,3; 2–10	+
Техника	5,3	4,7	10,9	15–30	2–20	–
Компьютерные, ИИ	9,9	8,3	10,5	15–20	5–20	–
Материаловедение	2,6	2,6	3,1	0–0,3, 10–15	5–15	
Химия	2,4	2,5	3,3	0–0,3	1–10	
Нанотехнологии	0,2	0,2		0–0,3	0–0,3	+
Энергетика	1,6	1,4	1,9	0–0,1; 15–20	10–20	–
Математика	3,8	4,3	3,8	0,5–15	2–10	–
Геонауки	4,3	4,2	2,7	1–2,5; 10–30	1–15	–
Экология	2,7	2,9	3,0	0,5–1; 10–15	2–10	–
Мультидисциплинарные	1,0	1,1	0,2	0–0,1; 10–30	2–15	–
Сумма	35,9	34,5	42,5			

Различие оценок по выборкам журналов от оценок по доле предметных областей наиболее сильное в области техники (инженерные науки) и составляет около 5%. Вероятно, это связано с тем, что при оценке журналы науки в области медицинской техники относились к медицине, а не к технике. Это связано со спецификой выявления областей технологических революций. То, что связано с уникальными медицинскими операциями или лекарствами, нацелено на улучшение здоровья людей, а техника является лишь инструментом.

Интересно, что, кроме упомянутых выше лидирующих наук, широко представлены научные журналы по математике и геонаукам — примерно по 4,2%. Также относительно широко представлены экологические науки — 2,8%. Энергетика представлена более узко: ~ 1,5%.

Еще более узко представлены нанотехнологии — 0,2% журналов. Это крайне интересно, ибо еще недавно нанотехнологии презентовались в России как наиболее перспективное направление научно-технического развития^{299, 300}. Например, Всероссийская олимпиада по нанотехнологиям до сих пор проводится под лозунгом «Нанотехнологии — прорыв в будущее!» Хотя журналов непосредственно по нанотехнологиям достаточно мало, но данная тематика встречается также в изданиях о создании новых материалов наряду с методами создания материалов для электроники, фотоники и т.д.

²⁹⁹ Руденский О.В., Рыбак О.П. Инновационная цивилизация XXI века: конвергенция и синергия NBIC-технологий. Тенденции и прогнозы 2015–2030. Информационно-аналитический бюллетень № 3. http://www.vixri.com/wp-content/uploads/2011/08/inf3_2010.pdf.

³⁰⁰ Данилин И.В., Мамедьяров З.А., Кобринская И.Я. Прогнозирование технологических тенденций на основе социально-экономических факторов. Научно-аналитический доклад. М.: НИИ ИМЭМО РАН, 2016. 2016-Dynkin-Rep-RFFI-001.pdf

Науки гуманитарно-социальной направленности представлены на рис. 4.10 и в табл. 4.6. В сумме они занимают около 14% журналов, причем наиболее массовым является блок «социология, политика, международные связи и право».

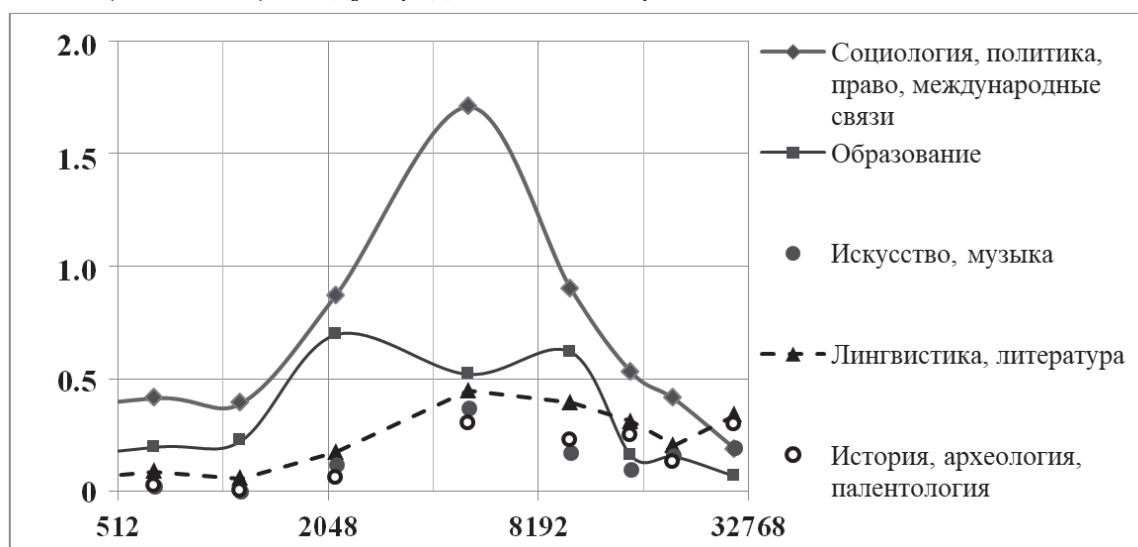


Рис. 4.10. Распределение доли журналов гуманитарной тематики с весом

Согласно идентификации по предметным областям, социальные науки занимают 12,6%, а гуманитарные и искусство — 7,6%. Совместно это составляет 20,2%, что на треть больше, чем при идентификации непосредственно по журналам.

Таблица 4.6. Суммарные показатели журналов по гуманитарным наукам

Наука	Средняя доля журналов в выборке, %	Доля журналов с учетом веса, %	Зона максимума средней доли, тыс.	Зона максимума / с весом, тыс.
Социология, политика, международные связи	4,8	5,0	0,5–15	2–10
Право	0,7	0,7	2–5; 15–20	2–20
Образование	2,5	2,7	0,5–10	2–10
Лингвистика, литература	2,8	2,0	20–30	5–30
История, археология, палеонтология	2,0	1,3	25–30	5–30
Искусство, музыка	1,5	1,1	20–30	4–8
Философия, религия	1,1	0,7	25–30	15–30
Сумма	15,4	13,5		

В целом журналы этого блока занимают места за 5-тысячным номером рейтинга, как правило, 3–4-й квартиль. В первых номерах журналов в большей мере представлены социологический блок, право и образование.

Анализ данных за 1999 год и динамики выпуска журналов

Для лучшего понимания процессов, происходящих с публикационной активностью по различным тематикам, рассмотрим динамику выпуска различных журналов. Самые ранние

данные в базе SCImago JR относятся к 1999 году. Тогда в ней было зарегистрировано 17 212 журналов, то есть почти в 2 раза меньше, чем в 2018 году (31 970). Распределение журналов D в выборках (в %), в зависимости от номера журнала в рейтинге SCImago JR, для медико-биологической тематики приведено на рис. 4.11, а с учетом веса — на рис. 4.12.

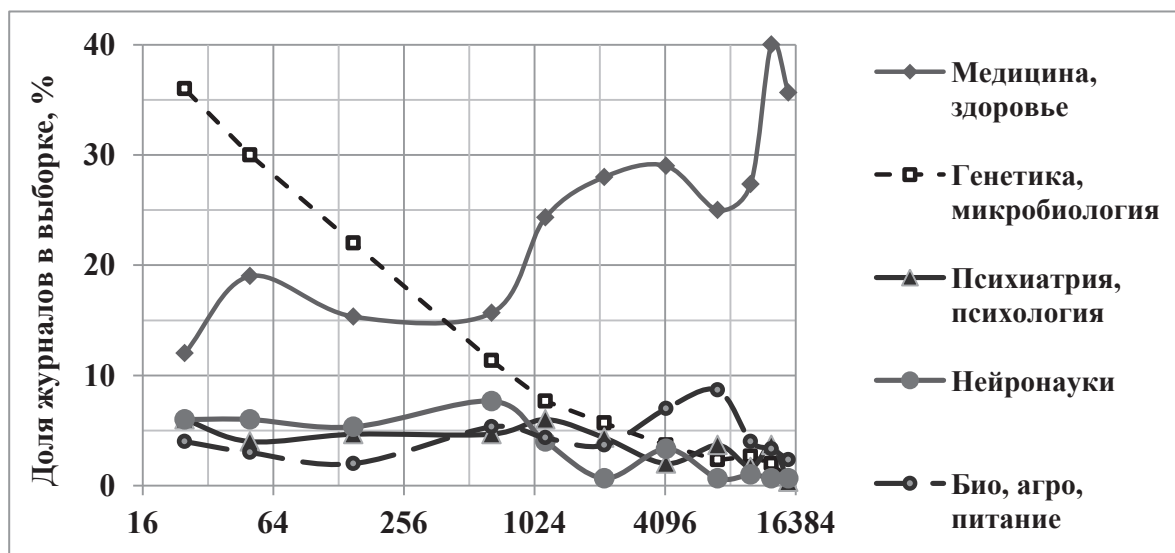


Рис. 4.11. Распределение долей медико-биологических журналов в 1999 г.

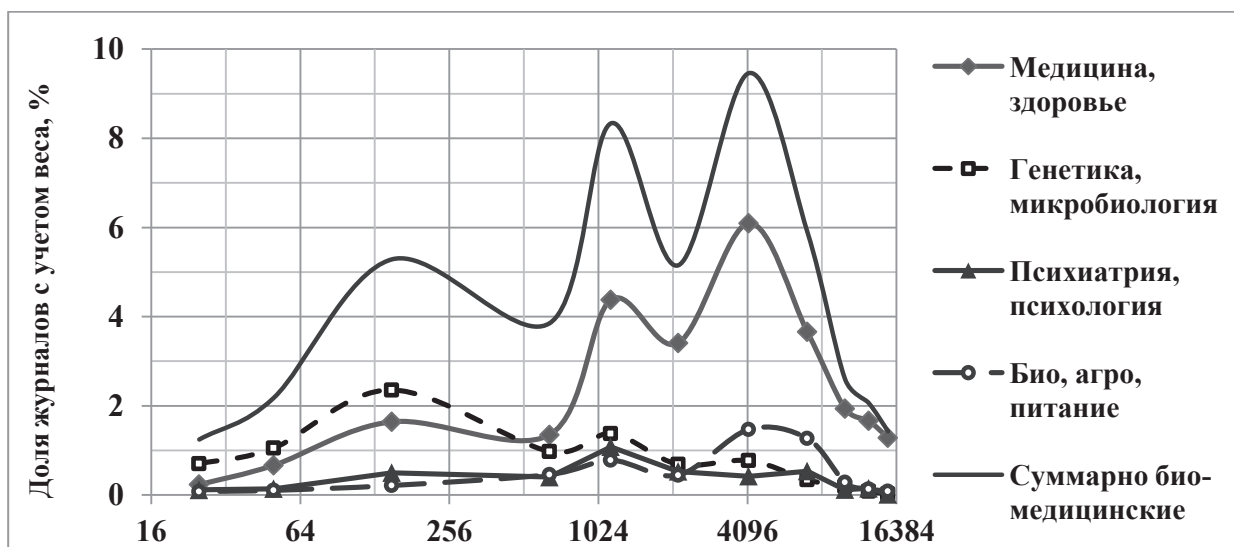


Рис. 4.12. Доля медико-биологических журналов с учетом веса в 1999 г.

Видно, что в целом, по сравнению с 2018 годом, картина изменилась достаточно мало. Однако максимумов медико-биологической тематики в 1999 году три, а не два, как в 2018 г. Максимум в области 1000-го журнала (рис. 4.12) к 2018 году сдвинулся в область больших номеров (рис. 4.5) и слился с максимумом в области 4000-го номера. Также максимум в 2018 году несколько больше. Увеличение числа журналов почти вдвое существенного влияния на публикационную картину «с весом» почти не оказало, поскольку журналы с номером свыше 16 000 имеют малый индекс Хирша. В целом максимумы распределения по номерам журналов (из сравнения рис. 4.6 и рис. 4.11) остались на тех же местах, что и в 2018 г. (в области 300-го и 4000-го номеров). Это достаточно неожиданно — можно было ожидать, что

в 2018 году они сдвинутся в область больших номеров, поскольку совокупность журналов значительно увеличилась.

Для более точного сравнения в табл. 4.7 приведены доли журналов биомедицинской тематики в 1999 и 2018 годах. Видно, что и по отдельным наукам, и суммарно относительно всей совокупности журналов изменения небольшие. Несколько увеличилась доля генетики, биохимии, микробиологии (порядка 8% от 1999 года). Однако число журналов выросло на 86%, поэтому сохранение доли и позиций в числе передовых журналов свидетельствует о значительном росте данного научного направления.

Таблица 4.7. Доля журналов биомедицинской тематики с учетом веса, %

Год	Медицина, здоровье, геронтология	Генетика, биохимия, микробиология	Психиатрия, психология	Нейро-науки	Био-, агро-питание	Суммарно биомедицинские
1999	25,4	6,8	3,7	3,0	5,1	44,1
2018	25,5	7,3	4,0	2,7	4,8	44,3

В табл. 4.8 представлена динамика журналов по техническим наукам и экономике с весом в процентах от общего числа журналов за соответствующие годы. Видно, что их доля в составе соответствующих баз журналов сократилась примерно на 15%, однако с учетом роста числа журналов в 2018 году на 86% число журналов по техническим наукам возросло примерно на 60%.

Наиболее сильно выросла доля журналов компьютерной тематики и ИИ (на 54%). Энергетическая тематика выросла на 100%, но ее доля относительно мала (1,4%).

Нанотехнологии в 1999 году вообще не идентифицировались (в 2018 году их доля составила 0,2%). Все остальные направления технических наук относительно сократились, но с учетом роста числа журналов их публикационная активность выросла. Наиболее быстро сократилась доля журналов следующих тематик: физика и астрономия, экология, материаловедение (более чем на 40%).

Таблица 4.8. Доля журналов по техническим наукам и экономике с весом, %

Научное направление	Доля с весом, %		Рост, %	Области, %		Рост, %
	1999	2018		1999	2018	
Физика, астрономия	4,3	2,3	-47%	3,1	3,1	-1,7%
Техника	5,8	4,7	-19%	10,3	10,9	6,2%
Компьютерные, ИИ	5,4	8,3	54%	4,1	10,5	158%
Материаловедение	4,3	2,6	-40%	3,8	3,1	-19%
Химия	3,7	2,5	-32%	4,8	3,3	-31%
Нанотехнологии	0	0,2				
Энергетика	0,7	1,4	100%	1,3	1,9	54%
Математика, статистика	4,7	4,3	-9%	2,9	3,8	30%
Геонауки	5,8	4,2	-28%	4,4	2,7	-39%

Экология	5,2	2,9	-44%	4,1	3,0	-27%
Мультидисциплинарные	1,3	1,1	-15%	0,2	0,2	0
Сумма технических	40,4	34,5	-15%	38,8	42,4	9,2%
Экономика	6,7	8,0	19%	4,9	6,0	22%

Доля журналов экономической направленности выросла на 19%, а с учетом роста числа журналов произошел двукратный рост публикационной активности (с учетом веса журналов).

В табл. 4.9 приведена доля журналов гуманитарной направленности. Их доля в составе баз журналов увеличилась на 53%, что контрастирует с изменениями в технических науках, причем это в дополнение к 86%-ному росту числа журналов.

Наиболее быстро росли публикации по следующим наукам: искусство, лингвистика и литература, право, образование. Однако следует отметить, что их доля в составе научных журналов невелика, и они занимают места в основном в последней части списка журналов.

Таблица 4.9. Доля журналов по гуманитарным наукам с весом, %

Наука	1999 г.	2018 г.	Изменение (от 1999 г.)
Проценты от числа журналов			
Социология, политика и др.	3,6	5,0	39%
Образование	1,5	2,7	80%
Лингвистика, литература	1,1	2,0	82%
История, археология, палеонтология	1,2	1,3	8%
Искусство, музыка	0,41	1,1	168%
Философия, религия	0,58	0,7	21%
Право	0,38	0,7	84%
Сумма	8,8	13,5	53%

Для сравнения различных блоков наук в табл. 4.10 приведены их доли в составе журналов за 1999 и 2018 годы, а также данные об изменении долей этих блоков. Наиболее быстро росли публикации по следующим наукам: искусство, лингвистика и литература, право, образование. Однако следует отметить, что их доля в составе научных журналов невелика.

Таблица 4.10. Доля журналов различных блоков наук с весом, %

Блок наук	1999 г.	2018 г.	Изменение (от 1999 г.)
Проценты от числа журналов			
Биомедицинские	44,1	44,3	0,5%
Технические	40,4	34,5	-15%
Гуманитарные	8,8	13,5	54%
Экономические	6,7	8,0	19%
Всего журналов, тыс.	17,21	31,97	86%

Из табл. 4.10 видно, что сохраняется доминирование медико-биологических наук и снизилась доля технических наук. Выросли доли экономических и гуманитарных наук, и вместе они теперь составляют 21,5% по сравнению с 15,5% девятнадцать лет назад, что свидетельствует о процессе ориентации науки на гуманизацию.

С учетом направленности биомедицинских наук на человека это свидетельствует об отходе нашей цивилизации от технической доминанты. При этом не следует забывать, что в составе биомедицинских наук техническая компонента также велика.

Перспективы лидерства в технологической революции

Возвращаясь к вопросу о потенциале новых технологических революций, рассмотрим табл. 4.11, в которой даны характеристики основных претендентов на роль технологического лидера.

Таблица 4.11. Потенциальные лидеры технологического прогресса, %

Блок наук	1999 г.	2018 г.	Изменение (от 1999 г.)
Проценты от числа журналов			
Медицина, здоровье, геронтология	25,4	25,5	0,4%
Генетика, биохимия, микробиология	6,8	7,3	7,4%
Компьютерные и ИИ	5,4	8,3	54%
Экономические науки	6,7	8,0	19%
Экология	5,2	2,9	-44%
Энергетика	0,7	1,4	100%
Социология, политика и др.	3,6	5,0	39%
Образование	1,5	2,7	80%

Медико-биологическое направление не проявило роста относительной доли научных журналов, однако их доля и так предельно велика, а также произошел 86%-ный рост числа журналов, в которых это направление занимает лидирующие позиции. Сам по себе фактор массовой и целеустремленной научной работы в этом направлении может привести к прорыву, тем более что ведущее биогенетическое направление активно прогрессирует. Однако биогенетическое направление еще не созрело для лидерства в технологической революции, поскольку имеет ограниченную практическую готовность. В целом медико-биологическое направление — наиболее перспективный кандидат в лидеры новой технологической революции. Это подкрепляется также очевидным спросом людей на улучшение качества и продолжительности жизни и готовностью платить за это.

Компьютерные (кибернетические) науки и искусственный интеллект, хотя и являются быстро развивающимся направлением, однако первая кибернетическая революция произошла примерно в 1960 году, и с тех пор данное направление развивалось эволюционно. За 60 лет экспоненциальной эволюции технические параметры кибернетических систем выросли более чем на 10 порядков (рис. 3.4.), кроме того, резко выросло быстрое действие компьютеров. При этом доля научных журналов по данной науке относительно невелика. Значительного прогресса по данному направлению ожидать сложно.

Возникает вопрос о причинах возникновения идеи киберфизической революции К. Шваба и ее обоснованности. За 60 лет технологического лидерства информационно-кибернетическая отрасль стала одной из наиболее крупных и прибыльных. В анализе производительности труда в девятнадцати отраслях США, проведенном лауреатом Нобелевской премии по экономике Робертом Солоу, было показано, что компьютеризация привела к росту прибыльности только в отрасли ИТ и связанных с ней³⁰¹. Ясно, что отдавать свои позиции эта индустрия не станет и попытается найти новые возможности реализовать приобретенный потенциал.

Второй причиной для развития киберфизического направления стало торможение темпов роста развитых стран на фоне опережающего роста развивающихся экономик в ходе догоняющего развития. На рис. 4.13 представлена динамика ВВП по паритету покупательной способности (ППС) для стран большой семерки G7 и семи развивающихся стран E7 в международных долларах 2021 года³⁰².

Темп роста ВВП наиболее хорошо (с наименьшим коэффициентом детерминации R^2) аппроксимируется квадратичным полиномом. При этом квадратичный член в выражении для ВВП стран G7 отрицательный, то есть темп роста более медленный, чем линейный. Для стран E7 квадратичный член значительный и ВВП растет, ускоряясь по времени. При этом достоверность аппроксимации трендов очень высокая: 0,986 для G7 и 0,996 для E7. Зависимость ВВП для стран E7 хорошо аппроксимируется и экспоненциальной зависимостью.

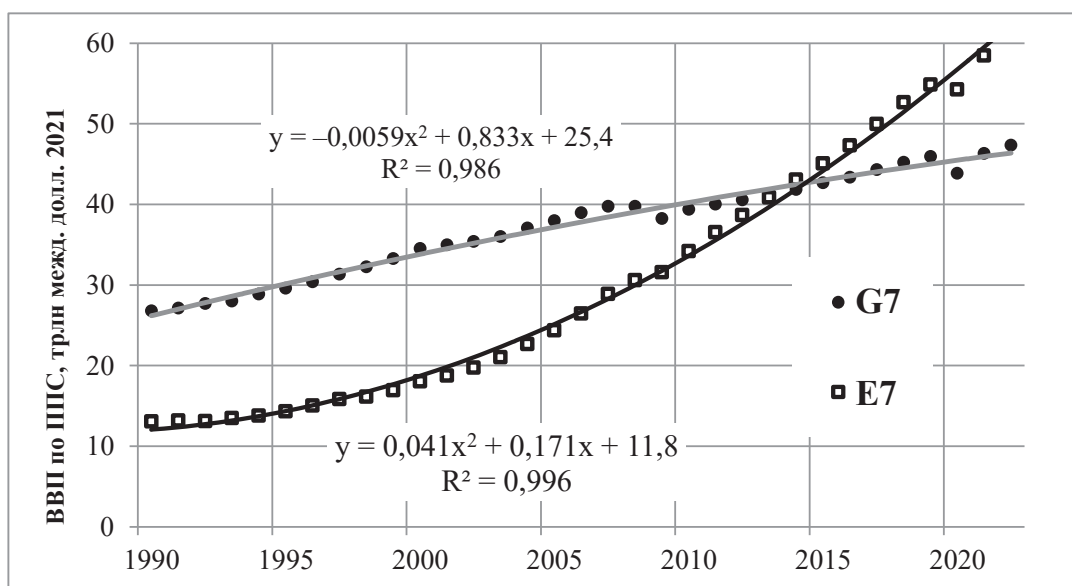


Рис. 4.13. Динамика ВВП по ППС для стран G7 и E7

Отрыв ВВП развивающихся стран от развитых ежегодно возрастает примерно на 1,6 трлн долл. Анализ динамики стран G7 и E7 важен, поскольку величина ВВП по ППС

³⁰¹ Малинецкий Г.Г. Теория информационного взаимодействия С.П. Капицы и программа цифровой экономики России. Сб. докладов междунар. науч. конф. «Человеческий капитал в формате цифровой экономики». М.: РосНОУ, 2018. С. 18.

³⁰² GDP, PPP (constant 2021 international \$). World Bank. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTR.PP.KD> Дата обращения 23.06.2024

стран G7 и E7 с 1990 по 2022 год включительно составляла две трети от мирового ВВП (66,7% со стандартным отклонением 0,5%).

Низкая стоимость трудовых ресурсов в развивающихся странах стимулировала перенос в них производства из развитых стран и их экономический прогресс. Идея активизации производства в развитых странах на основе киберфизических технологий, фигурирующая в проекте Индустрии 4³⁰³, ориентирована на изменение соотношения динамики развитых и развивающихся стран на противоположное. Однако реализация такого сценария событий сомнительна, поскольку развивающиеся страны уже накопили значительный экономический и научный потенциал.

На возникновение идеи киберфизической революции повлияли и новые выдающиеся открытия в области информационных технологий: квантовые компьютеры, искусственный (мини) интеллект, цифровые платформы, социальные сети, компьютерный перевод, беспилотный транспорт, облачные технологии, быстрый Интернет, 3D-печать и др. Но достаточно ли этого для нового технологического рывка? Судя по активности научных исследований в ИТ-области, это весьма сомнительно.

Энергетика — еще одно перспективное направление, о котором писал Jeremy Rifkin³⁰⁴, однако доля научных работ по данному направлению составляет 1,4%, и, несмотря на быстрый рост, оно вряд ли может быть лидером технологической революции. На рис. 3.3 приведены данные о мировом производстве электроэнергии³⁰⁵. Видно, что в период с 1900 по 1960 год скорость роста была экспоненциальной. Согласно Н.Д. Кондратьеву, данный промежуток времени охватывает период в две длинные волны. Примерно после 1960 года, когда произошла кибернетическая революция, темпы производства электроэнергии перешли в режим более медленного роста. Сейчас маловероятно ожидать возврата к технологическому лидерству энергетического направления, которое очень ограниченно поддерживается наукой.

Экология и устойчивое развитие — еще одна перспектива, о которой сейчас идет активное обсуждение на международном уровне. Тема устойчивого развития представляется крайне актуальной^{306, 307, 308, 309}, но научное участие в ее разработке в относительных размерах снизилось за 19 лет на 44%, поэтому маловероятно ожидать от этого направления технологического лидерства.

³⁰³ Хель И. Индустрия 4.0: что такое четвертая промышленная революция? Hi-News.ru. URL: <https://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0-cto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyuciya.html>

³⁰⁴ Rifkin, J. *The Third Industrial Revolution How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, — New York: Palgrave Macmillan, 2011. — 291 pp.

³⁰⁵ Мировая энергетическая статистика. Ежегодник 2016. <https://yearbook.enerdata.ru> Дата обращения 19.12.2017.

³⁰⁶ Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й., Бернс В. *Пределы роста*, — М.: МГУ, 1991.

³⁰⁷ Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. *Пределы роста. 30 лет спустя/ Пер. с англ.* — М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.

³⁰⁸ Forrester J. (2003). *Мировая динамика.* / Пер. с англ. — М.: АСТ; СПб.: Terra Fantastica

³⁰⁹ Orekhov V.D., Prichina O.S., Loktionova U.N., Gusareva N.B. Scientific analysis of the Happiness Index in regard to the human capital developmen. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2020, Vol. 12, Special Issue. P. 467–478.

Противоречивость отношения к экологии связана с политическими и корпоративными особенностями крупнейших экономик³¹⁰. В частности, внешнее окружение западных компаний существенно отличается от российского с точки зрения ориентации на экологию. Россия является страной, богатой природными ресурсами, причем крупнейшие корпорации, как правило, работают в отраслях, связанных с их добычей и переработкой. Данная сфера при любых обстоятельствах связана с загрязнением природной среды. Это не делает экологические факторы менее актуальными, но и рассчитывать на большие успехи в этом вопросе, требующие и больших вложений, применительно к России сложно.

С другой стороны, в США при конфликте интересов экологии и бизнеса на первое место нередко ставится бизнес. Это можно проследить на примере реализации программы добычи сланцевых природных ресурсов, которая приводит к значительно более высокому загрязнению среды, чем добыча обычной нефти или газа. Также США в 2017 году объявили о выходе из Парижского соглашения по климату — ключевой программе ограничения выброса парниковых газов и снижения темпов глобального потепления.

У европейских стран, которые активно отстаивают экологические принципы «устойчивого развития», другая позиция, в основе которой, кроме альтруизма, лежит и ряд прагматических факторов. Во-первых, высокая плотность населения. Например, в Великобритании на одного человека приходится 0,41 га территории, причем значительную ее часть занимают горы, в Германии — 0,43 га. Во-вторых, значительную часть своих природных ресурсов Старый Свет уже исчерпал и природную среду загрязнил, то есть они находятся в конце технологического процесса эксплуатации природных ресурсов и на практике ощущают негативные последствия этой ситуации. В-третьих, по одному из сценариев глобального потепления Гольфстрим может перестать обогревать Европу, и ее климат резко похолодает, что является серьезной угрозой. Есть у европейских промышленников и расчет на развитие рынка экологических товаров и услуг с целью реализации своих технологических достижений в этой области.

Серьезный вес комплекса этих интересов в позиции европейского бизнеса и общественности ведет к тому, что именно экология находится на первом месте в составе ESG-факторов (environmental, social, governance), которые существенно влияют на возможности компаний привлекать финансовые ресурсы с международного рынка³¹¹.

Наконец, крупнейшие развивающиеся страны, такие как Китай и Индия, еще находятся в стадии индустриального развития и потому ограничены в возможностях адекватной охраны окружающей среды. Все это не свидетельствует о реальности радикальной экологической революции в ближайшее время.

Экономические науки за последние 19 лет показали 19%-ный рост и занимают значительную долю в составе научных журналов. Причиной их популярности, вероятно, стало падение темпов роста мировой экономики в последние годы и прогнозы дальнейшего

³¹⁰ Панфилова Е.А., Орехов В.Д., Шинкарёва О.В. Влияние корпоративных факторов на процессы рыночной капитализации российских компаний // Проблемы экономики и юридической практики. 2019. Т. 15, № 4. С. 54–62.

³¹¹ Vashakmadze T. The impact of ESG factors on the future capitalization of the company. Empirical testing on the American stock market // Financial life. 2013. № 4. P. 63–70.

снижения^{312, 313}, что стимулирует поиск новых возможностей для роста таких, как инклюзивное развитие³¹⁴. Однако экономические науки играют вспомогательную роль и не могут радикально повысить производительность труда и рост экономики.

Гуманитарные науки, хотя и показали впечатляющий рост, но продолжают оставаться в блоке аутсайдеров и не могут играть роль лидера технологического развития. Интересную позицию занимает образование. Его научная доля относительно мала (2,7%), но темп роста впечатляющий — 80% за 19 лет. Кроме того, есть значительная доля журналов, сочетающих образовательную и психологическую направленность, и поэтому они были отнесены к психологическим наукам (их 4%).

Особенность социально-экономического развития человечества за последние 100 лет заключается в том, что резко вырос вклад человеческого капитала в национальное богатство (рис. 4.14).

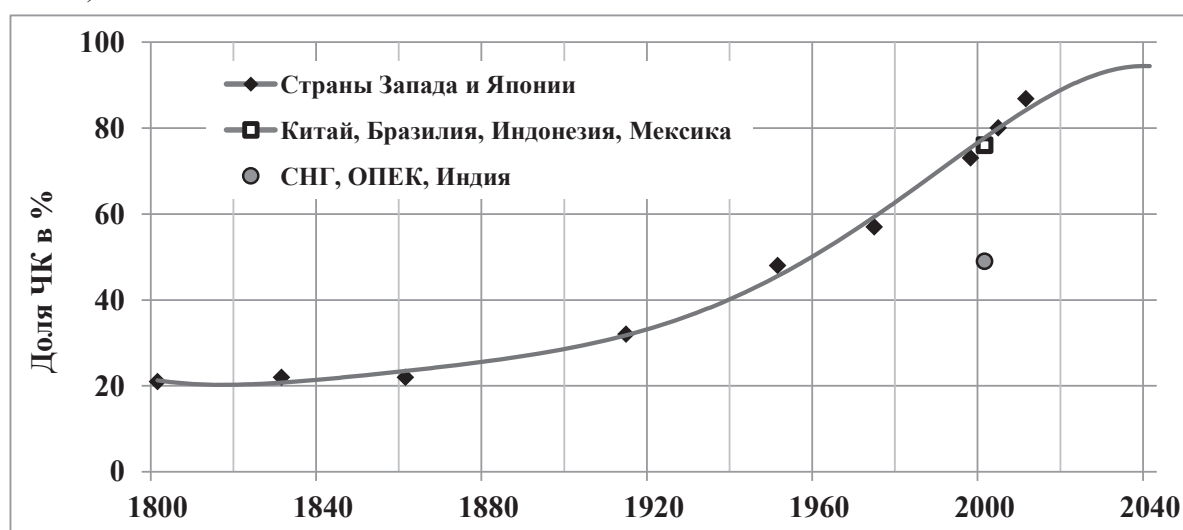


Рис. 4.14. Рост доли человеческого капитала в национальном богатстве³¹⁵

Ключевую роль в росте человеческого капитала играет образование^{316, 317}. Концептуальная модель его влияния на развитие экономики приведена на рис. 4.15³¹⁸. Таким образом, образование играет роль «усилителя» деятельности человеческого капитала и может

³¹² Hawksworth J. The World in 2050. How big will the major emerging market economies get and how can the OECD compete? PricewaterhouseCoopers — March 2006.

³¹³ Hawksworth J., Audino H., Clarry R. (2017). The World in 2050. The Long View How will the global economic order change by 2050? PwC. URL: <http://www.pwc.com/world2050>

³¹⁴ Spence M. The Next Convergence: The Future of Economic Growth in a Multispeed World. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2011. (Пер. с англ. А. Калинина, М., 2013. <http://rabkor.ru/culture/books/2013/06/06/spence/>)

³¹⁵ Корчагин Ю.А. Российский человеческий капитал: фактор развития или деградации? Монография. — Воронеж: ЦИРЭ, 2005.

³¹⁶ Schultz T.W. The Economic Value of Education. New York: Columbia University Press. 1963.

³¹⁷ Макконелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс. М.: Инфра-М, 2006.

³¹⁸ Shinkareva O.V., Orekhov V.D., Solodukha P.V., Prichina O.S., Gizyatova A.Sh. Multifactor Assessment of Indicators on Dynamic Modeling of Programs for Managing the Performance of Scientific Labor. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Т. 9. # 13. С. 303–317.

существенно влиять на темпы экономического развития. С 1900 года доля студентов третичного образования в мире выросла в 64 раза (рис. 1.1)^{319, 320, 321}, что и обеспечило быстрый рост вклада человеческого капитала в мировое богатство.

Отметим еще одно важное свойство образования — его влияние на вклад специалистов в производительность труда увеличивается экспоненциально, то есть очень быстро, по мере роста числа лет образования специалиста^{322, 323}. Эта зависимость (образовательная экспонента) имеет вид³²⁴:

$$J_E = 20,510^{0,246 E} \quad (4.2)$$

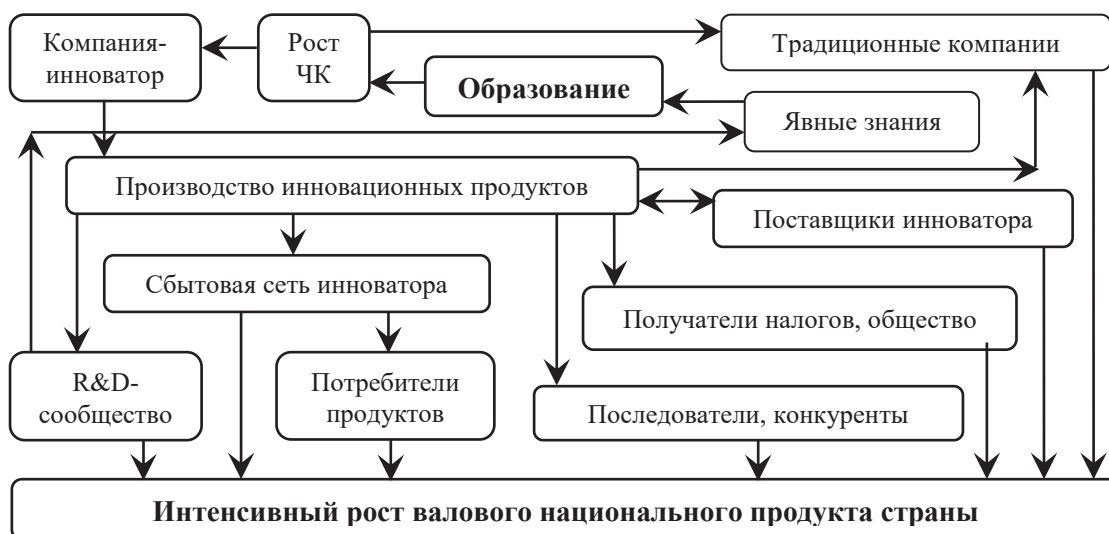


Рис. 4.15. Модель влияния образования и инноваций на экономическую динамику

По мере исчерпания других ресурсов роста человеческого капитала возможность резко повышать производительность труда специалистов за счет высокого уровня образования является очень привлекательной. Именно поэтому научные исследования в области повышения эффективности образования могут быть высоко востребованными.

Отметим, что проект «Атлас новых профессий» по прогнозированию перспективных профессий на ближайшие 15–20 лет был реализован в 2014 году Агентством стратегических инициатив и Московской школой управления «Сколково» с использованием метода

³¹⁹ Schofer E., Meyer J. W. The Worldwide Expansion of Higher Education in the Twentieth Century, *American Sociological Review*. 2006.

³²⁰ Six ways to ensure higher education leaves no one behind. UNESCO Policy Paper 30, 2017. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247862>

³²¹ Борисов И.И., Запрягаев С.А. Тенденции развития высшего образования в XXI веке. — 2000. <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/educ/2000/01/p.13-29.pdf>

³²² Корчагин Ю.А. Российский человеческий капитал: фактор развития или деградации? Монография. — Воронеж: ЦИРЭ, 2005.

³²³ Корицкий А. В. Влияние человеческого капитала на экономический рост: учеб. пособие / А. В. Корицкий; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. — 244 с.

³²⁴ Orekhov V.D., Prichina O.S., Blinnikova A.V. et al. Indicative diagnostics of the educational component of human capital based on mathematical modeling. *Opcion*. 2019. T. 35. Special Issue 20. С. 2337–2357.

«Форсайт»³²⁵. Среди наиболее детально рассмотренных профессиональных областей «Атласа»: медицина, биотехнологии, образование. Результаты данной работы могут дать новый импульс к прогнозированию перспективных профессий.

Интересной является также возможность повышения производительности труда за счет организации работы групп высококвалифицированных специалистов. Однако на этом пути стоят сложные психологические проблемы организации труда таких команд³²⁶. Научные исследования в этой сфере могут дать значительный экономический результат.

Отметим, что вторым важным фактором роста человеческого капитала является здравоохранение. Таким образом, образование и медицина совместно действуют в одном важнейшем для людей и экономического развития направлении — развитии человеческого капитала. Именно в этом направлении можно ожидать наиболее радикального прорыва в области технологического развития.

Эти выводы подтверждают исследования, проведенные группой ученых из Высшей школы экономики, которую возглавляли А.Л. Гринин и Л.Е. Гринин. По их мнению, «шестой технологический уклад будет характеризоваться прорывом в медицинских технологиях, способных объединить вокруг себя ряд других»³²⁷.

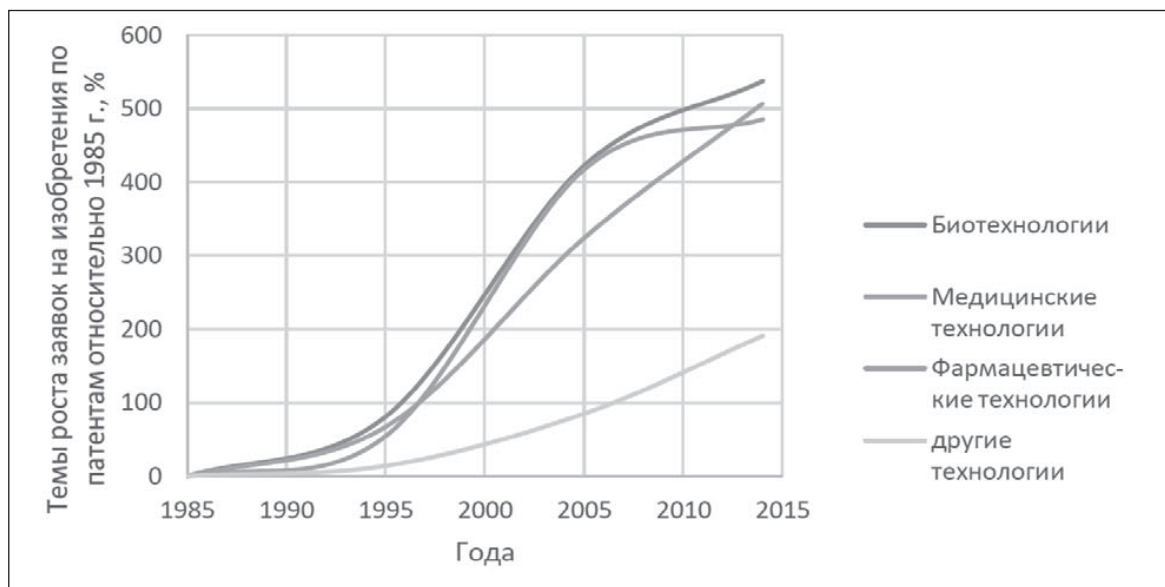


Рис. 4.16. Динамика темпов роста заявок на изобретения по типам технологий для мира относительно 1985 г., 1985–2014 гг.

«Ведущим сектором в шестом технологическом укладе, на наш взгляд, станет медицина, в которую будут направлены огромные экономические и интеллектуальные ресурсы. Это связано, прежде всего, с глобальным старением, ростом продолжительности жизни и необходимостью социализации и трудоустройства пожилых людей и инвалидов

³²⁵ Лукша П., Лукша Е., Песков Д., Коричин Д. Атлас новых профессий. М.: Агентство стратегических инициатив, 2014. Skolkovo_SEDeC_Atlas.pdf

³²⁶ Белбин Р.М. Команды менеджеров: как объяснить их успех или неудачу [пер. с англ.], 2-е изд. — Лондон и др.: Квигтс, 2007. — 238 с.

³²⁷ Гринин А.Л., Гринин Л.Е. Ведущие технологии шестого технологического уклада. 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323996170>

в условиях сокращения рабочей силы. Самые различные технологии будут направлены на поддержание и улучшение здоровья. Уже сегодня в медицине зреют прорывные инновации, которые станут ощутимыми через два-три десятилетия (а некоторые и ранее). Современная медицина неразрывно связана с биотехнологиями, фармацевтикой, генной инженерией, промышленной химией и другими отраслями. Если посмотреть на мировую динамику темпов роста заявок на изобретения по типам технологий относительно 1985 г., очевидно, что медицинские технологии прорываются в лидеры»³²⁸ (рис. 4.16).

Анализ публикации статей в базе SCImago JR

Выше мы рассмотрели активность публикаций в библиометрической базе SCImago Journal & Country Rank (SCImago JR), используя в качестве индикатора число журналов. Однако реальной единицей научной активности является статья, число которых в журналах может значительно различаться. Поэтому в данном параграфе мы рассмотрим активность публикации научных статей в различных предметных областях³²⁹. Сравнительные результаты анализа доли журналов и статей за 2019 год представлены на рис. 4.17.



Рис. 4.17. Публикационная активность SCImago JR по предметным областям

³²⁸ Там же.

³²⁹ Орехов В.Д., Причина О.С. Экономико-математическое моделирование процессов управления в области инноватики: монография / под ред. В. Д. Орехова. — Москва: Знание-М, 2022. — 218 с.

Видно, что максимальное число статей относится к блоку дисциплин: медицина, здоровье, фармакология, токсикология, фармацевтика, стоматология и сестринское дело — 20%. Вместе с близкими к ним науками (биохимия, генетика, молекулярная биология, иммунология, психология, нейронауки, агрокультуры, биология, ветеринария) они занимают 34% статей и 29% журналов. Второе место по числу статей занимают инженерные науки — 11,7% (11% журналов).

Третье место принадлежит компьютерным наукам и искусственному интеллекту — 8% статей и 10,3% журналов. Далее следуют химия и химические технологии — 7,8% статей и физика с астрономией — 6,8%. Несколько неожиданно, что направлению «Энергетика» посвящено лишь 2,7% статей и 2,4% журналов. В сфере образования и E-learning в 2019 году было опубликовано 1,3% статей в 2,8% журналов.

Для учета значимости публикаций могут быть использованы показатели индекса Хирши журналов³³⁰ (рис. 4.18). Учет «веса» журналов по Хирши несколько меняет распределение мест.

На первом месте по-прежнему медицина с ближайшими смежными профессиями — 19,5%, а с биохимией, генетикой и т.д. — 34,5%. Второе место занимают химия и химические технологии (11,6%), третье — физика с астрономией (8,9%), четвертое — инженерное дело (8,5%), а компьютерные науки и искусственный интеллект (ИИ) отодвигаются на пятое место (6,6%).

Разница доли статей с учетом веса по Хирши связана с тем, что в некоторых дисциплинах большую долю занимают журналы, на которые относительно редко ссылаются в публикациях и которые имеют квартиль Q3 или Q4 или совсем без квартиля. Так, в компьютерных науках 72% журналов не имеют квартиля и индекс Хирша, а соответственно, и численность ссылок на эти журналы в среднем в 4 раза меньше, чем на журналы с первым квартилем.



Рис. 4.18. Активность публикации статей в SCImago JR с учетом веса по Хирши

³³⁰ Орехов В.Д., Блинникова А.В. Три подхода к прогнозированию стратегических направлений мирового технологического развития. Всероссийский симпозиум «Стратегическое планирование и развитие предприятий». — 2022. — С. 415–418. <https://symposium-cemi.ru/symp23-s4-36/>

Для того чтобы оценить разницу по численности ссылок на статьи в разных дисциплинах, на рис. 4.19 показано, сколько журналов, относящихся к квартилям Q1 и Q2, действует в различных предметных областях.

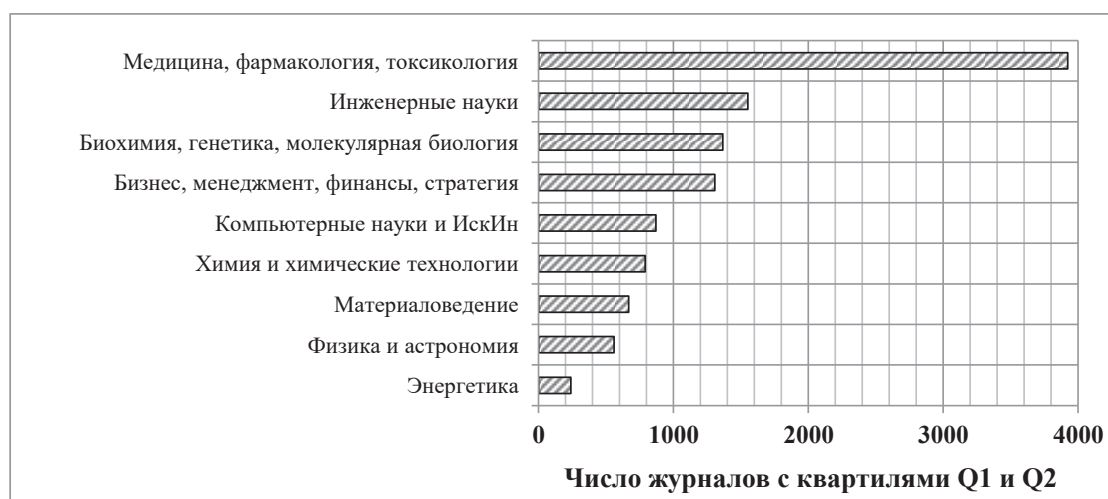


Рис. 4.19. Число журналов с квартилями Q1 и Q2 в предметных областях

Видно, что в медицинской сфере журналов с высоким уровнем ссылок значительно больше, чем в других областях, и в 4,5 раза больше, чем в области компьютерных наук.

В целом же данный анализ показывает, что ключевыми научными направлениями являются те, которые нацелены на улучшение здоровья человека и, соответственно, развитие человеческого капитала. Компьютерные технологии и ИИ сложно отнести к лидирующему научному направлению.

Обсуждение

В данном разделе используется идентификация инновационности наук по их позиции среди передовых журналов (высокие рейтинги и квартили). Наиболее инновационные (популярные) науки представлены в первой тысяче номеров согласно рейтингу SciMago JR, наиболее массовые 5–20-е тысячи и ординарные — свыше 20 тысяч применительно к базе 2018 года. Однако данное положение, хотя и относительно очевидно, но не имеет научного обоснования. Квартиль журнала свидетельствует о его цитируемости, востребованности, авторитетности, но не ясно, как эти показатели связаны с новизной — все статьи в таких журналах должны соответствовать критерию уникальности. Попытка выявить динамику востребованности различных наук не оказалась успешной ввиду временной ограниченности базы SCImago. В этом отношении алгоритм идентификации направлений технологической революции требует совершенствования.

Идентификация наук в некоторых случаях оказалась достаточно сложной, поскольку многие журналы действуют по нескольким направлениям. Возможно, в этом случае следовало бы относить журнал в различных долях к разным направлениям, но и в этом случае непросто разработать однозначный алгоритм. Также встречаются случаи, когда по названию журнал относится к одной науке, а по тематическим направлениям — к другим. Хотя доля таких журналов относительно невелика, но это вносит погрешности в точность идентификации изданий, хотя она и не велика.

4.2. Прогнозирование тематики технологической революции на основе востребованности инновационных продуктов³³¹

Исследования публикационной активности различных тематик позволяют понять готовность к технологической революции со стороны поставщиков. Но нужны ли эти продукты потребителям?

В связи с этим в данной работе проведен анализ запросов конечных потребителей инновационных услуг. С этой целью был проведен опрос респондентов через систему «Яндекс Взгляд» относительно потенциального мирового спроса на инновационные продукты, относящиеся к киберфизической и медико-биологической сферам.

Результаты этого исследования позволяют также сделать оценки спроса в будущем на новые профессии и выявить генетические связи между исследованными продуктами и профессиями будущего, а также понять ключевые требования к развитию человеческого капитала в условиях технологических революций. В качестве отправной точки для этой части работы используется «Атлас новых профессий»³³², который разработан с участием нескольких тысяч экспертов и представляет около 350 профессий будущего.

Целью исследования, представленного в данном разделе, является выявление взаимосвязей между востребованностью инновационных продуктов киберфизической и медико-биологической направленностей.

Методика исследования востребованности продуктов

В работе в качестве основных методов исследования использовались опрос с помощью системы интернет-анкетирования (Яндекс-Взгляд) и статистический анализ результатов.

Для составления анкеты был проведен анализ работ, в которых описываются инновационные продукты новой технологической эпохи^{333, 334, 335, 336, 337}. Далее были отобраны потенциально наиболее востребованные продукты, сущность которых можно адекватно объяснить респондентам, не являющимся специалистами в соответствующих научных областях. Названия продуктов были адаптированы для использования в анкете с тем, чтобы они были краткими и понятными респондентам.

³³¹ Материалы, представленные в данном подразделе, опубликованы в работе Орехов В.Д., Блинникова А.В. Каранашев А.Х. Исследование генезиса инновационных продуктов и профессий будущего в условиях технологических революций. Вестник Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова. 2021; 3. DOI: 10.29025/1994-7720-2021-3-143-156.

³³² Атлас новых профессий 3.0. / под ред. Д. Варламовой, Д. Судакова. — М.: Интеллектуальная литература, 2020. — 456 с.

³³³ Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York, 2017, 192 p.

³³⁴ Silbergliitt R., Anton P. S., et al. Global Technology Revolution-2020, In-Depth Analyses. (2006). RAND Corporation.

³³⁵ Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Министерство образования и науки России, М., ДМ–П8–5. 2013.

³³⁶ Каминский И.П., Огородова Л.М., Патрушев М.В., Чулок А.А. Медицина будущего: возможности для прорыва сквозь призму технологического прогноза. Форсайт. Т. 7. № 1, с. 14–25, 2013.

³³⁷ Микова Н., Соколова А. Мониторинг глобальных технологических трендов: теоретические основы и лучшие практики. Форсайт. Т. 8, № 4, р. 64–83.

Было выбрано по 24 продукта в киберфизической и медицинской областях и по 12 — в биологической и кибермедицинской. Для сравнения использовались 12 инновационных продуктов в технической и других областях. Вопросы были сформированы в шесть блоков по 14 продуктов, включая 4 киберфизических, 4 медико-биологических, 2 кибермедицинских, 2 биологических и 2 другой направленности. В ходе опроса каждому респонденту предлагалось оценить 3 блока по 14 продуктов. Респонденты не имели представления о целях сравнения разных групп продуктов.

В качестве выборки использовались заинтересованные в тематике оценки востребованности инновационных услуг граждане России обоих полов в возрасте свыше 25 лет в количестве 400 человек (по 200 человек в 2 потоках с разными продуктами), полностью заполнившие анкеты.

При оценивании каждого блока продуктов респондентам вначале предлагалось выделить наиболее востребованные (оценка 5 из 5) продукты, затем средние по востребованности (4 из 5), затем наименее востребованные (3 из 5). В каждом оценивании можно было выделить до 7 продуктов из 14. Наконец, респондентам предлагалось выделить инновационные продукты, которые могут дать негативные результаты (оценка — 2 из 5).

При статистической обработке вначале определялась доля продуктов (D_i), которые оценены на оценки 5, 4, 3 и 2. Затем с учетом D_i определялась средняя оценка по формуле:

$$C_{2-5} = (5D_5 + 4D_4 + 3D_3 + 2D_2) / (D_5 + D_4 + D_3 + D_2) \quad (4.3)$$

Для удобного визуального восприятия были также построены сравнительные гистограммы оценок по различным кластерам продуктов.

Исследование востребованности инновационных продуктов

Результаты оценивания с использованием формулы (4.3) инновационных продуктов киберфизической и медико-биологической направленности представлены в таблице 4.12. Можно отметить, что продукты медико-биологической направленности лидируют в области высоких оценок, причем 8 продуктов имеют оценку в области 4,13–4,08, что больше, чем лидирующий продукт в киберфизической области (компактные суперкомпьютеры — 4,02). В области более низких оценок разница в оценках двух направлений возрастает. Среднее значение для медико-биологических продуктов ($C_{2-5} = 3,9$) также больше, чем для киберфизических ($C_{2-5} = 3,6$). Поскольку область распределения оценок лежит в диапазоне $C_{2-5} = 2,94 — 4,13 \approx 1,2$, то данное различие в 0,3 по средним значениям достаточно велико и составляет примерно четверть всего диапазона оценок.

Один продукт из киберфизической области имеет даже оценку ниже 3,0 (тотальная видеорегистрация людей). Отметим, что данный продукт фактически находится в режиме постепенного внедрения, и, с точки зрения борьбы с преступностью, он имеет положительный эффект. Однако возможность использования его для тотального контроля над обществом смещает его оценку в негативную сторону.

На относительно низкие оценки продуктов влияет то, что в состав оценки входит оценивание возможного негативного эффекта от внедрения инновации (оценка D_2). Доля респондентов, считающих, что инновации могут принести негативный эффект, приведена в таблице 4.13. Нужно отметить, что по величине негативных оценок киберфизическое

направление находится на более высоком уровне. Так, оценку $D_2 > 15\%$ получили девять (9) киберфизических продуктов и два (2) медико-биологических, хотя средние значения негативной оценки у данных двух направлений близки — 13–14%.

Наиболее негативную оценку $D_2 > 18\%$ получили следующие продукты: тотальная видеорегистрация людей, киберработники умственного труда, электронное правительство, широкое распространение криптовалют, система скоростного создания вакцин. Нужно отметить, что в некоторых случаях сложно понять, что вызвало негативную оценку продукта, например: успешное лечение инфаркта и инсульта (9%), успешное лечение 95% больных раком (14%), улучшение здоровья пожилых людей (12%), идеальный синхронный перевод (9%), открытые электронные библиотеки (9%).

Таблица 4.12. Оценка востребованности инновационных продуктов

Киберфизические	C_{2-5}	Медико-биологические	C_{2-5}
Компактные суперкомпьютеры	4,02	Успешное лечение инфаркта и инсульта	4,13
Умный дом	4,00	Восстановление зрения	4,11
Системы защиты от киберпреступности	3,95	Успешное лечение 95% больных раком	4,09
Цифровые платформы для бизнеса	3,89	Предотвращение генетических заболеваний	4,09
Игровые обучающие ИИ	3,85	Лечение наркомании и алкоголизма	4,08
Интернет вещей	3,82	Восстановление слуха	4,08
Мультимедийные обучающие технологии	3,82	Регенерация органов человека	4,06
Открытые электронные библиотеки	3,76	Физическая реабилитация органов	4,05
Беспилотные автомобили	3,75	Безвредная вакцина от Covid-19	3,97
Идеальный синхронный перевод	3,70	Улучшение здоровья пожилых людей	3,96
Краудсорсинг и краудфандинг	3,64	Создание искусственного сердца	3,96
ИИ высокого уровня	3,64	Выращивание искусственных органов	3,93
Полная компьютеризация банков	3,59	Вакцина от СПИД	3,91
Связь с квантовым шифрованием	3,58	Рост среднего срока жизни до 100 лет	3,90
Надежная биометрическая идентификация	3,57	Персонализированные лекарства	3,82
Доминирование электронной торговли	3,48	Усиление умственных способностей	3,80
Интерфейс человек — цифровая среда	3,45	Методы улучшения обучаемости	3,79
АСУ предприятия на основе ИИ	3,45	Системы направленной доставки лекарств	3,76
Широкое распространение криптовалют	3,41	Методы устранения ожирения	3,73
Компьютерные имитаторы реальности	3,30	Прогнозирование вирусных эпидемий	3,68
Роботизированная охрана	3,25	Система скоростного создания вакцин	3,64
Электронное правительство	3,22	Диагностика преступных наклонностей	3,56
Киберработники умственного труда	3,16	Диагностика повреждений генома людей	3,55
Тотальная видеорегистрация людей	2,94	Управление микрофлорой человека	3,39
Среднее	3,59	Среднее	3,88

Картина инновационных продуктов в рассматриваемой области может быть дополнена продуктами, которые разрабатываются на стыке кибернетики и медицины, а также в биологической области. Результаты их оценки приведены в таблице 4.14. Из нее видно, что кибермедицинские продукты, в среднем, востребованы примерно на уровне киберфизических: $C_{2,5} = 3,6$, причем лидирующий продукт (экзоскелет для инвалидов) имеет даже несколько более высокую оценку (4,03), чем лучший из киберфизических (компактные суперкомпьютеры — 4,02).

Рассмотренные в опросе биогенетические продукты востребованы, в среднем, меньше, чем все остальные из представленных выше групп, хотя и ненамного (на 0,13). Несколько неожиданно, что средние оценки возможного негативного эффекта от внедрения биогенетических инноваций не выше (12%), чем кибермедицинские (14%), как видно из таблицы 4.15.

Таблица 4.13. Доля респондентов, негативно оценивающих продукты

Киберфизические	D ₂ (%)	Медико-биологические	D ₂ (%)
Тотальная видеорегистрация людей	35	Система скоростного создания вакцин	19
Киберработники умственного труда	31	Вакцина от СПИД	18
Электронное правительство	23	Диагностика повреждений генома людей	16
Широкое распространение криптовалют	19	Прогнозирование вирусных эпидемий	15
Роботизированная охрана	18	Усиление умственных способностей	15
Надежная биометрическая идентификация	18	Выращивание искусственных органов	15
Беспилотные автомобили	18	Диагностика преступных наклонностей	14
ИИ высокого уровня	17	Успешное лечение 95% больных раком	14
Компьютерные имитаторы реальности	16	Методы улучшения обучаемости	13
Полная компьютеризация банков	15	Создание искусственного сердца	13
Интерфейс человек — цифровая среда	14	Управление микрофлорой человека	12
АСУ предприятия на основе ИИ	12	Рост среднего срока жизни до 100 лет	12
Доминирование электронной торговли	11	Предотвращение генетических заболеваний	12
Системы защиты от киберпреступности	11	Улучшение здоровья пожилых людей	12
Умный дом	10	Регенерация органов человека	12
Игровые обучающие ИИ	10	Восстановление зрения	11
Связь с квантовым шифрованием	9	Персонализированные лекарства	11
Идеальный синхронный перевод	9	Методы устранения ожирения	11
Открытые электронные библиотеки	9	Восстановление слуха	10
Краудсорсинг и краудфандинг	8	Безвредная вакцина от Covid-19	10
Интернет вещей	8	Системы направленной доставки лекарств	10
Компактные суперкомпьютеры	8	Физическая реабилитация органов	9
Мультимедийные обучающие технологии	7	Успешное лечение инфаркта и инсульта	9

Цифровые платформы для бизнеса	5	Лечение наркомании и алкоголизма	7
Среднее	14%	Среднее	13%

Таблица 4.14. Востребованности инноваций в сфере кибермедицины и биологии

Кибермедицинские	C_{2,5}	Биогенетические	C_{2,5}
Экзоскелет для инвалидов	4,03	Биологические методы переработки отходов	3,95
Биоуправляемые протезы	3,97	Высокоурожайные растения	3,89
Компактные установки для томографии	3,82	Биотопливо, биоэнергетика	3,80
Медицинские роботы	3,73	Биологические средства защиты растений	3,57
Новые приборы «домашней медицины»	3,66	Белковые продукты по умеренным ценам	3,55
Носимые диагностические системы	3,65	Растения для экстремальных условий	3,55
Диагностические тест-системы	3,64	Биокомпьютеры	3,54
Компьютерная разработка лекарств	3,58	Кормовые продукты из сельхозотходов	3,49
Аппарат для деторождения	3,33	Детекторы биологически активных агентов	3,32
Телемедицина	3,32	Высокопродуктивные домашние животные	3,23
Роботы-сиделки	3,29	Выращивание вымерших животных	3,13
Трансплантация чипов в организм	3,16	Полуразумные домашние питомцы	2,63
Среднее	3,60	Среднее	3,47

Таблица 4.15. Доля негативных оценок биогенетических и кибермедицинских продуктов

Кибермедицинские	D₂	Биогенетические	D₂
Трансплантация чипов в организм	32%	Полуразумные домашние питомцы	23%
Аппарат для деторождения	22%	Выращивание вымерших животных	17%
Роботы-сиделки	18%	Растения для экстремальных условий	13%
Телемедицина	18%	Белковые продукты по умеренным ценам	12%
Медицинские роботы	15%	Биокомпьютеры	11%
Компьютерная разработка лекарств	13%	Кормовые продукты из сельхозотходов	11%
Биоуправляемые протезы	11%	Высокопродуктивные домашние животные	11%
Носимые диагностические системы	11%	Биологические методы переработки отходов	11%
Новые приборы «домашней медицины»	10%	Биотопливо, биоэнергетика	10%
Компактные установки для томографии	8%	Детекторы биологически активных агентов	9%
Экзоскелет для инвалидов	8%	Биологические средства защиты растений	9%
Диагностические тест-системы	6%	Высокоурожайные растения	6%
Среднее	14%	Среднее	12%

Наиболее негативно ($D_2 \geq 18\%$) в этих блоках оценивается: трансплантация чипов в организм ($D_2 = 32\%$), аппарат для деторождения, роботы-сиделки, телемедицина и полумозговые домашние питомцы. Сравнение различных типов инновационных продуктов в порядке востребованности приведено на рис. 4.20.



Рис. 4.20. Сравнение оценок различных типов инновационных продуктов

Как показывает ранжирование по оценке востребованности лидирующих типов инновационных продуктов, с учетом возможности негативного эффекта, медикобиологические продукты системно и значимо имеют более высокую востребованность, чем киберфизические. Еще менее востребованы среди лидирующих продуктов — кибермедицинские, но в среднем они на уровне киберфизических, как видно из таблиц 4.12, 4.15. Из числа рассмотренных продуктов наименее востребованы биогенетические.

В рамках исследования для сравнения с продуктами медико-биологической и киберфизической направленности был рассмотрен еще один блок инновационных

продуктов (таблица 4.16), относящихся к технической и другим традиционным отраслям, хотя не всегда можно однозначно отнести инновационные продукты к той или иной группе. В частности, к этой группе отнесены инновации в области космических технологий и радиосвязи, которые можно отнести и к киберфизическим.

Средняя оценка этой группы (3,7) превосходит киберфизические (3,6) и отстает от медико-биологической (3,9), причем компактные источники энергии занимают общее второе место среди исследованных 84 продуктов. Среди лидеров данного блока также: недорогая биоразлагаемая упаковка, сверхпрочные материалы и технология 3D-печати. Таким образом, востребованность данного блока продуктов достаточно высоко оценена респондентами.

Таблица 4.16. *Оценки востребованности инновационных продуктов*

	$C_{2,5}$	$D_2(\%)$
Компактные источники энергии	4,12	7
Недорогая биоразлагаемая упаковка	3,94	9
Сверхпрочные материалы	3,90	8
Технология 3D-печати	3,83	7
Доминирование зеленой энергетики	3,77	8
Электромобили и гибридные автомобили	3,70	10
Мобильная связь 5G	3,68	11
Спутниковый глобальный интернет	3,65	10
Дезактивация радиоактивных веществ	3,64	9
Система геопозиционирования	3,41	8
Термоядерная энергетика	3,38	19
Углекисло-нейтральные технологии	3,27	12
Среднее	3,69	10

Проведенное исследование показывает, что существует относительно тесная генетическая связь медико-биологических продуктов с киберфизическими, и нередко сложно их отнести к одной из этих категорий. Это связано с тем, что в большей части медицинской техники используют в качестве комплектующих кибернетические устройства. С другой стороны, в них используются и достижения предыдущих технологических революций.

Анализ востребованности профессий будущего

Проведенное исследование востребованности инновационных продуктов дает возможность прогнозирования профессий будущего. Ориентировочно большинство рассмотренных продуктов будет внедрено через 10–30 лет. Срок же профессионального обучения и трудовой деятельности людей составляет более 50 лет. Поэтому задуматься о своей будущей профессии можно уже сейчас.

Отметим, что именно специалисты этих профессий будут иметь широкие возможности для изобретательской деятельности. В качестве базиса для прогнозирования был

использован «Атлас новых профессий 3.0»³³⁸, в котором представлено около 350 профессий будущего, включая 19 медицинских, 8 — биотехнологических, 21 — ИТ-сектор, 9 — робототехника. Связь между рассмотренными выше инновационными продуктами медико-биологической сферы и новыми профессиями из Атласа можно увидеть в таблице 4.17.

Таблица 4.17. Продукты и профессии будущего в кибермедицинской сфере

Инновационный продукт	C _{2.5}	Профессия будущего
Предотвращение генетических болезней	4,09	Генетический консультант
Экзоскелет для инвалидов	4,03	Разработчик киберпротезов и имплантатов
Безвредная вакцина от Covid-19	3,97	Биофармаколог
Биоуправляемые протезы	3,97	Разработчик киберпротезов и имплантатов
Улучшение здоровья пожилых людей	3,96	Консультант по здоровой старости
Выращивание искусственных органов	3,93	Тканевый инженер
Вакцина от СПИД	3,91	Биофармаколог
Рост среднего срока жизни до 100 лет	3,9	Консультант по здоровой старости
Персонализированные лекарства	3,82	Эксперт персонифицированной медицины
Биотопливо, биоэнергетика	3,8	Разработчик биотопливных элементов
Направленная доставка лекарств	3,76	Таргетный нанотехнолог
Медицинские роботы	3,73	Проектировщик медицинских роботов
Прогнозирование вирусных эпидемий	3,68	Фармакологический эколог
Новые приборы «домашней медицины»	3,66	Архитектор медоборудования
Носимые диагностические системы	3,65	Архитектор медоборудования
Система скоростного создания вакцин	3,64	R&D-менеджер здравоохранения
Биологические средства защиты растений	3,57	Системный биотехнолог
Диагностика повреждений генома людей	3,55	Генетический консультант
Биокомпьютеры	3,54	ИТ-генетик
Управление микрофлорой человека	3,39	Молекулярный диетолог
Телемедицина	3,32	Специалист по трансляционной медицине
Роботы-сиделки	3,29	ИТ-медик, архитектор медоборудования
Трансплантация чипов в организм	3,16	Разработчик киберпротезов и имплантатов

Для большей части профессий из Атласа нашлось соответствие с одним из инновационных продуктов, хотя и не всегда однозначное. Ясно, что для разработки каждого из этих продуктов требуется далеко не одна новая профессия. Тем не менее генетическая связь между рассматриваемыми продуктами и профессиями явно существует.

Среди медицинских профессий Атласа не найдены соответствия для следующих профессий: клинический биоинформатик, биоэтик, проектировщик жизни медицинских учреждений и медицинский маркетолог. Это связано с тем, что три из этих профессий относятся к управленческой сфере, а сфера деятельности клинического биоинформатика недостаточно ясна. Вероятно, это медицинская диагностика.

³³⁸ Атлас новых профессий 3.0. / под ред. Д. Варламовой, Д. Судакова. — М.: Интеллектуальная литература, 2020.

Среди 9 профессий в области биотехнологий соответствие не нашлось для 5 продуктов. Это связано с тем, что представленные в Атласе профессии нацелены не только на производство продуктов для конечных потребителей, но и на операционные процессы на производстве: биохимический инженер, инженер безопасности на биотехнологическом производстве, синтетический биолог, архитектор живых систем. Соответственно, не нашлось профессий для большинства исследованных в работе биогенетических продуктов.

Для 20 из 21 профессий в киберфизической (ИТ) сфере нашлись связанные с ними инновационные продукты (таблица 4.18), хотя некоторым продуктам соответствуют несколько профессий.

Таблица 4.18. Продукты и профессии будущего в киберфизической сфере

Инновационный продукт	C ₂₋₅	Профессия будущего
Умный дом	4,00	Проектировщик умного дома
Системы защиты от киберпреступности	3,95	Куратор информационной безопасности
Игровые обучающие ИИ	3,85	Разработчик виртуальной реальности
Открытые электронные библиотеки	3,76	Разработчик моделей Big Data
Идеальный синхронный перевод	3,70	Цифровой лингвист
ИИ высокого уровня	3,64	Контролер нейросетей, сборщик дата-сетов
Краудсорсинг и краудфандинг	3,64	Менеджер краудфандинговых платформ
Полная компьютеризация банков	3,59	Архитектор цифровых офисов
Связь с квантовым шифрованием	3,58	Программист квантовых компьютеров
Доминирование электронной торговли	3,48	Архитектор информационных систем
Интерфейс человек — цифровая среда	3,45	Программист и дизайнер нейроинтерфейсов
АСУ предприятия на основе ИИ	3,45	Кибертехник умных сред
Компьютерные имитаторы реальности	3,30	Разработчик виртуальной реальности
Электронное правительство	3,22	Балансировщик приватности
Киберработники умственного труда	3,16	ИТ-аудитор, сетевой юрист, ИТ-евангелист
Тотальная видеорегистрация людей	2,94	Киберследователь

Соответствие не нашлось только информационному экологу. Нужно отметить, что представленные специальности далеко не в полной мере отражают потребность в специальностях для исследованных инновационных продуктов. Так, специалист по верификации качества данных будет полезен для проекта «Умный дом», но для его деятельности потребуется еще масса специалистов, в частности и представленный в Атласе архитектор информационных систем.

Для значительного числа представленных в данной работе продуктов киберфизической и медико-биологической (таблица 4.13), а также кибермедицинской (таблица 4.15) сфер в Атласе не нашлось хорошо соответствующих профессий. Данные продукты представлены в таблице 4.19.

Таблица 4.19. Продукты, для которых не найдено соответствующих профессий

Кибернетика и медицина	С ₂₋₅	Медико-биологический	
Компактные суперкомпьютеры	4,02	Успешное лечение инфаркта и инсульта	4,13
Цифровые платформы для бизнеса	3,89	Восстановление зрения	4,11
Интернет вещей	3,82	Успешное лечение 95% больных раком	4,09
Мультимедийное обучение	3,82	Лечение наркомании и алкоголизма	4,08
Компактные установки для томографии	3,82	Восстановление слуха	4,08
Беспилотные автомобили	3,75	Регенерация органов человека	4,06
Диагностические тест-системы	3,64	Физическая реабилитация органов	4,05
Компьютерная разработка лекарств	3,58	Создание искусственного сердца	3,96
Биометрическая идентификация	3,57	Усиление умственных способностей	3,8
Широкое распространение криптовалют	3,41	Методы улучшения обучаемости	3,79
Аппарат для деторождения	3,33	Методы устранения ожирения	3,73
Роботизированная охрана	3,25	Диагностика преступных наклонностей	3,56

В определенной мере это связано с тем, что некоторые из данных профессий представляются слишком фантастическими, как аппарат для деторождения, или слишком простыми, как мультимедийное обучение или распространение криптовалют. Однако ясно, что обществу через некоторое время понадобится значительное количество специалистов для удовлетворения спроса на соответствующие продукты.

Поскольку Атлас новых профессий является достаточно фундаментальным трудом, над созданием которого работало несколько тысяч экспертов, то он во многом будет определять траектории дальнейшего развития образования. Поэтому важно отметить те аспекты Атласа, которые не в полной мере соответствуют требованиям к развитию ЧК в условиях потенциальных технологических революций.

1. Во-первых, список профессий Атласа недостаточно ориентирован на потенциальные направления технологических революций (киберфизическое и медико-биологическое направления, сферу знаний — около 60 из 350).
2. Среди профессий медицинской сферы имеется сильный уклон в ИТ и другие смежные сферы. Из 19 профессий 7 относятся к ИТ-области и 5 к управлению, маркетингу, экологии и этике. Итого остается только 7 собственно медицинских профессий, что явно недостаточно.
3. Для многих высоко востребованных инновационных продуктов (таблица 3.19) отсутствуют предложения по профессиям, и это дает возможность прогнозировать новые специальности.
4. В то же время в Атласе представлено значительное число профессий для направлений, которые не будут радикально обновлены. Они формируются путем добавления к основной профессии следующих компонент: киберфизической, управленческой, маркетинговой, экологической и безопасности (например: ИТ-медик, ИТ-генетик, маркетолог энергетических рынков, портовый эколог).

Таким образом, ключевым требованием к развитию профессиональных навыков человеческого капитала в условиях технологических революций является ориентация на профессии, необходимые для наиболее востребованных инновационных продуктов, прежде всего медико-биологической, киберфизической и кибермедицинской специализации.

4.3. Прогнозирование на основе анализа сил, определяющих инновационное развитие³³⁹

Как было показано выше, время начала очередной технологической революции уже прошло. Об этом свидетельствуют мнения экспертов (таблица 3.1), накопленный объем знаний человечества и произошедший финансово-экономический кризис, за которым следует длительный спад в мировой экономике³⁴⁰. Тем не менее явных проявлений наступления такой революции не наблюдается. Впрочем, идентифицировать наступление технологической революции далеко не просто.

Существует позиция, согласно которой сейчас уже реализуется революция киберфизического типа. Но, как мы показали выше, технологические революции происходят парами, и пара кибернетических эпох уже прошла. Достигнутый рост производительности информационных технологий составляет более 10 порядков, и это результат гиперболической эволюции. Отличить гиперболическую эволюцию от технологической революции такого же типа, как предыдущая эпоха, крайне сложно. Наука в кибернетическом направлении развивается достаточно слабо, и есть направления, значительно опережающие кибернетику в области научного прогресса. Но технологическая революция происходит тогда, когда широкие массы финансовых инвесторов³⁴¹ поверят в нее и начнут вкладывать свои инвестиции. А этого не происходит.

Воспользуемся для понимания данной ситуации моделью поля сил, введенной Kurt Lewin^{342, 343} для анализа возможностей проведения изменения. Согласно ей для успешного проведения изменения необходимо сосредоточить большие силы, чтобы преодолеть состояние равновесия между поддерживающими и сопротивляющимися изменению силами. Каждая такая сила, как правило, представлена социальными группами (здесь — субъекты), имеющими значительное влияние на ситуацию, а также необходимые политические, финансовые, информационные и другие ресурсы.

Соотношение сил за различные технологические революции

Для анализа основных сил, поддерживающих две наиболее вероятные технологические революции: киберфизическую и медико-биологическую, была сформирована

³³⁹ Блинникова А.В., Орехов В.Д., Андрищенко Г.И. Исследование генезиса, направлений реализации и дат технологических революций во взаимосвязи с развитием человеческого капитала. Московский экономический журнал. 2022. № 2. — С. 500–531.

³⁴⁰ Perez C. (2002) *Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.

³⁴¹ Там же.

³⁴² Lewin K. A. *Dynamic Theory of Personality*. New York; London: McGraw Hill Book Company, 1935

³⁴³ Lewin, K. (1951) *Field Theory in Social Science*, Harper & Row.

карта сил и выгод для основных типов субъектов. Также был проведен опрос 30 экспертов относительно величины этих сил и выгод для потребителей. Респонденты оценивали величину этих сил по 5-балльной шкале выгод как малая (3), средняя (4) или высокая (5). Осредненные значения оценок даны в таблицах 4.20, 4.21.

Таблица 4.20. Карта сил за киберфизическую революцию

Сила	Основная выгода	Субъект	Действие субъекта	Величина выгоды	Величина силы
Силы за киберфизическую революцию				4,2	4,1
Интересы ИТ-компаний	Продолжение получения высоких доходов	ИТ-компании	Выпуск новых продуктов	4,7	4,7
Всемирный экономический форум	Привлечение финансового капитала	Промышленная элита	Продвижение своих идей	3,9	4,0
Возможность контроля за обществом через социальные сети	Новые возможности управления обществом	Государство	Разработка законодательства по ИТ-контролю за обществом	4,4	4,4
Успехи развития информационных технологий	Жизнь в среде ИТ и сетевых сообществ	Молодое поколение	Спрос на новейшие ИТ-изделия	4,5	4,2
Перспективы создания ИИ высокого уровня	Создание инновационных бизнесов	Компании-инноваторы	Внедрение ИИ, заменяющих труд людей	4,3	4,0
	Новые услуги	Население	Осознание пользы и вреда	3,9	3,6
Перспективы разработки квантовых компьютеров	Технологическое превосходство	Государство	Поддержка разработки	4,0	3,8
		Компании	Участие в разработках	4,1	4,1

Согласно опросу, среди факторов, которые приносят наибольшую выгоду субъектам в результате киберфизической революции, отмечается получение высоких доходов ИТ-компаниями (оценка 4,7) и стремление молодого поколения жить в среде ИТ- и сетевых сообществах (4,5). Наибольшими силами за данную революцию являются интересы ИТ-компаний (4,7) и возможность контроля государством общества через социальные сети (4,4). Среднеквадратичное отклонение оценок составляло 0,7, что меньше шага оценок — 1,0.

Таблица 4.21. Карта сил за медико-биологическую революцию

Сила	Основная выгода	Субъект	Действие субъекта	Величина выгоды	Величина силы
Силы за медико-биологическую революцию				4,4	4,2
Старение населения	Продление работоспособности населения	Государства	Программы страховой медицины	3,9	3,9
	Качество жизни	Население	Спрос на продукты	4,3	4,1
	Новые ниши рынка	Бизнес	Разработка новых продуктов	4,2	4,1
Стремление быть здоровым	Качество жизни	Население	Спрос на современную медицину	4,7	4,2
Новые научные достижения	Реализация научных достижений	Научные специалисты	Инновационная активность	4,3	4,1
Опасность очередной пандемии	Устойчивость власти	Государства	Поддержка создания новых вакцин	4,5	4,5
	Получение высоких доходов	Фармкомпании	Разработка новых вакцин	4,8	4,4
Возможность продления сроков жизни	Стремление долго жить	Население	Спрос на продукцию геронтологии	4,2	4,0
Высокая смертность от рака	Выжить, если заболел	Население	Готовность платить много	4,6	4,3
Опасность генетических болезней детей	Здоровые дети	Население	Спрос на генетические анализы	4,2	4,0

Медико-биологическая революция способна принести наибольшую выгоду фармкомпаниям, во взаимосвязи с опасностями новых пандемий (4,8). Также для населения важной выгодой является возможность повышения качества жизни за счет улучшения здоровья (4,7). Самой большой силой является стремление противостоять пандемии, причем государство обеспечивает при этом устойчивость власти (4,5), а фармкомпании — получение высоких доходов (4,4).

Сравнение показывает, что средняя величина выгоды от медико-биологической революции на 0,2 больше, а величина сил на 0,1 больше, чем от киберфизической революции, что меньше среднеквадратичного отклонения. Самая большая сила киберфизической революции больше, чем медико-биологической, на 0,2, что дает ей возможность действовать несколько более инициативно. В целом группы противостоящих сил сравнимы по величине, и именно поэтому равновесие между ними почти не сдвигается, хотя пандемия Covid-19 повысила шансы медико-биологической революции.

Проведенное исследование показало, что наиболее вероятными направлениями современной технологической революции являются киберфизическое и медико-биологическое. Однако силы и выгоды одной и другой потенциальных революций примерно одинаковые, поэтому происходит продление затянувшейся технологической эпохи кибернетического типа без значительного изменения технологической парадигмы.

Опрос о соотношении сил за различные революции

Выше приведены результаты оценки экспертами величины сил за различные технологические революции. Число экспертов было ограниченным (30), и они не были специалистами в области потенциальных технологических революций. Поэтому в данном подразделе проведен опрос конечных потребителей продуктов различных технологических революций. Он был проведен с помощью системы интернет-анкетирования «Яндекс-Взгляд». Каждая сила оценивалась оценкой от 5 (наивысшая) до 3 (наименьшая). В составе выборки было 500 респондентов в возрасте свыше 25 лет.

В связи с форматом интернет-опроса описание сил и их субъектов было сгруппировано в единые вопросы, содержание которых приведено в таблице 4.22.

Таблица 4.22. Оценка величины сил за различные технологические революции

	Название сил	Оценка
	За киберфизическую революцию	
1.	ИТ-компании, стремящиеся продолжить получение высоких доходов	4,3
2.	Элиты, объединенные Всемирным экономическим форумом	4,2
3.	Государства, стремящиеся использовать возможность контроля над обществом через социальные сети	4,2
4.	Молодежь, желающая жить и работать, используя новейшие ИТ-изделия и возможности сетевых сообществ	4,0
5.	Компании-инноваторы, стремящиеся использовать ИИ высокого уровня для создания успешных бизнесов	4,2
6.	Государства, стремящиеся добиться технологического превосходства над другими странами за счет разработки квантовых компьютеров	4,2
7.	Компании, стремящиеся добиться конкурентных преимуществ путем разработки квантовых компьютеров	4,1
	За медико-биологическую революцию	
8.	Люди в возрасте 60+, желающие повысить качество жизни за счет медицины	3,5
9.	Компании, планирующие получать доходы на растущем рынке товаров для людей в возрасте 60+	3,8
10.	Люди, нацеленные на высокое качество жизни и поддержание здоровья с использованием медицинских услуг	3,8
11.	Передовые компании, стремящиеся реализовать новейшие достижения в области медицины и генетики	4,3
12.	Государства, предпринимающие усилия по поддержанию стабильности общества в условиях угрозы пандемий	4,1
13.	Фармкомпании, нацеленные на получение высоких доходов за счет массовой продажи вакцин	4,3

14.	Люди, стремящиеся к значительному продлению сроков жизни за счет медицины и генетики	3,7
15.	Люди, испытывающие страх перед возможностью заболеть раком и надежду получить лечение	3,5

Вопросы, получившие в первом опросе минимальные оценки, были удалены. Первые семь сил нацелены на поддержку киберфизической революции, а остальные — на медико-биологическую.

Для выявления мнения различных возрастных групп респондентов были проведены опросы групп по 100 человек с минимальным возрастом 25–35 лет и максимальным — свыше 55 лет (55+). Основная масса респондентов (300 человек) не была дифференцирована по возрастам — свыше 25 лет (25+).

Результаты опроса выгод приведены на рис. 4.21, а сил — на рис. 4.22. Формулировки вопросов на рисунках сокращены для компактности представления. В верхней части рисунков приведены результаты оценок восьми сил медико-биологической революции, а в нижней — семи сил киберфизической революции.

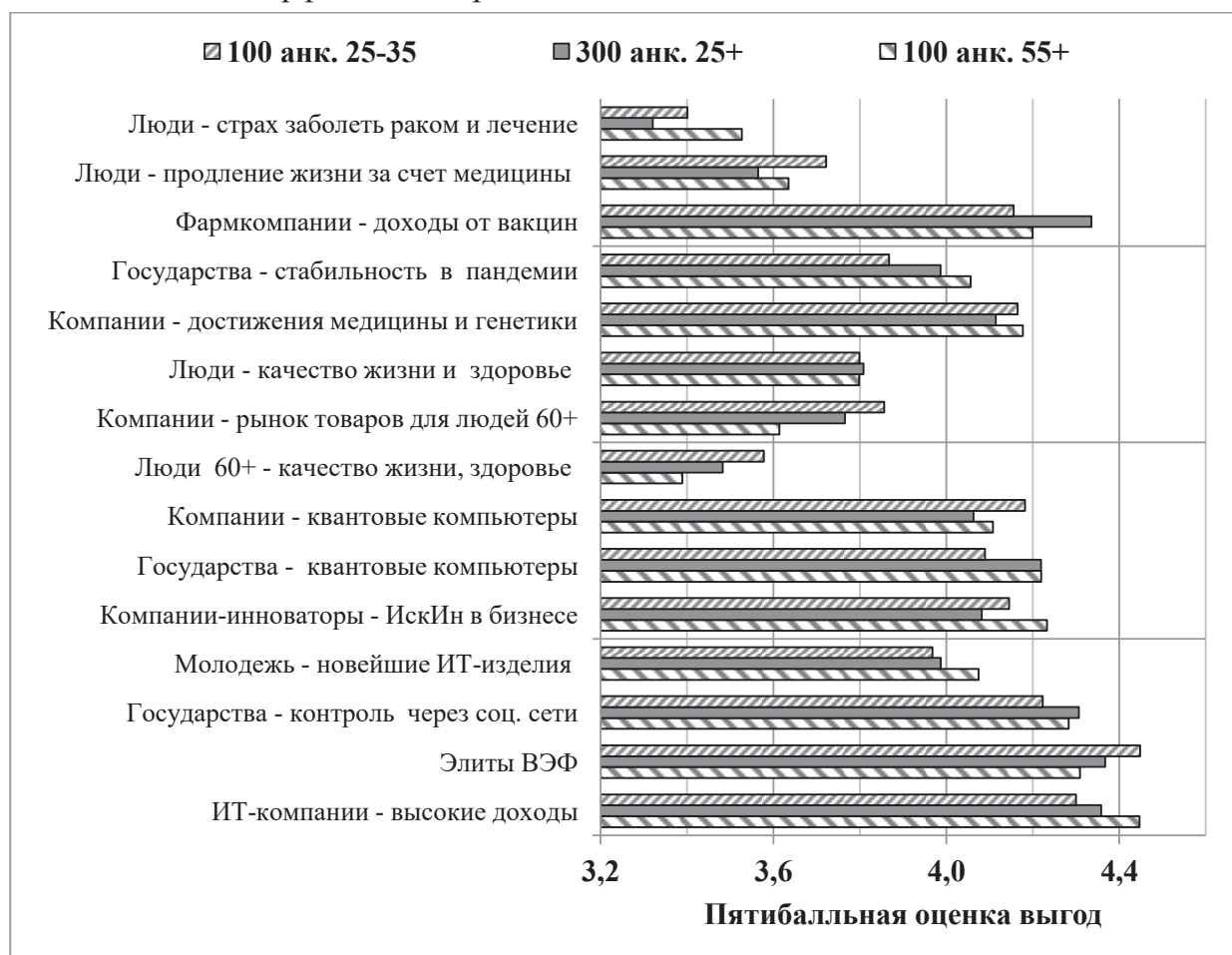


Рис. 4.21. Оценки выгод для субъектов двух типов революций

В среднем оценки сил за субъекты киберфизической революции при онлайн-опросе больше, чем за медико-биологические (4,2 против 3,9). Исследование выгод, которые получают эти силы, дает близкое по величине среднее соотношение — выгоды сил за киберфи-

зическую революцию выше (4,2 против 3,8). Возрастная разница оценок, в среднем, невелика, хотя по некоторым вопросам она значительна. В противоположность этому при опросе экспертов (таблицы 5 и 6) средние оценки за медико-биологическую революцию были на 0,1–0,2 выше: по выгодам 4,4 против 4,2, а по силам 4,2 против 4,1.

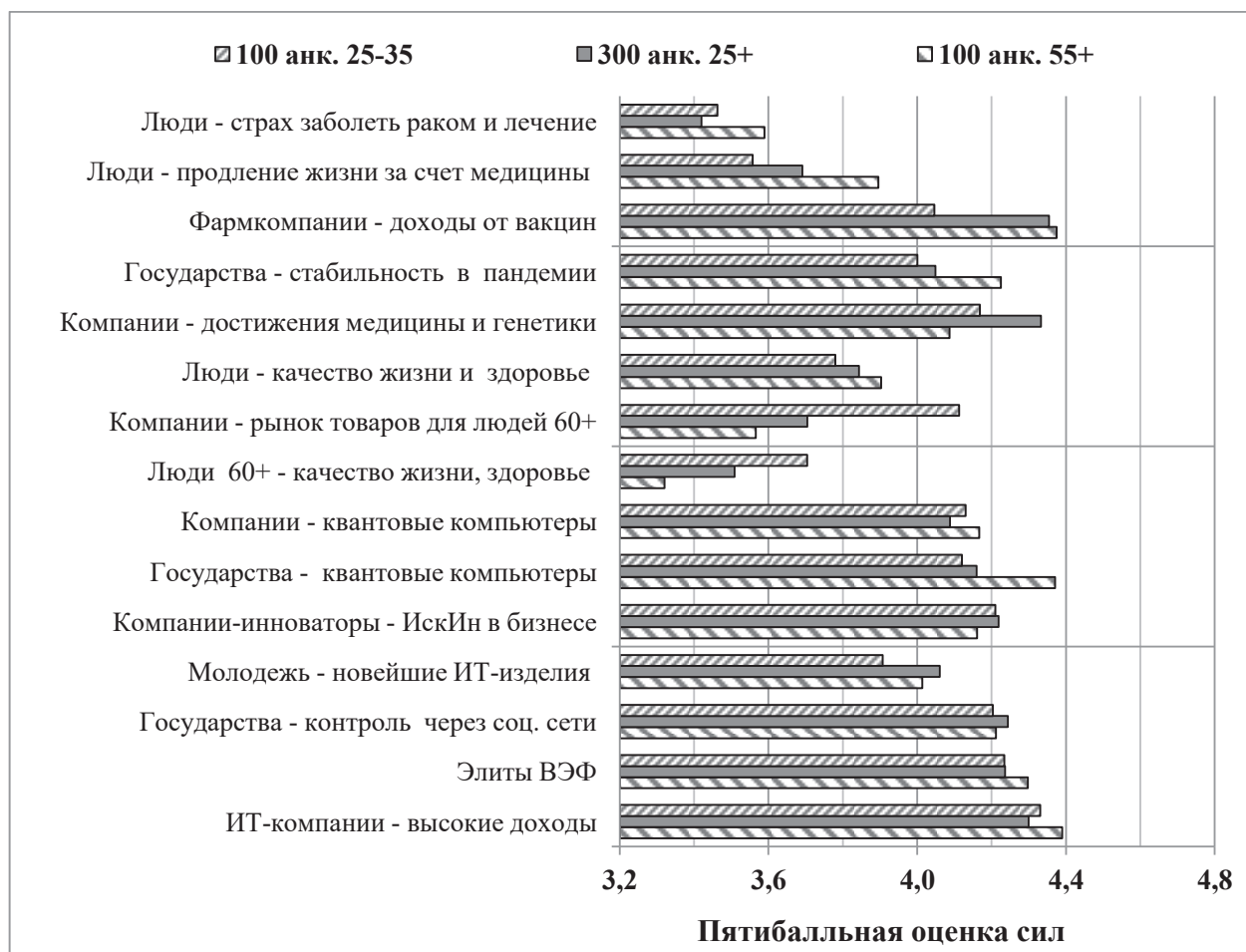


Рис. 4.22. Оценки сил за субъекты двух типов технологических революций

Согласно онлайн-опросу, наибольшие выгоды в результате киберфизической революции получают: ИТ-компании (4,4), элиты Всемирного экономического форума (4,4) и государства, которые смогут контролировать общество через социальные сети (4,3). Эти же субъекты имеют наибольшую силу. В результате медико-биологической революции наибольшие выгоды получают: фармкомпании, производящие вакцины (4,3), передовые медицинские компании (4,1) и государства, устраняющие угрозы пандемий (4,0). Они же имеют наибольшую силу.

Характерно, что остальные представленные в анкете субъекты медико-биологической революции получили низкие оценки выгод и сил в диапазоне 3,4–3,8, тогда как все субъекты киберфизической революции оценены не ниже, чем на 4,0. Это может быть связано с тем, что киберфизические технологии начали внедряться раньше и их субъекты лучше организованы и известны обществу.

Из результатов онлайн-опроса следует, что выгоды и силы медико-биологической революции пока меньше известны в общественном мнении.

4.4. Мировые тенденции частного финансирования сектора R&D по основным технологическим направлениям

В монографии «О долгосрочном научно-технологическом развитии России»³⁴⁴ проведен детальный анализ мировых тенденций частного финансирования сектора R&D по основным технологическим направлениям. Были использованы результаты мониторинга расходов на R&D крупнейших частных компаний, выполненные в рамках исследования IRIMA³⁴⁵. Они содержат данные о ключевых финансовых показателях 2500 компаний, которые потратили в 2020 году на R&D не менее 41,6 млн долл. каждая, а вместе они затратили 1039 млрд долл., что составляет около 90% мировых частных расходов на исследовательскую деятельность. С учетом государственных расходов это около 45% всех расходов на R&D. Большинство из этих компаний расположены в США, Китае или ЕС.

Данные о расходах на R&D в 15 крупнейших секторах отраслей во втором десятилетии XXI века приведены на рис. 4.23³⁴⁶.



Рис. 4.23. Распределение расходов на R&D по секторам и отраслям

Видно, что основные расходы на R&D приходятся на компании цифрового сектора, которые в 2020 году составили 41% от общих затрат. Они же являются лидерами по увеличению расходов на R&D. Эти расходы тратятся, прежде всего, на программное обеспечение и ИТ-услуги (17% от общих затрат), а также компьютерную технику и оборудование (15%).

Примерно вдвое меньше тратит на R&D сектор медицины и фармацевтики (20,7% в 2020 году). На третьем месте по расходам находится сектор производства автомобилей и запчастей.

³⁴⁴ О долгосрочном научно-технологическом развитии России: монография / Под ред. Белоусова Д.Р. и Фролова И.Э. — М.: Динамик принт, 2022. — 168 с. — (серия: Научный доклад ИНИ РАН).

³⁴⁵ Industrial Research & Innovation Monitoring and Analysis. URL: <https://iri.jrc.ec.europa.eu/data>

³⁴⁶ О долгосрочном научно-технологическом развитии России: монография / Под ред. Белоусова Д.Р. и Фролова И.Э. — М.: Динамик принт, 2022. — 168 с. — (серия: Научный доклад ИНИ РАН).

«Вывод о концентрации главных финансовых ресурсов в цифровом секторе подтверждает и анализ распределения и динамики выручки крупнейших R&D-компаний»³⁴⁷, как показано на рис. 4.24. Цифровой сектор лидировал по объему выручки и достиг в 2020 году доли в 25% среди компаний, инвестирующих в R&D. Быстрее всего росли доходы компаний, занимающихся разработкой программного обеспечения (14% в 2020 г.).

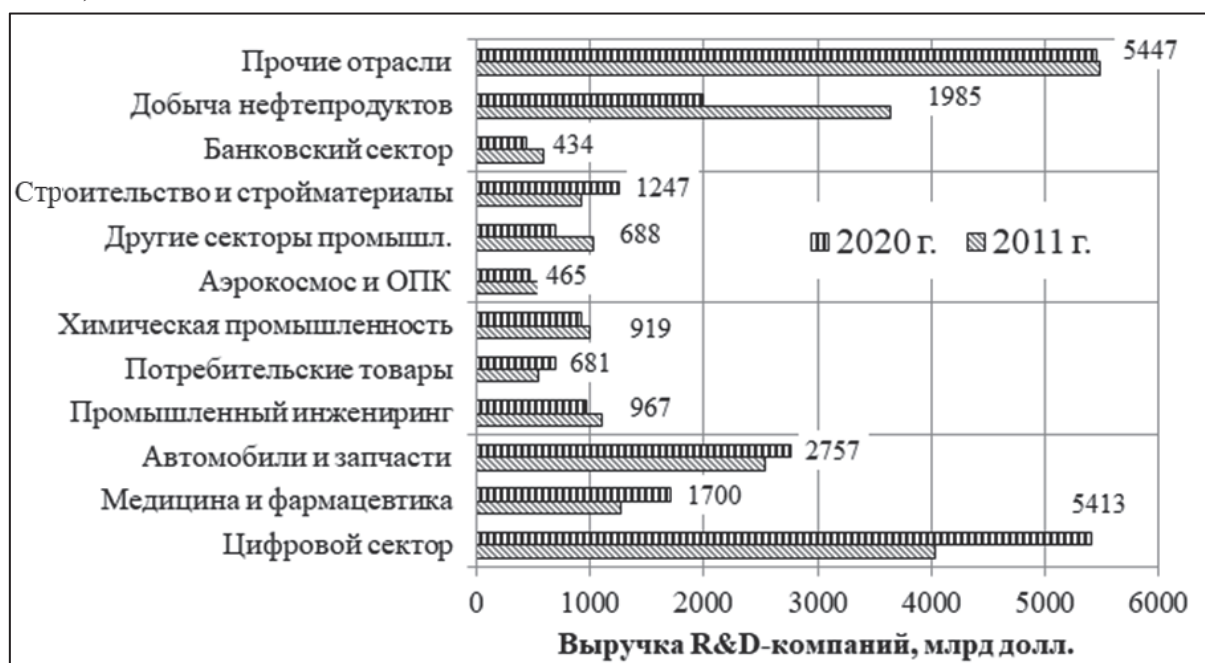


Рис. 4.24. Выручка мировых R&D-компаний по ключевым секторам

Можно отметить, что в большинстве секторов выручка росла значительно медленнее, чем расходы на R&D, а в ряде из них даже падала. Впрочем, частично это связано с падением доходов в связи с Covid-19 в 2020 году. Характерно также, что почти четверть выручки получают компании с низким вкладом в R&D (около 1%).

Несколько парадоксальную картину можно увидеть при анализе рентабельности рассматриваемых отраслей. Для этого было определено отношение прибыли в соответствующих отраслях к сумме расходов на R&D и капитальных затрат (CAPEX). Эти показатели представлены на рис. 4.25 в процентах³⁴⁸.

Для того чтобы устранить влияние Covid-19, здесь, в конце второго десятилетия, использовались данные за 2019 год. На графике 4.25 рентабельность банковского сектора уменьшена вдвое. Цифрами указана величина рентабельности в 2019 году.

Видно, что отрасли, несущие наибольшие расходы на R&D, хронически являются нерентабельными и им приходится рассчитывать на государственную поддержку, заемные средства или дополнительные частные инвестиции.

Из подсекторов цифровой и медико-биологической отраслей стабильно рентабельными (155–121%) являются услуги «Здравоохранение и медицинское оборудование».

³⁴⁷ О долгосрочном научно-технологическом развитии России: монография / Под ред. Белоусова Д.Р. и Фролова И.Э. — М.: Динамик принт, 2022. — 168 с.

³⁴⁸ Там же.

При этом «Фармакология и биотехнологии» за данный период монотонно теряли рентабельность (102–66%). Даже пандемия Covid-19 не помогла по итогам 2020 года помочь изменить ситуацию.



Рис. 4.25. Рентабельность секторов R&D-компаний за 2011–2019 гг., %

Из цифрового сектора наиболее успешными были «Программное обеспечение и ИТ-услуги» (132–80%). Наименьшая рентабельность в отраслях «Электроники и электронного оборудования» (88–71%).

Подводя итоги мировых тенденций в области частного финансирования сектора R&D по основным технологическим направлениям, можно отметить, что основная борьба за лидерство происходит между цифровым (кибернетическим) сектором и медико-биологическим, что подтверждает результаты выполненных выше исследований.

Также неоднозначным являются перспективы их борьбы за лидерство. Цифровые отрасли в результате своего доминирования за период кибернетических революций имеют большую долю рынка и большие возможности привлекать финансирование R&D-деятельности. Однако они катастрофически теряют рентабельность, что свидетельствует о кризисе данного технологического направления.

Обсуждение

Согласно мнению многих экспертов, кризис 2008 года является предиктором наступления периода смены технологической парадигмы. Однако явных индикаторов того, что происходит технологическая революция, не наблюдается. Возможны несколько причин такой ситуации. В частности, согласно системному подходу, в период смены состояния системы практически невозможно прогнозировать направление, по которому пойдет изменение.

Важным фактором, который может маскировать проявления технологической революции, являются большие финансовые ресурсы, накопленные промышленным капиталом ИТ-индустрии, которая стремится продлить период получения сверхдоходов.

Это можно сделать за счет того, что производственная и глобальная логистические инфраструктуры находятся в работоспособном состоянии, и достаточно относительно небольших маркетинговых улучшений продуктов, чтобы продлить их жизненный цикл. Это позволяет оказывать мощное информационное давление на общество относительно направлений новой технологической революции.

Играют роль и другие факторы. Так, фармакологическая продукция традиционно очень тщательно проверяется, что закономерно, но приводит к торможению начала технологической революции. Даже в период пандемии вакцины очень долго проходят проверку, что само по себе приводит к избыточной гибели людей.

В противоположность этому, ИТ-продукция очень мало тестируется, хотя вред, который она может нанести, весьма велик. Достаточно обратить внимание на игроманию, которая фактически ведет к исключению многих людей из общественной жизни. Дальнейшее развитие киберфизических технологий может привести к многомиллионной безработице достаточно квалифицированных специалистов, но эта угроза кажется не столь опасной, как ускоренное внедрение вакцин.

Выводы по § 4

1. В работе представлены результаты разработки и тестирования на практике алгоритма прогнозирования тематики технологической революции с использованием анализа базы научных журналов SCImago JR за 1999 и 2018 годы.
2. Изучено влияние качественных характеристик журналов (индекс Хирша, рейтинг SJR, квартиль) на значимость ключевых тематик научного развития. Показано, что основной вклад в значимость тематик с учетом веса по индексу Хирша и численности играют журналы с 2000-го по 10 000-й номер, хотя тематика первых 300 номеров важна для оценки новизны направления исследований.
3. Показано, что первое место по значимости занимает медико-биологическая тематика (44,3%), которая включает в себя следующие науки (2018 год): медицина, здоровье, геронтология (25,5%); генетика, биохимия, микробиология (7,3%); психиатрия, психология (4%); нейронауки (2,7%); зоология, агронауки, продукты питания (4,8%).
4. Среди технических наук первое место по значимости — 8,3% — занимают компьютерные, включая искусственный интеллект (темп роста 54% с 1999 года). Однако максимум компьютерных наук приходится на номера в области 5–20-тысячных номеров, что не позволяет относить это направление к лидирующему.
5. Достаточно высокую значимость и новизну имеет блок экономических наук (экономика, финансы, менеджмент, маркетинг, стратегия, инновации) — 8% (в 1999 году — 6,7%).
6. Содержательный анализ направлений научно-технического развития показывает, что ключевыми направлениями являются науки, нацеленные на рост человеческого капитала: медицина, образование, социология и другие. Именно в этом направлении наиболее вероятны революционные технологические прорывы.
7. Методом опроса оценена по 5-балльной шкале востребованность 84 инновационных продуктов киберфизической, медико-биологической и смежных специальностей.

Показано, что продукты медико-биологической направленности лидируют в области высоких оценок, причем 8 продуктов имеют оценку в области $C_{2,5} = 4,13-4,08$, что больше, чем лидирующий продукт в киберфизической области (компактные суперкомпьютеры — 4,02). В области более низких оценок разница в оценках двух направлений возрастает.

8. Лидерами среди продуктов медико-биологического направления ($C_{2,5} = 4,13-4,05$) являются: успешное лечение инфаркта и инсульта, восстановление зрения, успешное лечение 95% больных раком, предотвращение генетических заболеваний, лечение наркомании и алкоголизма, восстановление слуха, регенерация органов человека, физическая реабилитация органов.
9. По величине негативных оценок (D_2) киберфизическое направление находится на более высоком уровне. Так, оценку $D_2 > 15\%$ получили 9 киберфизических продуктов и 2 медико-биологических, хотя средние значения негативной оценки у данных двух направлений близки — 13–14%.
10. Анализ поля сил, движущих технологические революции, согласно мнению экспертов, показывает, что выгоды для общества от медико-биологической революции на 0,2 балла в 5-балльной шкале более привлекательны, чем от киберфизической, а величина сил у нее на 0,1 выше. Малая дифференциация сил и выгод тормозит выбор инвесторами направлений инвестиций. Наибольшую величину за киберфизическую революцию имеет сила интересов ИТ-компаний, а за медико-биологическую — опасность очередной пандемии.
11. Анализ поля сил с использованием интернет-опроса 500 респондентов показал, что выгоды для общества от киберфизической революции примерно на 0,3 балла по 5-балльной шкале более привлекательны, чем от медико-биологической, а величина сил у нее на 0,4 выше. Малая дифференциация сил и выгод тормозит выбор инвесторами направлений инвестиций.
12. За киберфизическую революцию, согласно онлайн-опросу, наибольшую величину имеют сила интересов ИТ-компаний (оценка 4,4) и элиты Всемирного экономического форума (4,4). Наиболее влиятельные силы медико-биологической революции — фармкомпании, производящие вакцины (4,3), и передовые медицинские компании (4,1), реализующие новейшие достижения в области медицины и генетики.
13. Анализ мировых тенденций частного финансирования сектора R&D по основным технологическим направлениям показывает, что основная борьба за лидерство происходит между цифровым (кибернетическим) сектором и медико-биологическим, что подтверждает результаты других исследований.
14. Цифровой сектор является хронически неспособным за свой счет обеспечивать расходы на R&D и капитальные вложения. Наиболее успешным в этом секторе были «Программное обеспечение и ИТ-услуги», рентабельность которых уменьшалась с 2011 по 2020 год с 132% до 80%.
15. Из медико-биологического сектора стабильно рентабельными (155–121%) являются услуги «Здравоохранения и медицинского оборудования». «Фармакология и биотехнологии» за данный период монотонно теряли рентабельность (102–66%).

Литература к главе II

85. Альтшуллер Г.С., Шапиро Р.Б. О психологии изобретательского творчества//Вопросы психологии. 1956, № 6. С. 37–49.
86. Андриященко Г.И., Орехов В.Д., Блинникова А.В. Анализ конкурентоспособности России при переходе к многополярному миру. Московский экономический журнал. 2022. № 2. — С. 500–531. doi: 10.55186/2413046X_2022_7_2_86
87. Атлас новых профессий 3.0. / под ред. Д. Варламовой, Д. Судакова. — М.: Интеллектуальная литература, 2020. — 456 с.
88. Белбин Р.М. Команды менеджеров: как объяснить их успех или неудачу [пер. с англ.], 2-е изд. — Лондон и др.: Квигтс, 2007. — 238 с.
89. Бестужев-Лада И. В., Наместников Г.А. Социальное прогнозирование. Курс лекций. М.: Педагогическое общество России, 2002.
90. Библиотека Конгресса. — Википедия, 2012. <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
91. Блинникова А.В., Орехов В.Д., Андриященко Г.И. Исследование генезиса, направлений реализации и дат технологических революций во взаимосвязи с развитием человеческого капитала. Московский экономический журнал. 2022. № 2. — С. 500–531.
92. Борисов И.И., Запрягаев С.А. Тенденции развития высшего образования в XXI веке. — 2000. <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/educ/2000/01/p.13-29.pdf>
93. Главная информация. Библиотека Конгресса. URL: <https://www.loc.gov/about/general-information/> — 2022.
94. Глазьев С.Ю., Воронов А.С., Леонтьева Л.С., Орлова Л.Н., Сухарева М.А. О формировании человеческого капитала на разных этапах социально-экономического развития. Государственное управление. Электронный вестник. Выпуск № 82. Октябрь 2020 г. DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10096
95. Глазьев С.Ю., Львов Д.С. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП // Экономика и математические методы. — М., 1986. — № 5. — С. 793–804.
96. Гринин А.Л., Гринин Л.Е. Ведущие технологии шестого технологического уклада. 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323996170>
97. Дагаев А.А. Эволюция и перспективы совершенствования методологии долгосрочного экономического прогнозирования // Российское предпринимательство. 2006. Т. 7, № 4. С. 81–85. https://creativeconomy.ru/lib/1633#_ftnref7
98. Данилин И.В., Мамедьяров З.А., Кобринская И.Я. Прогнозирование технологических тенденций на основе социально-экономических факторов. Научно-аналитический доклад. М.: НИИ ИМЭМО РАН, 2016. 2016-Dynkin-Rep-RFFI-001.pdf
99. Де Боно Э. Шесть шляп мышления. СПб., 1997.
100. Каминский И.П., Огородова Л.М., Патрушев М.В., Чулок А.А. Медицина будущего: возможности для прорыва сквозь призму технологического прогноза. Форсайт. Т. 7. № 1, с. 14–25, 2013.
101. Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. — М., 2012. — С. 79.

102. Каранышев А.Х., Орехов В.Д. Инклюзивное развитие человеческого капитала как парадигма обеспечения устойчивой экономической динамики. Стратегическое управление устойчивым развитием экономики в новой реальности: монография / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. — СПб.: Политех-Пресс, 2022. — С. 631–668. DOI 10.18720/IEP/2022.2/22
103. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. — 1925. — Т. I. — Вып. 1.
104. Корицкий А. В. Влияние человеческого капитала на экономический рост: учеб. пособие / А. В. Корицкий; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. — 244 с.
105. Корчагин Ю.А. Российский человеческий капитал: фактор развития или деградации? Монография. — Воронеж: ЦИРЭ, 2005.
106. Кулинич А.А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления. 2010, № 3.
107. Ладыкова Т.И., Васильева И.А., Завиша Е.Н. Форсайт-технологии в прогнозировании инновационного развития региона. Управление экономическими системами. 2015, № 4.
108. Лукша П., Лукша Е., Песков Д., Корицин Д. Атлас новых профессий. М.: Агентство стратегических инициатив, 2014. Skolkovo_SEDeC_Atlas.pdf
109. Макконелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс. М.: Инфра-М, 2006.
110. Малинецкий Г.Г. Теория информационного взаимодействия С.П. Капицы и программа цифровой экономики России. Сб. докладов междунар. науч. конф. «Человеческий капитал в формате цифровой экономики». М.: РосНОУ, 2018. С. 18.
111. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. Пределы роста. 30 лет спустя/ Пер. с англ. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.
112. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й., Бернс В. Пределы роста, — М.: МГУ, 1991.
113. Микова Н., Соколова А. Мониторинг глобальных технологических трендов: теоретические основы и лучшие практики. Форсайт. Т. 8, № 4, с. 64–83.
114. Мировая энергетическая статистика. Ежегодник 2016. <https://yearbook.enerdata.ru> Дата обращения 19.12.2017.
115. Молчанов А.В. Развитие теории С.П. Капицы. Гипотеза сети сознания // Око планеты. — 2009 // Естествознание. — 2009 // Наука и техника. — 2009.
116. Немцов Э.Ф. Человечество становится всё изобретательнее. — 2011. URL: <http://nemtsov.ners.ru/articles/chelovechestvo-stanovitsya-vs-izobretatelnee.html>
117. О долгосрочном научно-технологическом развитии России: монография / Под ред. Белоусова Д.Р. и Фролова И.Э. — М.: Динамик принт, 2022. — 168 с. — (серия: Научный доклад ИНИП РАН).
118. Орехов В.Д. Знания в системе развития общества//Бизнес-образование, РАБО. — 2010. — № 28 — С. 78.
119. Орехов В.Д. О парной взаимосвязи длинных волн: Тр. XV междунар. научн.-практ. конф. «Качество дистанционного образования: концепции, проблемы, решения». — М., 2013. — С. 165.

120. Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. — Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. — 210 с.
121. Орехов В.Д. Разработка моделей и методов прогнозирования развития социально-экономических систем с учетом фактора человеческого капитала: монография / В. Д. Орехов. — Москва: Знание-М, 2022. — С. 38.
122. Орехов В.Д., Блинникова А.В. Три подхода к прогнозированию стратегических направлений мирового технологического развития. Всероссийский симпозиум «Стратегическое планирование и развитие предприятий». — 2022. — С. 415–418. <https://symposium-cemi.ru/symp23-s4-36/>
123. Орехов В.Д., Каранышев А.Х., Головчанов С.С. Исследование эффективности командной работы в сфере НИОКР: резервы роста человеческого капитала. Московский экономический журнал. № 9, 2021. — С. 1–19. doi: 10.24411/2413-046X-2021-10555
124. Орехов В.Д., Мельник М. С., Причина О. С. Исследование новых тенденций и закономерностей воздействия цифровой экономики на производительность труда. Проблемы экономики и юридической практики. 2018. № 2. С. 20–26.
125. Орехов В.Д., Причина О.С. Экономико-математическое моделирование процессов управления в области инноватики / под ред. В. Д. Орехова. — Москва: Знание-М, 2022. — 218 с. Doi 10.38006/00187-180-4.2022.1.219
126. Орехов В.Д., Причина О.С., Горшенин В.П. Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции. Проблемы экономики и юридической практики. 2017. № 6. С. 43–48. М., Юр-ВАК.
127. Орехов В.Д., Технологические революции как ключевой фактор отраслевого стратегического планирования. В книге: Стратегическое планирование и развитие предприятий. Материалы Восемнадцатого всероссийского симпозиума. Под редакцией Г.Б. Клейнера. 2017. С. 782–785.
128. Панов А.Д. Единство социально-биологической эволюции и предел ее ускорения. Историческая психология и социология истории. № 2, 2008. — С. 35.
129. Панфилова Е.А., Орехов В.Д., Шинкарёва О.В. Влияние корпоративных факторов на процессы рыночной капитализации российских компаний // Проблемы экономики и юридической практики. 2019. Т. 15, № 4. С. 54–62.
130. Переслегин С.Б. Новые карты будущего, или Анти-Рэнд. — М.: АСТ; СПб.: Terra Fantastica, 2009. 702 с. <https://windjview.sourceforge.io/ru>
131. Подвесовский А.Г., Лагереv Д.Г., Коростелев Д.А. СППР «ИГЛА». (Свидетельство отраслевого фонда алгоритмов и программ Росстата № 50200701348). 2007. URL: <http://iipro.tu-bryansk.ru/quill/developers.html> Дата обращения 2018.
132. Подлазов А.В. Теоретическая демография как основа математической истории. — М., 2002.
133. Причина О.С., Горшенин В.П., Орехов В.Д. Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции. Проблемы экономики и юридической практики. № 6, 2017. М., Юр-ВАК.

134. Причина О. С., Орехов В. Д., Блинникова А. В. Вызовы развития человеческого капитала России в условиях экономики знаний // Проблемы экономики и юридической практики. 2023. Т. 19. № 4. С. 177–185. EDN: UOAVGM
135. Причина О. С. Проблемы рыночной трансформации инновационного потенциала корпорации / О. С. Причина // Финансы и кредит. — 2002. — № 7(97). — С. 14–19. — EDN HUXUVX.
136. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Министерство образования и науки России, М., ДМ–П8–5. 2013.
137. Руденский О.В., Рыбак О.П. Инновационная цивилизация XXI века: конвергенция и синергия NBIC-технологий. Тенденции и прогнозы 2015–2030. Информационно-аналитический бюллетень № 3. http://www.vixri.com/wp-content/uploads/2011/08/inf3_2010.pdf.
138. Советский энциклопедический словарь. — М., 1987.
139. Турчин А. В. Футурология: бессмертие или глобальная катастрофа? // А.В. Турчин, М.А. Батин. — М.: Бином. Лаборатория знаний. 2013. — 263 с.
140. Ушаков К. Хранилище вечности // СЮ. — 2007. — № 7.
141. Хель И. Индустрия 4.0: что такое четвертая промышленная революция? Hi-News.ru. URL: <https://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0-chto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyciya.html>
142. Шваб К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб — «Эксмо», 2016.
143. Щедровицкий Г.П. Организационно-деятельностная игра как новая форма организации коллективной мыследеятельности // Методы исследования, диагностики и развития международных трудовых коллективов. М., 1983.
144. Электроэнергия. Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электроэнергия>
145. Яковец Ю.В. Циклы. Кризисы. Прогнозы. — М., 1999. — Табл. 9. <http://abuss.narod.ru/Biblio/jakovets.htm>
146. Attali J. (2011). A Brief History of the Future: A Brave and Controversial Look at the Twenty-first Century. Skyhorse Publishing Inc.
147. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton // NJ: Princeton University Press, 1976. 404 p.
148. Becker P. Corporate Foresight in Europe: A First Overview. Luxembourg, 2003.
149. Bell, D. The coming of post-industrial society: A venture of social forecasting. N.Y.: Basic Books, 1973.
150. Berry B. J. (2017) Seven Long Waves in America’s History. School of Economic, Political and Policy Sciences at the University of Texas at Dallas.
151. Bunch, B., Hellems, A. The history of science and technology. Houghton Mifflin company, Boston –New York, 2004.
152. Control Data Computer Exceeds Specifications. (англ.) // Missiles and Rockets: The Weekly of Space Systems Engineering. — Washington, D.C.: American Aviation Publications, Inc., September 2, 1963. — Vol.13 — No. 10. — P. 39.
153. Cornish E. Futuring: The Exploration of the Future. 2005.

154. Daniel Šmihula. Long Waves of Technological Innovations. Štúdie a analýzy URL: https://www.sav.sk/journals/uploads/04201200SPS_2_2011_D%20%20Smihula.pdf
155. Denning P. J., Lewis T. G. Exponential Laws of Computing Growth. Communications of the ACM, January 2017, Vol. 60 No. 1. P. 54–65.
156. Dodson, M., Gann, D. and Salter, A. (2008) The Management of Technological Innovation, Oxford, Oxford University Press.
157. Facchini F. Le origini l'uomo. Introduzione alla paleoantropologia/ Pref. di Y. Coppens. Milano: JACA Book, 1993.
158. FLOPS. Wikipedia URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/FLOPS>
159. Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.
160. Forrester J. (2003). Мировая динамика. / Пер. с англ. — М: АСТ; СПб.: Terra Fantastica
161. Freeman, C. (1987). Technology, Policy, and Economic Performance: Lessons from Japan (p. 44–45). London: Pinter Publishers.
162. Gartner Hype Cycle (2019). URL: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>
163. General Information — About the Library (Library of Congress). 2012. <http://www.loc.gov/about/general-information>
164. Global Energy Statistical Yearbook 2016, URL: <https://yearbook.enerdata.ru>
165. Gordon T.J., Helmer O. Report on Long-Range Forecasting Study. The RAND Corporation, Santa Monica, Calif., Sept., 1964.
166. Gordon, W.J.J. Sinectics: The Development of Creative Capacity. New York, 1961.
167. Grinin L., Grinin A., Korotayev A.A. (2020). Quantitative analysis of worldwide long-term technology growth: From 40,000 BCE to the early 22nd century. Technological Forecasting and Social Change, Volume: 155.
168. Hawksworth J. The World in 2050. How big will the major emerging market economies get and how can the OECD compete? PricewaterhouseCoopers — March 2006.
169. Hawksworth J., Audino H., Clarry R. (2017). The World in 2050. The Long View How will the global economic order change by 2050? PwC. URL: <http://www.pwc.com/world2050>
170. Industrial Research & Innovation Monitoring and Analysis. URL: <https://iri.jrc.ec.europa.eu/data>
171. Inflation, GDP deflator (annual %) - United States. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.DEFL.KD.ZG?locations=US&view=chart>
172. Kahn H. The Next Two Hundred Years: A Scenario for America and the World. 1976.
173. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies, 1986. Vol. 1. P. 65–75.
174. Kurzweil R. The Singularity Is Near. When Humans Transcend Biology. Y.: Viking, 2005.
175. Lewin K. A. Dynamic Theory of Personality. New York; London: McGraw Hill Book Company, 1935.
176. Lewin, K. (1951) Field Theory in Social Science, Harper & Row.
177. Maddison, A. (2008) Historical Statistics of the World Economy: 1-2008 AD. GGDC.
178. Margaret Cheney. Tesla: Man Out of Time. — Simon and Schuster, 2001. — С. 33. — 422 с.

179. Mensch, Gerhard: Das technologische Patt: Innovationen überwinden die Depression. Frankfurt a.M. 1975.
180. Methods of fuzzy set theory in the purpose of expansion of the value chains based on the main factors of corporate culture / L. A. Tselykh, E. A. Panfilova, O. S. Prichina [et al.] // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. — 2015. — Vol. 6, No. 5 S3. — P. 249–258. — DOI 10.5901/mjss.2015.v6n5s3p249. — EDN VAAZAX.
181. Moore G. Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Electronics*, p. 114–117, April 19, 1965.
182. Moore's Law Transistor Count 1970-2020.png. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moore%27s_Law_Transistor_Count_1970-2020.png
183. Mosher D. Genealogy of Science According to Scopus, *Wired Magazine*, 2011.
184. Nicholas Crafts. Steam as a General Purpose Technology: A Growth Accounting Perspective. *The Economic Journal*. Vol. 114, No. 495 (Apr., 2004), p. 338–351.
185. Orekhov V.D., Prichina O.S., Blinnikova A.V. et al. Indicative diagnostics of the educational component of human capital based on mathematical modeling. *Opcion*. 2019. T. 35. Special Issue 20. C. 2337–2357.
186. Orekhov V.D., Prichina O.S., Loktionova U.N., Gusareva N.B. Scientific analysis of the Happiness Index in regard to the human capital developmen. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2020, Vol. 12, Special Issue. P. 467–478.
187. Perez C. (2002) *Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
188. Prichina O.S, Orekhov V.D., Shchennikova E.S. (2017) 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. C. 69–81.
189. Prichina O.S., Orekhov V.D., Egorova E.N, Kukharenko O.G, Blinnikova A.V. Developing and Testing the Forecasting Algorithm for the Technological Revolution Theme through the Analysis of the SCImago JR Scientific Journal Database” *J. of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2020. Vol. 12. P. 712–724. Special Issue.
190. Prichina O.S., Orekhov V.D., Kukharenko O.G, Blinnikova A.V. et al. Developing and Testing the Forecasting Algorithm for the Technological Revolution Theme through the Analysis of the SCImago JR Scientific Journal Database. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, Volume 12, 04-Special Issue, p. 712— 724.
191. Rifkin, J. *The Third Industrial Revolution How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, — New York: Palgrave Macmillan, 2011. — 291 p.
192. Roxburgh C. Adjusted for the brain. *The McKinsey Quarterly*. 2003, № 2.
193. Schofer E., Meyer J. W. The Worldwide Expansion of Higher Education in the Twentieth Century, *American Sociological Review*. 2006.
194. Schultz T.W. *The Economic Value of Education*. New York: Colambia University Press. 1963.
195. Schumpeter J. A. A Theorist's Comment on the Current Business Cycle. *Journal of the American Statistical Association* V.30 (189), 1935.

196. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*, Crown Business, New York, 2016, 192 p. (Рус. пер.: Шваб К. Четвертая промышленная революция. — «Эксмо», 2017).
197. SCImago Journal & Country Rank. Scimago Institutions Rankings. URL: <https://www.scimagojr.com/>
198. Shinkareva O.V., Orekhov V.D., Solodukha P.V., Prichina O.S., Gizyatova A.Sh. Multifactor Assessment of Indicators on Dynamic Modeling of Programs for Managing the Performance of Scientific Labor. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. T. 9. # 13. С. 303–317.
199. Silbergitt R., Anton P. S., et al. *Global Technology Revolution-2020, In-Depth Analyses*. (2006). RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR303.html
200. Six ways to ensure higher education leaves no one behind. UNESCO Policy Paper 30, 2017. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247862>
201. Spence M. *The Next Convergence: The Future of Economic Growth in a Multispeed World*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2011. (Пер. с англ. А. Калинина, М., 2013. <http://rabkor.ru/culture/books/2013/06/06/spence/>)
202. Tateisi K. *The Eternal Venture Spirit: An Executive's Practical Philosophy*. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1989.
203. The Eniac, an Electronic Computing Machine // *Nature* (12 October 1946) vol. 158. — P. 500–506.
204. *The Growth Report. Strategies for Sustained Growth and Inclusive Development*. Commission on Growth and Development. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. 2008.
205. Toffler A., *The Third Wave*, London, Pan Books Ltd, 1981.
206. Unctad. *Catching technological waves Innovation with equity. Technology and innovation report 2021*. United Nations conference on trade and development Unctad. Geneva.
207. Vashakmadze T. The impact of ESG factors on the future capitalization of the company. Empirical testing on the American stock market // *Financial life*. 2013. № 4. P. 63–70.
208. Vinge V. *The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era*?. *Whole Earth Review*, 1993.
209. Wallerstein I. *The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century*. University of California Press, 2011. P. 14–65.
210. *World Population Prospects: Online Edition*. Rev. 1. Revision. (2019). United Nations. New York.
211. Zwicky, F. *Discovery Invention, Research Through the Morphological Approach*, McMillan, 1969.