



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 72 за 2011 г.



Махов С.А.

Пятисекторная
долгосрочная макро модель
мировой динамики на
основе эмпирических
данных

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Махов С.А. Пятисекторная долгосрочная макро модель мировой динамики на основе эмпирических данных // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2011. № 72. 24 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2011-72>

Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В. Келдыша
Российской Академии наук

С.А. Махов

**Пятисекторная долгосрочная макро модель
мировой динамики на основе эмпирических данных**

Москва - 2011

С.А. Махов. Пятисекторная долгосрочная макро модель мировой динамики на основе эмпирических данных. Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2011, 24 страницы, 26 рисунков, библиография: 16 наименований.

В работе обсуждаются методические основы и проблемы моделирования мировой динамики. Излагаются подходы к построению новой имитационной модели глобального развития и результаты моделирования.

S.A. Makhov. The five-sector long-term macro model of world dynamics on the basis of empirical data. Preprint, Inst. Appl. Mathem., Russian Academy of Sciences, 2011, 24 Pages, 26 Figures, 16 References.

The work discusses the methodological basis and problems of modeling of world dynamics. Outlines approaches to the construction of a new simulation model of global development and the results of the simulation.

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ¹

Первые количественные модели мировой динамики были созданы в начале 70-х годов прошлого века Дж. Форрестером [1] и Д. Медоузом [2]. Поэтому 1970-72 годы фактически могут считаться началом отсчета глобального моделирования – нового направления математического моделирования в решении самых насущных задач, связанных с анализом и прогнозом поведения мировой системы.

Обращение к моделям Дж. Форрестера и Д. Медоуза не случайно, несмотря на звучавшую в свое время критику этих моделей как неточных и несостоятельных. Хотя прошло уже почти 40 лет, общие тенденции мирового развития за эти годы изменились не слишком сильно; поэтому пока что развитие происходит согласно сценарию указанных моделей [3,4]. Так же не утратила своей ценности методика моделирования на основе системной динамики.

Острота кризиса, развернувшегося в 2009 году, заставляет пристальнее взглянуть на протекающие общемировые процессы, чтобы понять, насколько локализован по времени текущий кризис, и не является ли он предвестником более масштабных потрясений в будущем. Поэтому долгосрочный прогноз глобального развития, по меньшей мере, до 2050 года, весьма актуален [5].

Особенно важен такой прогноз для России, живущей в условиях зависимости от мировой конъюнктуры, но всё ещё сохраняющей некоторые возможности влияния на мировую экономику. Это позволило бы очертить рамки возможного и невозможного, чтобы выстраивать стратегию собственного развития.

Все эти соображения говорят о необходимости создания новой глобальной трендовой модели, по возможности, такой же простой как модель Дж. Форрестера (или даже еще проще), основанной на новых статистических данных. Такая модель должна отражать тенденции в динамике основных мировых процессов.

На рис. 1–3 представлены основные характеристики мировой динамики: численность населения, валовой мировой продукт (ВМП) и душевой ВМП на протяжении последних 40 лет.

¹ Настоящая работа представляет собой расширенный вариант статьи [8].

Численность населения мира (млрд. чел.)

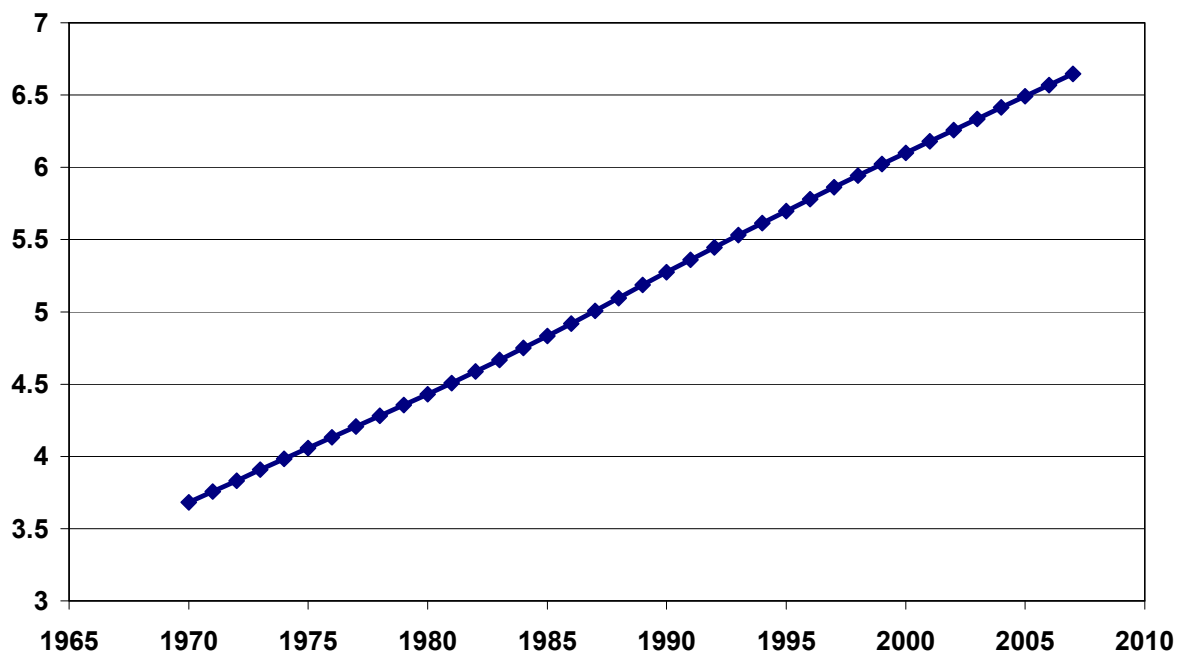


Рис. 1. Численность населения мира в 1970-2007 г.г. Источник: ООН (см. список источников в конце работы).

ВМП (трлн. долл. 1990 года). ООН 1970-2007

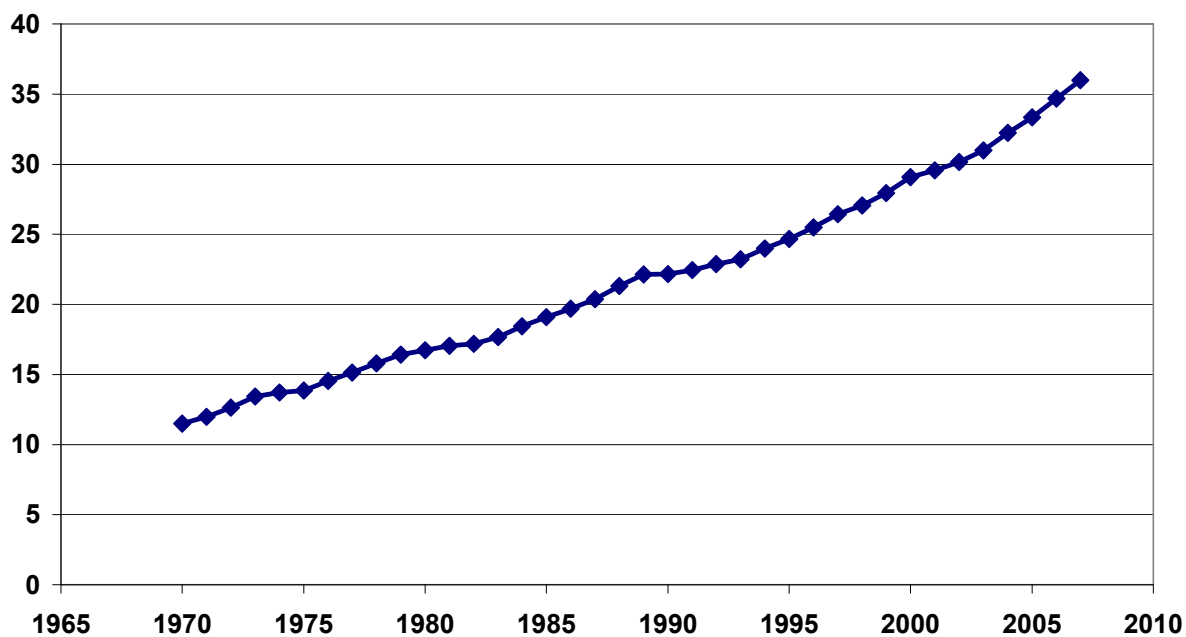


Рис. 2. Валовой мировой продукт за 1970-2007 г.г. Источник: ООН.

ВМП на душу населения (долл. 1990). ООН, 1970-2007.

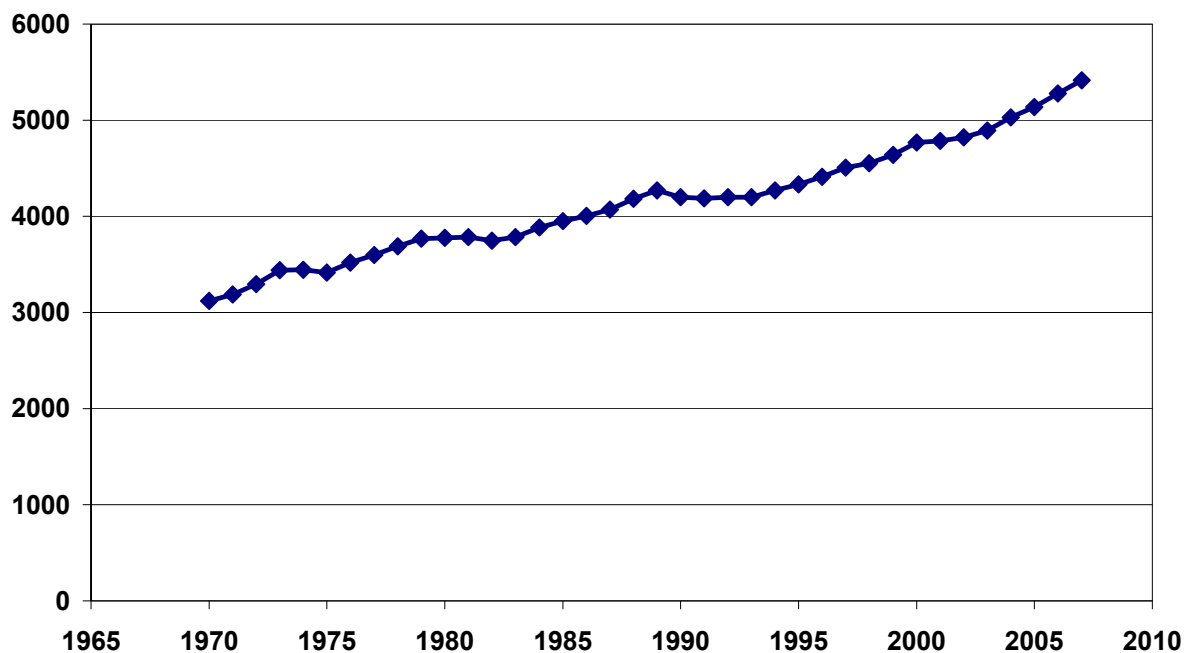


Рис. 3. ВМП на душу населения за 1970-2007 г.г. Источник: ООН.

Как видно из графиков, все три величины растут со временем довольно уверенно: численность населения более гладко и монотонно, ВМП и душевой ВМП с колебаниями. В целом это означает, что и мировая демография, и мировая экономика имеют вполне определенные тренды, и их моделирование имеет смысл.

В предлагаемой здесь модели в качестве основных переменных взяты *численность населения N , наличные запасы энергоресурсов R , основной капитал K , уровень технологий T и уровень образования E* . В отличие от моделей Дж. Форрестера и Д. Медоуза не выделяются загрязнения и фонды в сельском хозяйстве, но зато вводятся технологии и образование.

На необходимость учета технологий как важнейшего фактора глобального развития указывалось еще в 70-е годы XX века при появлении первых моделей мировой динамики. Образование, как фактор, выдвинулось в последние десятилетия и, по всей видимости, будет играть в будущем одну из ключевых ролей, поэтому его учёт представляется необходимым.

Сельское хозяйство не рассматривается отдельно, поскольку принято допущение, что на современном уровне развития технологий производство продовольствия определяется преимущественно энергоресурсами и капиталом, а потому не является самостоятельным фактором.

По схожей причине не выделяются загрязнения: во-первых, не до конца изучен вопрос их влияния на окружающую среду, во-вторых, загрязнения могут рассматриваться как фактор, снижающий общую эффективность использования территории и ресурсов (в том и числе и потому, что на преодоление такого снижения требуются капитал и энергия). В связи с этим очистка загрязнений,

восстановление ресурсов, а также ресурсосбережение могут рассматриваться в одном контексте как единый процесс.

Для перечисленных выше пяти переменных составляются динамические уравнения. Связи между переменными подбираются, исходя из динамики соответствующих показателей в прошлом и на основании экспертных оценок. Рассмотрим последнее в приложении к каждому сектору более подробно.

УРАВНЕНИЯ ДЛЯ СЕКТОРОВ МОДЕЛИ

Сектор демографии. В основу демографического уравнения положено квазилогистическое уравнение:

$$\frac{dN}{dt} = c_N N \left(1 - \frac{M}{M_{\max}} \right), \quad (1)$$

где M – уровень жизни (потребление на душу населения), c_N , M_{\max} – параметры (константы). Иначе говоря, данное уравнение отслеживает ресурсное ограничение по душевому конечному потреблению. Разберемся с последним.

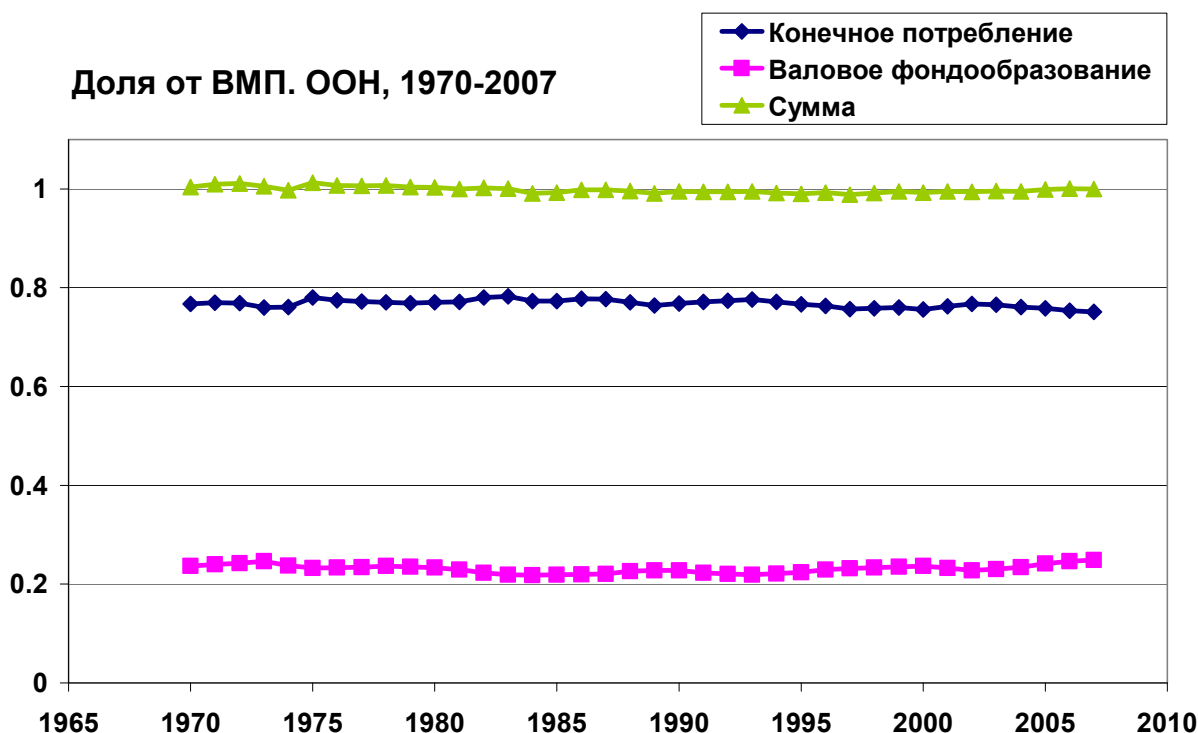


Рис. 4. Доли конечного потребления и валового фондообразования от ВВП, и их сумма. Источник: ООН.

На рис. 4 представлены конечное потребление и валовое накопление (фондообразование) в долях от ВВП, также показана их сумма. Как видно, на протяжении последних 40 лет сами доли менялись слабо, при этом долевая

сумма практически равна 1, незначительно от нее отклоняясь. Это дает основание записать следующее:

$$C = g_C Y, \quad (2)$$

$$I = g_K Y, \quad (3)$$

$$g_C + g_K = 1, \quad (4)$$

Где Y – продукт (ВМП), C – конечное потребление, I – валовое накопление, g_C – доля ВМП, идущая на конечное потребление, g_K – доля ВМП, идущая в основной капитал, $g_C = 0.768 \pm 0.008$, $g_K = 0.231 \pm 0.008$ (в качестве оценок взяты средние значения, в качестве диапазона разброса – стандартная ошибка). Соотношение (2) показывает, что материальный уровень жизни M прямо пропорционален ВМП Y , поскольку:

$$M = \frac{C}{N}. \quad (5)$$

Теперь определим параметры c_N , M_{\max} , построив соответствующую зависимость темпа прироста численности $\frac{1}{N} \frac{dN}{dt}$ от душевого потребления M (см. рис. 5).

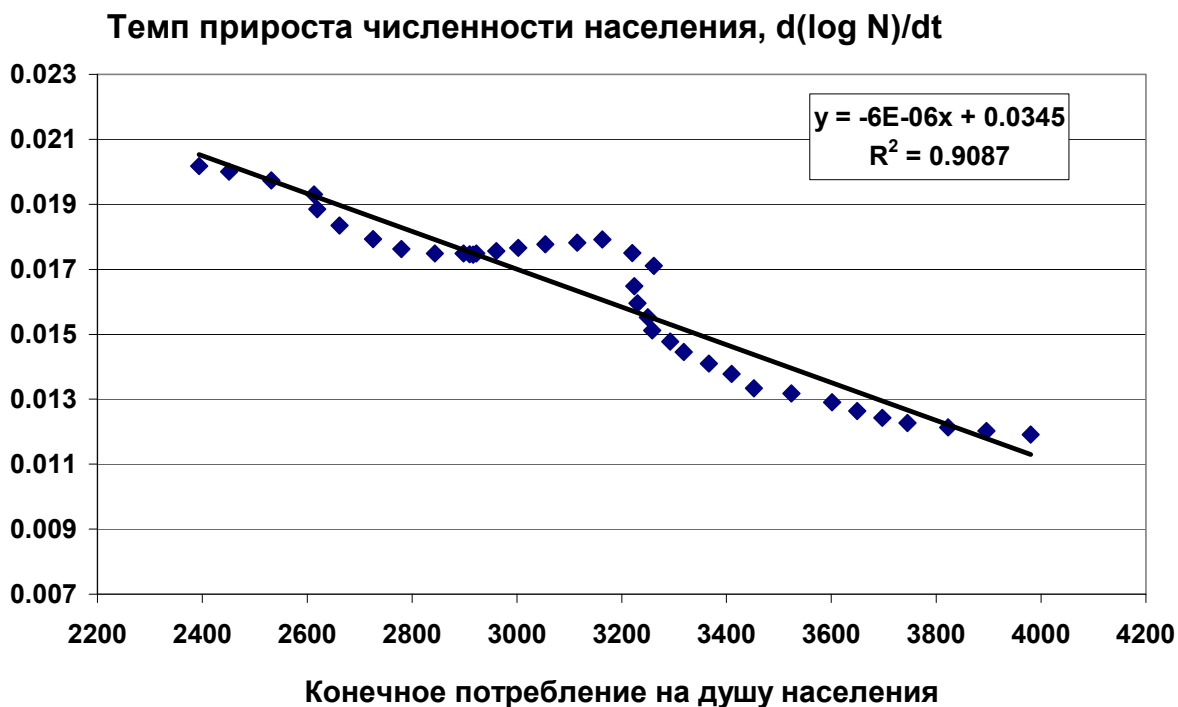


Рис. 5. Зависимость темпа прироста численности населения от уровня жизни и линейная регрессия. Источник: ООН.

На основании построенной линейной регрессии можно записать:

$$c_N = 0.034 \pm 0.002 \text{ (1/год)}, M_{\max} = 5900 \pm 300 \text{ (постоян. долл. 1990 г.)}.$$

Сектор капитала. Уравнение для основного капитала предполагается вполне обычным:

$$\frac{dK}{dt} = I - \mu K, \quad (6)$$

где I – валовое накопление, μ – коэффициент выбытия основных фондов. Как уже выяснено выше, $I = g_K Y$, разберемся с μ .

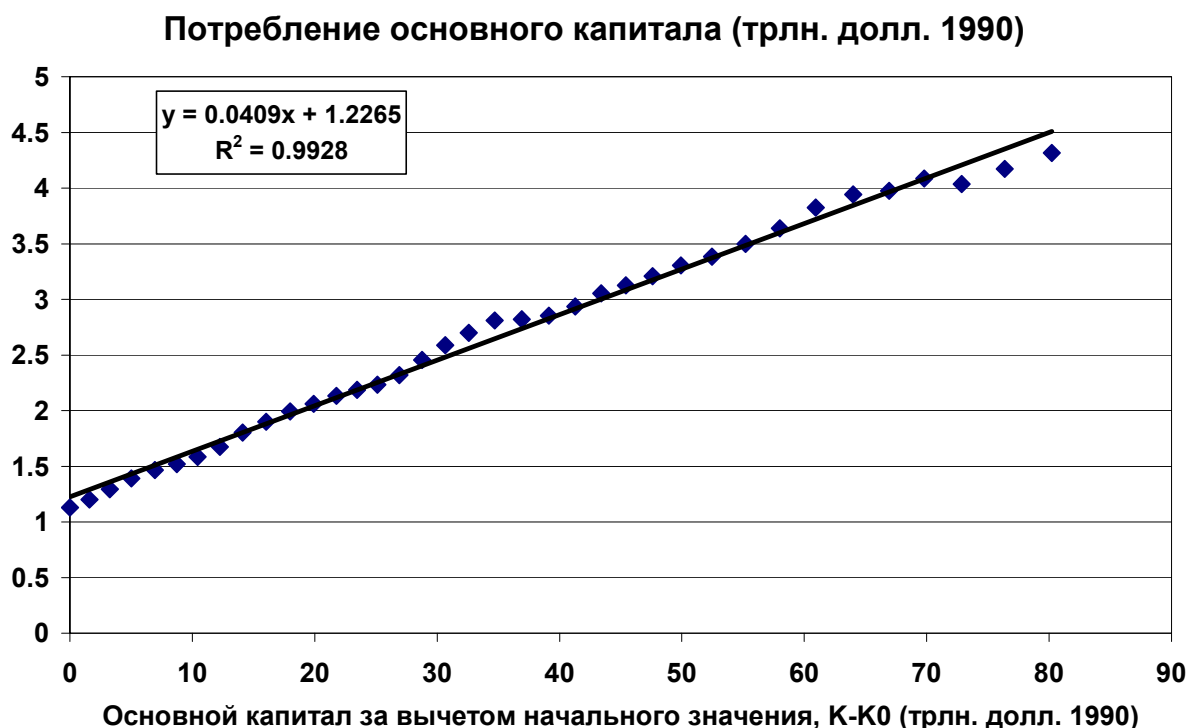


Рис. 6. Потребление основного капитала (износ) в зависимости от суммарных валовых накоплений в капитал (интеграл валового накопления) за 1970-2006 годы. Источник: UN, World Bank (см. список источников в конце статьи).

На рис. 6 показана зависимость износа μK от интеграла валового накопления на промежутке 1970-2006 г.г., т.е. разницы между капиталом $K(t)$ и начальным значением $K(1970) = K_0$ (капитал считается на начало года). Как видно, зависимость можно считать практически линейной с небольшими колебаниями. На основании регрессии получаем:

$\mu = 0.041 \pm 0.001$ (1/год), $K(1970) = 30.0 \pm 0.6$ (трлн. постоянных долларов 1990 года). То есть среднее время износа основных фондов в целом по миру составляет около 24.3 ± 0.3 лет.

Сектор ресурсов. Под ресурсами будут пониматься, прежде всего, невозобновляемые топливно-энергетические ресурсы (ТЭР). Под величиной R разумеются разведанные запасы ТЭР (т.е. доказанные и пригодные к добыче). Встает вопрос: эти запасы коммерчески выгодные или нет? Пока оставим этот вопрос в стороне, поскольку понятно, что при такой постановке потребуется моделировать поведение цены на ресурс, что довольно сложно. Мы предполагаем, что описать движение физических потоков в целом, то есть добычу и потребление основных энергоресурсов, возможно без прогноза цен на ресурсы [6].

Исходя из сказанного, будем иметь в виду следующее уравнение:

$$\frac{dR}{dt} = -R_D + R_P, \quad (7)$$

где R_D – добыча, R_P – пополнение запасов, разведка. Это уравнение записано в самом общем виде. В дальнейшем члены правой части будут уточнены. Для этого рассмотрим динамику запасов отдельных видов энергоресурсов – нефти и газа.

Запас нефти (млрд т), разные источники.

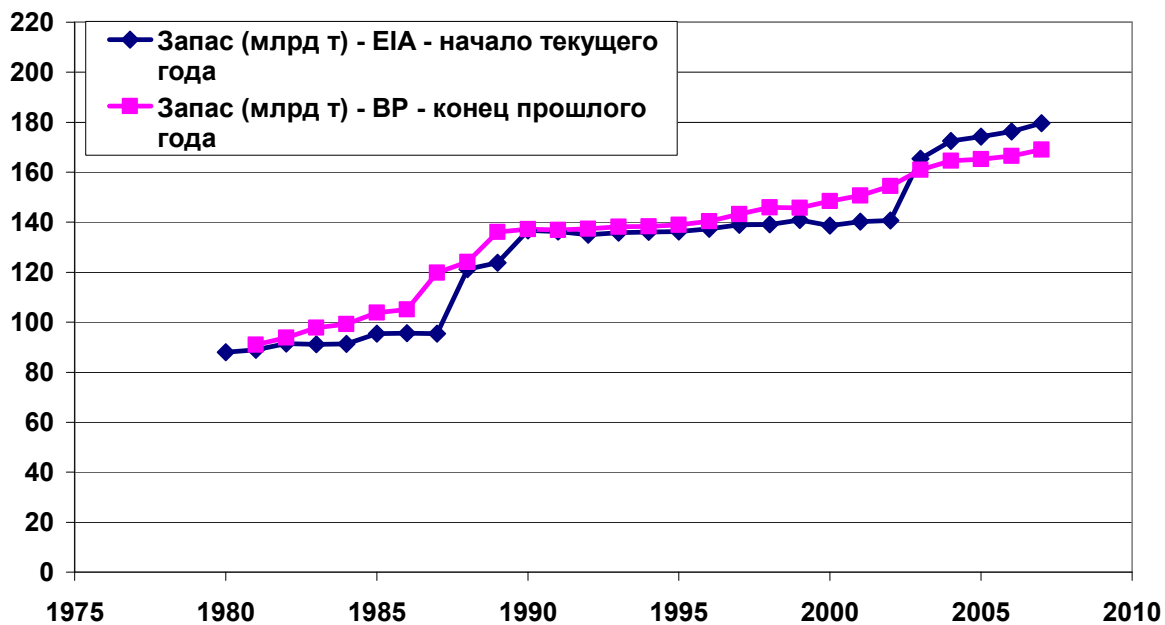


Рис. 7. Динамика запасов нефти за 1980-2007 по разным источникам. Источники: US Energy Information Administration, British Petroleum.

Запас газа (млрд тнэ). Данные ВР, 1980-2007.

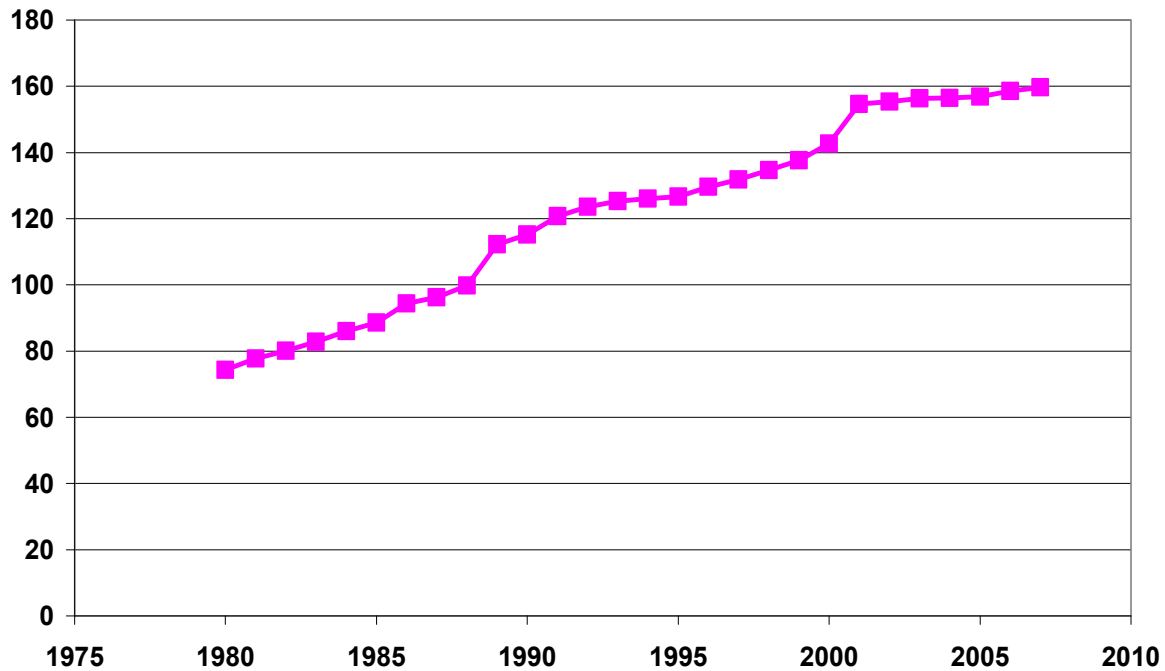


Рис. 8. Динамика запасов газа в млрд. тонн нефтяного эквивалента за 1980-2007. Источник: British Petroleum.

Запасы нефти и газа вместе (млрд. тнэ). ВР, 1980-2007

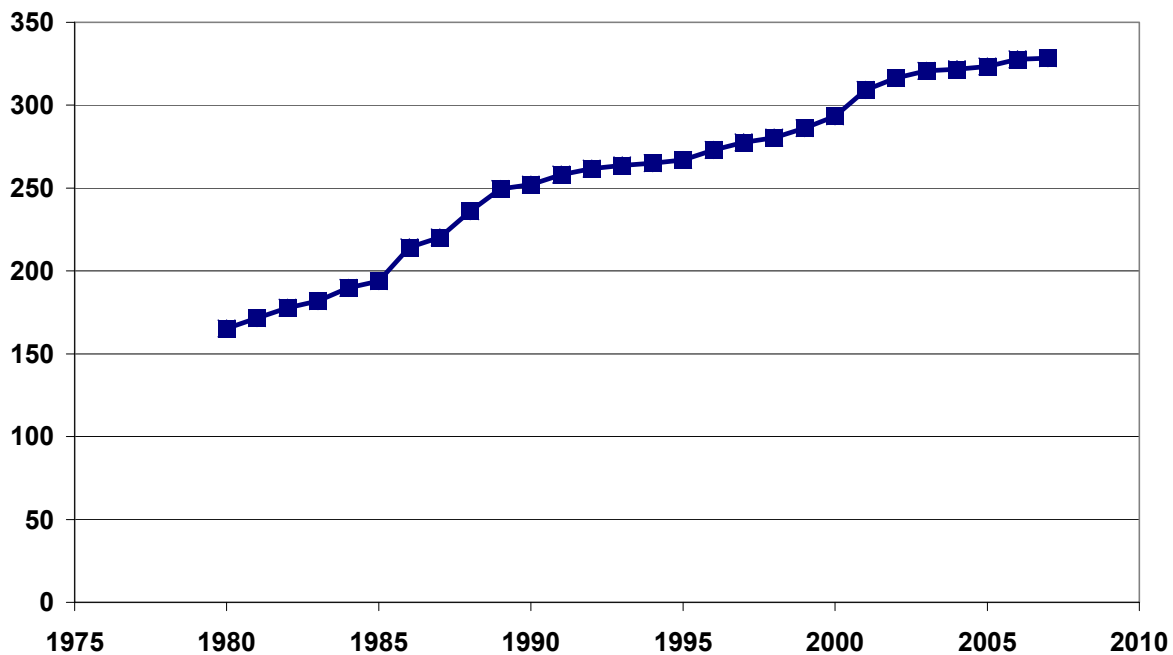


Рис. 9. Динамика совместных запасов нефти и газа за 1980-2007. Источник: British Petroleum.

На рис. 7-9 показана динамика запасов нефти и газа по отдельности, а также их совместных запасов, приведенных к тоннам нефтяного эквивалента. Как видно, запасы со временем растут практически линейно. Косвенно это ука-

зывает на отсутствие ярко выраженного тренда для изменения запасов (т.е. производной) и также разведки ресурсов (рис. 10).

Разведка нефти-газа (млрд тнэ/год). ВР, 1980-2007

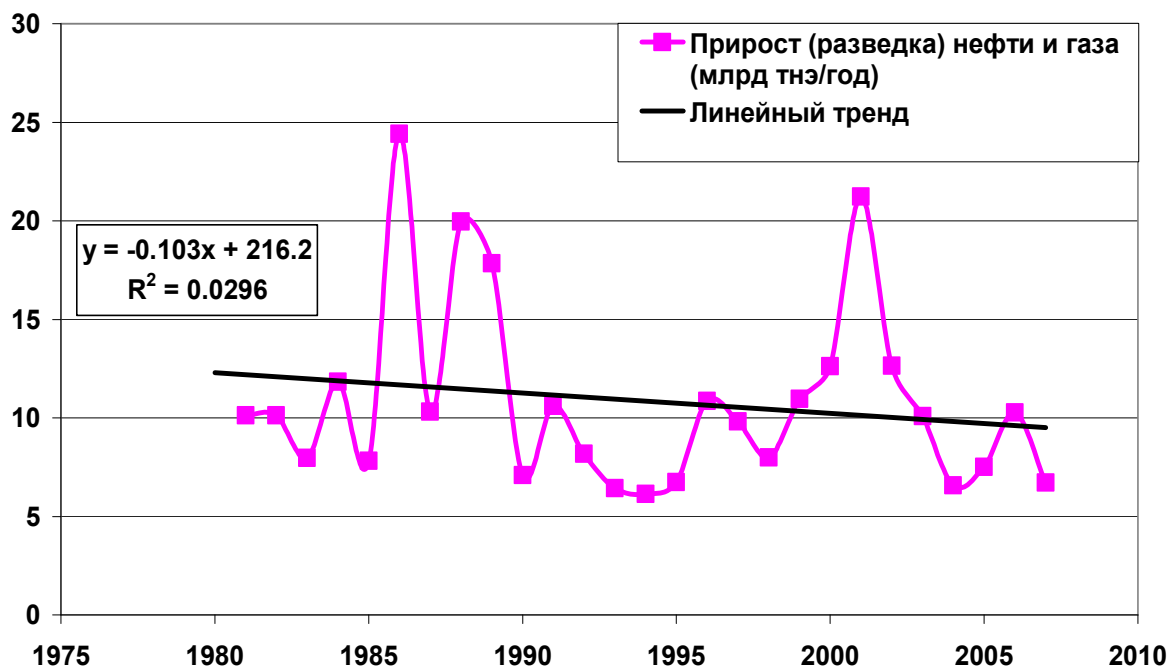


Рис. 10. Динамика разведки совместных запасов нефти и газа за 1980-2007. Источник: British Petroleum. Слабый нисходящий тренд не может быть признан значимым.

Это дает основания считать разведку энергоресурсов примерно постоянной во времени:

$$R_p = 10.842 \pm 0.914 \text{ (млрд. тнэ/год) для нефти и газа суммарно.}$$

Теперь посмотрим на добычу энергоресурсов, или иначе, производство первичных источников энергии. На рис. 11 и 12 показана динамика производства первичной энергии в разбивку по типам и полной энергии в британских тепловых единицах². Как можно заметить, основную долю (от 85 до 92 %) в производстве энергии составляют топливные энергоресурсы – уголь, нефть, газ. Поэтому проведенное выше исследование запасов данных ресурсов вполне оправданно.

² 1 тнэ = 40 млн. бте = 42 ГДж.

Производство основных первичных источников энергии (квадриллионы брит. тепл. единиц)

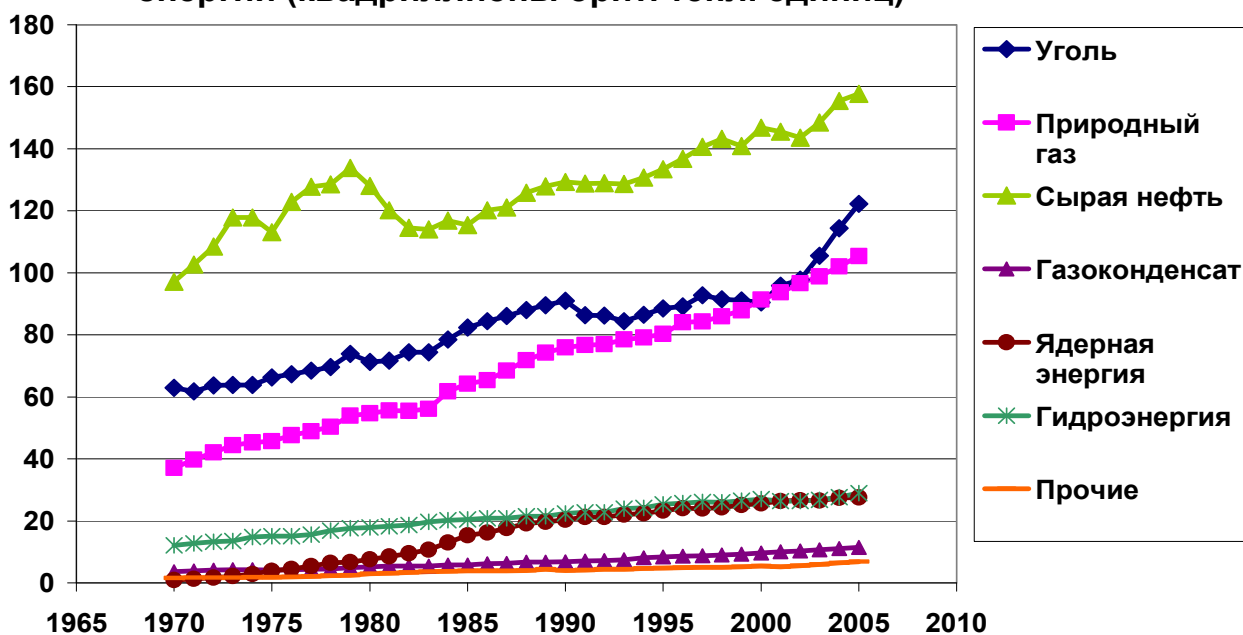


Рис. 11. Производство основных первичных источников энергии за 1970-2005 (квадриллионы британских тепловых единиц). Источник: EIA.

Полная первичная энергия (квадриллионы бте)

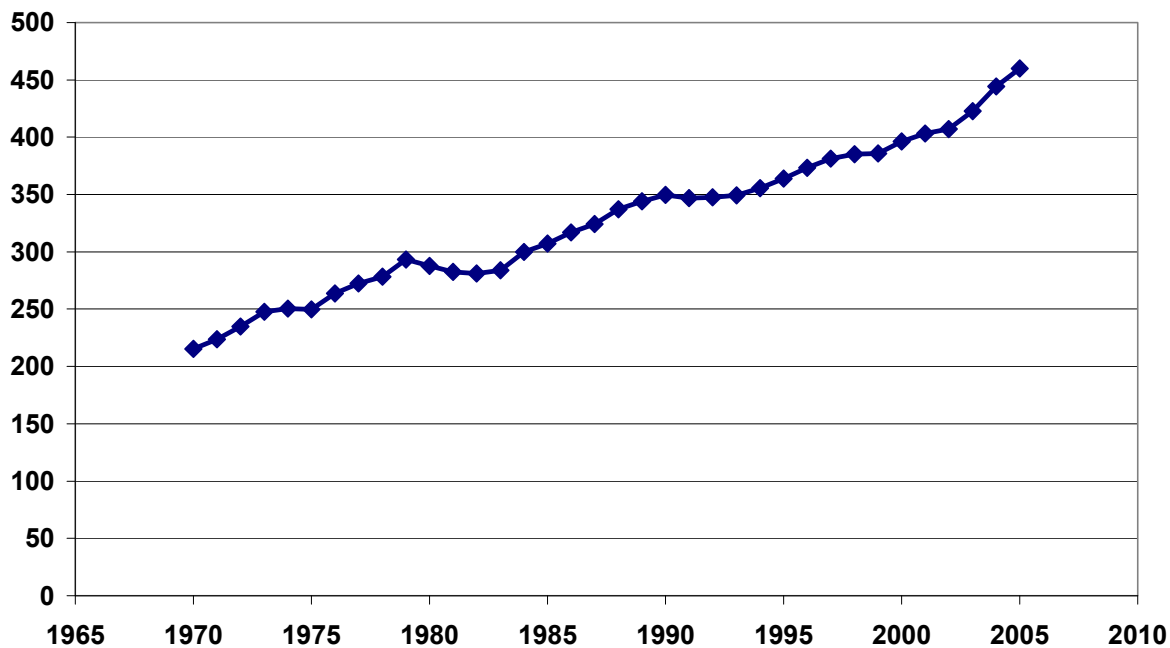


Рис. 12. Производство полной первичной энергии за 1970-2005 (квадриллионы британских тепловых единиц). Источник: EIA.

Далее, необходимо понять, с чем может быть связана добыча энергоресурсов. Будем предполагать связь с экономическими показателями, а точнее с ВМП:

$$R_D = k_R Y, \tag{8}$$

где k_R – энергоёмкость ВМП, т.е. отношение использованной (или произведенной) энергии к ВМП.

На рис. 13 показана зависимость данного показателя от времени. Как видно, в течение 35 лет с 1970 по 2005 г.г. энергоёмкость падала практически по линейному закону (до того она в течение 10-15 лет оставалась постоянной). Конечно, нельзя быть полностью уверенным в том, что данный закон останется в силе и в ближайшие 30-40 лет. Однако можно дать оценку изменения данной величины, если допустить, что снижаться быстрее, чем указанный на графике линейный тренд она не будет.

Исходя из всего сказанного, получаем:

$$k_R = k_0 - k_1 (t - t_0), \quad (9)$$

$$k_0 = 18.779 \pm 0.091 \text{ (кбте/дол.) или } 0.4648 \pm 0.0022 \text{ (тнэ/дол.)},$$

$$k_1 = 0.1612 \pm 0.0045 \text{ (кбте/(дол. год)) или } 0.0040 \pm 0.0001 \text{ (тнэ/(дол. год))},$$

$$t_0 = 1970.$$

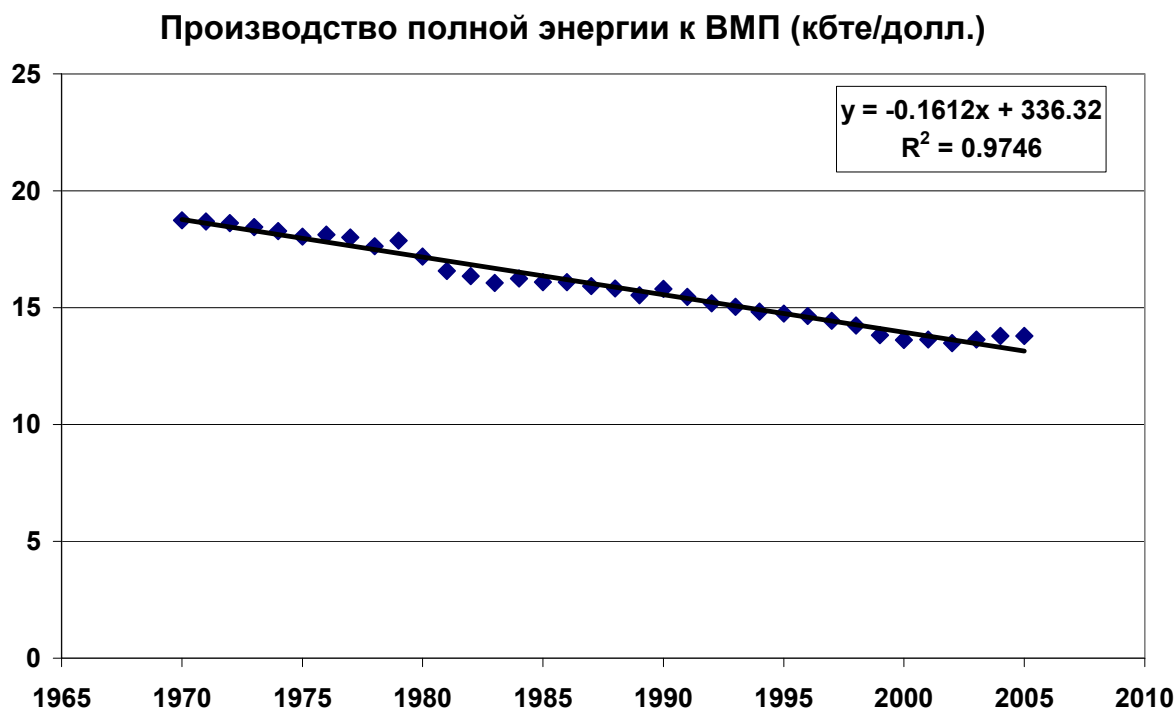


Рис. 13. Энергоёмкость ВМП за 1970-2005 (тыс. брит. тепл. ед. / постоянн. долл. 1990 года).
Источники: ООН, EIA.

Коэффициент энергоёмкости k_R может использоваться в качестве управляющего параметра: задавая его поведение во времени, получаем сценарий эволюции ресурсного сектора мировой системы.

Сектор технологий. Технологии – величина, достаточно плохо измеримая. По смыслу – это всё, что повышает эффективность использования налич-

ных ресурсов. В приложении к экономике важны технологии, увеличивающие продукт и приносящие прибыль. Иными словами, те технологии, которые повышают производительность труда и качество используемого капитала при создании нового продукта (т.е. капиталотдачу). Одним из способов учесть это является написание уравнения, связывающего ВМП, капитал, численность населения и технологии, т.е. некоего аналога производственной функции. Будем использовать следующий вид:

$$Y = TK^a N^{1-a}. \quad (10)$$

Здесь T – уровень технологий, уравнение для которого еще предстоит выяснить. Иными словами, ВМП задается функцией Кобба-Дугласа при техническом прогрессе, нейтральном по Хиксу [7]. В принципе можно использовать производственную функцию при техническом прогрессе, нейтральном по Харроду (когда множитель появляется при N). В последнем случае, например, под уровнем технологий может подразумеваться уровень образования как фактор, отвечающий за «качество» населения и рабочей силы.

В связи с последним сделанным замечанием нельзя обойти вниманием вопрос, какую же, все-таки, производственную функцию следует использовать? Ответ состоит в том, что основные переменные, участвующие в (10), как-то: ВМП Y , капитал K , численность населения N , время t обладают высокой степенью корреляции между собой. Поэтому определить, исходя из регрессии, какой вид более подходящий и, более того, определить параметр a в соотношении (10), не представляется возможным из-за эффекта мультиколлинеарности. Возникающий произвол не может быть устранен чисто эконометрическими методами, требуется волевое решение.

Мы примем параметр a равным 0.33 ± 0.08 , т.е. меняющимся в диапазоне от 0.25 до 0.4. Это допущение аналогично тому, которое было в работах Pricewaterhouse Coopers [5] и типично для теории экономического роста [7]. Динамика уровня технологий в этом случае показана на рис. 14.

Уровень технологий. WB, UN

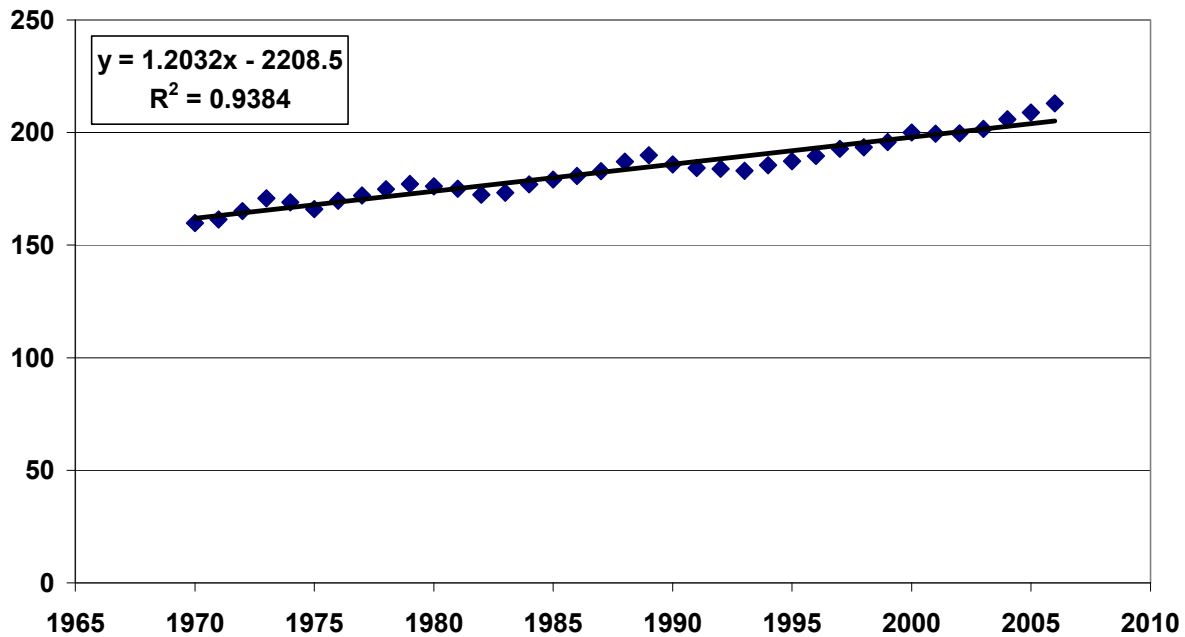


Рис. 14. Уровень технологий по миру в целом за 1970-2006 (долл. 1990 года). В уравнении (10) принято $a = 0.33$. Источники: ООН, World Bank.

Как видно, технологии растут скорее линейно по времени, чем экспоненциально, что несколько противоречит представлениям об экзогенном техническом прогрессе, согласно которым технический прогресс развивается с постоянным темпом. Уравнение для технологий будет уточнено в следующем секторе, поскольку предполагается его связь с образованием.

Сектор образования. В качестве характерной величины была выбрана ожидаемая продолжительность времени обучения E , выражаемая в годах (аналогично, как и ожидаемая продолжительность жизни). Т.е. предполагается, что чем дольше человек учится, тем выше уровень его образования. Мы прекрасно понимаем всю условность подобного предположения, однако, во-первых, в какой-то степени оно верно, а, во-вторых, той же степенью условности обладает большинство показателей, фигурирующих в статистике.

На рис. 15 изображены имеющиеся данные по всем странам за 1970-2006 г.г. (за 2007, 2008 данные слишком фрагментарны и потому не приводятся). Особо выделена медиана, которая может быть описана линейным трендом.

Помимо медианы рассматривалось средневзвешенное значение, которое по смыслу лучше подходит в качестве характеристики мира в целом. За вес принята численность населения страны по отношению к общемировой численности населения (рис. 16).

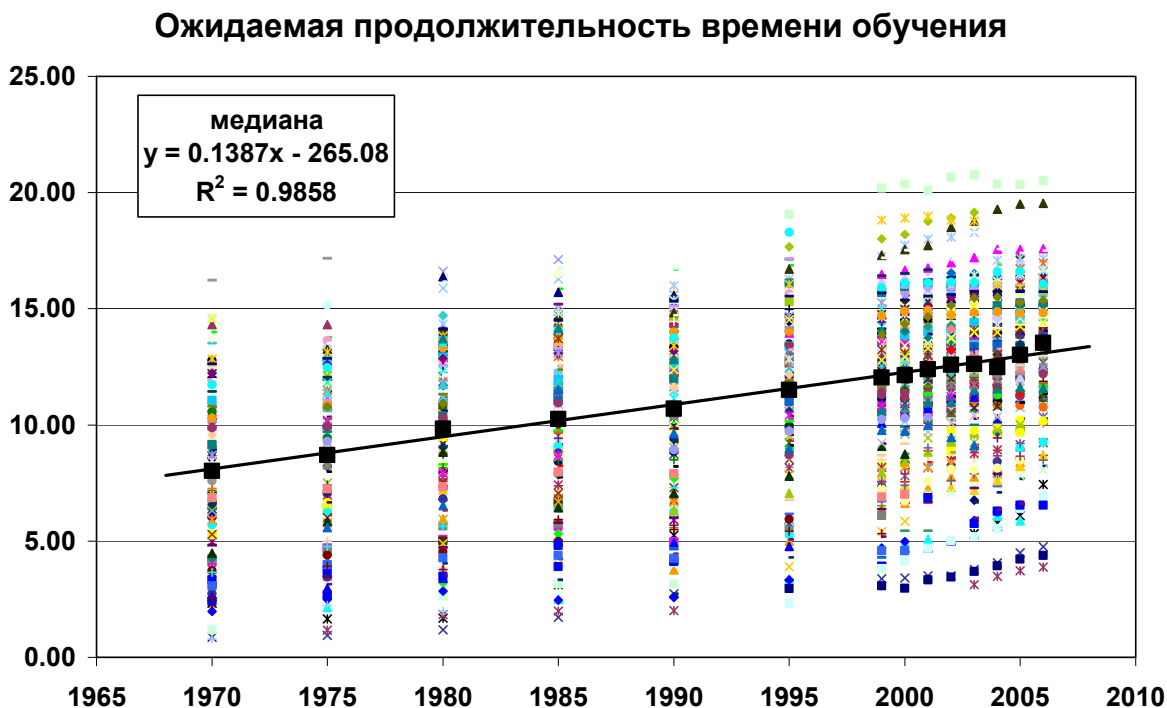


Рис. 15. Ожидаемая продолжительность времени обучения за 1970-2006. Крупными квадратами обозначены медианные значения в текущем году. Источник: UNESCO.

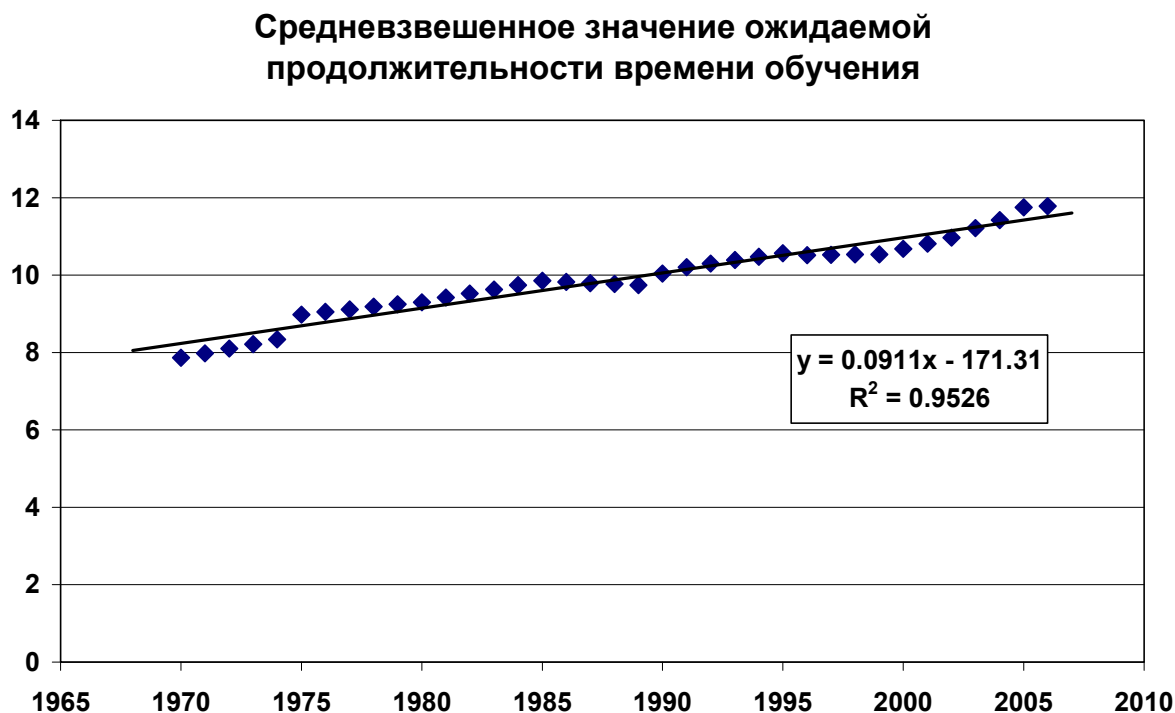


Рис. 16. Средневзвешенная по миру ожидаемая продолжительность времени обучения за 1970-2006, построенная с интерполяцией. В качестве весов взяты доли стран в мировой численности населения. Источники: UNESCO, UN.

Имеющиеся данные указывают на линейный со временем рост ожидаемой продолжительности времени обучения. Исходя из гипотетической связи между технологиями и образованием, напишем динамическое уравнение для

уровня технологий. Рост продолжительности времени обучения приводит к повышению уровня образования, оно, в свою очередь, приводит к росту качества рабочей силы, что косвенно влияет на развитие технологий.

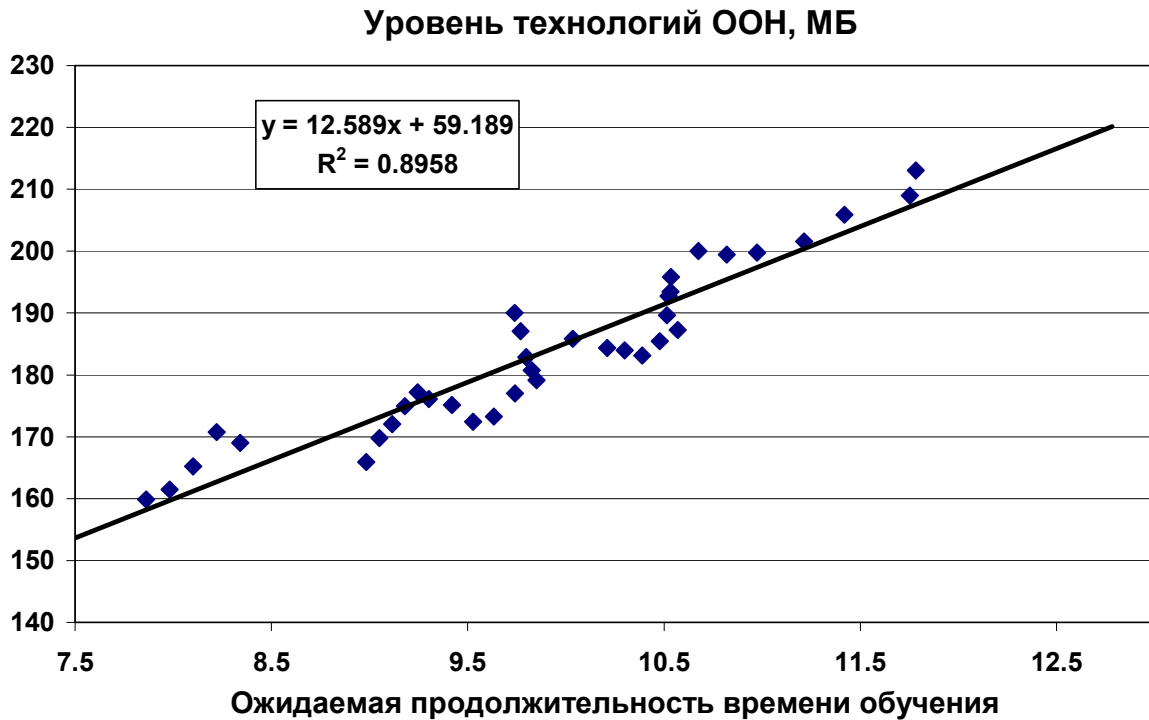


Рис. 17. Уровень технологий в зависимости от средневзвешенной ожидаемой продолжительности обучения. Источники: UNESCO, UN, World Bank.

На рис. 17 показана зависимость уровня технологий T от продолжительности времени обучения E . Как видно, зависимость между этими величинами можно считать линейной с колебаниями, которые вызваны, судя по всему, запаздыванием. Следовательно, можно написать:

$$\frac{dT}{dt} = \lambda(p + qE - T). \quad (11)$$

Где λ – коэффициент старения технологий, обратный характерному времени запаздывания, которое принимается 10 ± 5 лет a , b – коэффициенты, $\lambda = 0.10 \pm 0.03$, $p = 59.2 \pm 7.2$, $q = 12.59 \pm 0.73$.

Теперь свяжем продолжительность обучения с расходами на образование.

Средневзвешенная продолжительность обучения

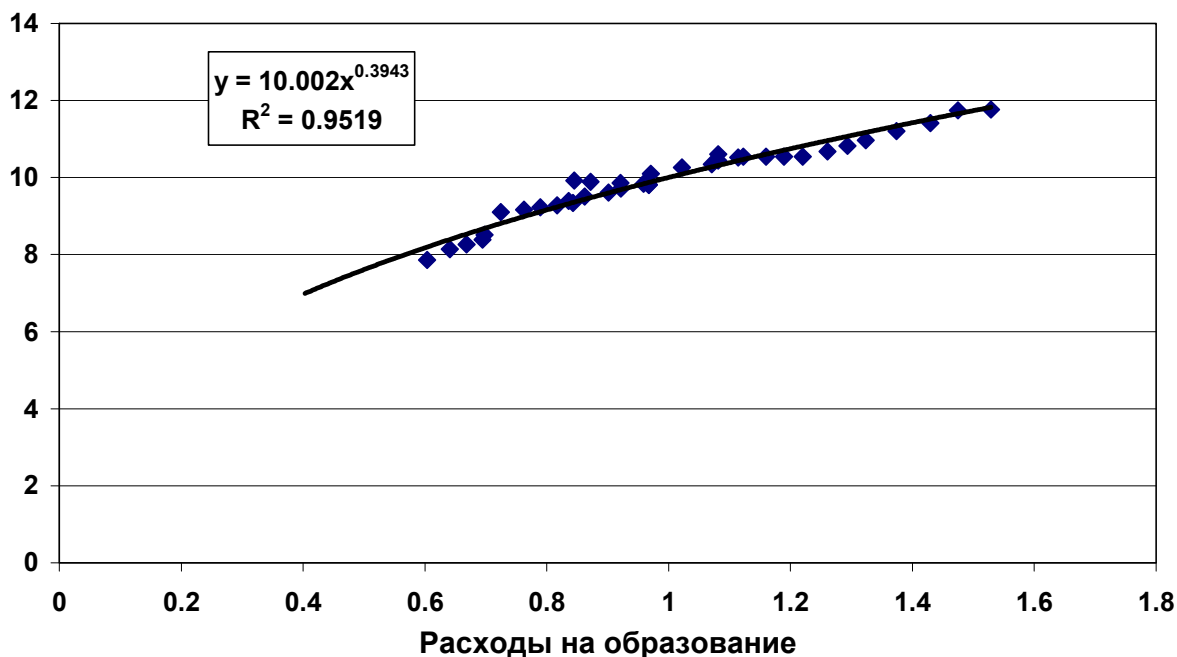


Рис. 18. Средневзвешенная ожидаемая продолжительность времени обучения в зависимости от общемировых расходов на образование (трлн. долл. 1990). Источники: UNESCO, UN, World Bank.

Расходы на образование (% от ВВП)

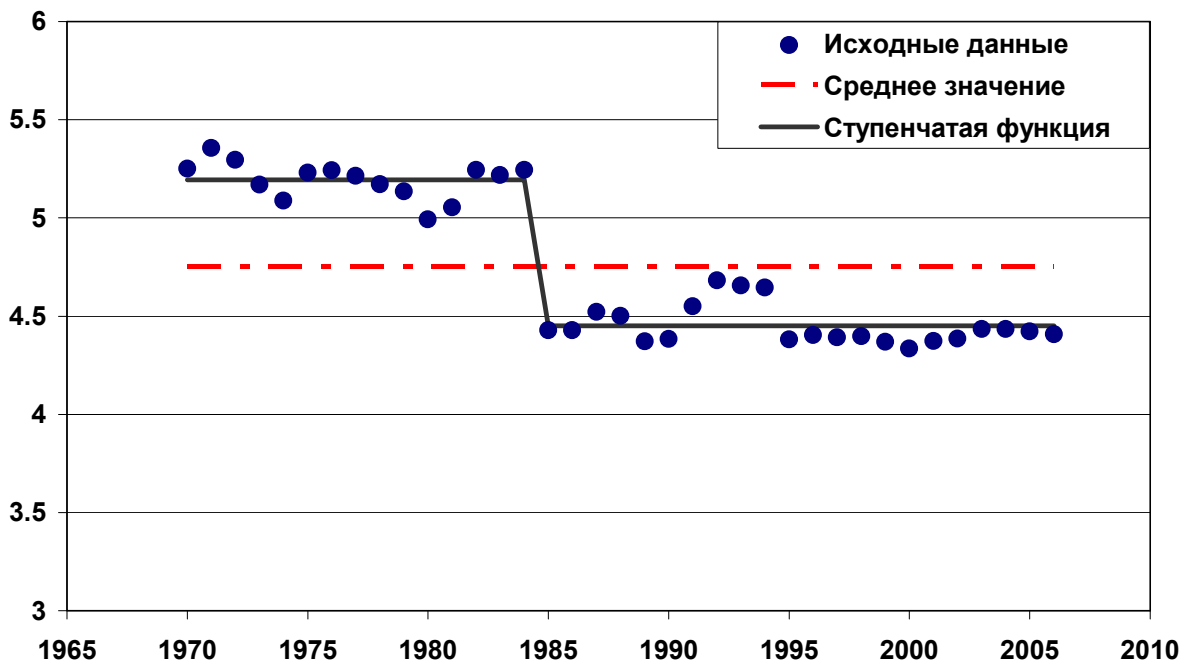


Рис. 19. Доля общемировых расходов на образование в ВВП (в процентах). Источники: UNESCO, UN, World Bank.

На рис. 18 изображена зависимость средневзвешенной продолжительности обучения от расходов на образование в целом по миру. Как видно, зависимость носит достаточно монотонный характер и может быть приближена под-

ходящей гладкой кривой. Выбрана степенная функция, так как по сравнению с линейной и логарифмической функциями у неё выше коэффициент детерминации R^2 и она лучше подходит по смыслу.

$$\frac{dE}{dt} = \nu(c_E(g_E Y)^d - E). \quad (12)$$

Здесь ν – коэффициент, обратный характерному времени запаздывания, g_E – доля ВМП, идущая в образование, c_E , m – коэффициенты; $\nu = 0.2 \pm 0.1$, $g_E = 0.045 \pm 0.01$ после 1985 года (рис. 19), $c_E = 10.0 \pm 0.1$, $d = 0.394 \pm 0.015$.

В заключение раздела выпишем полную систему уравнений и соотношений модели.

$$\frac{dN}{dt} = c_N N \left(1 - \frac{g_C Y}{NM_{\max}} \right), \quad (13)$$

$$\frac{dK}{dt} = (1 - g_C)Y - \mu K, \quad (14)$$

$$\frac{dR}{dt} = -k_R Y + R_P, \quad (15)$$

$$\frac{dE}{dt} = \nu(c_E(g_E Y)^m - E), \quad (16)$$

$$\frac{dT}{dt} = \lambda(p + qE - T), \quad (17)$$

$$k_R = k_0 - k_1(t - t_0), \quad (18)$$

$$Y = TK^a N^{1-a}. \quad (19)$$

В дальнейшем планируется уточнить значения параметров и сами уравнения, а также провести полное исследование модели.

РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ

По приведенной системе уравнений (13)-(19) были проведены первичные расчеты для разных значений параметров и начальных данных. Технически дифференциальные уравнения решались методом Эйлера с шагом в 1 год, т.е., по сути, заменялись разностными аналогами. Это оправданно, так как модель довольно грубая, а точность данных также невысока.

На рис. 20-26 представлены результаты расчетов для тех переменных, которые непосредственно наблюдаемы и по которым имеется статистика. По этой причине не приводится основной капитал, поскольку он фактически не наблюдаем.

Численность населения

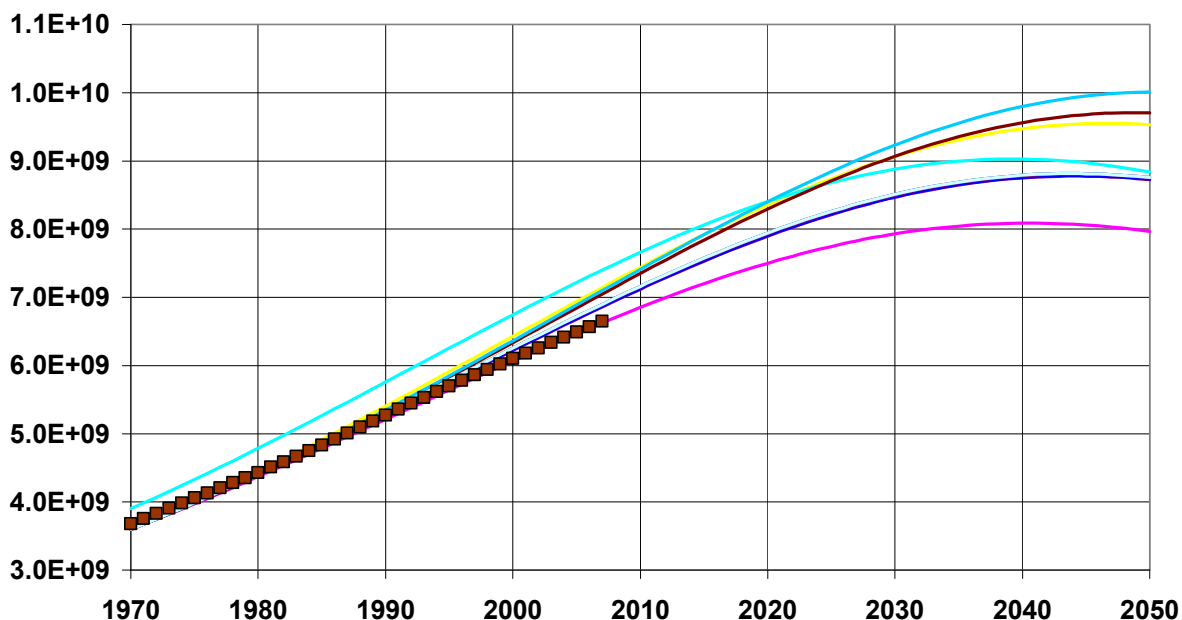


Рис. 20. Численность населения в 1970-2050. Квадратиками обозначены исторические данные, сплошными линиями – расчетные траектории при разных параметрах. Разброс в 2050 году составляет от 8 до 10 млрд. чел.

ВМП, долл. 1990

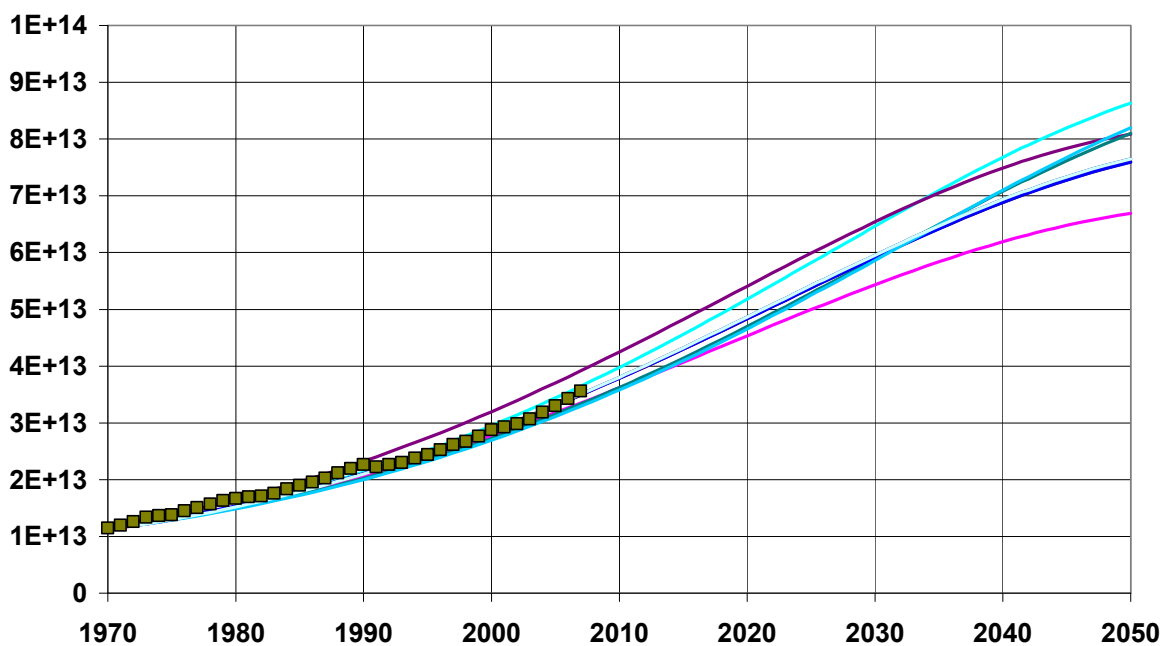


Рис. 21. ВМП в 1970-2050. Разброс в 2050 году составляет от 67 до 86 трлн. долл.

Уровень жизни, долл. 1990 / чел.

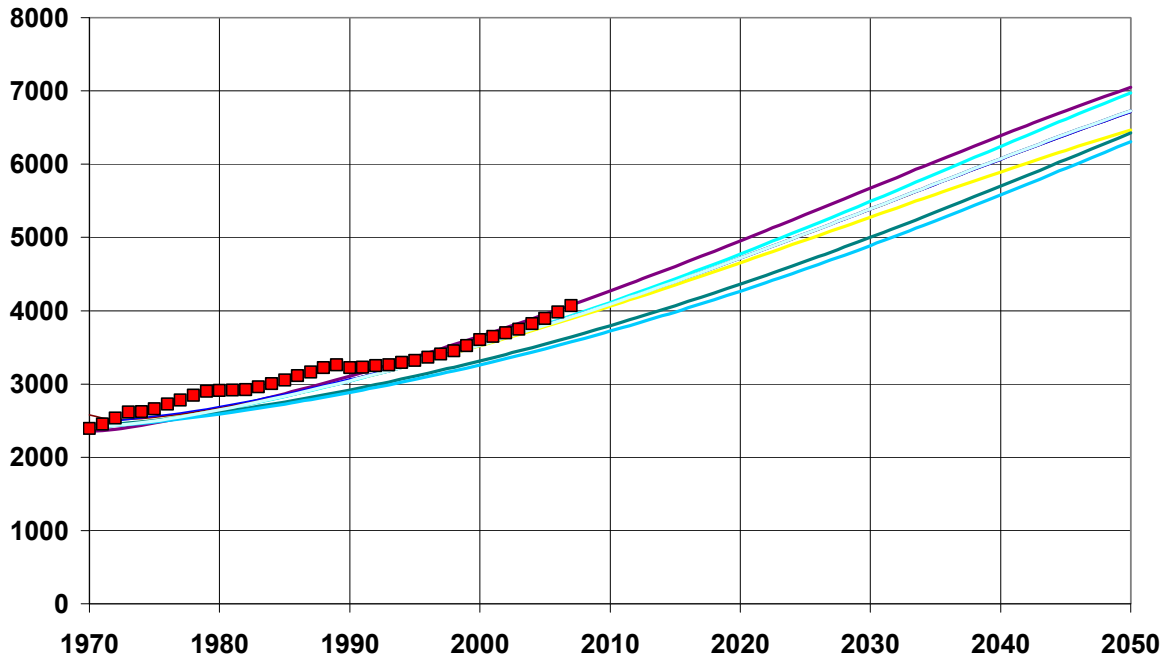


Рис. 22. Конечное потребление на душу населения. Как видно, расчетные линии дают заниженное значение по сравнению с известными данными. Относительный разброс в 2050 г. меньше, чем у ВМП.

Ожидаемое время обучения, годы

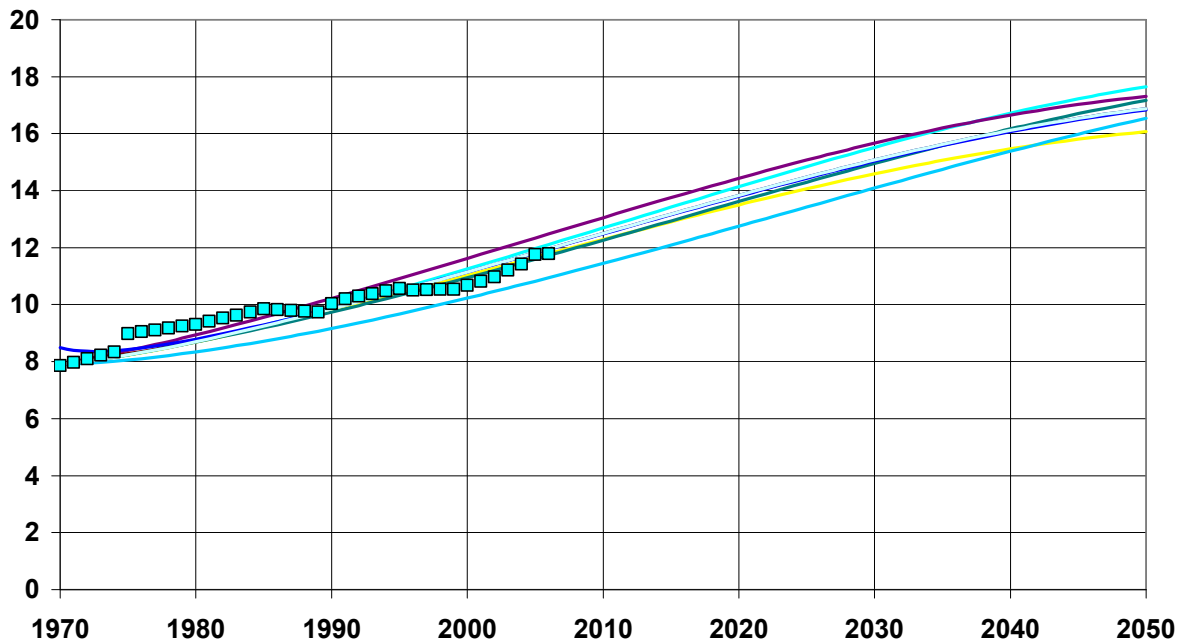


Рис. 23. Ожидаемая продолжительность обучения. Расчетные значения несколько завышены по отношению к реальным данным. Разброс в 2050 г. от 16 до 17.7 лет.

Уровень технологий

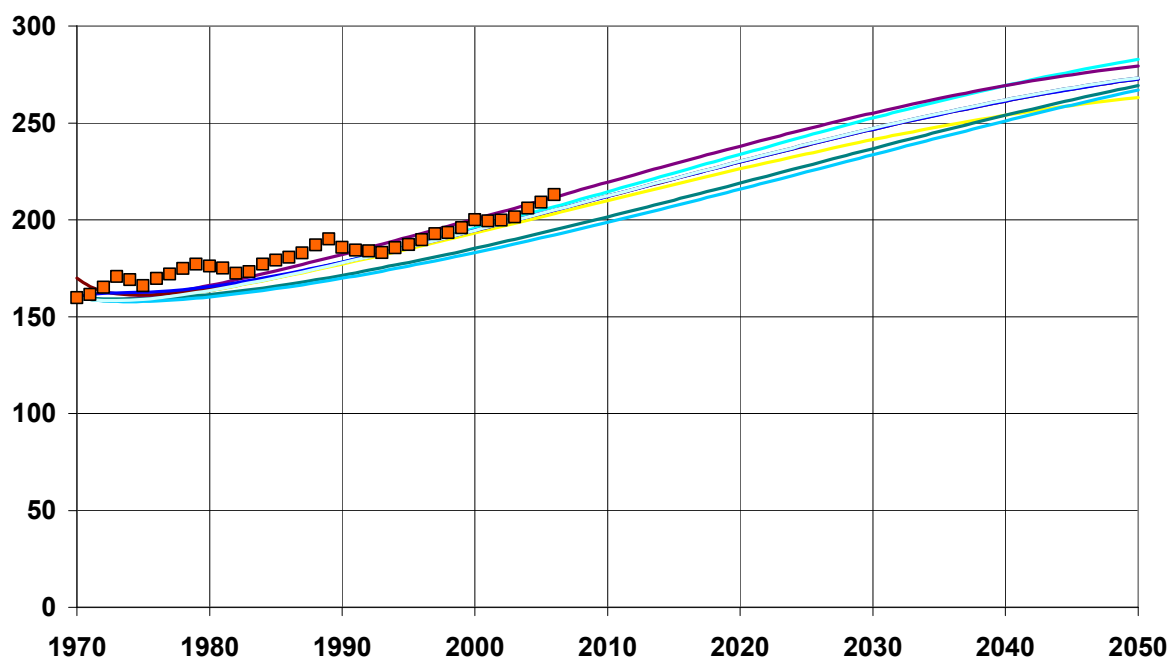


Рис. 24. Уровень технологий. Расчетные траектории дают заниженное значение по сравнению с историческими данными. Разброс значений в 2050 г. не очень велик.

Производство энергии, кбте

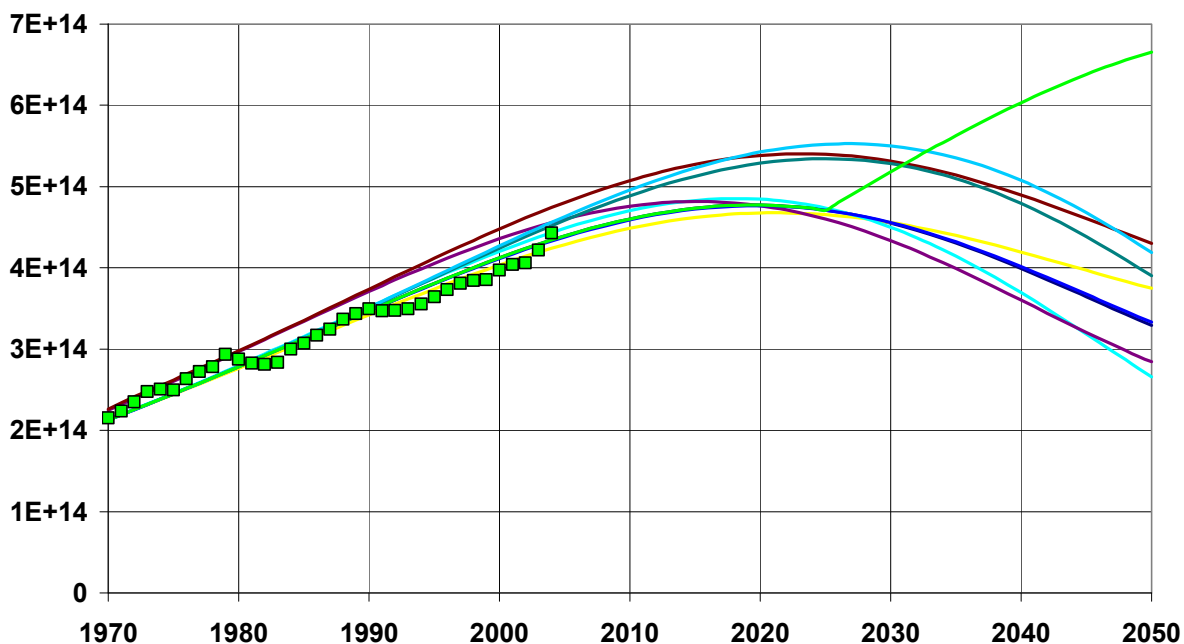


Рис. 25. Производство энергии (добыча ресурсов). Расчетные линии несколько завышены по отношению к данным. Общий характер линий (возрастание, потом убывание) вызван предположением относительно поведения энергоемкости: считается, что она убывает по линейному закону (9). Для одной расчетной траектории (она обозначена более жирной линией на графике) это не выполнено: предположено, что энергоемкость с 2025 г. не меняется и производство энергии стало быстро расти.

Время исчерпания ТЭР, годы

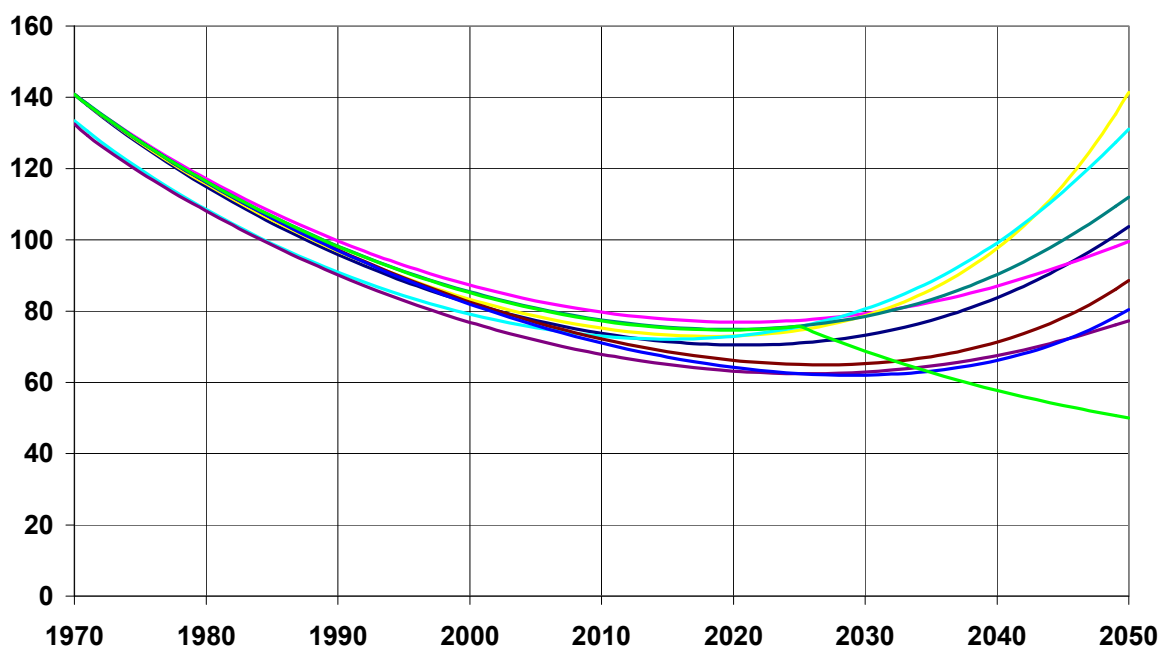


Рис. 26. Характерное время исчерпания энергоресурсов – отношение запасов к добыче. Картина обратная той, что представлена на предыдущем рисунке.

В заключение работы отметим задачи, которые необходимо решить в дальнейшем.

- Необходимо связать блок ресурсов с остальными блоками и переменными модели, пока обратная связь отсутствует.
- Также слабо разработан блок технологий, нет ни одного хорошо измеримого показателя, по которому можно было бы верифицировать модель.
- Нужно провести полное параметрическое исследование модели, чтобы определить разброс по траекториям и оценить точность прогноза.

Литература

1. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978.
2. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й., Беренс Ш. Пределы роста. – М.: МГУ, 1992.
3. Медоуз Д.Л., Медоуз Д.Х., Рандерс Й. За пределами роста. – М.: Прогресс, Пангея, 1994.
4. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. Пределы роста. 30 лет спустя – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.
5. *Hawksworth J.* The World in 2050: How big will the major emerging economies get and how can the OECD compete? // PricewaterhouseCoopers LLP, March 2006. – www.pwc.com/2050.

6. Орлов Ю.Н. Некоторые аспекты прогнозирования мировых энергетических рынков // Проблемы математической истории: историческая реконструкция, прогнозирование, методология / Отв. ред. Г.Г. Малинецкий, А.В. Коротаев. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. С.90–103.
7. Столерю Л. Равновесие и экономический рост (принципы макроэкономического анализа). – М.: «Статистика», 1974. – 472 с.
8. Махов С.А. Долгосрочные тенденции и прогнозы с позиций новой модели мировой динамики // Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики. – М.: ЛКИ, 2010. С.262-276.

Основные источники статистических данных

1. Базы данных ООН (<http://data.un.org>).
2. Бюро переписей США (www.census.gov).
3. Всемирный банк (www.worldbank.org).
4. US Bureau of Economic Analysis (www.bea.gov).
5. US Energy Information Administration (www.eia.doe.gov).
6. British Petroleum (www.bp.com/statisticalreview).
7. Unesco (www.uis.unesco.org).
8. Maddison Historical Statistics for the World Economy (www.ggdc.net/maddison).