

## Глава 7. Связь роста знаний и ВВП мира

Важнейшим элементом цикла оборота знаний (см. рис. 5.1) является производство. За меру объема производства используется мировой ВВП –  $G$ , а за производительность труда – его величина на душу населения  $g = G/N$ . В данной работе, как правило, мы используем величину ВВП, определенную по паритету покупательной способности (ППС). Рассмотрим взаимосвязь мирового ВВП с объемом знания человечества.

### 7.1. Аппроксимация роста мирового ВВП

Как отмечалось выше, выражение для ВВП мира приближенно выражается формулой<sup>262</sup> (1.11):

$$G = N \cdot (m + \gamma \cdot N).$$

Уровень  $G/N$  в современную эпоху настолько велик, что линейный член в данной формуле относительно мал и ВВП, в основном, пропорционален квадрату числа людей. Однако это зависимость порядка величины, и, как показано на рис. 1.7, отклонения от нее достаточно значительные.

На рис. 7.1 приведен график аппроксимации мирового ВВП<sup>263</sup> зависимостью типа (1.11) в долл. 1990 года с коэффициентами  $m$  и  $\gamma$ , уменьшенными на 10% по сравнению с предложенными авторами (это примерно соответствует величине дефлятора между 1995 и 1990 годом, см. Приложение 3). Временная шкала ранее 1935 года неравномерная.

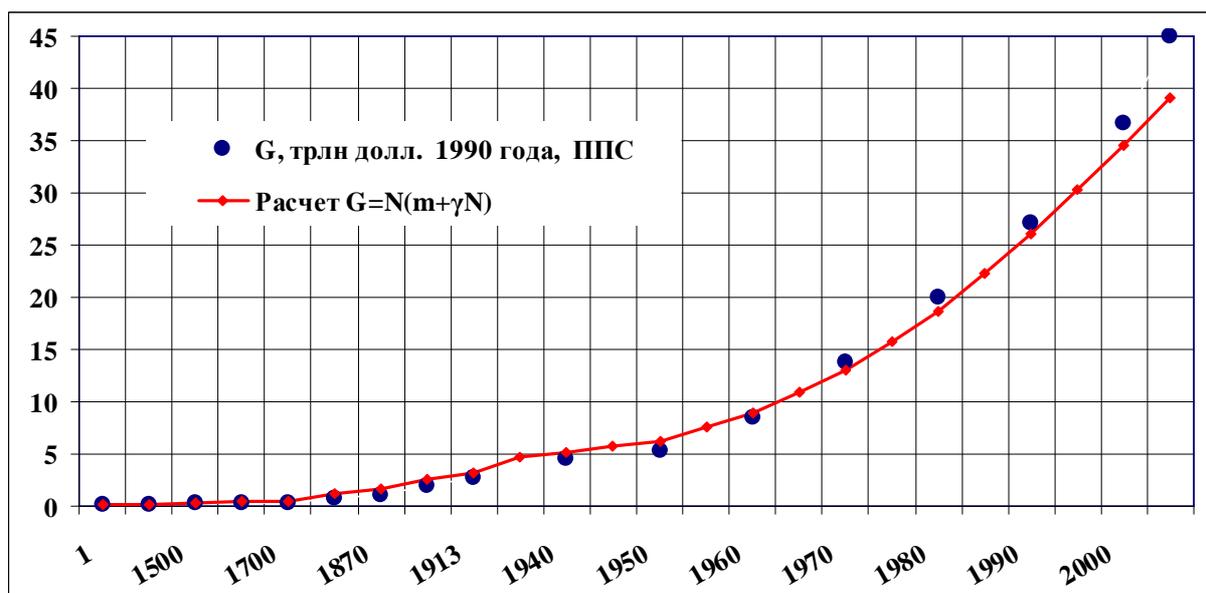


Рис. 7.1. Аппроксимация ВВП мира зависимостью типа  $G = N \cdot (m + \gamma \cdot N)$

Графически аппроксимация на рис. 7.1 выглядит относительно приемлемой, однако погрешность аппроксимации составляет в 2005 году – 10%, в 1950 – 22%, в 1820 – 76%, что весьма неточно. Видно, что в левой части графика аппроксимационная кривая дает завышенные значения, а в правой – заниженные, т.е. степень, в которой входит в формулу численность населения Земли, должна быть несколько выше, чем вторая.

<sup>262</sup> Коротчаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования. – М., 2005.

<sup>263</sup> Maddison, A. Historical Statistics of the World Economy: 1–2008 AD. GCDC, 2010.

Формула (1.11) позволяет сделать прогноз динамики мирового ВВП. Соответствующий график представлен на рис. 7.2. Здесь для расчета до 2008 года использовались данные А. Медисона<sup>264</sup>, а позднее данные по численности населения из работы С.П. Капицы<sup>265</sup>.

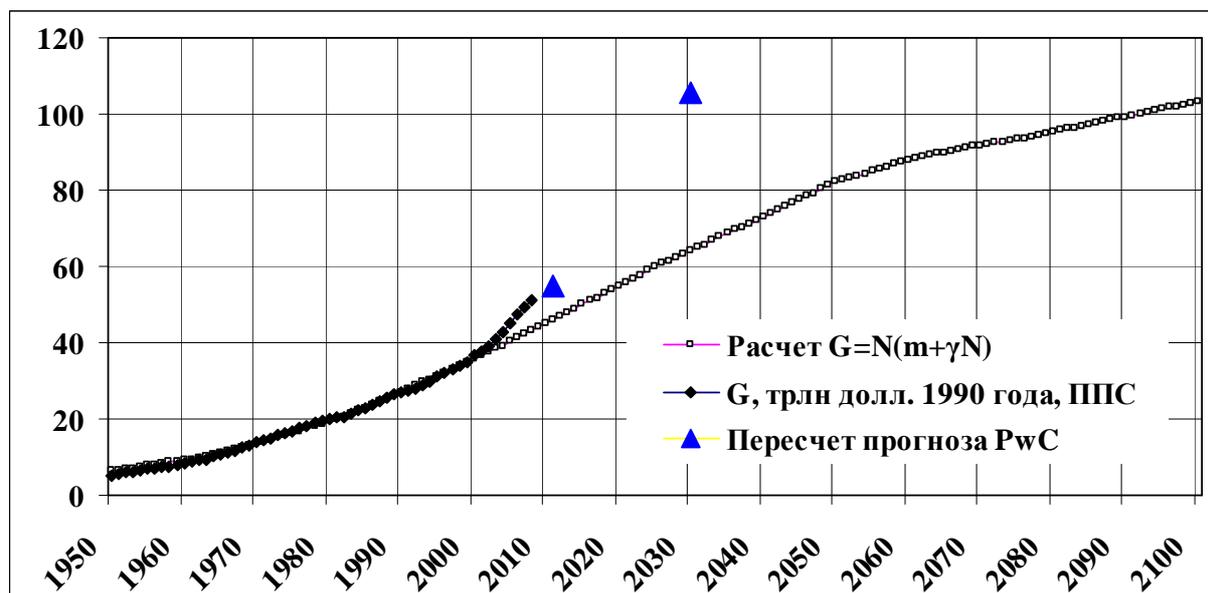


Рис. 7.2. Прогноз ВВП мира согласно зависимости типа  $G = N \cdot (m + \gamma \cdot N)$

Здесь же приведены статистические данные по мировому ВВП в международных долларах 1990 года по ППС, согласно А. Медисону, а также результат пересчета прогноза PwC<sup>266</sup> по росту крупнейших экономик мира. При этом было принято, что ВВП двадцати крупнейших стран мира, как и в 2011 году, составляет 79% мирового ВВП, а дефлятор 2013–1990 годов равен 1,595 (см. Приложение 3). Из рис. 7.2 видно, что график аппроксимационной формулы (1.11) лежит значительно ниже, чем статистические данные по ВВП после 2005 года, а также значительно ниже прогноза PwC.

## 7.2. Прогноз роста мирового ВВП с учетом роста знания

Существенным недостатком аппроксимационных подходов является то, что они не учитывают такую важную компоненту, как влияние на ВВП роста знания, а соответственно и не имеют фундаментальной основы для прогнозирования будущего.

Как было показано выше, объем знания человечества может быть выражен формулой типа (5.2). По аналогии с ней проверим, насколько удачной является аппроксимация ВВП мира с помощью следующей формулы:

$$G = k \cdot N \cdot (m + N^{1,25}). \quad (7.1)$$

Соответствующая зависимость приведена на рис. 7.3. Здесь  $k = 0,65$ ,  $m = 0,25$ ,  $N$  в млрд чел.,  $G$  в трлн долл. 1990 года, временная шкала ранее 1935 года неравномерная. Видно, что при аппроксимации формулой типа (7.1) погрешность аппроксимации снижается по сравнению с формулой (1.11) и в рассмотренных точках после 1950 года

<sup>264</sup> Maddison A. Historical Statistics of the World Economy: 1-2008 AD. GGDC, 2010.

<sup>265</sup> Капица С. П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. – М., 2012. – С. 69.

<sup>266</sup> Hawksworth, J., Chan, D. The World in 2050. The BRICs and beyond: prospects, challenges and opportunities. 2013.

не превосходит 6,5%. Однако при  $T < 1890$  года погрешность достаточно высока и составляет 20% в 1820 году и 44% в 1-м году.

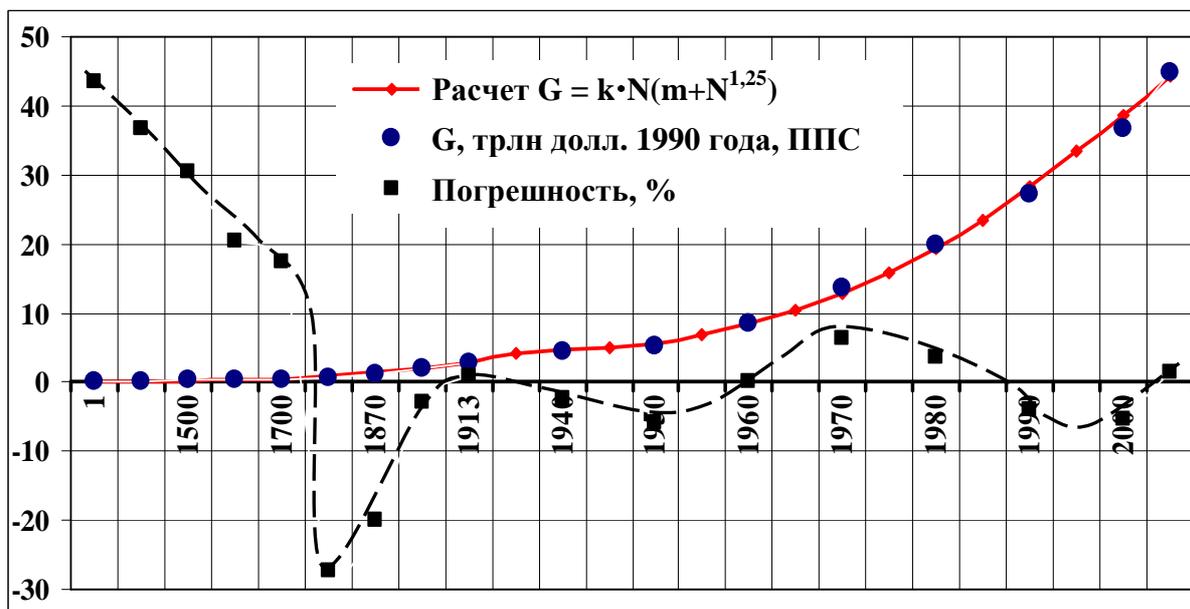


Рис. 7.3. Аппроксимация ВВП мира зависимостью типа  $G = kN(m+N^{1,25})$

Для целей прогнозирования столь давние времена не представляют большого интереса, и можно ограничить диапазон рассматриваемых дат 1950 годом, но значительно более детально (с шагом в один год) проанализировать флуктуации ВВП мира. Соответствующий вариант аппроксимационной кривой приведен на рис. 7.4 ( $k = 0,65$ ,  $m = 0,25$ ). Видно, что при таком рассмотрении обнаруживаются точки, в которых погрешность аппроксимации доходит до 8,8%.

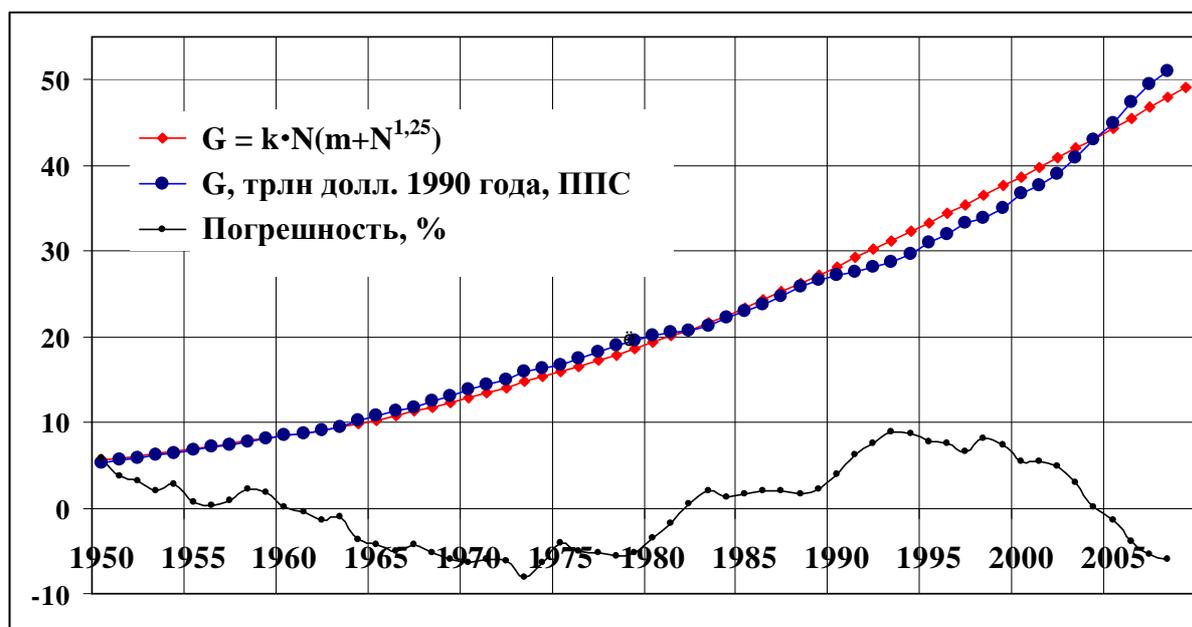


Рис. 7.4. Аппроксимация ВВП мира зависимостью  $G = kN(m+N^{1,25})$  с шагом в один год

При  $T > 1950$  года наличие коэффициента  $m$  незначительно улучшает аппроксимацию, и его без заметного ухудшения погрешности можно принять равным нулю, несколько увеличив коэффициент  $k$ . В этом случае выражение для мирового ВВП приобретает вид

$$G = k \cdot N^{2,25}. \quad (7.2)$$

Такой вариант аппроксимационной кривой приведен на рис. 7.5 ( $k = 0,67$ ). Там же дан график погрешности аппроксимации в сравнении со значениями ВВП по А. Медисону. Максимальное отклонение не превосходит 9,4% по сравнению с 8,8% по формуле (7.1), т.е. незначительно хуже.

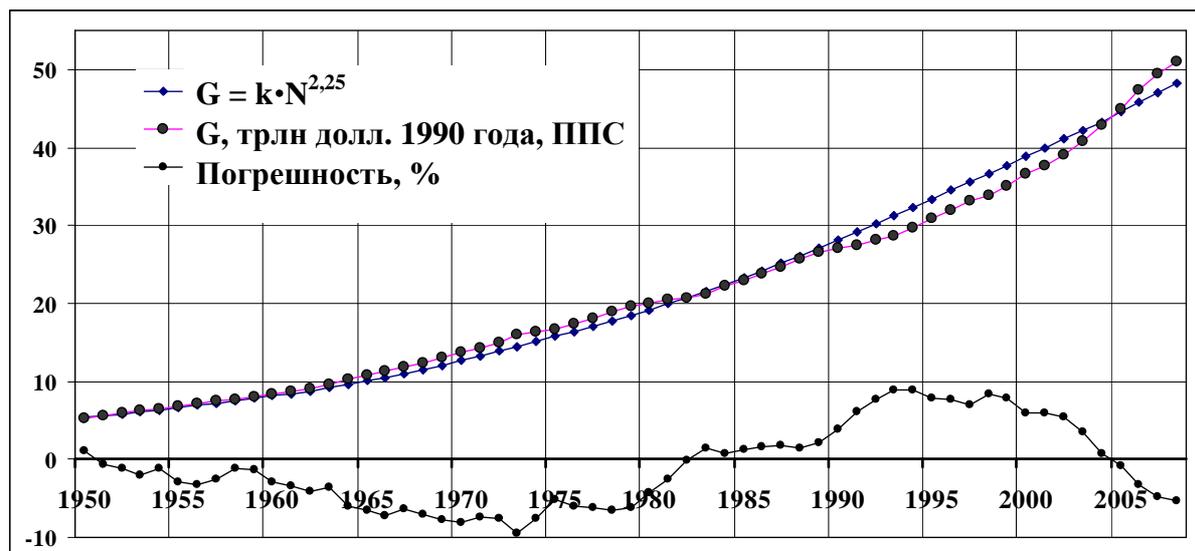


Рис. 7.5. Аппроксимация ВВП мира зависимостью типа  $G = kN^{2,25}$

Выше было показано, что связь объема знаний с численностью человечества довольно точно выражается соотношением (5.2)  $Z \approx 20 \cdot (N/N_0)^{1,25}$ . Эта формула в размерных величинах (при размерности  $Z$  – млн у.к.,  $N$  – млрд чел., с учетом того, что  $N_0 = 10^5$  чел. =  $10^{-4}$  млрд чел.) приобретает вид

$$Z = 2 \cdot N^{1,25}. \quad (7.3)$$

В то же время, как было показано выше, выражение (7.2)  $G = k \cdot N \cdot (m + N^{1,25})$  позволяет аппроксимировать зависимость  $G(T)$  лучше, чем формула (1.11). Сравнивая выражения (7.1) и (7.3), можно сделать вывод, что мировой ВВП можно вычислить по формуле типа<sup>267</sup>

$$G = k \cdot N \cdot (m + Z). \quad (7.4)$$

Это очень интересный результат. Если вернуться к главе 3, в которой мы анализировали рост человечества, а конкретно к дифференциальному уравнению роста численности человечества (3.1), то мы увидим, что второй член в уравнении пропорционален объему знания. *Фактически это значит, что гиперболический рост человечества связан с ростом знания человечества, которое пропорционально численности человечества.*

<sup>267</sup> Орехов В.Д. Вопросы прогнозирования ВВП мира: Тр. XV междунар. науч.-практ. конф. «Качество дистанционного образования: концепции, проблемы, решения». – М., 2013. – С. 172.

Как было показано выше, при  $T > 1950$  года наличие коэффициента  $m$  незначительно улучшает аппроксимацию и его без заметного ухудшения погрешности можно принять равным нулю. Таким образом, выражение для мирового ВВП приобретает вид

$$G = k \cdot N \cdot Z. \quad (7.5)$$

Это очень важный результат, поскольку простота данной формулы и достаточно высокая точность определения с ее помощью ВВП мира свидетельствуют о ее фундаментальности. Она также соответствует нашему представлению о значении знания для развития мировой экономики. Эта формула означает, что средняя производительность труда одного человека прямо пропорциональна объему знаний всего человечества

$$g = G/N = k \cdot Z. \quad (7.6)$$

Тем самым мы показали, что выражения (7.1) и (7.2) являются не просто аппроксимационными формулами, а, вероятно, несут в себе фундаментальный смысл.

Таким образом, формула типа (7.1) должна быть эффективной для прогнозирования ВВП мира на достаточно большие промежутки времени. Соответствующий прогноз в графическом виде представлен на рис. 7.6. Сравнение данного графика и представленного на рис. 7.2 показывает, что он значительно лучше согласуется как с данными А. Медисона<sup>268</sup>, так и с прогнозом PwC<sup>269</sup>, чем формула (1.11). (Для пересчета прогноза ВВП согласно PwC в ценах 2011 года к ценам 1990 года использовались значения дефлятора, приведенные в Приложении 3).

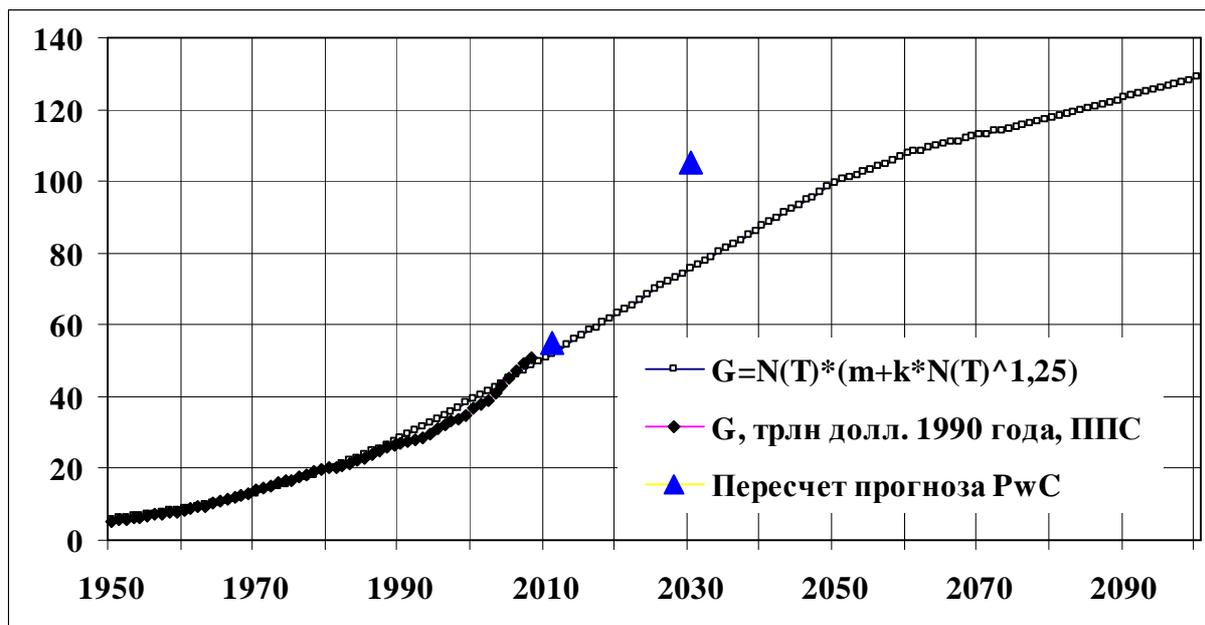


Рис. 7.6. Прогноз ВВП мира согласно зависимости типа  $G = N \cdot (m + \gamma \cdot N^{l,25})$

ВВП мира в 2100 году, согласно данному прогнозу, возрастет примерно на 20% по сравнению с прогнозом по формуле (1.11). Тем не менее прогноз на 2030 и 2050 годы по формуле (7.1) значительно ниже, чем прогноз PwC.

<sup>268</sup> Maddison, A. Historical Statistics of the World Economy: 1–2008 AD. GGDC, 2010.

<sup>269</sup> Hawksworth J., Chan D. World in 2050. The BRICs and beyond: prospects, challenges and opportunities. 2013.

Как было показано выше, за счет учета того факта, что новое поколение не сразу начинает создавать дополнительное знание, а с задержкой на величину порядка 25 лет, формула (5.2) более корректна в виде (5.5)

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

Следовательно, и прогноз величины ВВП может быть несколько улучшен с использованием вместо (7.1) формулы типа

$$G = k \cdot N(T-25) \cdot (m + N(T-25))^{1,25}. \quad (7.7)$$

Однако, как видно из рис. 5.7 и табл. 5.3 и 5.5, формула (5.5) в диапазоне времени  $T = 1950 \dots 2015$  год не отличается более высокой точностью, чем (5.2). Вместе с тем она, предположительно, лучше характеризует объем знаний человечества после 2015 года.

Соответствующий прогноз ВВП мира с помощью формулы (7.5) дан на рис. 7.7 при  $m = 0$ ,  $k = 1,6$ ,  $N$  – млрд чел.,  $G$  – трлн долл. 1990 года по ППС. Там же для сравнения приведены значения ВВП по А. Медисону<sup>270</sup> и прогноз PwC<sup>271</sup>.

Видно, что данные этого прогноза наиболее хорошо согласуются с данными А. Медисона после 2000 года и объемом ВВП согласно PwC на 2011 и 2030 годы. В послевоенный период 1950–1960 годов прогноз завышен до 30%, а в период 1970–1990 годов прогноз занижен до 20%.

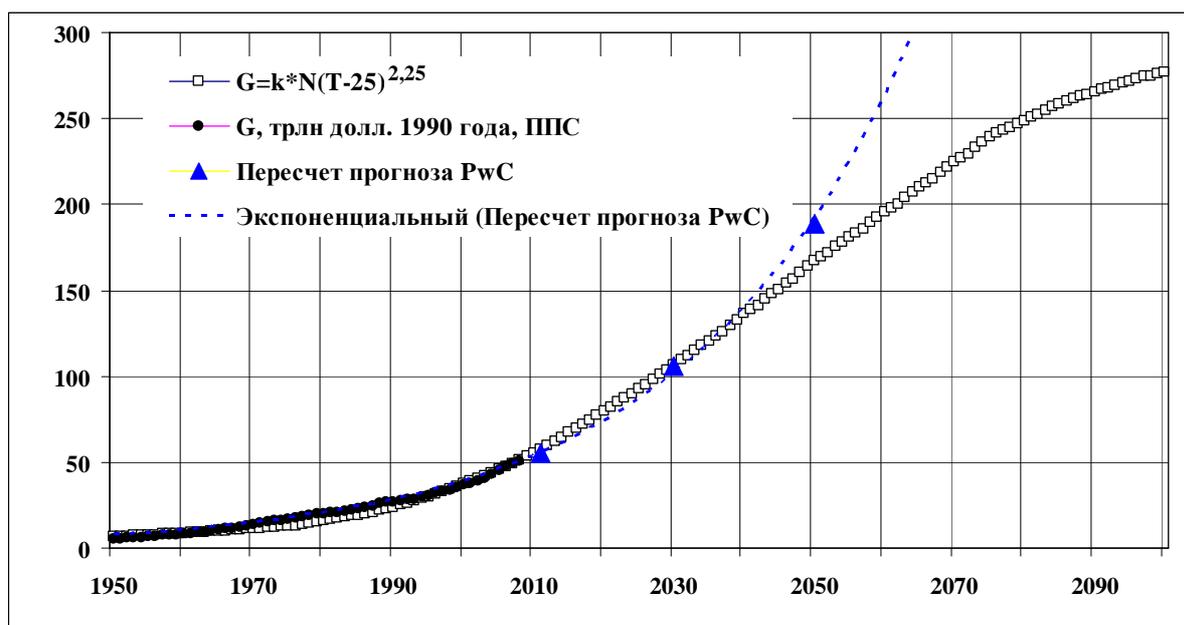


Рис. 7.7. Прогноз ВВП мира согласно зависимости типа  $G = k \cdot N(T-25)^{2,25}$

Прогноз ВВП мира на 2100 год согласно выражению (7.7) практически вдвое больше, чем по прогнозам в соответствии с формулами (1.11) и (7.1). Столь большое влияние сдвига по времени на уровень мирового ВВП указывает на то, что необходимо в дальнейшем найти способ более точного определения величины сдвига. Вполне возможно, что он составляет не 25, а 30 лет.

<sup>270</sup> Maddison, A. Historical Statistics of the World Economy: 1–2008 AD. GGDC, 2010.

<sup>271</sup> Hawksworth, J., Chan, D. The World in 2050. The BRICs and beyond: prospects, challenges and opportunities. 2013.

Прогностическая кривая проходит примерно на 12% ниже прогноза PwC на 2050 год. Следует, однако, отметить, что столь малое различие этих двух прогнозов на 2050 год можно считать вполне хорошим согласованием для такого долгосрочного прогноза.

Вместе с тем точки прогноза PwC достаточно хорошо аппроксимируются экспонентой, и согласно ему удвоение ВВП мира должно происходить примерно за 20 лет, причем скорость роста ВВП увеличивается со временем. Представляется, что это дает неправильное представление о тенденции роста ВВП в будущем после 2050 года.

Согласно представленному в данной работе прогнозу (рис. 7.7), между 2010 и 2080 годом наблюдается широкая зона, в которой в результате демографического перехода ВВП мира растет практически линейно, увеличиваясь за 70 лет в пять раз. Затем ВВП мира быстро выходит на постоянный уровень около 280 трлн долларов (в ценах 1990 года по ППС). Приближенное уравнение прямой, описывающей мировой ВВП (в трлн междунар. долл. 1990 года по ППС),

$$G = 2,76 \cdot (T - 1990). \quad (7.8)$$

Характерно, что при этом мировой ВВП с 2010 по 2030 год удвоится примерно за 20 лет, затем с 2030 по 2060 год удвоение произойдет за 30 лет, а далее с 2060 по 2080 год вырастет всего на 25% за 20 лет, т.е. темп роста ВВП будет постоянно снижаться от примерно 3,5 до 1,1% в год. При этом численность населения Земли к 2080 году будет уже практически близкой к стабильному уровню порядка 10 млрд чел.

Как видно из результатов оценки прогностических зависимостей для ВВП мира, системные факторы, а также фактор знания человечества играют существенную роль в точности прогнозирования, и ошибки прогнозов могут быть довольно существенными.

### **7.3. ВВП и прогноз параметров следующих революций**

Интересно рассмотреть, как меняется ВВП мира между технологическими революциями. Соответствующая информация дана в табл. 7.1 в долл. 1990 года по ППС. При этом для определения  $G$  до 1968 года включительно использовалась формула (7.1), а после – (7.7).

Видно, что между революциями ВВП мира меняется примерно вдвое. Это соответствует тому, что за данное время произведение объема знаний на количество людей тоже меняется примерно вдвое. Заметна также тенденция второго порядка, в соответствии с которой рост ВВП между технологическими революциями на стадии гиперболического роста возрастает от 1,7 до 2,5, а после 1968 года уменьшается. Аналогично ведет себя и произведение  $ZN$ .

Кроме того, важно, что данный подход фактически дает нам возможность прогнозировать некоторые аспекты технологических революций, которые произойдут примерно через 50 и 100 лет, хотя о содержании этих революций мы можем только предполагать. В частности, прогноз параметров революции начала XXII века сделан из предположения, что объем знаний и соответственно ВВП увеличивается практически без роста числа людей. Не исключено, впрочем, что эта революция произойдет до начала XXII века.

Существенным фактором также является то, что средний ВВП на душу населения к этому времени составит около 33 000 междунар. долл. 1990 года по ППС или порядка 50 тыс. долл. 2014 года. Это в несколько раз больше, чем в настоящее время, и примерно соответствует ВВП на душу населения богатых крупных стран мира.

Таблица 7.1. Рост ВВП мира между технологическими революциями

Год	Технологическая революция (эпоха)	N, млн	Z, млн у.к.	G, трлн долл.	Рост G, раз	Рост ZN, раз
1342	Ремесленная	0,29	0,62	0,087	1,7	2,0
1531	Возрождение	0,40	0,91	0,15	1,7	2,0
1668	Классическая наука	0,56	1,33	0,27	1,8	2,0
1770	Первая промышленная	0,78	1,96	0,50	1,9	2,1
1844	Вторая промышленная	1,10	2,88	0,98	2,0	2,1
1899	Предвестник НТР	1,59	4,25	2,10	2,1	2,1
1939	Научно-техническая	2,33	6,24	4,74	2,3	2,2
1968	Предвестник кибернетической	3,54	9,19	11,8	2,5	2,2
1990	Кибернетическая	5,25	13,5	27,1	2,3	2,2
2006	Предвестник биотехнологической	6,53	19,8	47,4	1,7	1,8
2026	Биотехнологическая	7,97	29	100	2,1	1,8
2059	Предвестник революции знания	9,80	43	192	1,9	1,8
21XX	Революция XXII века	10,5	72	346	1,8	1,8

Самый сложный вопрос: сможет ли человечество увеличить объем знаний после 2060 года без увеличения населения мира? Для этого придется, как минимум, совершить определенную революцию в методах создания знания и превращения их в реальные материальные блага. И именно поэтому такую революцию можно называть революцией знания.

### Основные результаты главы 7

Мировой ВВП в современную эпоху прямо пропорционален суммарному объему знаний человечества

$$G = k \cdot N \cdot Z.$$

Выражение для прогноза величины мирового ВВП в будущем с учетом времени взросления трудовых ресурсов имеет вид

$$G = k \cdot N(T-25)^{2,25},$$

оценки с помощью которого хорошо согласуются с прогнозом компании PwC.

Между 2010 и 2080 годом находится зона, в которой в результате демографического перехода мировой ВВП (по ППС в трлн междунар. долл. 2010 года) растет примерно линейно, согласно уравнению

$$G = 2,76 \cdot (T - 1990).$$