



РОССИЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СОЦИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ИНСТИТУТ
МЕНЕДЖМЕНТА ЛИНК

Разработка методов и моделей анализа и прогнозирования социально-экономических процессов с учетом фактора человеческого капитала

**Москва
2020**

Рецензенты:

П.В. Солодуха, доктор экономических наук
А.Г. Теслинов, доктор технических наук

P17 **Разработка методов и моделей анализа и прогнозирования социально-экономических процессов с учетом фактора человеческого капитала** [Текст]: монография. Под ред. В.Н. Голубкина, В.Д. Орехова. – Жуковский: «Международный институт менеджмента ЛИНК», 2020. – 233 с.: рис., табл., граф.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-07328 «Когнитивное прогнозирование социально-экономической динамики и конкурентоспособности России на основе развития человеческого капитала».

Монография посвящена разработке методов и моделей прогнозирования тенденций и закономерностей эволюции трудовой деятельности людей, базирующихся на системном и количественном анализе динамики экономических и социальных показателей.

Созданные авторами модели прогнозирования роста ВВП и социально-экономических индикаторов макроэкономической динамики будут полезны при разработке программ и механизмов общественного развития и выборе стратегий роста человеческого капитала.

Адресована научным работникам, преподавателям, студентам и аспирантам экономических специальностей, а также специалистам, занимающимся стратегическим планированием.

УДК005.521
ББК65.23

Редакторы:

Голубкин В.Н., доктор технических наук, профессор;
Орехов В.Д., кандидат технических наук

Авторы:

Блинникова А.В., Головчанов С.С., Горшенин В.П., Гизятова А.Ш.,
Есипова Э.Ю., Егорова Е.Н., Жаворонкова Н.М., Зайцева Н.А., Каранашев А.Х.,
Кухаренко О.Г., Лютова Т.В., Орехов В.Д., Панфилова Е.А., Причина О.С.,
Савватеев Е.В., Щенникова Е.С., Эмих О.К.

ISBN 978-5-7527-0580-9

© О.С. Причина, 2020
© В.Д. Орехов, 2020

Содержание

Авторы	4
Введение	5
Глава 1. Базис функционирования человеческого капитала: люди, знания, наука	8
1.1. Рост численности населения	10
1.2. Закономерности динамики знаний и их взаимосвязь с ростом ВВП	19
1.3. Современные подходы к трактовке понятия «знание»	24
1.4. Измерение количества явных и скрытых знаний	36
1.5. Моделирование динамики числа ученых в мире в прошлом и будущем	41
Глава 2. Прогнозирование развития социально-экономических систем с учетом образовательной компоненты	51
2.1. Модели и алгоритмы прогнозирования развития социально-экономических систем с учетом образовательной компоненты до 2050 года	51
2.2. Повышение качества подготовки трудовых ресурсов и формирования конкурентоспособности работников: анализ результатов проекта PISA	61
2.3. Профессиональные стандарты как ядро новой образовательной парадигмы	68
2.4. Современные тенденции формирования человеческого капитала на основе трансформации системы профессионального образования	79
2.5. Закономерности трудовой деятельности коллективов в области R&D: факторы и резервы повышения производительности труда	87
Глава 3. Прогнозирование динамики технологических революций	97
3.1. Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции	97
3.2. Алгоритм прогнозирования тематики технологической революции с использованием анализа базы научных журналов SCImago JR	119
Глава 4. Модели прогнозирования на основе интегральных индексов	149
4.1. Анализ характеристик Индекса «Качество государственного управления»	149
4.2. Прогнозная модель экономического роста на основе образовательных индикаторов	163
4.3. Модель прогнозирования экономической динамики стран на базе глобальных Индексов	177
4.4. Научный анализ индекса экономики счастья применительно к развитию человеческого капитала	192
Основные выводы по содержанию монографии	208
Заключение	210
Приложение 1. Терминологический словарь	212
Приложение 2. Условные обозначения	213
Литература	215

Авторы:

Блинникова А.В., к.э.н., доцент, МВА, доцент кафедры, Государственный университет управления

Головчанов С.С., к.соц.н., председатель Ярославского регионального отделения Общероссийской общественно-государственной просветительской организации «Российское общество "Знание"»

Горшенин В.П., д.э.н., профессор, советник ген. директора АО «НПО Лавочкина»

Гизятова А.Ш., к.э.н., доцент, Российский государственный социальный университет

Егорова Е.Н., к.э.н., доцент, Российский государственный социальный университет

Есипова Э.Ю., к.э.н., Раменское приборостроительное КБ, ведущий специалист Администрации направления по НИОКР

Жаворонкова Н.М., к.э.н., МВА, директор курса, Международный институт менеджмента ЛИНК

Зайцева Н.А., д.э.н., профессор кафедры, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

Каранашев А.Х., д.э.н., профессор кафедры, Кабардино-Балкарский государственный университет

Кухаренко О.Г., к.э.н., доцент, Российский государственный социальный университет

Лютова Т.В., к.п.н., МВА, директор курса, Международный институт менеджмента ЛИНК

Орехов В.Д., к.т.н., МВА, профессор кафедры, директор НОЦ, Международный институт менеджмента ЛИНК

Панфилова Е.А., к.э.н., доцент кафедры, Ростовский государственный экономический университет

Причина О.С., д.э.н., профессор, профессор кафедры, Российский государственный социальный университет

Савватеев Е.В., д.э.н., профессор, директор института управления и агробизнеса Московского государственного университета пищевых производств

Щенникова Е.С., к.э.н., МВА, директор Международной школы бизнеса Финансового университета

Эмих О.К., к.т.н., МВА, доцент кафедры, Международный институт менеджмента ЛИНК.

Введение

Данная монография посвящена аргументированному раскрытию роли человеческого капитала и знаний в экономической динамике всего мира и России, в частности. Монография подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-07328 «Когнитивное прогнозирование социально-экономической динамики и конкурентоспособности России на основе развития человеческого капитала».

Крупнейшим вызовом, который в настоящее время стоит перед Россией и всем миром, является демографический переход, приводящий к радикальному изменению динамики роста человеческого капитала, и вследствие этого – к падению темпов роста мирового ВВП (в XXI веке, по прогнозам авторов, до 1% в год). Это делает крайне актуальным поиск новых ресурсов роста человеческого капитала, а также способов их введения в хозяйственную практику и повышения эффективности использования.

Ключевая роль человеческого капитала (ЧК) в монографии связана с тем, что именно он составляет до 80% национального богатства крупнейших мировых экономик. Авторы исследуют ЧК с помощью разных подходов и стремятся создать его целостную системную модель.

Прежде всего, исследуются причины демографического перехода и, соответственно, возможность влияния на демографию в условиях роста ВВП на душу населения.

Другим базисом ЧК является знание, выступающее в двух аспектах. Во-первых, как явное, кодифицированное знание (*explicit knowledge*), представленное в виде книг и научных трудов и являющееся базисом человеческой цивилизации. Во-вторых, как неявное, или скрытое знание (*tacit knowledge*), которое заключено в человеческом сознании и является основным инструментом мышления и практической деятельности. Именно скрытое знание представляет собой основное содержание и ценность человеческого капитала, поэтому необходимость исследования его динамики является крайне важной для понимания особенностей развития ЧК и, соответственно, экономической динамики.

Динамика знания тесно связана с образовательной и научной деятельностью, которые выступают в роли основных драйверов человеческого капитала. В связи с этим в монографии рассмотрена динамика численности научных кадров, а также различные аспекты развития образования, в частности преобразование образовательной парадигмы.

Важнейшим феноменом экономической динамики, тесно связанным с ЧК, является циклическое изменение экономической активности. Как известно, оно проявляется в виде технологических революций и экономических кризисов. В результате технологических революций значительная часть навыков специалистов, представляющих человеческий капитал, может стать невостребованной, и резко повыситься спрос на компетенции других специалистов, прежде находившихся в тени. В связи с этим в монографии рассмотрены вопросы прогнозирования дат технологических революций и направленности очередной революции.

Для понимания общей картины социально-экономической динамики и системы взаимосвязей между различными факторами в монографии исследуется влияние на рост ВВП и Индекса счастья широкого комплекса глобальных индексов, дающих в агрегированном виде информацию о различных аспектах деятельности стран. Это позволяет с использованием регрессионного анализа путем сравнения различных стран сформировать Предикторы, позволяющие прогнозировать их социально-экономическое развитие, включая Россию.

Предмет исследования состоит в выявлении количественных взаимосвязей между факторами, характеризующими социально-экономическую динамику, и человеческим капиталом, а также другими показателями окружающей среды, прежде всего – развитием знания.

Цель данного исследования состояла в том, чтобы сформировать прогнозную концептуальную модель развития мировой социально-экономической системы, охватывающую вопросы экономической динамики, человеческого капитала и экономики знания с углубленным вниманием к развитию России и математическому моделированию ключевых аспектов данной концептуальной модели.

В монографии содержательно используются следующие научные дисциплины: системный анализ, управление знаниями и человеческим капиталом, экономическая динамика, прогнозирование, демография, управление персоналом, управление образованием, статистические и другие количественные методы. Все это характеризует ее как междисциплинарную. В монографии широко используется международное сопоставление и учет мирового развития как единой системы.

Большинство разделов монографии представлены в формате, близком к тому, в котором они были опубликованы в виде научных статей, и даны ссылки на эти статьи. При этом внутри глав, как правило, соблюдается последовательность получения этих результатов, вследствие чего завершение одной работы подталкивало исследователей к следующему шагу, развитию методологии и расширению объекта исследования. В ходе написания научных статей важные результаты, полученные расчетные материалы нередко не попадают в печать из-за лимита слов. Их представление в данном труде делает его, по мнению авторов, более целостным и содержательным. Ряд результатов, положивших начало этому исследованию, представлен в монографии В.Д. Орехова «Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания»¹.

Более детальные введения по вопросам составляющих работу отдельных статей будут представлены в соответствующих разделах с тем, чтобы сделать более понятной логику их изложения и не разрывать отсылкой к общему введению.

¹ Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания. Моногр. Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. 210 с.

Работа состоит из четырех глав.

Первая глава посвящена базису функционирования человеческого капитала: количеству людей и знания человечества как явных, так и скрытых. Рассмотрена связь объема явных знаний и мирового ВВП. Проанализированы методы измерения явных и скрытых знаний.

Во второй главе внимание уделено образовательной компоненте человеческого капитала, включая качество подготовки трудовых ресурсов, изменение образовательной парадигмы и влияние образовательного уровня специалистов на ВВП страны.

В третьей главе анализируется феномен технологических революций, который тесно связан с качественными изменениями человеческого капитала. На основе анализа тематики научных журналов выявлены потенциальные претенденты на лидерство в очередной технологической революции.

Четвертая глава посвящена разработке индикативной системы прогнозирования роста ВВП и «счастья» людей в зависимости от широкого круга глобальных индексов–Предикторов.

Глава 1. Базис функционирования человеческого капитала: люди, знания, наука

Человеческий капитал формируется и развивается только тогда, когда для этого существует соответствующий базис, который включает, прежде всего, *работников, знания*, которые позволяют им плодотворно трудиться, и *науку*, которая создает эти знания.

Одним из первых количественным анализом народонаселения занялся Томас Мальтус². Основные тезисы его учения сводятся к следующему:

1. Если возрастание населения не задерживается какими-либо препятствиями, то оно удваивается каждые 25 лет и, следовательно, возрастает в геометрической прогрессии.
2. Средства существования при наиболее благоприятных условиях применения человеческого труда никогда не могут возрастать быстрее, чем в арифметической прогрессии.
3. Для сохранения равновесия и обеспечения существующего населения необходимым ему продовольствием нужно, чтобы население постоянно сдерживалось каким-либо высшим законом, чтобы тот из двух противоположных законов размножения, на стороне которого оказывается значительный перевес, сдерживался в определенных границах.
4. Препятствия к размножению, превышающему средства существования населения, разделяются на предупредительные и разрушительные; и те, и другие могут быть сведены к трем видам – нравственному обузданию, пороку и несчастью.

С подачи Мальтуса стала популярной идея ограничения рождаемости и учета средств существования населения (так называемое «мальтузианство»). Дальнейшие исследования показали, что население Земли растет согласно гиперболическому закону, т.е. быстрее, чем указывал Мальтус. Оказалось также, что средства существования не являются принципиальным ограничителем роста населения и в долговременной глобальной перспективе сами зависят от роста населения.

Родоначальником построения математических моделей мирового развития является профессор Джей Форрестер. Он разработал методику «системной динамики», позволяющую моделировать развитие человечества с помощью ЭВМ. Первые результаты были опубликованы в книге «Мировая динамика» в 1971 году. Для анализа мировой динамики Форрестер выделил следующие основные переменные, зависящие от времени³: «население, капиталовложения (фонды), географическое пространство, природные ресурсы, загрязнение и производство продуктов питания». Следует обратить внимание, что развитие технологий или рост знаний не входили в число переменных данной системы. Характерно, что свою работу, которая продолжалась 15 лет, Форрестер рассматривает «лишь

² Мальтус Т.Р. Опыт закона о народонаселении. Пер. с англ. М.: И.О. Лашкевич и К, 1895. С. 14, 18, 33.

³ Форрестер Дж. Мировая динамика. Пер. с англ. М., СПб.: Terra Fantastica, 2003. С. 23, 54.

в качестве предварительной попытки моделирования таких систем»⁴. Он также утверждает, что «точная и окончательная модель мировой системы никогда не может быть построена»⁵.

Как отмечал классик теории сложности М. Джаксон, «системная динамика не в состоянии предсказать развитие, если в будущем будут возникать любого рода случайности или качественные изменения среды, например технологические революции или экономические кризисы»⁶.

Продолжателем работ по моделированию мировой динамики стал Деннис Медоуз⁷, который доложил полученные результаты на заседании Римского клуба в 1972 году. Суть этого доклада заключалась в том, что при сохранении существующей тенденции к росту численности человечества уже следующие поколения достигнут пределов демографической и экономической экспансии, а это приведет мир к кризису и краху. Во избежание глобальной катастрофы на смену существующей парадигме роста должна прийти парадигма «устойчивого развития».

Детальный анализ исследований, проведенных в данном направлении, дан в работах В.А. Садовничьего, А.А. Акаева, А.В. Коротаева и др.⁸. Там же отмечено, что: «несмотря на большое количество исследований и разнообразных моделей в данной области, в настоящее время моделирование мировой динамики переживает определенный кризис, проявлением которого явилась неспособность внятно предсказать мировые финансово-экономические потрясения 2008 года. Для преодоления существующих проблем необходимо заново осмыслить принципы, положенные в основу моделирования мировой динамики. Надо избежать искуса усложнения моделей, сделать их более прозрачными, при этом не утрачивая, а наращивая уровень их системности».

Тем не менее, определенный прогресс в понимании динамики развития человечества был достигнут, причем с использованием относительно простых научных инструментов.

В этой главе мы рассмотрим разработанную авторами теоретическую модель роста человечества, а также динамику роста явных и скрытых знаний и их связь с результатом производительной деятельности людей – валовым мировым продуктом (ВВП).

⁴ Там же. С. 14.

⁵ Там же. С. 15.

⁶ Джаксон М. Теория сложности (complexity) и системный подход // Альманах «Восток». 2005. Вып.100 (раздел «Системная динамика»). http://www.situation.ru/app/j_art_1052.htm

⁷ Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й., Бернс В. Пределы роста. М.: МГУ, 1991.

⁸ Садовничий В.А., Акаев А.А., Коротаев А.В., Малков С.Ю. Моделирование и прогнозирование мировой динамики. М.: / Науч. сов. по Прогр. фонд. исслед. Презид. Росс. акад. наук «Экономика и социология знания». – М.: ИСПИ РАН, 2012.

1.1. Рост численности населения⁹

В 1960 году в журнале *Science* была опубликована работа Х. Форстера, П. Мора и Л. Амиот¹⁰, в которой показано, что между 1-м и 1958-м годами н.э. динамика численности населения мира (N) может быть описана при помощи уравнения гиперболы

$$N \approx C/(T_1 - T). \quad (1.1)$$

Здесь T – время, измеряемое в годах, $C \approx 180$ млрд – постоянная с размерностью [чел. • лет], $T_1 \approx 2025$ год.

Сергей Петрович Капица¹¹ обратил внимание на то, что уравнение гиперболы является решением дифференциального уравнения

$$dN/dT = N^2/C. \quad (1.2)$$

Это означает, что темп роста населения Земли в среднем пропорционален квадрату численности населения в данный момент. Скорость роста микроорганизмов при отсутствии дефицита питания описывается уравнением типа $dN/dT = N/C$, а его решением является экспонента, которая считается одной из наиболее быстро растущих функций. Человечество же росло пропорционально квадрату своей численности. В результате в момент времени $T_1 \approx 2025$ год численность населения, согласно формуле (1.1), должна была бы стать бесконечно большой.

Однако в реальности после 1960 года мир-система перешла в другое состояние, которое называется «демографическим переходом» и характеризуется замедлением темпов роста населения. В дальнейшем, согласно прогнозам¹², численность населения Земли должна выйти на стабильный уровень порядка 9–11 млрд человек, как показано на рис. 1.1.

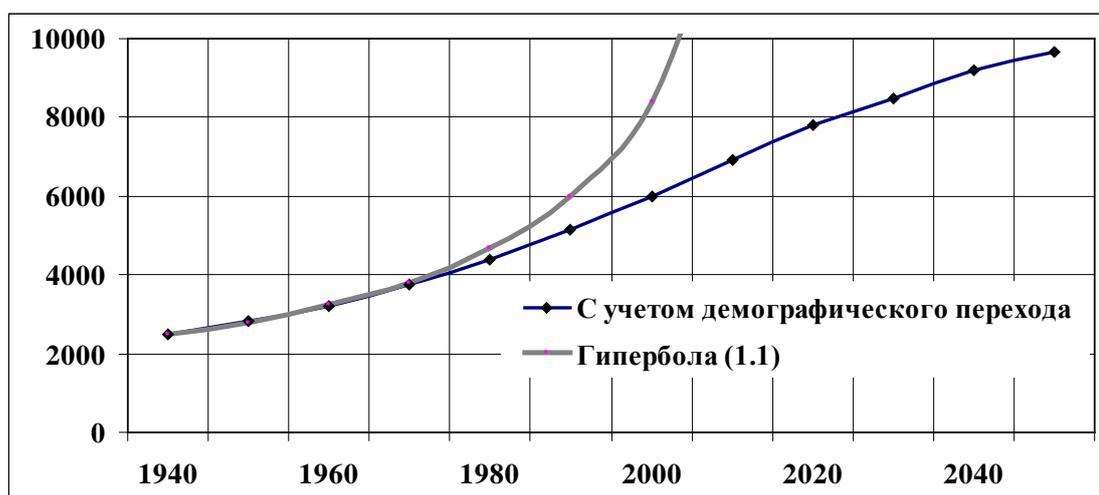


Рис. 1.1. Модели роста населения Земли (млн чел.)

⁹ Основные результаты опубликованы в книге: Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания. Моногр. – Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. 210 с.

¹⁰ Forester H., von Mora P. and Amiot L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. *Science* 132:1291–5. 1960.

¹¹ Капица С. П. Математическая модель роста населения мира// *Мат. модел.* 1992. Т. 4, №6.

<http://www.mathnet.ru/links/5c400f8e7fa7e82d3591297ef0071fac/mm2087.pdf>

¹² Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. – М.: Альпина нон-фикшен, 2012. – 204 с.

С.П. Капица предложил также уравнение для описания численности человечества на стадии демографического перехода и его решение¹³, которое хорошо согласуется со статистическими данными по росту населения Земли:

$$dN/dT = C/((T_1 - T)^2 - \tau^2); \quad (1.3)$$

$$N = (C/\tau) \cdot \text{Arcth} ((T_1 - T)/\tau). \quad (1.4)$$

Однако эти уравнения «не раскрывают сути действующих законов, оставаясь на феноменологическом уровне констатацией обнаруженной эмпирической закономерности»¹⁴.

Важным результатом, полученным С.П. Капицей, является то, что квадратичная зависимость скорости роста от численности человечества на гиперболической стадии свидетельствует о наличии коллективного взаимодействия. Оно «...определяется механизмом распространения и размножения обобщенной информации в масштабе человечества»¹⁵. Однако более детальное представление о том, что такое «обобщенная информация», как она распространяется, как влияет на рост человечества и почему столь резко снижается ее влияние в период демографического перехода, в работах С.П. Капицы отсутствует.

Если бы ограничивающим фактором было исчерпание ресурсов планеты, включая способности самовосстановления, то человечество попало бы в необратимую ситуацию, контуры которой обозначил Д.Л. Медоуз с соавторами^{16, 17}. В этом случае вполне реальной была бы гибель цивилизации.

Но несколько ранее исчерпания ресурсов Земли стал действовать другой фактор – обратная связь, которая стала тормозить гиперболический рост человечества, начиная с 1960 года. По утверждению М. Кремера¹⁸, причиной этого стало *нежелание* состоятельных семей иметь много детей. Соответственно Кремер предложил эмпирическую зависимость относительного темпа прироста населения – $\Delta N/N$ (рождаемость минус смертность) от валового продукта на душу населения (G/N). Проведенные им расчеты также дают хорошее согласие с реальной зависимостью численности населения в период демографического перехода. Однако не ясно, в какой мере это согласие обеспечено значительным количеством эмпирических параметров, использованных в работе, о чем отмечено в работе¹⁹. К тому же снижение уровня жизни, например в России после 1992 года, не привело к росту рождаемости, а значит функция $\Delta N/N$ зависит не только от G/N и может допускать гистерезис, то есть поведение, зависящее от предыстории явления (при этом прямой и обратный ход процесса могут отличаться).

¹³ См. [11].

¹⁴ Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования. – М. Препр. ИПМ им. М.В. Келдыша, РАН, 2005. 005.
http://www.keldysh.ru/papers/2005/prep13/prep2005_13.html

¹⁵ См. [12].

¹⁶ См. [7].

¹⁷ Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. Пределы роста. 30 лет спустя. Пер. с англ. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.

¹⁸ Kremer M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. The Quarterly Journal of Economics. 1993 (108). P. 694.

¹⁹ См. [14].

Еще один вариант причин демографического перехода предложен А.В. Подлазовым²⁰, который полагал, что по мере развития технологий уменьшается их жизнесперегающая эффективность, то есть способность уменьшать смертность населения. Однако А.В. Коротаев и др. указывали, что эта гипотеза не соответствует действительности, поскольку демографический переход связан с падением рождаемости, а не с невозможностью снижения смертности. Более того, они обосновывали, что причиной демографического перехода является рост женской грамотности в ходе модернизации (технологического прогресса)²¹, что имеет некоторое подтверждение статистическими данными²².

Таким образом, разработано не менее четырех математических моделей, по-разному трактующих причины демографического перехода человечества, как системы, и достаточно хорошо согласующиеся с данными о росте населения Земли.

Есть также большое количество исследований, в которых процесс демографического перехода рассматривается как сумма демографических характеристик в различных странах, в частности прогнозы Департамента по экономическим и социальным вопросам, отдела народонаселения ООН^{23, 24}. Такие исследования значительно более объемны и сложны, поскольку требуют учета распределения по возрастам населения всех стран, динамики рождаемости, миграции и роста благосостояния, а также других демографических факторов. В результате, в них сложно выявить ограниченное число определяющих явление параметров. Как правило, они также недостаточно учитывают системные характеристики демографического перехода, которые очень важны, поскольку человечество развивается, будучи взаимодействующей системой.

Исторически последней из публикаций по системному анализу народонаселения, в которой учтены результаты исследований предыдущих авторов, является упомянутая выше работа А.В. Коротаева и др. Она исходит из того, что причиной демографического перехода послужил рост грамотности женщин. Однако анализ влияния роста грамотности (в десятках процентов) и ВВП по ППС на душу населения в мире (в десятках тысяч международных долларов 2017 года) на суммарный коэффициент рождаемости (СКР) в период 1950–2010 годов (рис. 1.2) показывает, что при монотонном изменении грамотности и ВВП после 1965 года без заметных причин началось падение рождаемости²⁵.

²⁰ Подлазов А.В. Основное уравнение теоретической демографии. – М.: препр. ИПМ им. Келдыша, 2001. (Раздел 1.1) http://www.keldysh.ru/papers/2001/prep88/prep2001_88.html

²¹ См. [19].

²² Bongaarts J. The end of the fertility transition in the developing world // Policy Research Division Working Paper. 2002, no. 161. New York: Population Council.

²³ World Population Prospects: The 2017 Revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations. New York. 2017. <https://population.un.org/wpp/Publications/>

²⁴ World Population Prospects: The 2015 Revision. Key Findings and Advance Tables. (2015) Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, New York. No. ESA/P/WP.241. <https://www.un.org/en/development/desa/publications/world-population-prospects-2015-revision.html>

²⁵ Суммарный коэффициент рождаемости (1950–2015). Прогноз ООН от 2010 года, средний вариант. [Электронный ресурс] // Википедия. – 6.05.2019. 19:25 URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>

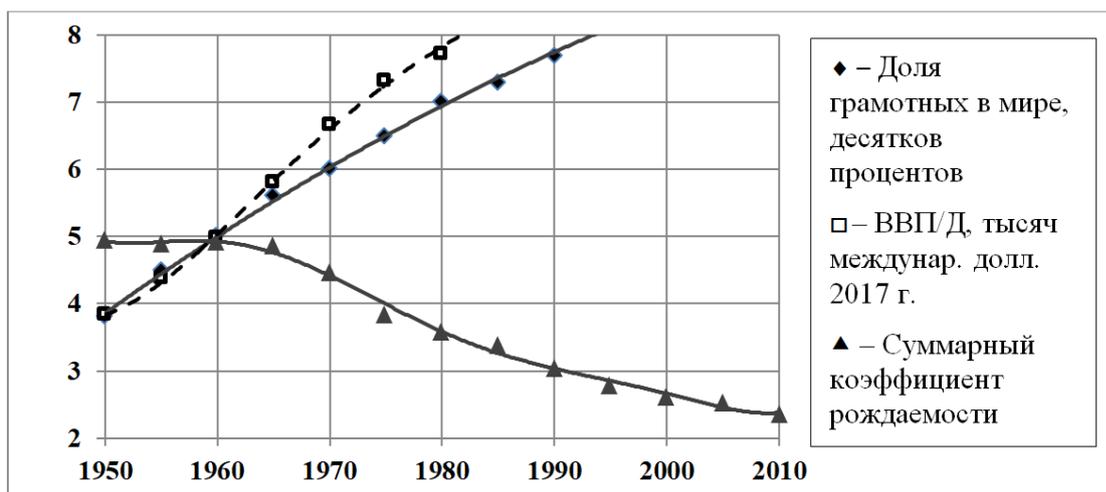


Рис. 1.2. Соотношение СКР, грамотности и ВВП по ППС на душу населения

Представляется, что в процессе индустриализации, который происходил примерно в то же время во многих странах, вовлечение женщин в производственную деятельность и рост грамотности были тесно связаны. Работать по найму и воспитывать детей одновременно стало сложно, что и привело к снижению рождаемости до уровня, позволяющего совмещать работу с воспитанием детей. Таким образом, рост грамотности является не причиной, а следствием важного, с точки зрения экономики, процесса вовлечения женщин в производственную деятельность.

Логично предположить, что причиной демографического перехода является не просто желание состоятельных семей не иметь много детей, как считал Кремер, а их экономическая логика. Семьи делают выбор между двумя альтернативными вариантами поведения женщин: работать по найму или иметь много детей. Чем больше может заработать женщина, тем привлекательнее для нее вариант работы по найму. Такая гипотеза позволяет сформировать математическую модель демографической динамики. Ее основанием является то, что прирост населения dN за время dT пропорционален следующим факторам:

1. Численности населения N ;
2. Величине избыточного ВВП (G) на душу населения ($G/N - m$).
3. Ограничивающему фактору, профиль которого соответствует описанному выше выбору по принципу альтернативной стоимости, в том числе рост рождаемости при малых G/N и ее падение при больших G/N .

Для того чтобы придать модели более удобный аналитический характер, можно взять ограничивающий фактор, по форме аналогичным известному уравнению логистического роста неразумных организмов. Однако здесь мы выберем в качестве ограничителя фактор, рост которого способствует переключению выбора женщин с многодетности на работу по найму, а именно ВВП на душу населения. В результате этот комплекс будет иметь вид $1 - kG/N$. В этом случае дифференциальное уравнение роста числа людей будет иметь следующий вид:

$$dN/dT = AN(G/N - m)(1 - kG/N). \quad (1.5)$$

Для представления величины G/N в аналитическом виде используем соотношение²⁶

$$G = N(m + \gamma N). \quad (1.6)$$

Константы γ и m имеют значения $\gamma = 1,57 \cdot 10^{-6}$ долл./чел.²•год; $m = 333$ долл./чел.•год, в междунар. долл. 2017 года. Используя (1.6), преобразуем уравнение (1.5)

$$dN/dT = A\gamma N^2 ((1 - km) - k\gamma N) \quad (1.7)$$

или в более простой форме^{27, 28}.

$$dN/dT = (1/C)N^2(1 - N/N_{\max}). \quad (1.8)$$

Для определения констант в уравнениях (1.7), (1.8) воспользуемся двумя предельными переходами. При $N/N_{\max} \rightarrow 0$ уравнение (1.8) должно переходить в (1.1), а при $N/N_{\max} \rightarrow 1$ выполняется условие $dN/dT = 0$, $N = N_{\max}$. В результате найдем связь между константами A , k и C , N_{\max}

$$A\gamma(1 - km) = 1/C, \quad (1.9)$$

$$k\gamma/(1 - km) = 1/N_{\max}. \quad (1.10)$$

Полученное уравнение для роста численности человечества может быть проверено на адекватность. Так, при известной величине производной dN/dT оно позволяет определить максимальную численность человечества N_{\max} и сравнить ее с известными решениями, например с прогнозом ООН.

$$N_{\max} = N/(1 - C(dN/dT)/N^2). \quad (1.11)$$

Например, в 2015 году скорость роста населения Земли составила $dN/dT = 84.6$ млн чел. в год, $N = 7\,383$ млн чел.²⁹. При $C = 180$ млрд чел.•лет получим, что величина $N_{\max} = 10.25$ млрд чел., что меньше среднего прогноза ООН и модели С.П. Капицы примерно на 10%. Нужно отметить, что согласно прогнозу ООН, вероятность того, что к 2100 году численность населения Земли будет меньше среднего прогноза на 10%, составляет 20%³⁰, что характеризует точности оценки (1.11).

Если ввести безразмерную переменную $X = N/N_{\max}$, то можно преобразовать уравнение (1.8) к виду,

$$(1 / (X^2(1 - X)))dX = (N_{\max}/C)dT, \quad (1.12)$$

решение которого имеет вид

$$1/X - \ln(X/(1 - X)) = (N_{\max}/C)(T_1 - T), \quad (1.13)$$

а при возвращении к переменной N .

$$T = T_1 - C/N + (C/N_{\max})\ln(N/(N_{\max} - N)). \quad (1.14)$$

Сравнение решения (1.14) при $C = 160$ млрд, $N_{\max} = 10.5$ млрд., $T_1 = 2022$ г. со средним прогнозом демографической динамики ООН 2015 года представлено

²⁶ См. [14].

²⁷ См. [12].

²⁸ См. [1].

²⁹ См. [23].

³⁰ Там же.

на рис. 1.3. Данные за период 1900–2050 год соответствуют работе А. Maddison³¹.

Видно, что, в целом, эти две зависимости достаточно хорошо согласованы (отметим, что параметр C , согласно данным в период гиперболического роста³², составляет около 180 млрд, но для расчетов демографического перехода более хорошо согласование с предыдущими значениями обеспечивает значение $C = 160$ млрд).

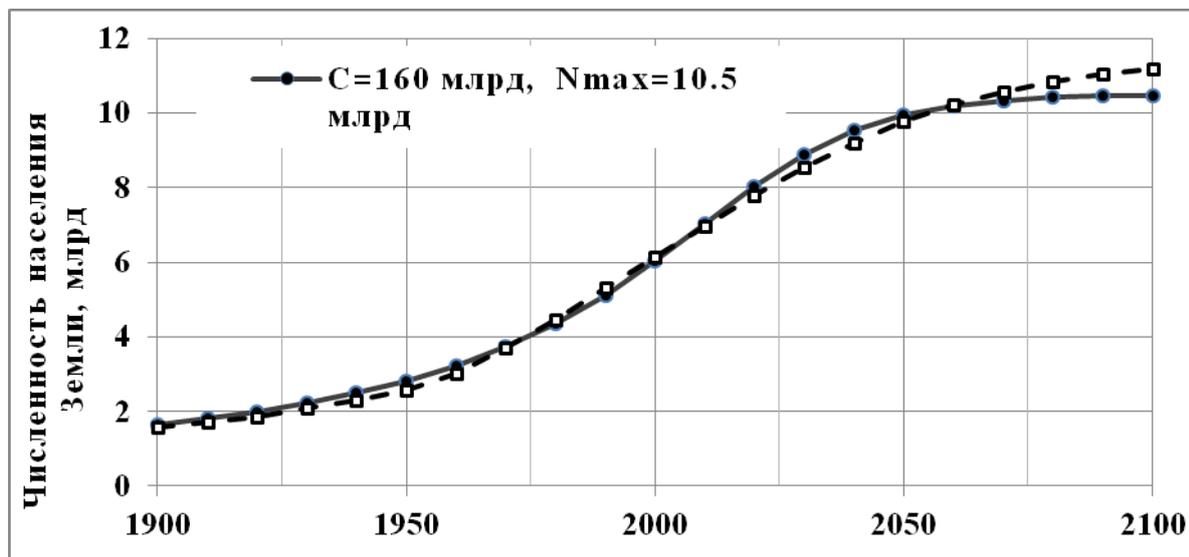


Рис. 1.3. Сравнение полученного решения со средним прогнозом ООН, млрд чел.

Отклонение решения (1.14) от данных ООН максимальное в период 1940–1960 годов и доходит до 9% от текущей численности населения (в 2100 году не более 6,3%). Это происходит из-за того, что теоретическая модель не учитывает фактор снижения численности населения в период второй мировой войны, что отмечал С.П. Капица, а также после нее.

Анализ данных ООН о годовом приросте населения Земли³³ в миллионах человек показывает, что вызванные войнами демографические провалы проявляются в дальнейшем несколько раз, как показано на рис. 1.4 (здесь линия тренда – кубический полином). Необходимо иметь в виду наличие таких колебаний, поскольку они отражают высокую уязвимость демографических процессов к войнам.

³¹ Maddison A. Historical Statistics of the World Economy: 1–2008 AD. GGDC, 2010.

³² См. [12].

³³ См. [23].

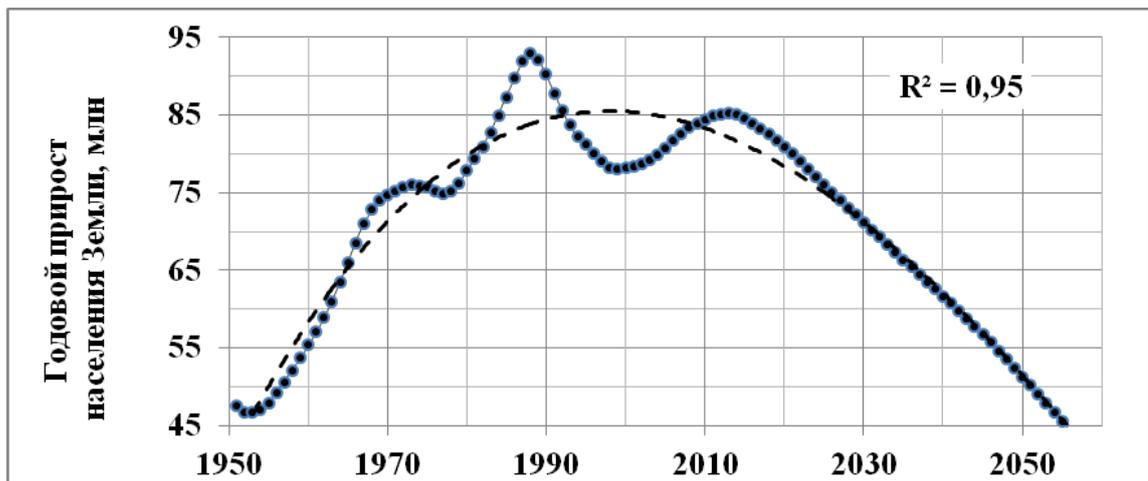


Рис. 1.4. Колебания годового прироста численности населения Земли в млн человек

В частности, высокое влияние на колебания скорости роста населения Земли оказали демографические процессы в Китае, России и Японии, как показано на рис. 1.5 по результатам анализа данных ООН. На рис. 1.5 графики даны в миллионах человек, причем по России и Японии с пятикратным увеличением.

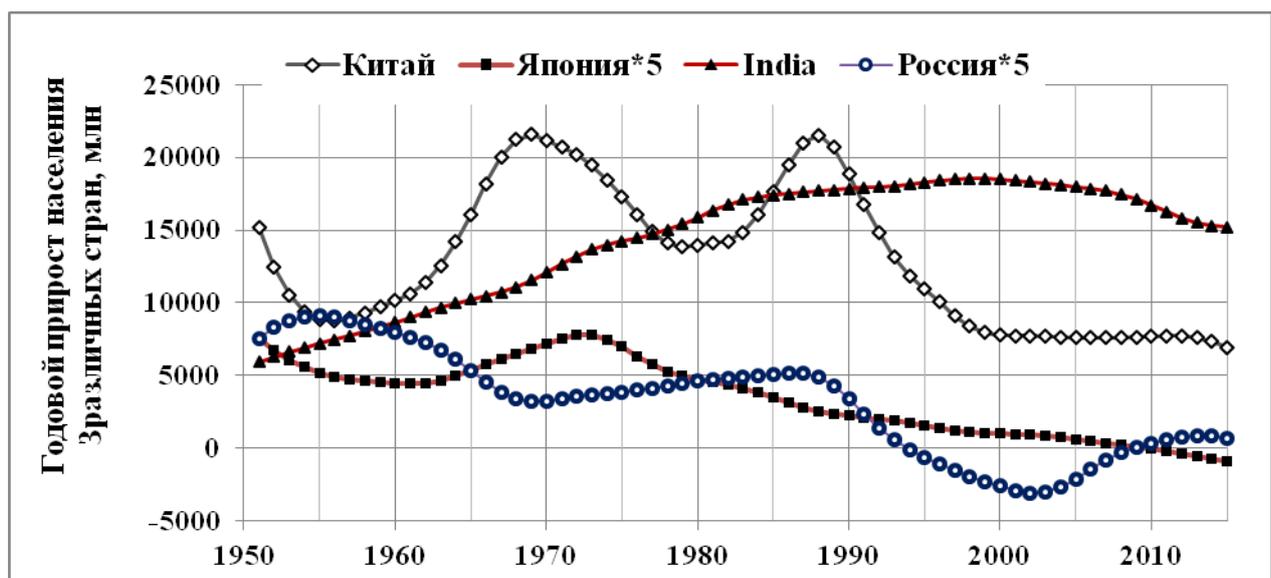


Рис. 1.5. Годовой прирост населения Китая, Японии, Индии и России

Как видно из рис. 1.5 наибольшие колебания прироста населения характеризуют Китай и Россию, в которых заметны три провала прироста населения, достигающих более 50% от максимального значения. В России первый провал начинается во время второй мировой войны, а в Китае после нее.

Хотя детальные прогнозы типа прогноза ООН и отличаются большей детализацией и учетом многообразных демографических реалий, но предложенное аналитическое решение несет в себе дополнительную системную информацию о процессе демографического перехода, которую мы проанализируем ниже. Рассмотрим роль коэффициентов A , k (1.9), (1.11) в уравнении (1.7).

Величина k определяет, при каком значении G/N женщины будут отдавать предпочтение наемному труду по сравнению с воспитанием детей. Именно в этом и есть экономический смысл демографического перехода. Из представленной выше формулы (1.10) видно, что $k = 1 / \gamma N_{\max}(1 + m / \gamma N_{\max})$ чел.·год/долл. Поскольку $m / \gamma N_{\max} \approx 0.015$, то с точностью в 2% $k = 1 / \gamma N_{\max}$. При $N_{\max} = 11\,000$ млн чел. величина $1/k \approx 16\,900$ долл./чел.·год (в междунар. долл. 2017 года). Снижение рождаемости, несмотря на рост благосостояния, становится значимым при величине ограничивающего множителя в уравнении (1.7) $kG/N \sim 0.3$. При этом $(G/N)_{\text{dem}} \approx 0.3/k \approx 5070$ долл./чел. Как видно из рис. 1.2, данная величина достигла этого уровня в 1960 году, что и положило начало падению рождаемости в мире.

Из уравнения (1.14) видно, что параметром, определяющим процесс демографического перехода, является отношение C/N_{\max} . Чем больше его величина, тем быстрее происходит демографический переход. При характерных для человечества параметрах $C = 160\text{--}180$ млрд, $N_{\max} \approx 11$ млрд отношение $C/N_{\max} \sim 15$ лет и это время характеризует скорость демографического перехода. Так с 1965 года, когда эффект демографического перехода стал заметно проявляться (рис. 1.2), до 2040, когда он, в основном, завершится, проходит примерно пять таких периодов.

С другой стороны, из формул (1.9) (1.10) с учетом малости $m / \gamma \cdot N_{\max}$ можно показать, что $A \approx k/C \cdot N_{\max}$. Это и определяет величину A , как характеристику скорости достижения ВВП на душу населения, при котором снизится рождаемость в процессе демографического перехода. Однако вместо параметра A удобнее использовать произведение C/N_{\max} , имеющее удобную наглядную трактовку.

Из анализа констант уравнений динамики численности людей (1.8), (1.14) видно, какие параметры человечества как системы определяют ее рост и процесс демографического перехода:

- на стадии гиперболического роста определяющим является коэффициент C ;
- вблизи демографического перехода важными являются: уровень ВВП на душу населения, при котором начинается демографический переход $(G/N)_{\text{dem}} \approx 0.3/k \approx 5070$ долл./чел., а также характерный временной масштаб перехода $T_{\text{dem}} = C/N_{\max} \approx 15$ лет.

Анализ уравнения динамики численности человечества показывает, что все его характеристики были заложены задолго до процесса демографического перехода, а сам переход происходит фактически за время жизни одного человека (~ 75 лет). Именно высокая скорость этого перехода и представляет основную проблему, поскольку не дает времени для адаптации людей к новым системным условиям. И хотя демографический переход еще не завершён полностью, но до его окончания остается крайне мало времени.

Выводы

1. Получено дифференциальное уравнение роста численности человечества в зависимости от времени, которое имеет вид (1.8), и его аналитическое решение (1.14), хорошо согласующееся со статистическими данными:

$$T = T_1 - C/N - (C/N_{\max}) \cdot \ln(N/(N_{\max} - N)).$$

2. Данное дифференциальное уравнение опирается на гипотезу о ключевом влиянии на рост человечества ВВП на душу населения (1.5). Следовательно, демографический переход может быть объяснен и достаточно точно описан, исходя из экономического фактора, а не близости к дате *сингулярности*, как в уравнении, предложенном С.П. Капицей.
3. Рассмотренная математическая модель роста численности человечества имеет преимущества по сравнению с работами других авторов. Так, в отличие от модели Кремера эта модель позволяет получить результат в аналитическом виде без введения дополнительных эмпирических параметров, что улучшает возможности проверки ее адекватности и делает ее более наглядной. В отличие от модели А.В. Кортаева, А.С. Малкова, Д.А. Халтуриной³⁴, данная модель не требует введения дополнительного параметра грамотности женщин, что важно с точки зрения принципа «бритвы Оккама».
4. Предложенный подход к решению задачи демографического перехода указывает на важность для популяционной динамики акта принятия семьями решения с выбором одной из двух альтернатив: воспитывать детей или работать по найму. Хотя ВВП на душу населения и играет доминирующую роль в данном выборе, но в развитых странах общество потенциально может найти ресурсы для альтернативной мотивации семей с тем, чтобы обеспечить свою демографическую состоятельность.

³⁴ См. [14].

1.2. Закономерности динамики знаний и их взаимосвязь с ростом ВВП³⁵

В разделе 1.1 мы рассмотрели, какое влияние на численность человечества оказывает рост ВВП на душу населения. Там же мы обратили внимание на существенное проявление системных характеристик человечества и на то, что системные свойства связаны с информационным взаимодействием людей³⁶. Важно выявить, что представляет собой это взаимодействие. Можно предположить, что оно связано с явным знанием, которое распространяется, прежде всего, в виде книг и способствует увеличению ВВП.

В качестве источника информации о количестве знаний используем данные об объеме хранящихся книг и брошюр³⁷ в крупнейшей в мире библиотеке конгресса США^{38, 39, 40, 41}, в которой в 1960 году было ~ 14.5 млн книг и брошюр, в 2000 – 30 млн, в 2012 – 35.8 млн, в 2017 – 39.3 млн.

Конечно, среди этих публикаций есть и дубликаты, но это отчасти компенсируется тем, что в данной библиотеке хранятся не все изданные в мире материалы, содержащие знания. Важно, что мы используем единый подход для определения динамики объема знаний по времени. Тем самым мы определяем объем знаний с точностью до примерно постоянного коэффициента. Для измерения объема знаний, в отличие от количества информации или данных мы используем понятие «условная книга» – у.к., которая при оцифровке будет иметь 1 Мбайт информации. Количество знаний в библиотеке конгресса в этих единицах приведено в табл. 1.1.

Одной из крупнейших библиотек древности была Александрийская библиотека, созданная около 300 года до нашей эры и имевшая в хранилищах от 100 до 770 тысяч свитков⁴². Оценим объем знаний в каждом таком свитке в 20% у.к. Соответственно, объем знаний Александрийской библиотеки оценим в 80 000 у.к.

³⁵ Основные результаты, представленные в разделе, опубликованы в книге: Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания. Моногр. – Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. 210 с.

³⁶ См. [12].

³⁷ Орехов В. Д. Знания в системе развития общества// Бизнес-образование. М.: РАБО. 2010, №28. С. 73–84.

³⁸ Ушаков К. Хранилище вечности // СЮ. 2007, №7.

³⁹ Библиотека конгресса. – Википедия, 2012. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki>.

⁴⁰ General Information – About the Library (Library of Congress). 2012.

⁴¹ General Information – About the Library (Library of Congress). 2017.

URL: <http://www.loc.gov/about/general-information> Дата обращения: 01.12.2018.

⁴² Советский энциклопедический словарь. М., 1987.

Таблица 1.1. Объем явных знаний человечества в крупнейших библиотеках

№	Библиотека	Год от начала н.э.	Насел. Земли, млн.	Относит. число людей	Объем знаний, тыс. у.к.	Знаний у.к. на тыс. чел.	Относит. объем знаний
		T	N	N/N ₀	Z	Z/N	Z/(N/N ₀) ^{1.25}
1.	Конгресса	2017	7 550	75 500	23 600	3.15	18.9
2.		2012	7 128	71 280	21 500	3.07	18.5
3.		2000	6 145	61 450	18 000	3.00	18.6
4.		1960	3 033	30 330	8 700	2.83	21.7
5	Александрийская	-300	86	860	80	0.93	17.2

Конечно, оценки объема знаний с помощью числа книг не являются достаточно точными, но этот подход вполне может дать ответ на вопрос о влиянии знаний на развитие человечества как системы. Как видно из таблицы 1.1 объем знаний на тысячу человек изменяется по времени относительно медленно. Это позволяет предположить, что он меняется пропорционально числу людей в степени n , близкой к единице. В последнем столбце табл. 1.1 приведено отношение объема знаний к относительному числу людей (N/N_0 , где $N_0 = 100\,000$ – условная начальная численность человечества⁴³). Видно, что данный параметр мало меняется по времени. Относительное стандартное отклонение составляет 8.8%. При изменении показателя степени n минимальное значение относительного стандартного отклонения 8% достигается при $n = 1.23$, но на практике удобнее использовать $n = 1.25$. В результате, мировой объем знаний можно аппроксимировать зависимостью

$$Z \approx Z_0(N/N_0)^{1.25} = 20(N/N_0)^{1.25}. \quad (1.15)$$

Используя формулу (1.15), можно также получить выражение для зависимости мирового объема явных знаний от времени в период гиперболического роста человечества

$$Z \approx 1.5 \cdot 10^9 / (T_1 - T)^{1.25}. \quad (1.16)$$

Вблизи даты условной сингулярности $T_1 \approx 2025$ формула (1.16) становится некорректной. Однако знания создает не все человечество, а получившие образование люди, поэтому более точно использовать данные о численности населения Земли примерно за 25 лет до времени T . Если соответственно скорректировать постоянные коэффициенты, то формулы (1.15), (1.16) преобразуются к виду.

$$Z \approx 30(N(T-25)/N_0)^{1.25}. \quad (1.17)$$

$$Z \approx 2.25 \cdot 10^9 / (2050 - T)^{1.25}. \quad (1.18)$$

На рис. 1.6 для сравнения приведены кривые (1.16), (1.18) с различным сдвигом по времени и опорные точки из табл. 1.1.

⁴³ См. [12].

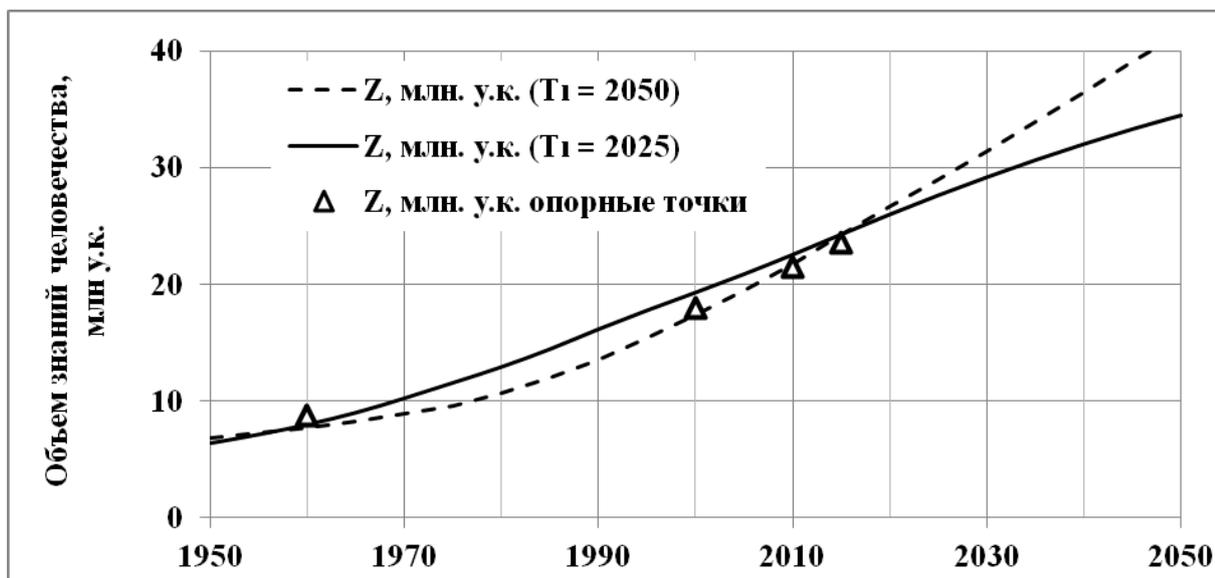


Рис. 1.6. Сравнение формул роста знания с различным сдвигом по времени

Видно, что опорные точки лучше аппроксимируются уравнением (1.17) и оно характерно более быстрым ростом объема знаний в будущем, чем по формуле без сдвига по времени (1.15). Таким образом, мы показали, что в связи с краткостью времени демографического перехода следует учитывать задержку во времени на взросление трудовых ресурсов продолжительностью около 25 лет. Также выше мы показали, что знание человечества растет несколько более быстро, чем население Земли с показателем степени около 1.25.

Выше мы использовали выражение для ВВП по ППС (1.6) с квадратичной зависимостью от числа людей N . Однако за последнее время появились данные о том, что точность данной формулы недостаточна, и для целей прогнозирования дальнейшего развития желательно ее уточнить. В монографии В.Д. Орехова⁴⁴ было показано, что величина ВВП по ППС пропорциональна произведению числа людей на объем знаний человечества. Поэтому, используя формулу (1.17), получим зависимость ВВП по ППС от числа людей.

$$G = kN(T-25)^{2.25}. \quad (1.19)$$

Линейным членом m , как в формуле (1.6), после 2000 года можно пренебречь как малой величиной. На рис. 1.7 представлено сравнение зависимости типа (1.19) при $k = 2.72$ с имеющимися статистическими данными: до 2008 года А. Madisson⁴⁵, позднее данные World Bank⁴⁶ в триллионах международных долларов 2017 года по ППС. Там же приведены данные прогноза мирового ВВП компании PwC⁴⁷.

⁴⁴ См. [1].

⁴⁵ См. [31].

⁴⁶ Gross domestic product based on purchasing- power- parity (PPP) valuation of country GDP. The World Bank (21.09.2018). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.CD>

⁴⁷ PricewaterhouseCoopers: Прогноз развития мировой экономики с 2015 до 2050 года. [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий. — 11.02.2015. 12:00. URL: <https://gtmarket.ru/news/2015/02/11/7089>

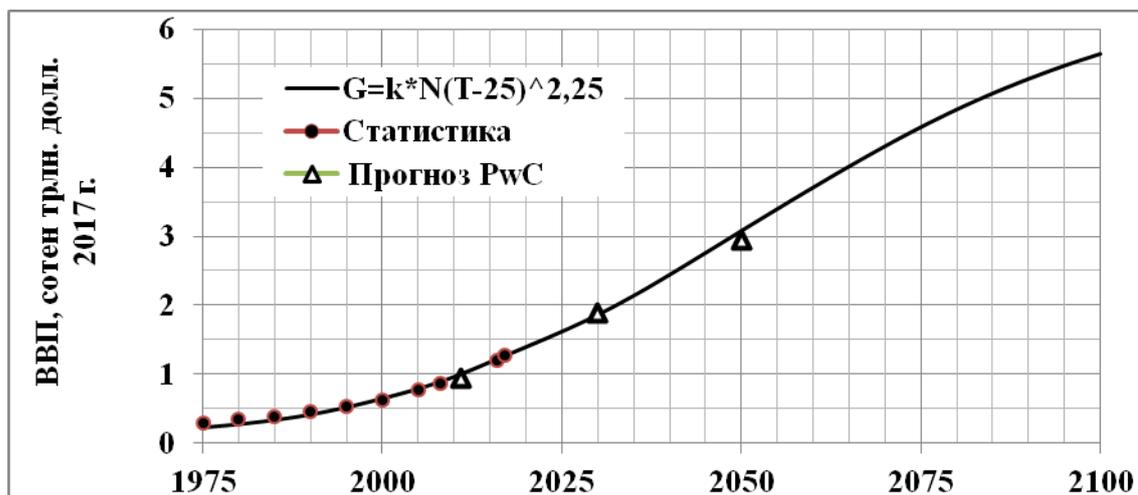


Рис. 1.7. Прогноз мирового ВВП

Видно, что статистические данные в окрестности 2000 года хорошо согласуются с зависимостью (1.19), хотя в более ранний период несколько превышают ее. Прогноз PwC на 2030 год хорошо согласуется с зависимостью (1.19), а в 2050 году лежит несколько ниже ее. Однако прогноз PwC на 2050 год был пересмотрен в 2016 году и снижен по сравнению с прогнозом двухлетней давности⁴⁸ примерно на 7%, поэтому согласование этих данных с кривой (1.19) можно считать вполне приемлемым, особенно с учетом обычной точности долгосрочных прогнозов.

Важным результатом плодотворного использования выводов, полученных по результатам анализа роста знания человечества, для прогнозирования роста ВВП является понимание системной согласованности таких важнейших сторон деятельности человечества, как рост знания и экономическая динамика. Обе эти характеристики также тесно связаны с ростом численности человечества.

Кроме того, мы выявили количественные уточнения к формуле (1.6) для зависимости мирового ВВП от числа людей в виде (1.19), которые будут важны для последующего анализа.

Крайне важно, что из формулы (1.6) и ограниченности максимального числа людей N_{\max} следует, что существует предел роста ВВП на душу населения, который можно получить из формулы (1.19) в виде

$$(G/N)_{\max} = kN_{\max}^{1.25}. \quad (1.20)$$

При $N_{\max} = 11$ млрд имеем $(G/N)_{\max} = 54\,500$ междунар. долл. 2017 г. В настоящее время $G/N = 16\,940$ долл., поэтому средняя величина ВВП на душу населения в мире согласно закономерности роста явного знания может вырасти не более чем в 3.2 раза. Для сравнения, на столько же вырос мировой ВВП с 2001 по 2019 год.

Данное ограничение возникает в результате демографического перехода и того, что перестает расти население Земли. Казалось бы, нет ничего страшного в том, что уровень благосостояния народонаселения не вырастет больше, чем в 3.2 раза. Но это означает, что резко замедлится развитие человечества.

⁴⁸ Там же.

Выводы

1. Получено уравнение (1.18) для объема знаний человечества в зависимости от времени в период гиперболического роста численности населения. Показано, что в период демографического перехода объем знаний связан с начальным и текущим числом людей зависимостью (1.17).
2. Подтверждено, что ВВП по ППС человечества в XXI веке пропорционален произведению числа людей на объем явных знаний человечества и хорошо аппроксимируется уравнением (1.19).
3. В результате демографического перехода, который реализуется в виде стабилизации максимальной численности человечества и прекращения роста явного знания, максимальная величина ВВП на душу населения по ППС сможет увеличиться не более чем в 3.2 раза по сравнению с современным уровнем и не превысит 54.5 тыс. междунар. долл. 2017 года.
4. Демографический переход будет сопровождаться резким замедлением роста явного знания и соответствующим снижением темпов роста мирового ВВП. Это приведет к радикальному изменению познавательной деятельности человечества (стагнации), а снижение роста ВВП может стать причиной глубоких экономических кризисов и вооруженных конфликтов между странами.

1.3. Современные подходы к трактовке понятия «знание»⁴⁹

По мере приближения эпохи «Знания» возрастает и важность корректного понимания концепции знание. В последние годы в связи с развитием ряда новых научных направлений, таких как кибернетика, управление знаниями, системный подход, понимание концепции знание существенно изменилось, но зачастую мы видим ее устаревшее понимание.

1.3.1. Определения концепции знание

В словарях можно увидеть такое определение концепции знание: «проверенный практикой результат познания действительности, верное ее отражение в мышлении человека»⁵⁰.

В этом определении существенным является то, что знание – это результат познания действительности. Постулируется также критерий проверки практикой, а также то, что носителем знаний является мышление человека. Вопросы кодификации и значимости знаний остаются за рамками этого определения. Отметим также, что алгоритмы проверки знания практикой и верности отражения в мышлении человека нельзя считать объективными.

Классик философии науки Карл Поппер считал, что требовать обоснования для научного знания нерационально. Он утверждал, что научное знание рационально не из-за его обоснования, а поскольку мы способны критически его анализировать⁵¹. В своей книге «Logik der Forschung, 1934» Поппер указывал то, что научное знание возникает не из-за появления новых обоснований, а из-за критики гипотез, которые предлагаются для решения новых проблем. Научное знание имеет эмпирический и теоретический уровень, причем корректность доказательства верности теории весьма относительна⁵².

Согласно Википедии (02.01.2016 г.): «Знание – форма существования и систематизации результатов познавательной деятельности человека. Знание помогает людям рационально организовывать свою деятельность и решать различные проблемы, возникающие в её процессе». Довольно странно, что на первое место в таком определении концепции знания здесь ставится некая форма, хотя смысл знания заключен именно в его содержании. Делается также робкая попытка обозначить роль знания в деятельности человечества.

В некоторых определениях этой концепции за исходную позицию принимается функция знания. Например: «Знания – основные закономерности предметной области, позволяющие человеку решать конкретные производственные, научные и другие задачи, а также стратегии принятия решения в этой облас-

⁴⁹ Основные результаты опубликованы в работе: Орехов В.Д. Современные подходы к трактовке понятия «знание». Вестник МИМ ЛИНК. 2016, № 2. С. 103–109.

⁵⁰ Знание. Советский энциклопедический словарь. М. «Советская энциклопедия», 1987.

⁵¹ Поппер К. Р. Логика и рост научного знания. М.: Прогресс. 1983. <http://skepdic.ru/wp-content/uploads/2013/05/popper.pdf>

⁵² Гейзенберг В., Критерии правильности замкнутой теории в физике / Шаги за горизонт. М.: «Прогресс», 1987. С. 184-187. <http://vikent.ru/enc/1747>

ти»⁵³. Обращает на себя внимание то, что в этом определении знания разделяются на основные и рутинные.

Для того, чтобы отделить важное знание от рутинного, можно воспользоваться классификацией, которая принята в менеджменте и опирается на уровень сложности решаемых проблем или сложности управляемых систем: рутинные, простые, сложные и сверхсложные. Пример рутинной проблемы – выбор пути на работу и соответственно знания, которые для этого необходимы. Простая проблема – помочь сыну решить задачу по математике (нужно будет вспомнить математику). Сложная проблема предполагает, что нет известного алгоритма ее решения, но это доступно при напряжении интеллектуальных усилий. Сверхсложная проблема не имеет, как правило, корректного решения и не по силам отдельному человеку, а часто и группам людей. Знания, соответствующие ее решению, собираются в течение длительного времени научным сообществом. Например, пандемия коронавируса COVID-19 напрягла усилия ученых многих стран, но и это не помогает в ограниченное время предотвратить тяжелые последствия ее развития. Разработка термоядерного источника энергии продолжается уже многие десятилетия, и сроки ее решения пока не ясны. Как правило, сверхсложными являются проблемы, которые включают нетривиальное участие людей⁵⁴.

1.3.2. Соотношение понятий знание и информация

Известно утверждение некоего мудреца, которое гласит: «унция знания стоит фунт информации...». В этом определении знание соотносится с близким по природе объектом - информацией. Известна также модель иерархии знаний⁵⁵, которая представлена на рис. 1.8. Однако, применительно к этой модели, достаточно понятно в каком виде представляются данные, информация и знание, чего нельзя сказать о мудрости.



Рис. 1.8. Модель иерархии знаний по Skyrme and Amidone

⁵³ Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. М.: Радио и связь, 1992.

⁵⁴ Орехов В.Д. Маркетинг. Курс «Предприимчивый менеджер». R788. Кн. 3. Жуковский: МИМ ЛИНК, 2005.

⁵⁵ Skyrme D. J. and Amidone D. M. Creating the Knowledge-Based Business Wimbledon: Business Intelligence Ltd. 1997.

Ряд авторов считают, что знания в отличие от информации должны быть полезными, т. е. готовыми к продуктивному применению в определенном контексте^{56, 57}. Такое свойство важно для знаний, используемых конкретной организацией или человеком. Знание же объективных законов природы или общества практически всегда может найти применение.

Таким образом, важно обратить внимание на значительное различие между всеобщими законами природы и общества и локальными и очень многочисленными знаниями о локальных явлениях, связанных с конкретными людьми, сегментами потребителей, компаниями, географическими зонами и техническими устройствами. По своей природе эти знания ближе к информации и четкое различие между ними не всегда можно провести.

Известные классификации выделяют также следующий ряд видов знания^{58, 59}.

1. *Причины, цели* (видение). Отвечает на вопрос: «почему»? Этот вид знания дает основания для структурирования проблем и стремления к достижению успеха.
2. *Предмет знания* (факты, концепции, теории, конструкции). Отвечает на вопрос: «что»?
3. *Алгоритмы* (процедуры, методы, ноу-хау, технологии, навыки, умение сделать на практике). Отвечает на вопрос: «как» сделать?
4. *Альтернативы* (варианты, нюансы). Отвечает на вопросы: «кто», «где», «когда», «в каких условиях»?

По своей форме знания, как правило, делят на количественные и качественные. Однако такой взгляд далеко не полон. Человеческое мышление, которое сочетает в себе качественные и количественные инструменты, является ярким примером, демонстрирующим широкие возможности расширения ассортимента форм представления знаний. Так, в рамках системного подхода, широко используются системные схемы, которые позволяют выйти за узкие рамки количественных и качественных методов. Хотя формально они относятся к качественным методам, но значительно расширяют возможности представления знаний за счет кодификации объектов и явлений не только словами, но и схемами.

Когнитивный метод, предложенный американским ученым R. Axelrod⁶⁰, расширяет возможности системного подхода, используя форму отражения информации близкую к той, которая соответствует мыслительным процессам в мозгу человека. Она столь же нечеткая и слабо структурированная, но именно такими категориями мыслит человек, и именно такое универсальное представле-

⁵⁶ Макаров В.Л., Клейнер Г.Б. Микроэкономика знания. М.: Экономика, 2007.

⁵⁷ Управление знаниями в организациях: Учеб.-метод. пособие / Подгот. Н.М. Жаворонковой. Под ред. В.Н. Голубкина. Жуковский: МИМ ЛИНК, 2007.

⁵⁸ См. [55].

⁵⁹ Quinn, J. B., Anderson, P. Finkelstein, S. Managing professional Intellect. Harvard Business Review. 1966. March–April, pp. 71–83.

⁶⁰ Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton // NJ: Princeton University Press, 1976. 404 p.

ние информации позволяет ему реально мыслить. Такое представление знаний и информации значительно более универсально, чем чисто количественное представление, и более точное, чем качественное. Этот познавательный метод, хотя и является в основном количественным, но в силу того, что форма его нечеткая и слабо структурированная, имеет связь и с качественными методами. Общая система качественных и количественных методов исследований представлена на рис. 1.9.

Для преобразования информации в знание используется процесс осмысления, который включает в себя следующие этапы: сбор информации, ее анализ, синтез нового, обмен наработками с коллегами и повторное использование⁶¹.

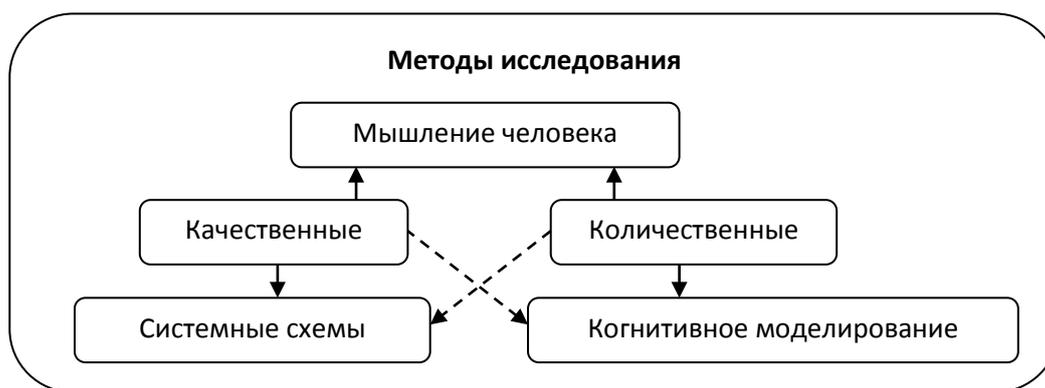


Рис. 1.9. Качественные и количественные методы исследований

Еще один подход к преобразованию информации в знание представляет собой процедуру **4С**, которая включает в себя⁶²:

1. **Сравнение:** как информация о данной ситуации соотносится с другими?
2. **Следствия:** какие последствия может иметь информация для действий?
3. **Связи:** как данная информация соотносится с другой?
4. **Суждения:** что об этой информации думают другие люди?

Отметим, что для преобразования данных в информацию используется процедура **5К**, которая включает⁶³:

1. **Контекстуализацию:** фиксацию целей, с которыми собраны данные.
2. **Категоризацию:** фиксацию составных частей или компонент данных.
3. **Калькуляцию:** математическую обработку данных.
4. **Корректировку:** выявление и исключение ошибок.
5. **Конденсацию:** преобразование данных в более удобную форму.

⁶¹ См. [57].

⁶² Там же.

⁶³ Там же.

1.3.3. Явное и скрытое знания

Знание может быть представлено в явном виде (кодифицировано, формализовано) или неявном (скрытом, неформализованном). Явное знание выражается в словах, цифрах, знаках, формулах, схемах, образах и т.д. Такое знание легко передается и размножается, поэтому оно доступно всему человечеству и оказывает значительное влияние на продуктивную деятельность.

В представленных выше определениях понятия знание подчеркивалась важность проверки знаний. Однако проверить можно только явное знание. Невозможно проверить то, что находится в голове человека.

В процессе мышления и практической деятельности люди в основном оперируют скрытыми знаниями, находящимися в их разуме. При этом в явное знание может быть преобразована лишь малая часть неявного знания, то, что удается кодифицировать и не является рутинным знанием. Явное и скрытое знания тесно взаимосвязаны. Четыре вида трансформации в процессе создания знания, согласно Нонака и Такеучи⁶⁴, представлены на рис. 1.10 (в скобках даны синонимы оригинальных терминов; явное знание визуализировано стопкой книг, а скрытое – силуэтом головы).

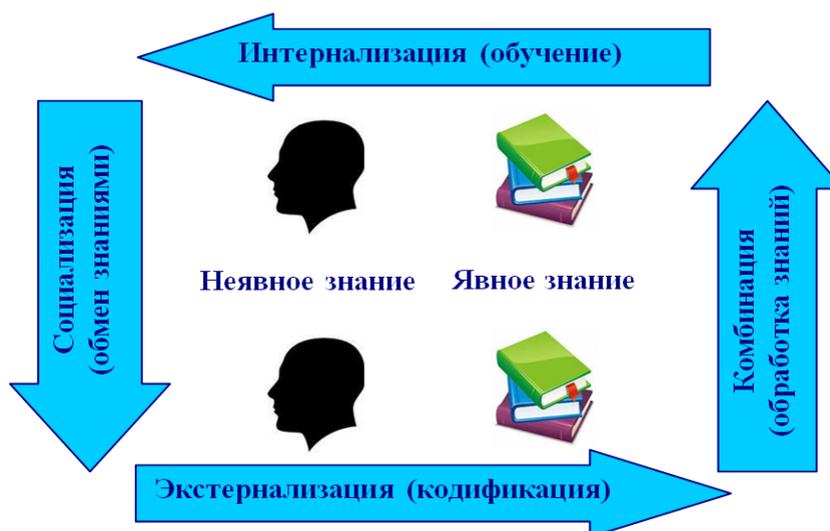


Рис. 1.10. Виды трансформации знания в процессе его создания

Следует отметить, что характеристики носителей и создателей знания, приведенные ниже, постоянно развиваются со временем, что открывает новые возможности создания, как явного, так и скрытого знания.

1. Мышление людей, речь
2. Письменность, рисунки
3. Книгопечатание, цветопередача
4. Математическое представление и измерения
5. Фиксация и передача звуков (фонограф, телефон)

⁶⁴ Нонака И., Такеучи Х. Компания – создатель знания. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. 361 с..

6. Фотография и кино
7. Телепередача и видеосъемка
8. Электронные, магнитные, оптические и другие носители
9. Компьютерные программы и модели, цифровое представление
10. Интернет сети, мобильная связь, большие данные
11. Нейронные и самообучающиеся системы
12. Суперкомпьютеры XXI века, интеллектуальные модели
13. Квантовые компьютеры
14. Искусственный интеллект
15. Супер интеллект (ИИ эквивалентный научному сообществу мира).

Поскольку оперативная память человека очень ограничена (7 ± 2 блока информации), а человеческое мышление обладает свойством регулярно переключаться с одной логической линии на другую, ведение записей в *явном* виде, а также визуализация в виде образов значительно повышают эффективность *скрытой* мыслительной деятельности.

1.3.4. Знание и системный подход

С точки зрения системного подхода важно понимать, в какой надсистеме находится данная система (знание) и какую функцию она в ней выполняет. Для знаний такой надсистемой является система «познания» или «мыслимого»⁶⁵. Кроме знания, к этой надсистеме можно отнести (рис. 1.11) такие системы, как данные, информация, гипотезы, ложные знания, органы чувств и мышления, носители информации, устаревшие знания и др. В надсистему познания входят также методики познания, проверки знаний практикой и верности их отражения в мышлении человека, однако они являются подсистемами знания.

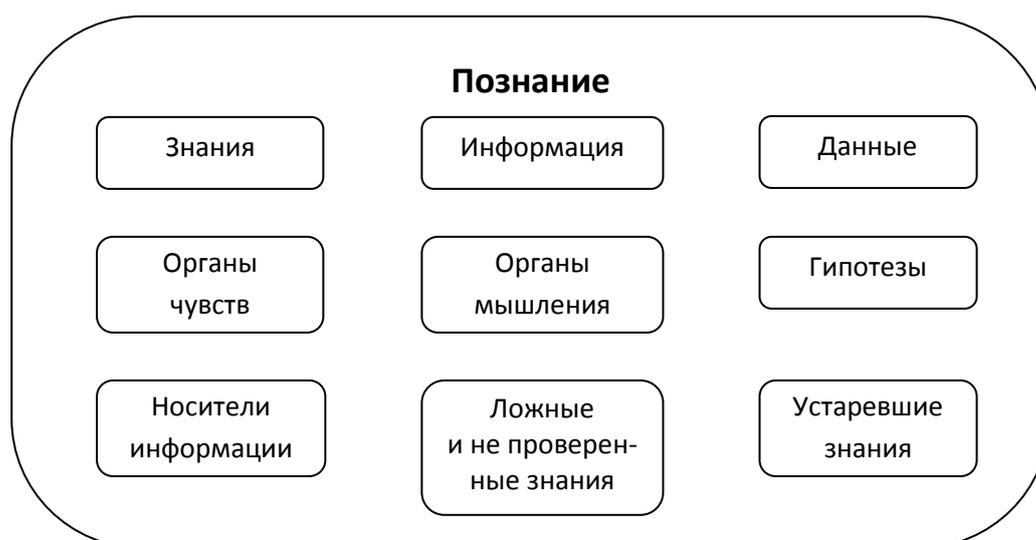


Рис. 1.11. Системная карта надсистемы познания

⁶⁵ См. [56].

Знания в рамках надсистемы познания являются *результатом* процесса познания. Более важную роль знания выполняют в надсистеме более высокого уровня, которую можно назвать «Мыслящее человечество» (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Место знания в надсистеме мыслящего человечества

Знание является основной движущей силой развития материальной деятельности человечества, а эта деятельность, в свою очередь, способствует улучшению условий жизни и росту численности популяции, что далее приводит к росту числа специалистов, занимающихся познанием, и соответственно знания.

Более детально данную систему можно представить в виде цикла оборота знаний⁶⁶ (рис. 1.13), в котором знания являются источником для повышения квалификации работников, производственной деятельности человечества и роста выпуска материальных благ, потребляемых обществом. В свою очередь, знания являются результатом, как производительной деятельности людей, так и процесса познания.

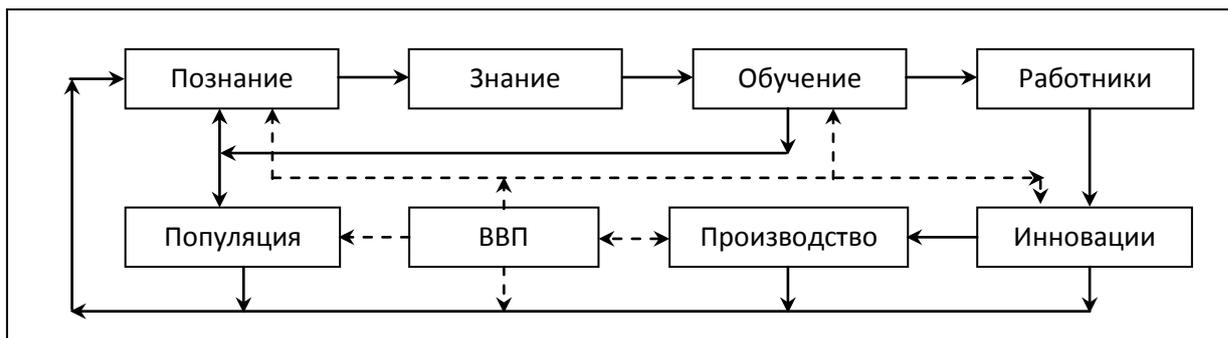


Рис. 1.13. Цикл оборота знаний

Работа этого цикла за 3 миллиона лет привела к увеличению числа людей примерно в 70 000 раз, объем знаний увеличился примерно в 100 000 раз. Таким образом, зона познания постоянно расширяется. Анализ надсистемы знания по-

⁶⁶ Орехов В.Д. Инновационное развитие в условиях глобализации: Матер. XXI междунар. научн.-практ. конфер. «Инновации в науке». – Новосибирск: СибАК, 2013. – С. 81. <http://sibac.info/2009-07-01-10-21-16/8286-2013-06-26-23-19-36>

зволяет утверждать, что «Знание является результатом познания людьми реальной действительности, основой производственной деятельности и закономерного развития человечества».

Следует отметить, что часть знаний устаревает, поскольку появляются теории, более точно соответствующие действительности, и переходит в зону, которую называют «псевдознанием»⁶⁷, хотя точнее было бы называть их «ретрознанием».

1.3.5. Виды знания в процессе познания

Последовательность преобразований, которые происходят с объектами системы знания в ходе познания, условно представлена на рис. 1.14. Справа на схеме даны общие названия объектов, слева – их возможные реализации.

Стрелкой обозначено то направление, в котором движется познание человечества, расширяя сферу познанного и стремясь в будущем наиболее полно познать действительность. Вот краткий комментарий к данной схеме:

1. Целью познания является достоверное понимание реальной действительности. Приближаясь к ее пониманию, человечество никогда не может достигнуть абсолютного (истинного) понимания.
2. В реальном мире есть не только то, о чем мы имеем некоторое представление (мыслимое), но и неммыслимое – то, о чем мы не имеем никаких знаний и даже не можем фантазировать.



Рис. 1.14. Знания в процессе познания

3. Первым шагом к мыслимому являются фантастические идеи.

⁶⁷ См. [56].

4. На базе фантазии путем соотнесения ее с реальностью появляются гипотезы, которые относятся к системе мыслимого.
5. Следующим шагом к знанию является получение данных за счет наших органов чувств, измерительной техники или сравнения известных достоверных данных.
6. То, о чем мы имеем данные, может быть отнесено к системе ведомого.
7. Далее мы попадаем в систему познаваемого (познания) и шагами на этом пути является проверка гипотез и преобразование данных в информацию.
8. Затем в процессе мышления или деятельности рождается скрытое знание.
9. Путем кодификации скрытое знание превращается в явное – публикации и другие формы.
10. Далее происходит проверка знаний на практике, критический анализ экспертным сообществом (научным и профессиональным) и публикация знаний в апробированном виде.
11. На следующем этапе явное знание преобразуется в учебные материалы, которыми овладевают массы специалистов. В результате обучения происходит превращение явного знания в неявное (знания, навыки компетентности), которое люди могут использовать на практике.
12. С использованием этих знаний создаются новые технологии и техника, с помощью которых производятся товары и услуги, повышающие уровень жизни людей.
13. С течением времени знание начинает устаревать и превращаться в ретрознание, которое не соответствует современному пониманию вопросов и со временем сдается в архивы.

Крайней формой ретрознания является псевдознание, которое включает в себя всевозможные формы псевдонаучного, мифологического, астрологического, мистического и т.д. знания. Нередко эти знания используются некоторыми людьми для мошеннической деятельности. В последнее время в СМИ наблюдается активизация проповедников этих форм знания, которых можно увидеть по телевидению, возможно, чаще, чем выступления ученых. Президент РАН В. Фортов отметил, что число лжеученых в мире почти сравнялось с количеством ученых и составило 6 млн человек.

Познавательный процесс движется не только в указанном выше направлении, но на отдельных этапах и в противоположном. Так, в процессе обучения учебное знание преобразуется в скрытое. Знания, которые используются на практике, порождают большое количество данных и являются источником гипотез, скрытого и явного знания и т.д. Кроме того, реальные научные произведения включают в себя значительное число данных, информации, гипотез и ретрознания. Ретрознание также может поступать в повторный оборот при изменении потребностей людей, а также в виде данных для отслеживания исторических процессов.

Вместе с тем данная схема демонстрирует, что знание никогда не бывает абсолютным и досконально проверенным на соответствие действительности. Оно содержит динамическую смесь различного типа знаниеобразных структур.

Следует также отметить, что проведенный анализ концепции в дальнейшем следует дополнить вопросами измерения знания, которые рассмотрены, в частности, в работах^{68, 69}. Подводя итог анализу характеристик знания, сформулируем краткое определение понятия знание.

Знание – это существенные результаты познания реальной действительности, являющиеся основой образования, производственной деятельности и закономерного развития человечества, отраженные в мышлении или на носителях информации и прошедшие критическую проверку квалифицированными экспертами.

1.3.6. Научные парадигмы и создание знания

Книга Томаса Куна «Структура научных революций», представляющая собой анализ истории науки, вышла из печати в 1962 году и стала значительным событием в учении о методологии. В ней показано, что научное знание развивается скачками, путем научных революций, в ходе которых меняются научные парадигмы. Т. Кун подверг сомнению кумулятивную модель развития науки, согласно которой любая последовательность новых открытий представляет собой движение науки вперед. По его мнению, в науке существует конкуренция научных теорий и школ и нередко одни направления подавляют другие. Важную роль в этом процессе играет научная парадигма.

По определению Томаса Куна парадигмами являются одно или несколько взаимосогласованных научных достижений, признанных научным сообществом в качестве основы для последующей исследовательской деятельности в определенной научной области. В качестве примера он приводит пример парадигмы в сфере оптики, согласно современному пониманию которой, свет состоит из потока фотонов, которые обладают свойствами и волн, и частиц одновременно. Это понимание было сформировано Планком, Эйнштейном и другими учеными в начале XX века. Однако согласно предыдущей парадигме, опирающейся на работы Френеля и Юнга, выполненные в начале XIX века, физики считали, что свет является поперечными волнами. Еще более ранняя парадигма XVIII века базировалась на «Оптике» Ньютона, который утверждал, что свет состоит из материальных частиц. Эти переходы от одной парадигмы к другой реализуются через революции, которые происходят в зрелых науках.

Однако такие революции не происходят в науках, в которых нет общей точки зрения по определенным важным вопросам. Так, до XVII века было много противостоящих школ, которые по-разному относились к природе света. Аналогичные события есть в истории большинства наук. Важно, что отсутствие пара-

⁶⁸ См. [1].

⁶⁹ Орехов В.Д. Измерение количества явных и неявных знаний. Вестник МИМ ЛИНК. 2016, № 3.

дигмы ведет к сумбурному накоплению информации в соответствующей научной сфере. На ранних этапах развития любой науки исследователи далеко не всегда одинаково характеризуют одни и те же явления. Именно парадигма позволяет сделать работу по отбору и интерпретации исследований более эффективной.

Парадигма становится таковой, поскольку ее использование ведет к успеху быстрее, чем альтернативные способы решения исследовательских проблем. В рамках парадигмы ученые много внимания уделяют «наведению порядка» в сфере данной науки, решению неисследованных в ее рамках вопросов и переосмыслению их на базе единой парадигмы. Именно такую науку Т. Кун называет «нормальной наукой». Ученые, работающие в рамках нормальной науки, не ставят себе задач создания новых теорий, не вмещающихся в рамки такой науки. Они также нетерпимо относятся к тем, кто пытается создать такие теории. Этот механизм нацеливает ученых на максимально углубленное, точное исследование этой ограниченной области деятельности нормальной науки.

Основные классы проблем, которые решает нормальная наука в своих рамках, это установление важнейших фактов, сопоставление этих фактов с теорией и разработка теорий. Фактически нормальная наука действует по кумулятивному алгоритму, успешно расширяя пределы научного знания. Однако бывают и экстраординарные открытия, которые выходят за эти рамки и ведут к научным революциям. Создается впечатление, что такие сюрпризы достаточно закономерны, и они ведут к изменению научных парадигм.

Но к изменению парадигмы ведут только отклонения, поражающие научную парадигму в самую сердцевину. Научные революции – это некумулятивные фазы развития науки, в течение которой старая парадигма частично или полностью замещается новой, несовместимой со старой.

Наряду с этим в настоящее время принята такая интерпретация функций научной теории, согласно которой новая теория, как правило, не должна вступать в явное противоречие с предыдущей. Т. Кун рассматривает соотношение между уравнениями динамики тел по Эйнштейну и по Ньютону, которые дают различные результаты, и одновременно теория Ньютона не признается ошибочной. «Но парадигмы отличаются более чем содержанием, ибо они направлены не только на природу, но выражают также и особенности науки, которая создала их. Они являются источником методов, проблемных ситуаций и стандартов решения, принятых неким развитым научным сообществом в данное время. В результате, восприятие новой парадигмы часто вынуждает к переопределению основ соответствующей науки».

Рассматривая процесс утверждения новой парадигмы, Т. Кун отмечает, что поскольку не существует никакой эмпирически или научно нейтральной системы понятий, то проверка альтернативных парадигм или теорий будет происходить на основе существующей парадигмы, что делает перспективы новой теории весьма сомнительными. Единственная возможность для сторонников новой теории заключается в возможности решить проблемы, которые привели к кризису старой парадигмы.

Подводя итог представленным в данном разделе понятиям, отметим, что мы определили с системной точки зрения место знания в познании и производительной деятельности, а также представили уточненное определение концепции Знание.

Выводы

1. Предложено уточненное определение концепции Знание: существенные результаты познания реальной действительности, являющиеся основой образования, производственной деятельности и закономерного развития человечества, отраженные в мышлении или на носителях информации и прошедшие критическую проверку квалифицированными экспертами.
2. С использованием системного подхода систематизирован процесс генезиса знания в ходе познания.
3. Показано, что формы представления знаний не ограничиваются только качественными и количественными, а содержат и символическое представление знаний (мышление, схемы, когнитивные матрицы).

1.4. Измерение количества явных и скрытых знаний⁷⁰

*Если не можете что-либо измерить,
то не можете этим управлять*
Peter Drucker

Современная цивилизация стремится стать обществом знания. Ряд стран утверждают, что они построили «экономику знания». Но могут ли они утверждать, что сегодня знания стало больше, чем вчера, и насколько? И какого знания, явного (формализованного, кодифицированного) или скрытого? Евро-американская и японская⁷¹ традиции управления дискутируют относительно приоритета того или иного типа знания.

Кодифицированное знание зафиксировано в книгах, статьях и на других печатных и электронных носителях, оно может быть легко распространено по всему миру и быстро становится источником мирового богатства. Некодифицированное знание находится в разуме людей (в мыслительных структурах) и является как базой для реальной мыслительной и продуктивной деятельности, так и источником появления новых знаний. При этом в явное знание может быть преобразована лишь малая часть скрытого знания – то, что удастся кодифицировать и не является рутинным знанием. До последнего времени только люди могли создавать новые знания, хотя и современные компьютерные программы претендуют на эту роль.

Явное и скрытое знания находятся в тесной взаимосвязи. Четыре вида трансформации в процессе создания знания (рис. 1.10), согласно Нонака и Такеучи⁷², а именно: интернализация (обучение), социализация (обмен знаниями), экстернализация (кодификация) и комбинация (обработка знаний) являются основными процессами, в ходе которых появляется новое знание.

1.4.1. Измерение знания

Выше мы представили «пространство знания» исходя из понимания процесса познания (рис. 1.14) и поняли, что существует значительное количество разнообразных объектов типа знания, которые совместно наполняют это пространство. Измерение всех их является особой задачей исследователя.

Данные и информацию можно относительно легко измерить в байтах, мегабайтах и т.д., поскольку они, как правило, размещены на различных электронных носителях. Но не всегда легко отличить данные от информации.

Научное знание измерять относительно просто, поскольку сейчас для этого разработаны специальные методы учета числа публикации и показатели их

⁷⁰ Основные результаты опубликованы в работе: Орехов В.Д. Измерение количества явных и неявных знаний. Вестник МИМ ЛИНК. 2016, № 3.

⁷¹ См. [64].

⁷² Там же.

цитируемости (индекс Хирша и т.д.). Соответственно существует несколько наукометрических баз данных: Scopus, SCImago, Web of Science, Science and Engineering Indicator. Отдельным блоком научных знаний являются патенты. Правда, объективность измерения научных знаний снижается за счет языковых барьеров, поскольку в учет попадают в большинстве случаев научные статьи, публикуемые на английском языке. Также не совсем ясен вопрос учета объема этих публикаций.

Фантастические идеи фиксируются определенными базами данных, существует классификация научно-ориентированных фантастических идей. Основная проблема с этим типом знания заключается в их низком статусе. Однако вполне возможно создать базу научных фантастических идей, которые при правильном структурировании будут служить активатором научно-технической деятельности R&D специалистов. Объем данного вида знаний измеряется в единицах (штуках).

Гипотезы. Этот вид знаний является ключевым в процессе познания. Однако гипотезы не имеют формального статуса, как учитываемый вид знаний, и часто не воспринимаются, как достижение познания. Их учет можно формализовать, но это требует проработки вопроса отделения статуса научных гипотез от фантастических идей и псевдознания, что можно осуществлять, например, на уровне экспертного сообщества. Число гипотез измеряется в единицах.

1.4.2. Измерение явного знания

Поскольку измерение количества публикации на системной основе началось относительно недавно, то для учета объема явных знаний желательно использовать и подходы, которые могли применяться и в прошлом. Это позволит также учесть знания, которые важны для общества, но не являются непосредственно предметом науки, например, религиозные труды и т.д. Пример реализации такого подхода приведен выше в разделе 1.2 на базе учета объема хранения книг в крупнейших мировых библиотеках.

Использованный выше подход к учету знаний человечества, хотя и не очень точен, но позволил рассмотреть динамичную картину роста знания на протяжении всей истории человечества. Годовой прирост знания ΔZ можно оценить, как по формулам (1.15) – (1.18), так и по годовому объему публикаций и патентов в мире ΔP . Сравнение динамики выдачи патентов и публикаций показывает (рис. 1.15), что их число по-разному изменяется во времени. До 1946 года число патентов превышает число публикаций, а позднее, наоборот, количество публикаций в 2–3 раза превосходит число патентов. Это, видимо, связано с тем, что патенты стали тщательно регистрировать раньше, чем другие виды публикаций.

С другой стороны, в базе Scopus на 2013 год было представлено примерно 25 млн. патентов⁷³. С 1949 года, когда в базе Scopus наблюдается резкий скачок

⁷³ Scopus. Content Coverage Guide, 2013.

публикаций, во всем мире было выдано примерно 28 млн. патентов. Таким образом, можно полагать, что до этой даты включение патентов в Scopus было ограниченным, а после нее – весьма полным. В соответствии с этим, при расчете суммарного прироста числа публикаций и патентов $\Delta P(T)$ до 1949 года суммировались данные по количеству патентов и публикаций из базы Scopus, а начиная с этой даты использовались только данные из Scopus.

Для сравнения зависимостей $\Delta Z(T)$ и $\Delta P(T)$ было принято, что в среднем каждая публикация из базы Scopus⁷⁴ и каждый патент⁷⁵ (здесь учтены только патенты, выдаваемые резидентам) имеют объем, равный 15% условной книги (СВ). При расчете прироста знания - ΔZ до 1975 года использовалась гиперболическая формула (1.16), а после нее – формула (1.15), а также статистические данные по численности населения мира⁷⁶.

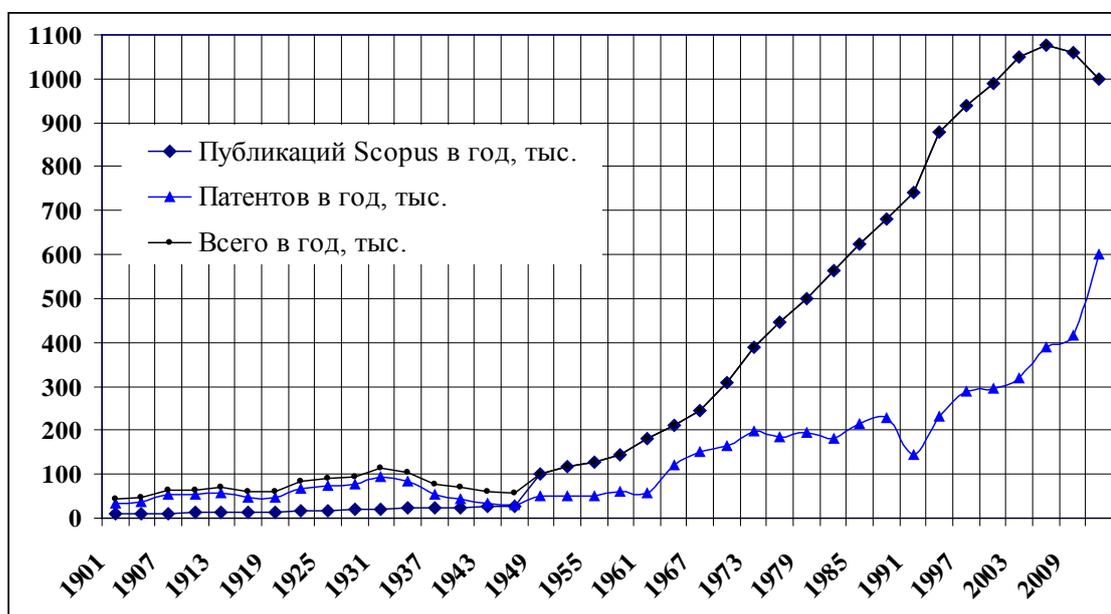


Рис. 1.15. Рост годового числа патентов и публикаций в мире

Результаты сравнения прироста объема знаний человечества $\Delta Z(T)$, вычисленного по формулам (1.15), (1.16), и прироста публикаций и патентов $\Delta P(T)$ показали, что обе кривые выходят «на полку», однако между расчетной кривой и зафиксированным в Scopus объемом публикаций существует сдвиг по времени примерно на 25 - 30 лет. Это свидетельствует о том, что в этих формулах нужно учесть задержку на время взросления людей с использованием формул (1.17), (1.18).

Сравнение расчетных значений прироста знания $\Delta Z(T)$ по формулам (1.17, 1.18) с приростом числа публикаций, включая патенты, $\Delta P(T)$ дано на рис. 1.16.

⁷⁴ Mosher D. Genealogy of Science According to Scopus, Wired Magazine. 2011, 8 March. <http://aminotes.tumblr.com/post/4027872129/genealogy-of-science-according-to-scopus>

⁷⁵ Немцов Э. Ф. Человечество становится всё изобретательнее. 2011.

<http://nemtsov.ners.ru/articles/chelovechestvo-stanovitsya-vs-izobretatelnee.html>

⁷⁶ См. [12].

Для удобства сравнения здесь приведено утроенное значение $\Delta P(T)$. Видно, что кривые $\Delta Z(T)$ и $3\Delta P(T)$ достаточно близки друг к другу, причем они примерно одновременно выходят на полку. После 2020 года прирост объема знаний достаточно быстро уменьшается, что связано с демографическим переходом и падением мировых темпов прироста населения.

Видно, что использованный первоначально в разделе 1.2 подход для оценки объема знаний человечества находит подтверждение с точки зрения учета объема публикаций.

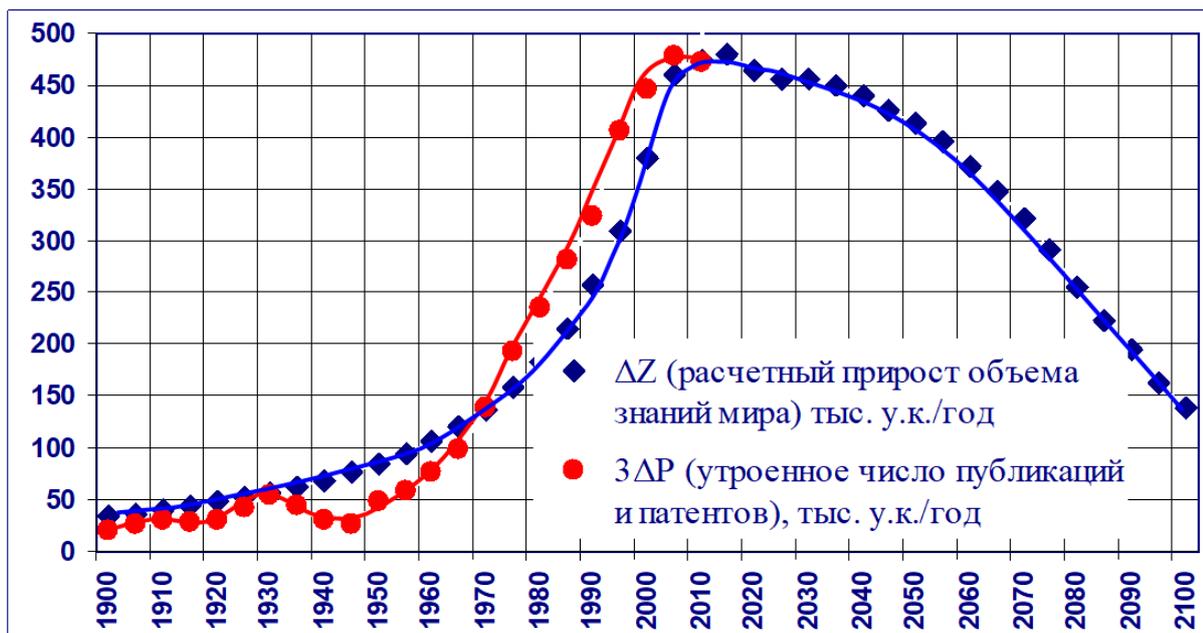


Рис. 1.16. Сравнение расчетного прироста знания (1.18) с числом публикаций

Очень важным результатом является то, что максимум прироста знаний приходится примерно на второе десятилетие XXI века, а затем прирост знания будет убывать. Эти результаты подтверждают работы ученых из Высшей школы экономики⁷⁷, согласно которым человечество достигло максимальной скорости технологического развития в 2018 году.

1.4.3. Измерение скрытого знания

Значительно сложнее измерить объем скрытого знания, поскольку оно находится в головах людей, причем сложно даже представить в каком виде. Однако для оценки по порядку величины можно воспользоваться следующим приемом. Будем считать, что объем скрытых знаний, приобретенных человеком,

⁷⁷ Grinin L., Grininc A., Korotayev A. A quantitative analysis of worldwide long-term technology growth: From 40,000 BCE to the early 22nd century (Количественный анализ долгосрочного роста технологий во всем мире: с 40 000 до н.э. до начала 22 века). *Technological Forecasting and Social Change*, 5 марта 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162519314118>
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119955>

прямо пропорционален количеству лет, в течение которых он их получал. Конечно, человек приобретает знания, не только получая формальное образование, но это основная часть полученных знаний, а остальные приобретенные им неявные знания примерно пропорциональны этой части. Таким образом, для каждого человека можно оценить объем накопленных скрытых знаний.

Для того чтобы привести объем скрытых знаний специалиста к тем же единицам измерения, что и для явного знания, мы можем условно приравнять год обучения к некоторому объему изученных условных книг. С учетом той учебной нагрузки, которую получают обычно студенты высшей ступени обучения, можно приравнять ее к 50 СВ в год или примерно 5000 учебным страницам. В этом случае объем скрытых знаний специалиста в условных книгах будет равен

$$Z_{\text{н}} \approx 50E. \quad (1.21)$$

Таким образом, объем скрытых знаний научного работника (R&D специалиста) составляет порядка 1100 СВ. Согласно формуле (1.18), объем знаний человечества составляет в настоящее время около 27 миллионов СВ, а количество R&D специалистов – около 7 млн. чел. Следовательно, на каждого R&D специалиста приходится около 4 СВ уникального явного знания, т.е. около 0,4% от его скрытого знания. В реальности доля относительно уникального явного знания минимум на порядок больше, поскольку специалисты говорят на различных языках и для каждого из них это знание будет уникальным. Кроме того, у каждого специалиста есть уникальное скрытое знание, полученное на практике. Таким образом, порядка 10% неявного знания R&D специалиста является относительно уникальным, что и составляет его ценность, как специалиста. Не менее важным является и уникальность комбинации знаний, которыми владеет специалист.

Таким образом, апробация некоторых подходов к измерению количества явных и скрытых знаний людей показывает, что это дает интересные результаты, с точки зрения управления знаниями.

Выводы

1. Показано, что прирост явного знания можно оценивать, как исходя из объема хранения в крупнейших библиотеках, так и по объему научных публикаций и патентов в мире. Годовой объем научных публикаций примерно в три раза меньше, чем при оценке по объему хранения в библиотеках.

2. Согласно прогнозу, в связи с демографическим переходом, прирост годового объема публикаций к 2050 году снизится примерно на 14%, а к 2100 – втрое.

3. Предложен метод измерения скрытых знаний путем фиксации продолжительности обучения специалистов и их числа. Показано, что объем скрытых знаний одного специалиста в условных книгах (порядка 1 мБбайт знаний) приблизительно в 50 раз превышает число лет обучения.

1.5. Моделирование динамики числа ученых в мире в прошлом и будущем⁷⁸

Современный мир движется к «Экономике знания», и роль интеллектуальной деятельности быстро возрастает. Одним из показателей этих изменений является то, что к началу XXI века в большинстве стран мира доля человеческого капитала (ЧК) в составе национального богатства достигла 80% и продолжает расти. Это связано с тем, что за последние полвека число студентов высшего образования выросло в мире в 10 раз^{79,80,81,82, 83}, причем этот рост опережает рост ВВП примерно в два раза^{84,85}. Однако в ведущих экономиках мира доля работающих, имеющих высшее образование, уже достигла порядка 30%, и ресурс роста интеллектуального и человеческого капитала за счет высшего образования уже приближается к грани исчерпания^{86,87}.

Другим важным и более значительным по объему ресурсом для повышения удельного ЧК стран является рост числа ученых. Именно этот ресурс определяет рост явного знания в мире, прямо влияющего на рост мирового ВВП/Д и поддержание его в активном состоянии.

Интересной является зависимость роста числа ученых со временем.

1.5.1. Известные данные о числе ученых

С целью понимания того, каким закономерностям подчиняется развитие цивилизации с точки зрения знания, рассмотрим, как изменялось число ученых в разные эпохи развития человечества. Согласно СЭС (Советский энциклопедический словарь. – М., 1987), в XVII веке число ученых начинает удваиваться каждые 10–15 лет. Данные о числе ученых в мире приведены в табл. 1.2 и на

⁷⁸ Основные результаты опубликованы в работе: Orekhov V.D., Prichina O.S., Shchennikova E.S. World number of scientists in dynamic simulation for the past and the future. В сборнике: Economic and Social Development Book of Proceedings. Varazdin Development and Entrepreneurship Agency; Russian State Social University. 2017. P. 69-81.

URL: http://soccongress.rgsu.net/netcat_files/261/472/Book_of_Proceedings_esdMoscow_2017_Final_online.pdf с. 69.

⁷⁹ Численность студентов в разных странах мира. – Федеральный портал Proton.ru. <http://www.protown.ru/information/hide/3542.html>

⁸⁰ Борисов И. И., Запрягаев С. А. Тенденции развития образования в XXI веке // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Проблемы высшего образования. 2000. №1. С.12-28.

⁸¹ Цит. по: Сегодня в мире 153 миллиона студентов. – Инновац. образов. сеть «Эврика», 2009. <http://www.eurekanet.ru/ewww/promo/10407.html>

⁸² Education at a Glance 2013: OECD Indicators. [http://www.oecd.org/edu/eag2013%20\(eng\)--FINAL%2020%20June%202013.pdf](http://www.oecd.org/edu/eag2013%20(eng)--FINAL%2020%20June%202013.pdf)

⁸³ Schofer E., Meyer J. W. The Worldwide Expansion of Higher Education in the Twentieth Century, American Sociological Review. 2006.

⁸⁴ См. [31].

⁸⁵ См. [1].

⁸⁶ Psacharopoulos G., Patrinos H. A. Returns to Investment in Education: A Further Update. P. 1.

⁸⁷ Hall R. E., Jones C. I. Why do some countries produce so much more output per worker than others?; Caselli F. Accounting for Cross-Country Income Differences // CEP Discussion Paper. 2005. № 667.

рис. 1.17, на котором также дан график экспоненты с десятикратным темпом роста за 50 лет – удвоение примерно за 15 лет.

$$N_S = 10^{(T-1650)/50} \quad (1.22)$$

Таблица 1.2. Численность ученых в мире

Время	Ученых, тыс.	Время, год	Ученых, тыс.
На рубеже XVIII—XIX веков ⁸⁸	~ 1	1975 ⁸⁹	4 900
В середине XIX века	10	2002	5 800
В 1900 году	100	2007	7 100

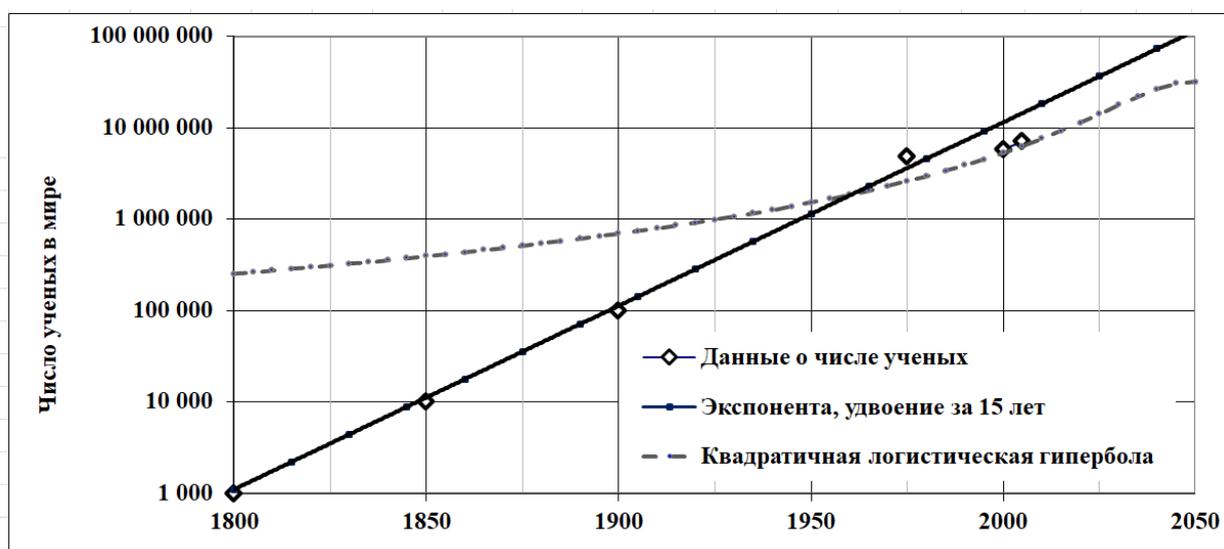


Рис. 1.17. Модели численности ученых в мире

Видно, что представленная в табл. 1.2 информация о числе ученых до 1970 года достаточно хорошо аппроксимируется экспонентой. Но эта зависимость означает, что ко времени учреждения академии наук Франции в 1666 году в мире было всего два ученых. Столь малое число ученых в прошлом также не согласуется с существованием античной науки и ученых эпохи Возрождения. Видимо, данное несогласование заключается в том, кого считать учеными. Если принять, что ученые – это те люди, которые занимаются исследованиями и разработками (НИОКР или R&D), т.е. созданием знаний и разработкой на их основе новых изделий и технологий, то их количество должно логичным образом соотноситься с объемом знаний человечества и сложностью создаваемых изделий.

⁸⁸ Особенности современной науки// Науч.-информ. журн. «Биофайл». <http://biofile.ru/his/2038.html>

⁸⁹ СССР в цифрах в 1975 году. – М., 1976.

1.5.2. Связь роста числа ученых и объема знания людей

По мнению С.П. Капицы, развитие человечества «определяется механизмом размножения и распространения обобщенной информации в масштабах человечества». В данной книге мы будем исходить из гипотезы, что наиболее фундаментальным фактором, влияющим на рост и развитие человечества, является объем накопленных знаний, прежде всего явных.

Поскольку создателями и носителями знаний являются люди, то видимо, существует зависимость объема знаний от количества людей в мире, число которых до 1960 года (начало демографического перехода) в зависимости от времени выражается гиперболой (1.1).

Как показано в разделе 1.2, для аппроксимации мирового объема знаний можно использовать формулу типа гиперболы (1.18)⁹⁰, а также формулу (1.17), которая верна и в период демографического перехода.

Если принять однозначную связь между созданием нового знания и числом ученых и разработчиков, то можно оценить их число N_S . Годовой прирост знания ΔZ (1.23) можно оценить, продифференцировав уравнение (1.18) с $T_2 = 2050$:

$$dZ(T)/dT = K/(T_2 - T)^{2.25}. \quad (1.23)$$

Как было отмечено в разделе 1.2, производительность создания знаний возрастает более быстро, чем число людей (1.1) пропорционально гиперболе в степени 0.25, следовательно, при определении числа ученых необходимо скорректировать формулу (1.23) на рост производительности труда, и мы получим выражение для роста числа R&D работников во времени⁹¹:

$$N_S = 16 \cdot 10^9 / (T_2 - T)^2. \quad (1.24)$$

Согласно данной зависимости, в период Возрождения в мире было 60 тысяч специалистов в сфере R&D, в Античности – около 3000, во времена древнего Египта – более 600, в мегалитическую эпоху ~ 100, а первый R&D специалист появился примерно 120 тыс. лет назад. Такая численность R&D специалистов лучше соответствует сложности создаваемых в разные исторические времена изделий и сооружений, чем согласно экспоненте.

⁹⁰ См. [1].

⁹¹ Там же.

1.5.3. Прогнозирование числа ученых после 1960 года

Для того чтобы пролонгировать данную зависимость на срок после 1960 года, воспользуемся тем же подходом, каким можно преобразовать экспоненциальную зависимость в логистическую. Дифференцируя уравнение (1.24), получим

$$dN_S/dT = -2 A/(T_2 - T)^3 = -2N_S/(T_2 - T). \quad (1.25)$$

Отсюда получим дифференциальное уравнение для числа ученых в период гиперболического роста числа людей.

$$(1/N_S) dN_S = -2dT/(T_2 - T). \quad (1.26)$$

Для того чтобы устранить бесконечный рост гиперболы (1.26) и привести это уравнение к типу, аналогичному логистическому (применительно к гиперболе), необходимо добавить ограничивающий фактор типа $(N_S/N_{\max} - 1)$ в правой части, и мы приходим к уравнению:

$$(1/N_S) dN_S = -2(1 - N_S/N_{\max})dT/(T_2 - T). \quad (1.27)$$

Его можно преобразовать

$$dX/X + dX/(1 - X) = -2dT/(T_2 - T), \text{ где } X = N_S/N_{\max}. \quad (1.28)$$

После интегрирования уравнение (1.28) приобретает вид

$$N_S = N_{\max}/(1 + (N_{\max}/A)(T_2 - T)^2). \quad (1.29)$$

При $T \rightarrow -\infty$ величина $N_S \rightarrow A/(T_2 - T)^2 \rightarrow 0$, что соответствует данным табл. 1.2, а при $T \rightarrow T_2 = 2050$ величина $N_S \rightarrow N_{\max}$, то есть является ограниченной, как у логистической кривой.

Для того чтобы теоретическая кривая хорошо согласовалась с данными о числе ученых в настоящее время, постоянные коэффициенты в уравнении (1.29) должны иметь примерно следующие значения $N_{\max} = 32 \cdot 10^6$, $A = 16 \cdot 10^9$. Соответствующая кривая представлена на рис. 1.17 (будем называть ее «квадратичная логистическая гипербола»). В отличие от (1.24), кривая (1.29) не стремится к бесконечности и не превышает $N_{\max} = 32 \cdot 10^6$. Недостатком кривой (1.29) является то, что в 2050 году она достигает максимума и далее уменьшается, что вряд ли правильно отражает рост числа ученых в будущем.

1.5.4. Другие варианты прогнозирования числа ученых

Рассмотрим другие возможности прогнозирования роста числа ученых в будущем. На рис. 1.18 представлены графики роста числа R&D специалистов

согласно квадратичной логистической гиперболе (1.29) и логистической зависимости⁹²

$$(T_0 = 1900 \text{ г.}, N_0 = 0.1 \text{ млн}, N_{\max} = 32 \text{ млн}, C = 24 \text{ лет}),$$

$$N(T) = N_0 \exp(T/C) / (1 + (N_0/N_{\max}) (\exp(T/C) - 1)), \quad (1.30)$$

которая является решением дифференциального уравнения.

$$dN/dT = (N/C) (1 - N/N_{\max}). \quad (1.31)$$

Там же представлен прогноз числа R&D специалистов согласно работе⁹³ (треугольные точки), в которой учитываются сложившиеся тенденции роста их числа в крупнейших экономиках мира до 2100 года. Согласно данному прогнозу, число R&D специалистов приближенно выражается зависимостью

$$N_S = 3.7 + 0.09 (T - 1980) + 0.001(T - 1980)^2. \quad (1.32)$$

Видно, что логистическая кривая (начальная экспонента которой удваивается за $C \ln 2 = 24 \ln 2 \approx 17$ лет) проходит наиболее близко к современным данным о числе R&D специалистов и к прогнозным значениям. Логистическая квадратичная гипербола (1.29) после 2015 года растет значительно быстрее, чем по прогнозу (1.32).

Ориентироваться на точку, соответствующую 1975 году, не следует, прежде всего, потому, что она соответствует времени существования СССР и СЭВ, а в этих странах число ученых после 1990 года резко упало.

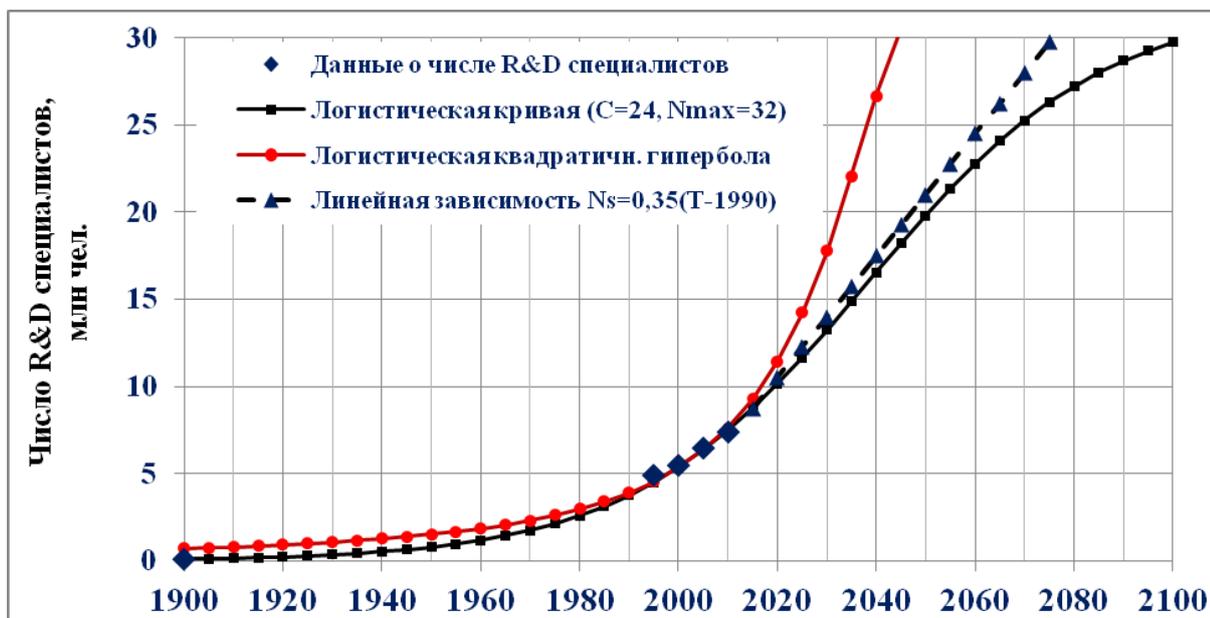


Рис. 1.18. Различные модели численности R&D специалистов в мире

⁹² Логистическое уравнение. Википедия. 2016. <https://ru.wikipedia.org/wiki>

⁹³ См. [1].

1.5.5. Рост числа ученых и мирового валового продукта

Возникает вопрос: почему до демографического перехода рост числа R&D специалистов, как нам представляется, соответствовал квадратичной гиперболе, а в последнее время ближе к логистической зависимости?

Отметим, что согласно работам А.В. Коротаева и Д.А. Халтуриной⁹⁴, рост мирового ВВП за последнее тысячелетие примерно соответствовал квадрату численности человечества, а с учетом уравнения (1.1) Х. Форстера⁹⁵ величина ВВП по ППС (в трлн. долл. 1990 г.) описывается квадратичной гиперболой. На рис. 1.19 дано сравнение значений ВВП по ППС согласно работе А. Maddison⁹⁶ в период 1400–2000 гг. с квадратичной гиперболой типа (1.33), из которой видно, что они достаточно хорошо согласуются

$$G = 0.12 + 28000/(2020 - T)^2. \quad (1.33)$$

Однако с приближением к 2000 году реальный рост ВВП начинает отставать от квадратичной гиперболы (1.33), что естественно, поскольку она имеет сингулярность в 2020 году. В этот период (локально) зависимость роста ВВП от времени становится примерно экспоненциальной, как видно из рис. 1.20. Прогноз величины ВВП по ППС в 2030 и 2050 годах здесь дан согласно результатам компании PwC⁹⁷.

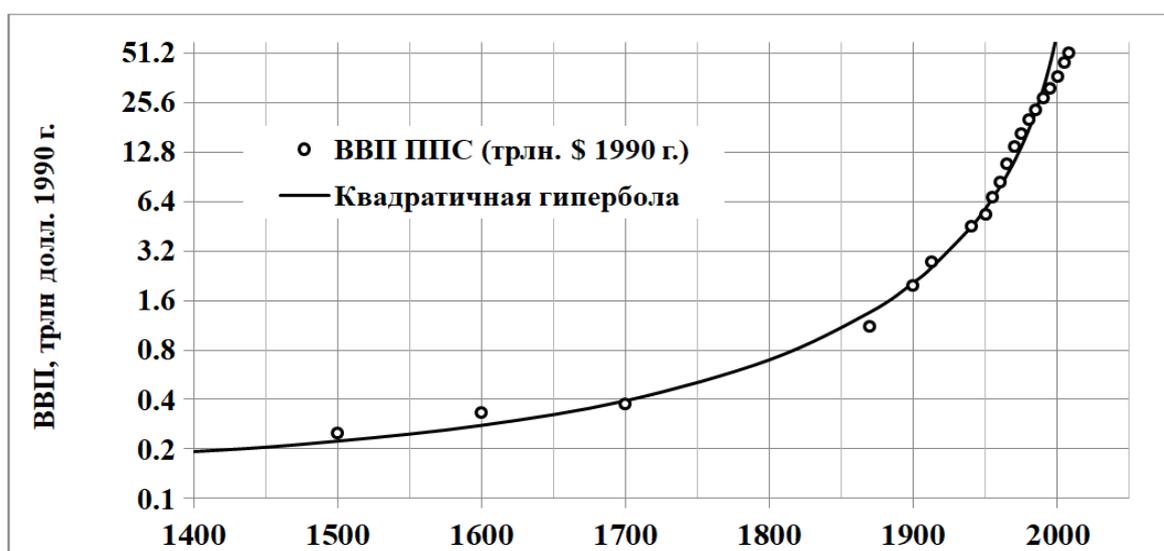


Рис. 1.19. Квадратичная гипербола, как модель роста мирового ВВП

⁹⁴ Системный мониторинг: Глобальное и региональное развитие / Отв. Ред. Д.А. Халтурина, А.В. Коротаев. М.: «Либроком», 2010. 50 с.

⁹⁵ См. [10].

⁹⁶ См. [31].

⁹⁷ Hawksworth J., Chan D. World in 2050. The BRICs and beyond: prospects, challenges and opportunities. 2013.

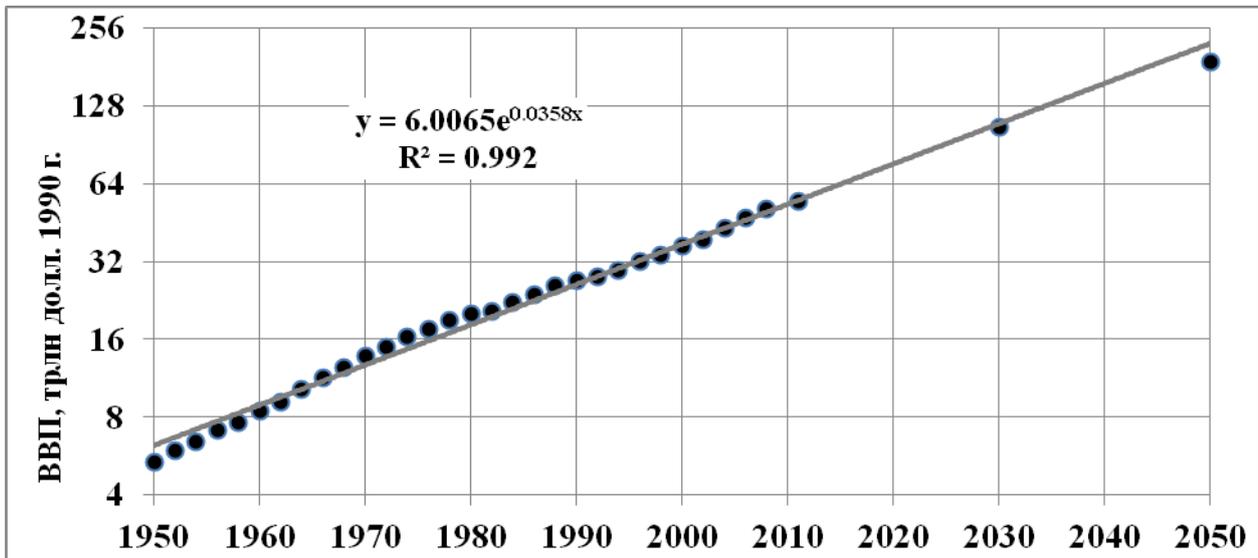


Рис. 1.20. Экспонента, как модель роста мирового ВВП

Таким образом, можно утверждать, что число ученых N_S примерно пропорционально мировому ВВП ($N_S \sim G$). Это вполне логично, поскольку ясно, что численность R&D специалистов существенно зависит от возможностей финансирования научной деятельности. С другой стороны, увеличение числа R&D специалистов ведет к увеличению объема знаний и соответственно к росту ВВП, поэтому эти две величины взаимозависимы.

Соотношение числа ученых в мире и мирового ВВП N_S/G в период 1995 – 2010 годов представлено на рис. 1.21, 1.22. Видно, что они растут примерно с одним темпом, однако наблюдается тенденция к уменьшению числа ученых на миллиард долларов ВВП, особенно в начальный период, в связи с резким уменьшением числа ученых в СССР и странах Восточной Европы.

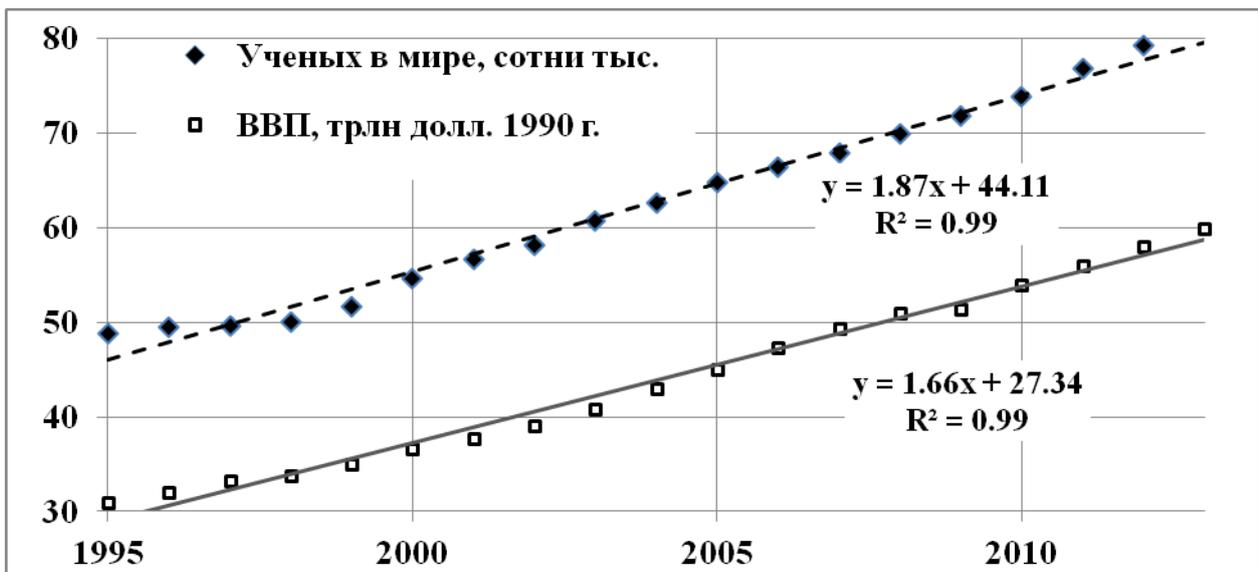


Рис. 1.21. Рост числа ученых и ВВП в мире

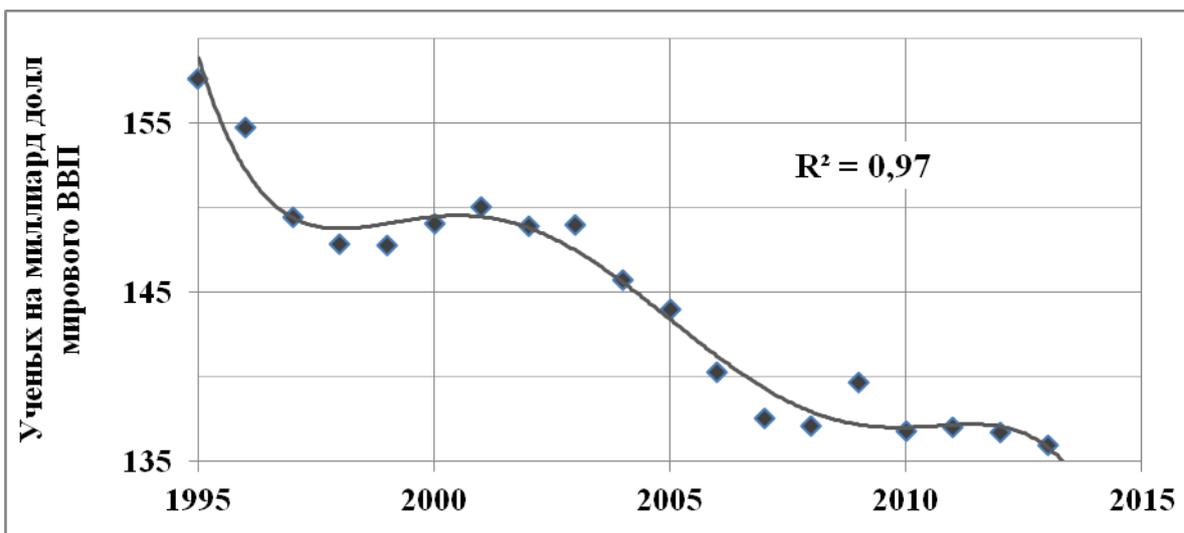


Рис. 1.22. Число ученых на миллиард долларов (N_s/G) в мире

Интересно, что в этот период быстро рос ВВП на душу населения в мире. Если представить данные о величине N_s/G в зависимости от ВВП на душу населения G/N , то можно увидеть (рис. 1.23) довольно парадоксальную зависимость – число ученых падает с ростом ВВП на душу населения, хотя, как правило, более богатые страны способны уделять больше внимания науке.

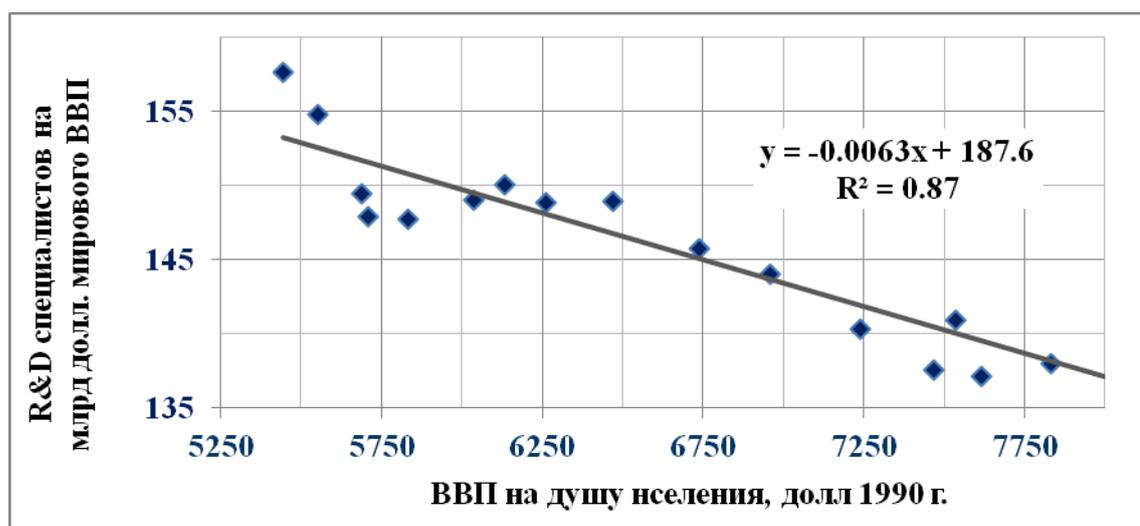


Рис. 1.23. Отношение N_s/G в зависимости от G/N (долл. 1990 г.)

Вероятно, это связано с тем, что в этот локальный период ВВП рос весьма быстро, а рост числа ученых или отставал от роста ВВП в одних странах (развивающихся), или их и так уже было много в других (развитых).

Также оказывали влияние на динамику числа ученых конкурентные стратегии развития науки в разных странах. Для оценки этих факторов на рис. 1.24 приведено отношение N_s/G в различных странах, в зависимости от ВВП на душу населения (здесь ВВП в долл. 1990 г.).

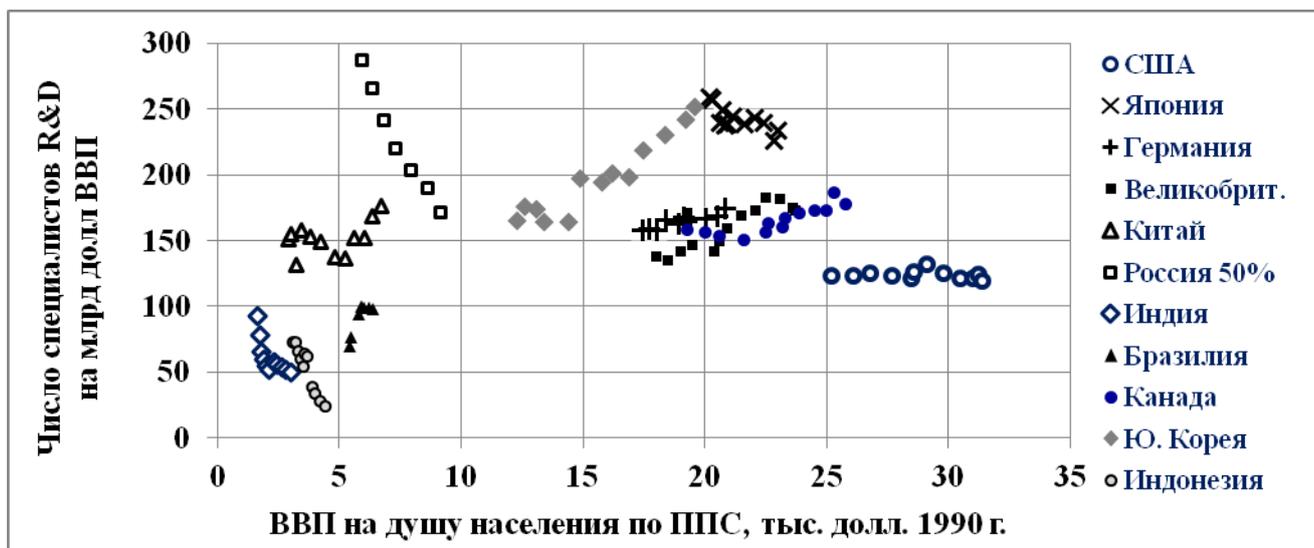


Рис. 1.24. Зависимость N_S/G от G/N в различных странах

Видно, что число N_S/G в США остается на стабильном уровне около 120 чел. на млрд долл., чего достаточно для сохранения мирового научного лидерства. В Китае N_S/G также остается примерно постоянным на уровне 150 – 160. Германия, Великобритания и Канада поддерживают это отношение на уровне 170, несмотря на заметный рост ВВП на душу населения. Резко снизилось число R&D специалистов на миллиард долларов ВВП в России, но оно все равно значительно больше, чем в других странах. Падает число N_S/G в Индии и Индонезии, хотя ВВП на душу населения в этих странах наиболее низкий. Несколько снизилось N_S/G в Японии. И только Южная Корея демонстрирует значительный рост данного параметра, который уже превышает уровень США почти вдвое. Таким образом, видно, что динамика числа R&D специалистов в разных странах имеет ситуативный характер и относительно мало зависит от ВВП на душу населения. Доминирующим параметром является рост ВВП по ППС.

Выводы

1. Общеизвестная экспоненциальная модель роста числа ученых в мире, которая может быть приближенно выражена формулой (1.22), принципиально неверна ранее 1650 года, когда число ученых становится менее одного.
2. Гиперболическая модель роста числа специалистов в области R&D, базирующаяся на модели роста объема знания, имеет вид (1.24).
3. Данные о мировой динамике числа ученых вблизи настоящего времени наиболее хорошо аппроксимируются логистической зависимостью (1.32), начальная экспонента которой удваивается за 17 лет, а также квадратичной зависимостью (до 2060 г.).

4. Установлена зависимость порядка величины между мировым ВВП (G) и числом ученых, однако с 1995 по 2010 г. отношение NS/G в мире уменьшилось со 157 до 137 ученых на млрд долл. в условиях роста ВВП на душу населения с 5.5 до 8 тыс. долл.
5. Национальная стратегия развития науки играет ключевое значение в количестве R&D специалистов на миллиард долларов ВВП. ВВП на душу населения в этих странах оказывает влияние в меньшей мере.