

Компактная математическая макромодель технико-экономического и демографического развития Мир-Системы (1–1973 гг.)

А. В. Коротаев, А. С. Малков, Д. А. Халтурина

Человеческое общество – это сложная неравновесная система, постоянно развивающаяся и изменяющаяся. Сложность, многофакторность и противоречивость социальной эволюции приводят исследователей к закономерному выводу о том, что любое упрощение, редукция, упущение из виду всего многообразия факторов неизбежно ведет к увеличению ошибки и к существенно неверному пониманию изучаемых процессов.

Мнение о том, что в истории развития общества не может быть простых общих законов, крепко укоренилось в научных воззрениях, особенно среди представителей гуманитарных наук, непосредственно сталкивающихся в своей деятельности со всем многообразием и непредсказуемостью социальных процессов.

Подобные воззрения, однако, – прямой путь к социальному агностицизму, признанию бессмысленности самого научного изучения общества, ведь задача научного анализа в том и состоит, чтобы выделить основные действующие силы и установить фундаментальные законы, отбросив детали и несущественные отклонения от общих правил (см., например: Малинецкий 1996, 1997; Розов 1995, 2002; Rozov 1997; Бородкин 1999; Бородкин, Владимиров, Гарскова 2003). Таким образом, сам научный подход содержит в себе заметную долю редукционизма. Тем не менее, человеческое общество действительно предельно сложная система.

Возможно ли описать его развитие какими-либо достаточно простыми законами? Современные достижения в области математического моделирования дают однозначный ответ: "Можно". Социальная эволюция действительно подчиняется строгим и достаточно простым макрозаконам.

* * *

Грандиозные успехи и бурное развитие физики по сравнению с другими науками во многом было связано с тем, что удалось произвести синтез математических методов и предметного знания. Несмотря на то, что еще в античном мире физические концепции уже отличались достаточно высо-

ким теоретическим уровнем, именно в Новое время внедрение математики позволило гораздо глубже проникнуть в сущность физических законов и предопределило научно-техническую революцию. Однако данный синтез требовал соблюдения важного условия. Математика оперирует с числами, а, значит, и мир физики должен был быть переведен на язык чисел. Требовались эффективные методы измерения физических величин, введение шкал и мер. Начиная с измерения простейших величин – длины, массы, времени – физики научились измерять заряд, вязкость, индуктивность, спин и многие другие необходимые для построения физической теории величины.

Аналогичным образом, конструктивный синтез социальных наук и математики требует введения адекватных способов измерения социальных величин. Так же как и в физике, некоторые величины поддаются относительно несложной оценке, тогда как измерение других требует длительной работы и даже построения вспомогательных моделей.

Одной из наиболее доступных для непосредственного измерения социальных величин является численность людей. Поэтому не удивительно, что именно область демографии привлекает исследователей, давая надежды на успех в построении количественной теории. Примечательно, что и проникновение математических методов в биологию во многом проходило под флагом описания популяционной динамики животных.

* * *

Если проследить динамику человечества на протяжении всего времени его существования, то обнаружится, что вплоть до 70-х годов прошлого века численность человечества росла по гиперболическому закону.

Впервые этот феномен был отмечен в 1960 году Х. фон Ферстером, П. Мора и Л. Амиотом (von Foerster, Mora, and Amiot 1960). Они провели статистическую оценку демографических данных и обнаружили, что кривая роста населения Земли лучше всего аппроксимируется кривой

$$N = \frac{C}{t_0 - t}, \quad (1)$$

где C и t_0 – константы, причем t_0 – соответствует 13 ноября 2026 года. Согласно этой формуле в этот день численность человечества должна уйти в бесконечность.

Противоестественность такого вывода, вытекающего из четко прослеживаемой за многие тысячи лет человеческой истории тенденции, привлекла большое внимание к данной работе, и стимулировала появление попыток объяснить такие парадоксальные наблюдения. В самой статье Х. фон Ферстер с соавторами также пытается найти объяснения столь не-

ожиданным эмпирическим наблюдениям. Они начинают теоретические построения, отталкиваясь от следующих уравнений (2) и (3), вполне объяснимых с точки зрения популяционной динамики, однако не описывающих процесс роста населения Земли:

$$\frac{dN}{dt} = B - D, \quad (2)$$

где N – число людей, B – число рождений и D – число смертей в единицу времени;

$$\frac{dN}{dt} = (a_1 N) - (a_2 N + b N^2), \quad (3)$$

где первая скобка соответствует числу рождений B , а вторая – числу смертей D в формуле (2), а r, K, a_1, a_2, b – положительные коэффициенты, связанные соотношениями

$$r = a_1 - a_2 \quad \text{и} \quad b = \frac{r}{K}. \quad (4)$$

Для того чтобы модель могла описать этот процесс, Х. фон Ферстер обращается к бурно развивающейся в его время теории игр и предлагает рассматривать процесс развития человечества как игру двух игроков – человека и природы. В данном случае все человечество представляет собой одну коалицию, которая ведет игру тем эффективнее (снижение естественных рисков, улучшение условий жизни), чем больше численность населения, формирующего эту коалицию. Моделирование подобной ситуации он предлагает реализовать с помощью введения нелинейности в виде

$$\frac{dN}{dt} = (a_0 N^{\frac{1}{k}}) N, \quad (5)$$

где a_0, k – константы, которые должны быть определены из эксперимента. Собственно анализ экспериментальных данных Х. фон Ферстера определяет значения $a_0 = 5,5 \times 10^{12}$ и $k = 0,99$, что дает гиперболическое уравнение для роста населения:

$$N = N_1 \left(\frac{t_0 - t_1}{t_0 - t} \right)^k, \quad (6)$$

которое, считая k равным единице (см., например: von Foerster 1975), более кратко записывается как (1), или в эквивалентной форме (Капица 1992, 1999) как (7):

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{C}. \quad (7)$$

* * *

Особого внимания здесь заслуживает исследование М. Кремера (Kremer 1993): "Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990 (Рост населения и технологические изменения: от одного миллиона лет до нашей эры до 1990 года)". В этой работе представлены сразу несколько моделей, с разных сторон описывающих процесс взаимного роста численности населения и уровня технологии.

Основное положение, на которое опираются модели Кремера, было сформулировано еще в XVIII веке Томасом Мальтусом (Malthus [1798] 1978; Мальтус 1993). Его можно переформулировать следующим образом:

"На протяжении большей части существования человечества рост его численности на каждый данный момент времени был ограничен потолком несущей способности земли, обусловленным наблюдаемым в данный момент времени уровнем развития жизнеобеспечивающих технологий". (8)

В той или иной форме данное положение использовалось многими более поздними исследователями (Habakkuk 1953; Postan 1950; Braudel 1973; Cameron 1989; Artzrouni and Komlos 1985; Kremer 1993; Komlos and Nefedov 2002; Неведов 2000, 2001, 2002a, 2002b, 2003; Nefedov 2004; Turchin 2003; Коротаев, Малков, Халтурина 2005 и т.д.).

Простейшая модель, предлагаемая М. Кремером, предполагает, что производство продукта зависит от двух факторов: уровня технологии и численности населения. У М. Кремера для величин используются обозначения Y – производимый продукт, p – численность населения, A – уровень технологии и т.п., мы же при описании запишем его модель в обозначениях, используемых в предложенной нами модели, и более близких к обозначениям С. П. Капицы, не искажая при этом сути уравнений М. Кремера.

М. Кремер считает, что совокупный производимый человечеством продукт равен

$$G = TN^a V^{1-a}, \quad (9)$$

где G – общий продукт, T – уровень технологии, V – используемые земельные ресурсы, $0 < a < 1$ – параметр. Фактически М. Кремер использует функцию типа Кобба-Дугласа и сразу же оговаривает, что переменная V

в результате нормализации приравнивается к единице. Уравнение для производимого продукта в результате имеет вид:

$$G = rTN^{\alpha}, \quad (10)$$

где r, α – некоторые константы.

Далее М. Кремер использует положение (8), формулируя его следующим образом: "В упрощенной модели будем считать, что численность населения мгновенно приближается к равновесному уровню \bar{N} ". Величина \bar{N} в его модели соответствует уровню населения, при котором оно производит на душу населения равновесный продукт \bar{g} , такой, что население увеличивается, если среднедушевой продукт выше \bar{g} , и уменьшается, если среднедушевой продукт меньше \bar{g} .

Равновесный уровень населения N , таким образом, равен

$$\bar{N} = \left(\frac{\bar{g}}{T} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}. \quad (11)$$

Таким образом, уравнение для численности населения фактически не является динамическим. В модели М. Кремера динамика заложена в уравнение для технологического роста. Наряду с другими исследователями (Aghion and Howitt 1992; 1998; Grossman and Helpman 1991; Simon 1977, 1981, 2000; Jones 1995, 2003, 2005 и т.д.) он исходит из "босерупианского" (Boserup 1965) предположения о том, что рост населения подталкивает людей к разработке новых технологий, и, в конечном счете, рост технологии пропорционален населению. Данный тезис ранее выдвигался С. Кузнецом (Kuznets 1960) и Дж. Саймоном (Simon 1977, 1981) в формулировке "Большее население означает большее количество потенциальных изобретателей". М. Кремер уточняет его:

"Простая модель предполагает, что, при прочих равных, вероятность изобретения чего-либо одним человеком не зависит от численности населения. Таким образом, среди большего населения будет пропорционально больше людей, достаточно удачливых и сообразительных, чтобы предложить новые идеи" (Kremer 1993: 685).

Насколько нам известно, данное допущение было впервые четко сформулировано одним из наиболее выдающихся экономистов XX в. Саймоном Кузнецом (Kuznets 1960), поэтому соответствующий тип динамики будет нами ниже обозначаться как "кузнецнианский", а системы, где "кузнецнианская" популяционно-технологическая динамика сочетается с демографической мальтузианской, будут обозначены как "мальтузианско-кузнецнианские".

Математически данное положение М. Кремер выражает как

$$\frac{dT}{dt} : T = bN, \quad (13)$$

где b – средняя продуктивность работы одного изобретателя.

Отметим, что это подразумевает, что динамика абсолютной скорости технологического роста может быть описана следующим уравнением:

$$\frac{dT}{dt} = bNT, \quad (14)$$

Далее Кремер следующим образом объединяет уравнения для технологии и населения:

"Так как численность населения определяется уровнем развития технологии, скорость роста населения пропорциональна темпам технологического роста. Так как [относительная] скорость технологического роста пропорциональна численности населения, [относительная] скорость роста населения должна быть также пропорциональна и самой численности населения.¹ Для того, чтобы доказать это более строго, возьмем логарифм уравнения определяющего численность населения, [(11)], и дифференцируем по отношению ко времени:

$$\frac{dN}{dt} : N = \frac{1}{1-a} \left(\frac{dT}{dt} : T \right).$$

Подставим в этом уравнении выражение для скорости роста технологии его эквивалентом из формулы [(13)] и получим

$$\frac{dN}{dt} : N = \frac{g}{1-a} N \quad (\text{Kremer 1993: 686}). \quad (15)$$

Отметим, что, перемножив обе части уравнения (14) на N , мы получим

$$\frac{dN}{dt} = aN^2, \quad (7)$$

где a равно

$$a = \frac{g}{1-a}. \quad (16)$$

Конечно, то же самое уравнение может быть записано и как

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{C}, \quad (7)$$

где C равно

¹ Что, отметим, и дает на выходе гиперболический рост населения – А.К., А.М., Д.Х.

$$C = \frac{1-a}{g} \quad (16)$$

Таким образом, модель Кремера генерирует ту же самую макродемографическую динамику, что и модели фон Ферстера и Капицы (а, следовательно, она имеет столь же феноменальное соответствие эмпирическим данным). Однако наряду с этим она также дает и достаточно убедительное объяснение, ПОЧЕМУ на протяжении большей части человеческой истории абсолютные темпы роста численности населения мира были пропорциональны N^2 .

Действительно, в обоих типах моделей рост численности населения мира, скажем, с 10 до 100 миллионов человек приведет к росту dN/dt в 100 раз. Однако фон Ферстер и Капица не смогли дать вполне убедительного объяснения, почему на протяжении большей части человеческой истории dN/dt была в тенденции пропорциональна N^2 . Модель Кремера дает такое объяснение (хотя сам Кремер его в сколько-нибудь ясной вербальной форме и не дал). А объяснение это заключается в том, что рост численности населения мира с 10 до 100 млн. человек подразумевает, что и уровень развития жизнеобеспечивающих технологий вырос приблизительно в десять раз (так как он оказывается в состоянии поддерживать существование на порядок большего числа людей). С другой стороны, десятикратный рост численности населения означает и десятикратный рост числа потенциальных изобретателей, а значит, и десятикратное возрастание относительных темпов технологического роста. Таким образом, абсолютная скорость технологического роста вырастет в $10 \times 10 = 100$ раз (в соответствии с уравнением (13)). А так как N стремится к технологически обусловленному потолку несущей способности Земли, мы имеем все основания предполагать, что и абсолютная скорость роста населения мира (dN/dt) в таком случае в тенденции вырастет в 100 раз, то есть будет расти пропорционально квадрату численности населения.

Отметим также, что модель Кремера позволяет снять одно из основных возражений против гиперболических моделей роста населения мира. Начнем с того, что, впервые познакомившись с математическими моделями роста населения мира, мы испытали определенное недоверие по отношению к ним. Действительно, их создание подразумевает, что население мира могло рассматриваться в качестве единой системы на протяжении многих тысяч лет, и уже фон Ферстер, Мора и Амиот прямо делали это допущение:

"Однако то, что может быть правильным по отношению к элементам², которые из-за отсутствия между ними адекватной коммуникации должны прини-

² Здесь имеются в виду животные.

мать участие в соревновательной игре с (почти) нулевой суммой выигрыша, может быть неправильным для элементов³, обладающих системой коммуникации, которая дает им возможность образовывать коалиции, пока все элементы не оказываются столь сильно связаны между собой, что все населения с точки зрения теории игр может рассматриваться в качестве единого игрока, ведущего игру, в которой в роли второго игрока-оппонента выступает природа" (von Foerster, Mora, and Amiot 1960: 1292).

Однако имеются в высшей степени серьезные основания усомниться в обоснованности подобного допущения. Вплоть до самого недавнего времени (а в особенности до 1492 г.) человечество не представляло собой системы ни в каком реальном смысле, ибо, например, рост населения таких регионов, как Старый Свет, Новый Свет, Австралия и Тасмания или Гавайские острова происходил практически полностью независимо друг от друга. Так, представляется вполне очевидным, что бурные демографические процессы, происходившие в I тыс. н.э. в Евразии, не оказали *абсолютно* никакого влияния на синхронную демографическую динамику, скажем, обитателей Тасмании (да и обратное влияние также было просто нулевым).

Данное возражение с достаточными основаниями приводит, например, Ю. В. Шишков в статье под симптоматическим названием ("Демографические похождения физика")⁴:

"И после овладения речью и письменностью человечество многие тысячи лет оставалось столь немногочисленным и разобщенным, что одни его группы не имели понятия о существовании других. Давно ли по историческим меркам европейцы и азиаты узнали о жителях Западного полушария? Как такое человечество могло быть единым информационным полем? Вряд ли Капица допускает, что песни бардов и рассказы стариков у семейного очага при отсутствии спутниковых ретрансляторов звучали на всю ойкумену. А если бы и звучали, то на языке, непонятном для подавляющей части ойкумены" (Шишков 2005: 160).

Тем не менее, мы полагаем, что картина высокодетерминированной технико-экономической, культурной и демографической динамики мира в 500 г. до н.э. – 1500 г. н.э. ни в коей степени не является случайной. Собственно говоря, она отражает динамику совершенно реальной системы, а именно Мир-Системы. Вместе с А. Г. Франком [Frank, Gills 1994], но не с

³ Здесь имеются в виду люди.

⁴ Мы считаем это возражение совершенно обоснованным, ибо авторы гиперболических моделей роста населения Земли до сих пор не дали на него аргументированного ответа. И речь здесь идет не только о Капице, но и о фон Ферстере и его коллегах, Кремере и других авторах математических моделей гиперболического роста народонаселения Земли (Подлазов 2000, 2001, 2002; Cohen 1995; Hoerner 1975; Johansen and Sornette 2001; Tsirel 2004).

И. Валлерстайном [Wallerstein, 1974] мы склонны говорить о единой Мир-Системе, возникшей задолго до "длинного шестнадцатого века".

Гиперболический тренд роста народонаселения мира, наблюдаемый с X тыс. до н.э., является, по всей видимости, прежде всего продуктом роста Мир-Системы, судя по всему зародившейся именно в районе X тыс. до н.э. на Ближнем Востоке в прямой связи с ближневосточной Неолитической революцией. Наличие гиперболического тренда свидетельствует о том, что большая часть соответствующей общности (а в нашем случае, напомним, речь идет о народонаселении мира) имела определенное системное единство, и нам представляется, что в нашем распоряжении имеется достаточно данных для того, чтобы утверждать, что подобное системное единство действительно в рассматриваемую эпоху реально наблюдалось. В нашем распоряжении имеется достаточно данных о систематическом распространении важнейших инноваций (доместичированных злаков, крупного и мелкого рогатого скота, лошади, плуга, колеса, металлургии меди, бронзы, а в дальнейшем и железа, и т.д.) с Ближнего Востока по всей североафриканско-евразийской Ойкумене, начавшемся за много тысяч лет до н.э. В результате данных процессов эволюция обществ данного макрорегиона уже в это время не может рассматриваться как полностью независимая.

К концу I тыс. до н.э. мы имеем дело с гигантским поясом культур, протянувшимся от Атлантики до Тихого океана и имеющим поразительно сходный уровень культурной сложности – культур, основанных на сельском хозяйстве, ориентированном на производство пшеницы и/или других злаков (преимущественно ближневосточного происхождения), на разведение крупного и мелкого рогатого скота, использующих плуг, колесо, железные орудия, имеющих развитые бюрократии, профессиональные армии с удивительно сходным вооружением, кавалериями и т.п. – данный список можно было продолжать на многих страницах. За несколько тысячелетий перед этим мы имеем дело с поясом культур, также характеризовавшимся удивительно сходным уровнем и характером культурной сложности, протянувшимся от Балкан вплоть до долины Инда (подчеркнем, что и в том, и в другом случае население соответствующих поясов включало в себя большую часть населения мира соответствующей эпохи).

Мы склонны интерпретировать данные феномены именно как осязаемые результаты функционирования Мир-Системы. Альтернативные объяснения предполагали бы здесь наличие своего рода чуда – то, что культуры с удивительно сходным уровнем и характером сложности загадочным образом синхронно развились независимо друг от друга в гигантской (но непрерывной) зоне, в то время как ничего существенно похожего в это вре-

мя не наблюдалось ни в одном из регионов мира, в Мир-Систему не входившем. Подобные альтернативные объяснения представляются нам предельно неправдоподобными.

Да, например, обитатели какой-нибудь китайской деревни в долине Хуанхэ или баскского селения в Испании и во II в. до н.э. вряд ли чего-то знали, скажем, о самом факте существования Западной Азии и примыкавших к ней областей; но это никак не мешало им пользоваться плугом, колесом или железом, изобретенными именно в этом регионе.

Конечно, у нас не было бы оснований говорить о Мир-Системе, простирающейся от Атлантики до Тихого океана, даже для начала I тыс. н.э., если бы мы применяли критерий "массовых товаров" ("*bulk-good*" criterion), предложенный Валлерстайном (Wallerstein 1974), потому что в это время какое-либо движение массовых товаров, скажем, между Китаем и Европой полностью отсутствовало (шелк, например, был предметом роскоши). Однако Мир-Система I века н.э. (и даже I тыс. до н.э.) может вполне быть классифицирована именно как таковая, если мы применим более мягкий критерий "информационной сети", предложенный К.Чейз-Данном и Т. Д. Холлом (Chase-Dunn, Hall 1997). Подчеркнем, что на нашем уровне анализа наличие информационной сети, охватывающей всю Мир-Систему, является совершенно достаточным условием, которое делает возможным рассматривать ее как единое развивающееся целое. Да, в I тыс. до н.э. массивные товаропотоки между Тихоокеанским и Атлантическим побережьями Евразии были принципиально невозможны. Однако Мир-Система достигла к этому времени такого уровня интеграции, который, как это отмечалось выше, уже делал возможным распространение принципиально важных технологий за промежутки времени, заметно меньшие тысячелетия.

Другим важным моментом может представляться то обстоятельство, что даже в I в. н.э. Мир-Система охватывала заметно меньше половины всей обитаемой земной суши. Однако еще более важно то, что уже к началу I в. н.э. более 90% населения мира жило именно в тех регионах Земли, которые были интегральными частями Мир-Системы (Средиземноморье, Средний Восток, Южная, Центральная и Восточная Азия) (Durand 1977: 256). Конечно, бурное развитие технологии в Мир-Системе вплоть до XIX в. никак не сказывалось, скажем, на популяционной динамике населения Тасмании, много тысяч лет колебавшегося где-то на уровне 4000 чел. (Diamond 1999). Но кривая динамики общей численности населения отражает прежде всего популяционную динамику Мир-Системы, а не тех частей человечества, которые в нее не входили.

Хотя модель Кремера и дает удовлетворительное объяснение того, как технико-экономическое развитие Мир-Системы в сочетании с мальтузианской демографической динамикой дает гиперболический рост населения мира, Кремер не специфицировал свою модель до такой степени, чтобы

она могла описать экономическое развитие Мир-Системы таким образом, чтобы это описание поддавалось эмпирической верификации.⁵

Тем не менее, представляется вполне возможным предложить исключительно простую математическую модель, описывающую как демографическое, так и экономическое развитие Мир-Системы вплоть до 1973 г. на основе тех же самых допущений, что уже были сделаны Кремером.

Кремер предполагает наличие следующего соотношения между ВВП на душу населения и темпами демографического роста (см. Диаграмму 1):

Диаграмма 1. Зависимость относительных темпов роста населения от доходов в модели М. Кремера



A – разница между рождаемостью и смертностью как функция от g – дохода на душу населения, который в модели рассчитывается как $g = G/N$, то есть общий продукт G , полученный по формуле (10) и поделенный между N членами популяции.

Отметим, что подобное соотношение подразумевает, что при низких значениях ВВП на душу населения влияние этой переменной на темпы демографического роста может быть описано при помощи следующего уравнения:

$$\frac{dN}{dt} = aSN \quad (17)$$

⁵ Собственно говоря, подобная операционализация и не имела особого смысла в то время, когда Кремер сдавал свою статью в печать, так как в начале 90-х годов прошлого века долгосрочные историко-эмпирические данные по динамике мирового ВВП еще просто отсутствовали.

где N это население Земли, а S – "избыточный" продукт, производимый на одного человека сверх продукта m , минимально необходимого для простого (с нулевой скоростью роста) воспроизводства населения.

Отметим, что эта предельно простая модель генерирует определенное число гипотез, вполне поддающихся эмпирической проверке. Например, согласно этой модели относительные темпы роста населения мира

($r_N = \frac{dN}{dt} : N$) должны быть линейно пропорциональны среднему годовому производству избыточного продукта:

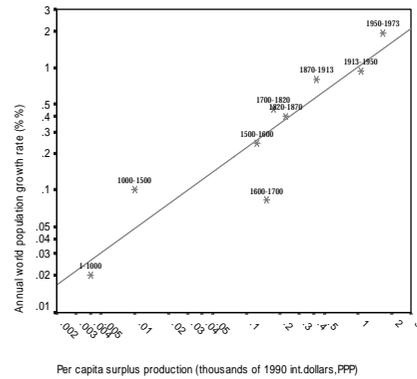
$$r_N = aS \quad (18)$$

Эмпирическая проверка данной гипотезы ее подтвердила, соответствующая корреляция оказалась в предсказанном направлении, очень сильной ($R = 0,961$) и вне всякого сомнения статистически значимой ($\alpha = 0,00004$) (см. Диаграмму 2):

Диаграмма 2. Корреляция между производством избыточного продукта на душу населения⁶ и относительными темпами роста населения мира⁷ для 1–1973 гг. (диаграмма рассеивания с наложенной линией регрессии)

⁶ Ось абсцисс, логарифмический масштаб, в тысячах международных долларов 1990 г. в паритетах покупательной способности.

⁷ Ось ординат, логарифмический масштаб, %.

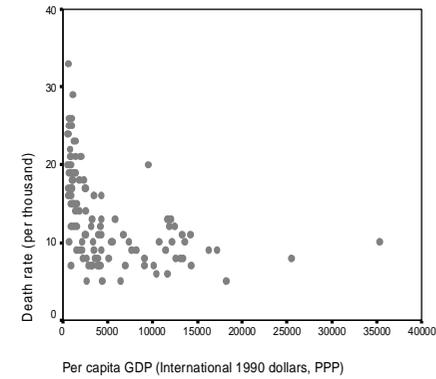


ПРИМЕЧАНИЯ: $R = 0,961$, $\alpha = 0,00004$. Источник данных – Maddison 2001: 241, 264; данные по производству мирового ВВП на душу населения на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996, 2003, 2004; Meliansev 2004). Величины S подсчитаны исходя из оценки m в 440 международных долларов в 1990 г. в паритетах покупательной способности; обоснование этой оценки см. в Коротаяев, Малков, Халтурина 2005: 43–51.

Механизмы данного соотношения вполне очевидны. В промежутке \$440–3500⁸ рост производства ВВП на душу населения ведет к относительно очень значительному улучшению питания, медицинского обслуживания, санитарных условий и т.д., что приводит к обвалному падению смертности (см. Диаграмму 3):

Диаграмма 3. Корреляция между производством ВВП на душу населения (ось абсцисс) и смертностью (ось ординат, на тысячу чел.) для стран мира на 1975 г.

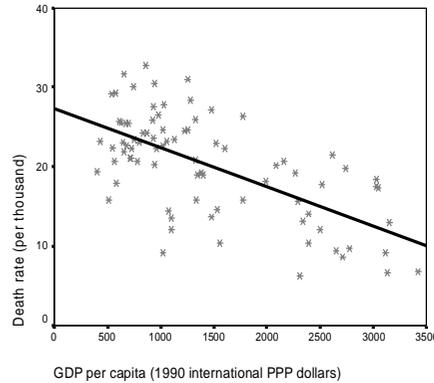
⁸ Здесь и далее (если не указано иначе) ВВП измеряется (вслед за Maddison 2001) в международных долларах 1990 г. в паритетах покупательной способности.



ПРИМЕЧАНИЕ: источники данных – Maddison 2001 (ВВП), World Bank 2004 (смертность).

Например, по данным на 1960 г. корреляция между производством ВВП на душу населения и общим коэффициентом смертности для отрезка \$440–3500 достигает– 0,634 ($\alpha = 0,000000001$) (см. Диаграмму 4):

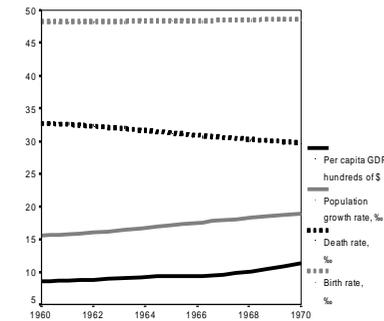
Диаграмма 4. Корреляция между производством ВВП на душу населения (ось абсцисс) и смертностью (ось ординат, на тысячу чел.) для стран мира на 1960 г. (для участка \$440–3500)



ПРИМЕЧАНИЕ: $R = -0,634$, $\alpha = 0,0000000001$. Источники данных – Maddison 2001 (ВВП), World Bank 2004 (смертность).

Стоит отметить, что на самых ранних стадиях демографического перехода (коррелирующих как раз с рассматриваемым здесь участком экономического роста) сокращение смертности не сопровождается соответствующим сокращением рождаемости (см., например: Chesnais 1992); собственно говоря, рождаемость при этом может даже несколько вырасти (см., например, Диаграмму 5):

Диаграмма 5. Экономическая и демографическая динамика в Сьерра-Леоне, 1960–1970 гг.



ПРИМЕЧАНИЯ:
 Сплошная черная линия – ВВП на душу населения (в сотнях \$).
 Сплошная серая линия – естественный прирост населения (в ‰).
 Черная пунктирная линия – общий коэффициент смертности (в ‰).
 Серая пунктирная линия – общий коэффициент рождаемости (в ‰).
 Источники данных – Maddison 2001 (ВВП), World Bank 2004 (демографические переменные).

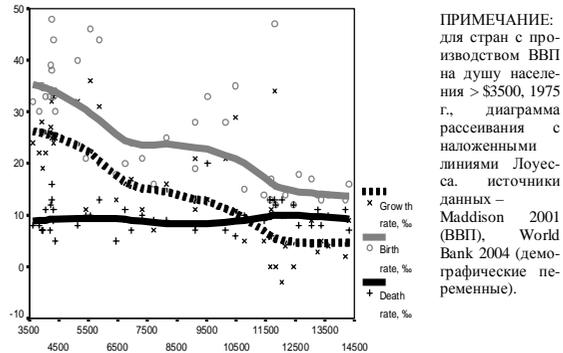
Действительно, например, падение смертности с 50 to 25‰ означает рост ожидаемой продолжительности жизни с 20 до 40 лет, в то время как женщина за 40 лет своей жизни может родить значительно больше детей, чем если она умрет в 20 лет. Во многих странах рост рождаемости на рассматриваемом участке был также связан с сокращением временного промежутка между рождениями (в связи с такими обусловленными модернизацией процессами, как сокращение продолжительности периодов табуирования сексуальных отношений между супругами после рождения ребенка или полное исчезновение подобных табу, а также уменьшение периода кормления грудью в связи с ростом доступности таких продуктов питания, которые могут выступать как замена материнского молока⁹). В подобном контексте радикальное падение смертности на ранних стадиях демографического перехода сопровождается столь же радикальным увеличением темпов демографического роста.

Необходимо подчеркнуть, что уравнение (17) не работает для участка ВВП на душу населения > \$3500. На этом "постмальтузианском" участке смертность быстро достигает своих предельно минимальных значений, а затем начинает медленно, но неуклонно расти из-за эффекта старения населения, в то время как рост таких переменных, как образование (и в осо-

⁹ Отметим, что на этом этапе речь идет не столько о специальном детском питании промышленного производства, а о разного рода кашах домашнего приготовления.

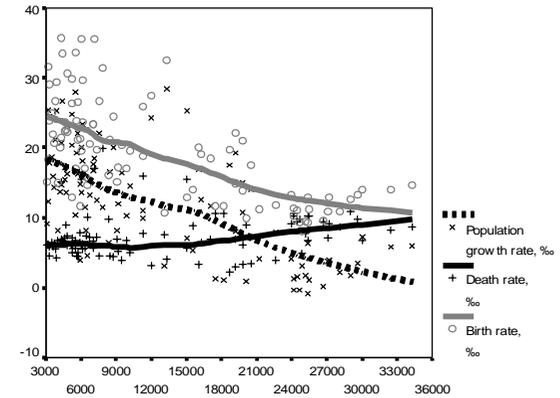
бности, женское образование), уровень развития систем социального образования или доступность и совершенность методов и средств планирования семьи, ведут к относительно быстрому падению рождаемости (см., например: Hollingsworth 1996; McMichael 2001; Bongaarts 2003; Коротаев, Малков, Халтурина 2005). В результате на этом участке дальнейший рост производства ВВП на душу населения ведет не к увеличению, а к самому существенному уменьшению темпов роста населения (см. Диаграмму 6):

Диаграмма 6. Соотношение между производством ВВП на душу населения (ось абсцисс), смертностью (%о, ось ординат), рождаемостью (%о, ось ординат) и естественным приростом населения (%о, ось ординат)



Данная картина выглядит еще более отчетливо для стран мира на 2001 г., так как между 1975 и 2001 гг. число стран, окончательно вышедших из первой фазы демографического перехода в "постмальтузианский" мир, значительно выросло (а на первой фазе осталось лишь меньшинство стран) (см., например, Диаграмму 7):

Диаграмма 7. Соотношение между производством ВВП на душу населения (в международных долларах 2001 г. в паритетах покупательной способности, ось абсцисс), смертностью (%о, ось ординат), рождаемостью (%о, ось ординат) и естественным приростом населения (%о, ось ординат), страны с производством ВВП на душу населения > \$3000 на 2001 г., диаграмма рассеивания с наложенными линиями Лоуесса¹⁰



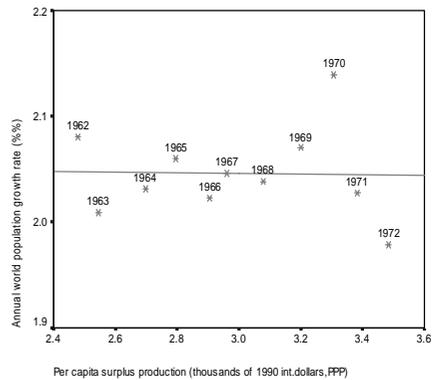
ПРИМЕЧАНИЕ: источник данных – World Bank 2004.

Достаточно примечательным здесь представляется и то обстоятельство, что как только мировое производство ВВП на душу населения приблизилось к \$3000 и превысило этот уровень (т.е. при $S \sim \$2500$), положительная корреляция между S и r сначала упала до нулевого уровня (см. Диа-

¹⁰ Эта диаграмма не учитывает данные по постсоциалистическим странам европейской части бывшего Советского Союза (включая Российскую Федерацию) и близким к ним государствам Восточной Европы, имеющим очень специфический характер демографического роста (или, точнее сказать, демографического упадка – см., например: Коротаев, Малков, Халтурина 2005: 302–329).

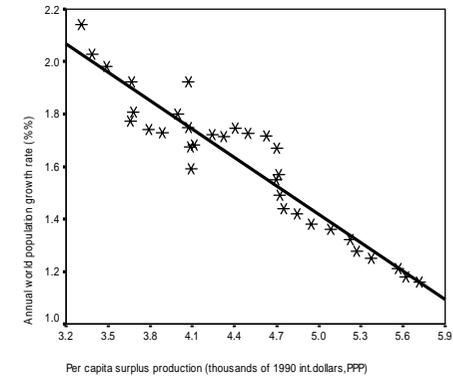
грамму 8); при $S > 3300$ ($g > 3700$) мы наблюдаем уже сильную отрицательную корреляцию (см. Диаграмму 9), а при $S > 4800$ ($g > 5200$) сила этой отрицательной корреляции начинает приближаться к своему максимальному значению (см. Диаграмму 10):

Диаграмма 8. Корреляция между производством ВВП на душу населения (в тысячах \$, ось абсцисс) и темпами роста населения (%%, ось ординат) для отрезка $\$2400 < S < \3500 (диаграмма рассеивания с наложенной линией регрессии)



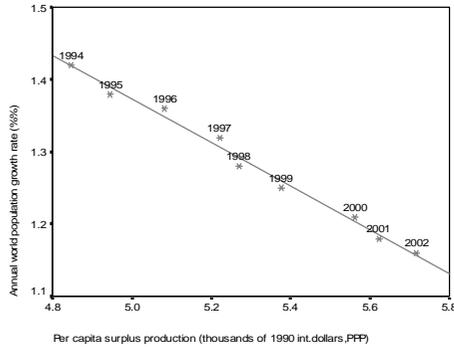
ПРИМЕЧАНИЯ: $R = -0,028$, $\alpha = 0,936$. Источник данных – Maddison 2001.

Диаграмма 9. Корреляция между производством ВВП на душу населения (в тысячах \$, ось абсцисс) и темпами роста населения (%%, ось ординат) для участка $S > \$3500$ (диаграмма рассеивания с наложенной линией регрессии)



ПРИМЕЧАНИЯ: $R = -0,946$, $\alpha = 0,0000000000000003$. Источники данных – Maddison 2001 (мировой ВВП на душу населения, 1970–1998 гг., и темпы роста населения мира, 1970–1988 гг.); World Bank 2004 (мировой ВВП на душу населения, 1999–2002 гг.); US Census Bureau 2005 (темпы роста населения мира, 1989–2002 гг.).

Диаграмма 10. Корреляция между производством ВВП на душу населения (в тысячах \$, ось абсцисс) и темпами роста населения (%%, ось ординат) для участка $S > \$4800$ (диаграмма рассеивания с наложенной линией регрессии)



ПРИМЕЧАНИЯ: $R = -0.995$, $\alpha = 0.00000004$. Источники данных – Maddison 2001 (мировой ВВП на душу населения, 1994–1998 гг.); World Bank 2004 (мировой ВВП на душу населения, 1999–2002 гг.); US Census Bureau 2005 (темпы роста населения мира).

Таким образом, для описания соотношения между экономическим и демографическим ростом на "постмальтузианском" этапе экономической истории (т.е. для подушевого ВВП $> \$3000$) уравнение (17) должно быть модифицировано, что вполне возможно (Коротаев, Малков, Халтурина 2005), но что выходит за рамки данной статьи, нацеленной на описание экономической и демографической макродинамики "мальтузианского" периода человеческой истории.

* * *

Как уже было замечено Кремером (Kremer 1993: 694), в сочетании с уравнением (10) уравнения типа (17) "при отсутствии технологического роста [т.е. при $T = const$] описывают чисто мальтузианскую систему, генерируя

динамику, сходную с логистическими кривыми, которые биологи используют для описания популяционной динамики животных" (а мы бы к биологам добавили еще и клиометристов, моделирующих доиндустриальные политико-демографические циклы [см., например: Неведов 2000, 2001, 2002a, 2002b, 2003; Nefedov 2004; Turchin 2003; Коротаев, Малков, Халтурина 2005]).

При постоянных относительных темпах технологического роста ($\frac{\dot{T}}{T} = r_T = const$) в рамках этой модели (объединяющей уравнения (9) и (17)) мы будем асимптотически иметь как постоянные темпы относи-

тельного роста населения ($\frac{\dot{N}}{N} = r_N = const$), и, таким образом, население будет в тенденции расти экспоненциально, так и постоянный S . Отметим также, что чем большее значение r_T мы возьмем, тем большее значение S мы получим.

Покажем это формально. Возьмем следующую систему:

$$\begin{aligned}
 G &= gTN^a \\
 (10) \quad \frac{dN}{dt} &= aSN \\
 (17) \quad \frac{dT}{dt} &= cT, \tag{18'}
 \end{aligned}$$

где $S = \frac{G}{N} - m$.

Уравнение (18') очевидным образом дает

$$T = T_0 e^{ct}.$$

Таким образом,
 $G = gT_0 e^{ct} N^a$,
 а следовательно,

$$\frac{dN}{dt} = a \left(\frac{gT_0 e^{ct} N^\alpha}{N} - m \right) N = agT_0 e^{ct} N^\alpha - amN.$$

Это уравнение известно как уравнение Бернулли:

$$\frac{dy}{dx} = f(x)y + g(x)y^\alpha, \text{ которое имеет следующее решение:}$$

$$y^{1-\alpha} = Ce^{F(x)} + (1-\alpha)e^{F(x)} \int e^{-F(x)} g(x) dx,$$

где $F(x) = (1-\alpha) \int f(x) dx$, а C – константа.

В рассмотренном выше случае мы имеем

$$N^{1-\alpha} = Ce^{F(t)} + (1-\alpha)e^{F(t)} \int e^{-F(t)} agT_0 e^{ct} dt,$$

где $F(t) = (1-\alpha) \int (-am) dt = (\alpha-1)amt$.

Таким образом, $N^{1-\alpha} = Ce^{(\alpha-1)amt} + (1-\alpha)agT_0 e^{(\alpha-1)amt} \int e^{-(\alpha-1)amt} e^{ct} dt$

$$N^{1-\alpha} = e^{-(1-\alpha)amt} \left(C + (1-\alpha)agT_0 \int e^{(c+(1-\alpha)am)t} dt \right)$$

$$N^{1-\alpha} = e^{-(1-\alpha)amt} \left(C + \frac{(1-\alpha)agT_0}{c + (1-\alpha)am} e^{(c+(1-\alpha)am)t} \right)$$

В результате мы получаем следующее уравнение для S :

$$S = \frac{gT_0 e^{ct} N^\alpha}{N} - m = gT_0 e^{ct} N^{\alpha-1} - m = \frac{gT_0 e^{(c+(1-\alpha)am)t}}{C + \frac{(1-\alpha)agT_0}{c + (1-\alpha)am} e^{(c+(1-\alpha)am)t}} - m$$

$$S = \frac{I}{\frac{C}{gT_0} e^{-(c+(1-\alpha)am)t} + \frac{(1-\alpha)a}{c + (1-\alpha)am}} - m$$

Так как, $c > 0$, а $(1-\alpha) > 0$, ясно, что $c + (1-\alpha)am > 0$.

Следовательно, $e^{-(c+(1-\alpha)am)t} \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Это значит, что $S \xrightarrow{t \rightarrow \infty} \frac{c + (1-\alpha)am}{(1-\alpha)a} - m$, или, наконец,

$$S \rightarrow \frac{c}{(1-\alpha)a} \text{ при } t \rightarrow \infty.$$

Таким образом, в растущих "мальтузианских" системах S может рассматриваться как индикатор темпов технологического роста. Действительно, в мальтузианских системах при отсутствии технологического роста демографический рост ведет к тому, что S стремится к 0, в то время как систематическое производство S оказывается в долгосрочной перспективе возможным только при условии систематического технологического роста.¹¹

Теперь заменим $\frac{\dot{T}}{T} = r_T = const$ кремеровским уравнением технологического роста (14) и проанализируем полученную модель:

$$G = aTN^a, \tag{9}$$

$$\frac{dN}{dt} = bSN, \tag{17}$$

¹¹ Подчеркнем, что речь идет именно о долгосрочной перспективе, ибо в более краткосрочной перспективе необходимо иметь в виду, что вполне регулярное производство S также наблюдалось и на фазах восстановительного роста доиндустриальных политико-демографических циклов (следовавших за фазами политико-демографического коллапса, в результате которого выжившая часть населения оказывалась обильно обеспеченной необходимыми ресурсами; собственно говоря, без регулярного производства S постколлапсные восстановления и не могли бы происходить). Однако после завершения фаз восстановительного роста дальнейшее производство значительных объемов S (а значит, и сохранение заметных темпов демографического роста) было возможно только при условии заметных темпов технологического роста (см., например: Коротаев, Малков, Халтурина 2005: 160–228). Отметим также, что S , производимый на начальных (восстановительных) фазах политико-демографических циклов, ни в какой степени не может объяснить тысячелетний тренд роста производства S , который наблюдался на протяжении многих веков еще до того, как большая часть населения мира перешла во вторую фазу демографического перехода (см., например: Maddison 2001), и который был обусловлен именно ускорением темпов технологического роста.

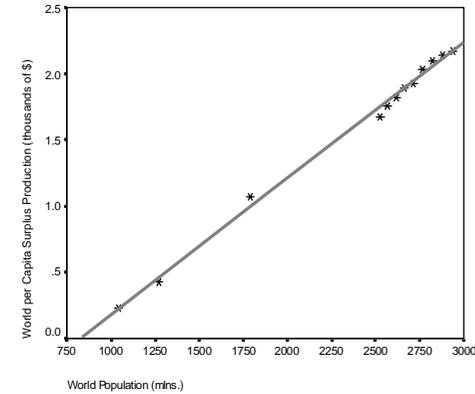
$$\frac{dT}{dt} = cNT \quad (14)$$

В этой модели вполне предсказуемым образом S может быть аппроксимировано как kr_T . С другой стороны, в рамках рассматриваемой модели r_T по определению прямо пропорционально N . Таким образом, эта модель генерирует не вполне самоочевидную (если только не сказать "не вполне правдоподобную") предикцию – что на протяжении "мальтузианско-кузнецовской" части человеческой истории мировое производство "избыточного" ВВП на душу населения должно было в тенденции быть прямо пропорционально численности населения мира. Данная гипотеза, конечно же, заслуживает того, чтобы быть эмпирически проверенной. Отметим сразу же, что наша эмпирическая проверка подтвердила обоснованность этой гипотезы.

Наша проверка для всего отрезка человеческой истории, для которого в нашем распоряжении имеются оценки и численности населения мира и мирового производства ВВП (т.е. для 1–2002 гг.¹²), дала следующие результаты: $R^2 = 0,98$, $\alpha < 10^{-16}$, в то время как для периода с наиболее ярко выраженной "мальтузианско-кузнецовской" динамикой (1820–1958 гг.) положительная корреляция между двумя рассматриваемыми переменными приближается к своему максимальному значению (см. Диаграмму 11):

¹² Источники данных – Maddison 2001 (население мира и мировой ВВП, 1–1998 гг.), World Bank 2004 (мировой ВВП, 1999–2002 гг.), the US Census Bureau 2005 (население мира, 1999–2002 гг.).

Диаграмма 11. Корреляция между численностью населения мира (ось абсцисс, в млн. чел.) и производством "избыточного" ВВП на душу населения (ось ординат, в тыс. \$) (1820–1958 гг.)



ПРИМЕЧАНИЕ: $R^2 > 0,996$, $\alpha < 10^{-12}$

Между прочим, так как в мальтузианско-кузнецовских системах S может быть аппроксимирован как kN , уравнение (17) может быть аппроксимировано как $dN/dt \sim k_1N^2$, или, естественно, как $dN/dt \sim N^2 / C$; таким образом, уравнение Капицы оказывается одной из возможных форм аппроксимированной записи популяционной динамики в рассматриваемой модели.

Итак, мы получаем следующие предварительные результаты:

$$r_T = k_2N;$$

таким образом:

$$dS/dt \sim kr_T/dt = k_3dN/dt.$$

Это означает, что для "мальтузианско-кузнецовской" части человеческой истории dS/dt может быть аппроксимирована как k_4dN/dt .

С другой стороны, так как dN/dt в исходной модели равняется aSN , это, конечно, заставляет предполагать, что для соответствующей части человеческой истории как экономическая, так и демографическая динамика Мир-Системы может быть аппроксимирована при помощи следующей неожиданно простой математической модели:¹³

$$\frac{dN}{dt} = aSN, \quad (17)$$

$$\frac{dS}{dt} = bNS, \quad (19)$$

где N это население Земли, а S – "избыточный" продукт, производимый при данном уровне технологического развития Мир-Системы на одного человека.

При этом для подсчета мирового ВВП (G) может быть использовано следующее уравнение:

$$G = mN + SN, \quad (20)$$

где m представляет собой количество произведенного продукта на одного человека, минимально необходимое для простого (с нулевой скоростью роста) воспроизводства населения Мир-Системы.

Отметим, что данная модель предполагает, что абсолютные темпы роста населения Земли (dN/dt) прямо пропорциональны абсолютным темпам роста производства избыточного продукта на душу населения (dS/dt), а значит (допуская величину необходимого продукта неизменной), и абсолютным темпам роста величины мирового ВВП на душу населения, при помощи которых мы и будем здесь измерять dS/dt . Кстати, если такая пропорция действительно существует, это поможет нам установить соотношение между коэффициентами a и b .

Итак, если предлагаемая нами модель соответствует реальности, следует ожидать, что в "мальтузианский период" человеческой истории абсолютная скорость роста населения Земли (dN/dt) была прямо пропорцио-

¹³ Стоит отметить, что данная модель описывает мальтузианско-кузнецкую динамику только в динамически сбалансированном состоянии (когда наблюдаемая численность населения мира находится в сбалансированном соответствии наблюдаемому уровню технологического развития). Для описания ситуаций с N , диспропорционально низким или высоким по отношению к наблюдаемому уровню технологического развития (а значит, и с диспропорционально высоким или низким S), естественно, потребуются неаппроксимированный вариант модели ((10) – (17) – (13)). Отметим, что в подобных случаях N будет расти ускоренными темпами или падать до уровня динамического технико-демографического эквиполюма, после чего траектория развития будет идти по модели (17) – (19).

нальна абсолютной скорости роста производства избыточного продукта на душу населения (dS/dt).

Соотношение между двумя этими величинами выглядит следующим образом (см. Диаграмму 12):

Диаграмма 12. Соотношение между среднегодовыми абсолютными темпами роста производства избыточного продукта на душу населения (S) и среднегодовыми абсолютными темпами роста населения Земли (N) (1 – 1973 г.), диаграмма рассеивания в логарифмическом масштабе с наложенной линией регрессии



ПРИМЕЧАНИЕ: Источник данных – Maddison 2001: 241, 264; данные по производству мирового ВВП на душу населения на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996, 2003, 2004; Meliantsev 2004).

Регрессионный анализ этих данных дает следующие результаты (см. Таблицу 1):

Таблица 1. Корреляция между среднегодовыми абсолютными темпами роста производства избыточного продукта на душу населения (S) и среднегодовыми абсолютными темпами роста населения Земли (N) (1 – 1950 гг.)¹⁴ (регрессионный анализ)

Модель	Нестандартизованный коэффициент		Стандартизованный коэффициент	t	Статистическая значимость (α)
	B	Ст. ошибка	B		
(Константа)	0,820	0,935		0,876	0,414
Среднегодовые абсолютные темпы роста производства избыточного продукта на душу населения (в международных \$ 1990 г. в ППС в год)	0,981	0,118	0,959	8,315	<0,001
Зависимая переменная: Среднегодовыми абсолютными темпами роста населения Земли (в млн. чел./год)					

R = 0,96, R² = 0,92

Отметим, что константа в рассматриваемом случае является очень небольшой в масштабе данных, находящейся в пределах стандартной ошибки от нуля, и статистически незначимой, что позволяет нам приравнять ее к нулю. В этом случае регрессионный анализ дает следующие результаты (см. Таблицу 2):

¹⁴ 1–1950 гг. были выбраны для регрессионного анализа, так как экономико-демографическая динамика до 1950 г. имела значительно более выраженный "мальтузианский" характер, чем в последующие два десятилетия, когда все большая часть населения мира выбирается из "мальтузианской ловушки", процент этого населения начинает превышать 50% всех обитателей Земли, а все большая часть избыточного продукта начинает направляться на цели, отличные от расширенного воспроизводства населения.

Таблица 2. Корреляция между среднегодовыми абсолютными темпами роста производства избыточного продукта на душу населения (S) и среднегодовыми абсолютными темпами роста населения Земли (N) (1 – 1950 гг.) (регрессионный анализ без введения константы)

Модель	Нестандартизованный коэффициент		Стандартизованный коэффициент	t	Статистическая значимость (α)
	B	Ст. ошибка	B		
Среднегодовые абсолютные темпы роста производства избыточного продукта на душу населения (в международных \$ 1990 г. в ППС в год)	1,04	0,095	0,972	10,94	<0,001
Зависимая переменная: Среднегодовыми абсолютными темпами роста населения Земли (в млн. чел./год)					

R = 0,97, R² = 0,945

Итак, как и следовало бы ожидать исходя из нашей модели, между абсолютными темпами роста населения Земли (dN/dt) и абсолютными темпами роста производства избыточного продукта на душу населения (dS/dt) в "мальтузианский" период истории человечества наблюдалась достаточно жесткая линейная зависимость, которая может быть математически описана в виде следующего уравнения:

$$\frac{dN}{dt} = 1,04 \frac{dS}{dt}, \quad (21)$$

где N – численность населения мира в млн. чел., а S – производство избыточного продукта на душу населения в год в международных долларах 1990 г. в паритете покупательной способности (ППС).

Отметим, что, в соответствии с моделью (17)-(19),

$$\frac{dN}{dt} = \frac{a}{b} \frac{dS}{dt}.$$

Таким образом, появляется возможность выразить коэффициент b через коэффициент a :

$$\frac{a}{b} = 1,04 ,$$

следовательно:

$$b = \frac{a}{1,04} = 0,96a .$$

В результате, для рассматриваемого периода представляется возможным следующим образом упростить вторую компактную макромодель, оставив в ней лишь один свободный коэффициент:

$$\frac{dN}{dt} = aSN , \tag{17}$$

$$\frac{dS}{dt} = 0,96 aNS . \tag{22}$$

Компьютерная симуляция с использованием данной модели (с началом в 1 г. н.э.)¹⁵ дала следующие результаты (см. Диаграмму 13):

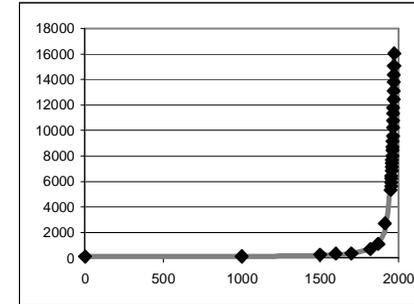
¹⁵ Симуляция производилась годичными итерациями с использованием следующей системы разностных уравнений, выведенных из двух вышеописанных дифференциальных уравнений:

$$N_{i+1} = N_i + aS_iN_i$$

$$S_{i+1} = S_i + 0,96aNS_i$$

Были выбраны следующие значения констант и начальных условий (в соответствие с оценками А. Мэддисона [Maddison 2001: 241, 261, 264]): $N_0 = 230,82$ (в миллионах); $a = 0,000009119$; $S_0 = 4,225$ международных долларов 1990 г. в паритетах покупательной способности/ППС (подсчитано по формуле $S = G/N - m$ на основании данных А. Мэддисона на 1 г. н.э.). Расчет мирового ВВП производился по формуле (20); при этом в качестве значения m (минимально необходимого годового продукта на одного человека) была принята величина 440 (в международных долларах 1990 г. в ППС). А. Мэддисон оценивает минимально необходимый годовой продукт на одного человека в простых обществах в \$400 (Maddison 2001: 260, 264). Однако уже в 1 г. н.э. большинство населения мира жило в достаточно сложных обществах, где даже воспроизводство населения на нулевом уровне требовало производства больших количеств продукта сверх минимально необходимого в простых обществах для поддержания функционирования разного рода инфраструктур (транспортной, юридической, административной и других такого рода систем), без чего даже простое воспроизводство населения в сложных обществах оказывается просто невозможным (см., например: Turchin 2003). Величина этого по сути дела необходимого продукта не может быть оценена менее, чем в 10% (ср. Maddison 2001: 259–260), что позволяет оценить m в \$440, и соответственно S_0 – в \$4,225.

Диаграмма 13. Динамика роста мирового ВВП (1 – 1973 гг.): наблюдаемые значения и значения, предсказанные моделью



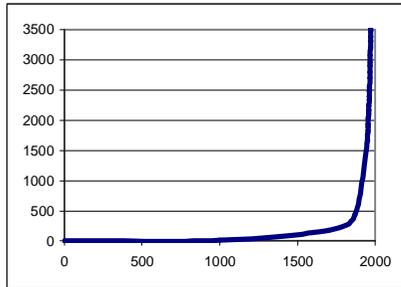
ПРИМЕЧАНИЕ: сплошная серая линия была сгенерирована моделью; черные маркеры соответствуют оценкам размеров мирового ВВП по А. Мэддисону (Maddison 2001: 261, 329) в миллиардах международных долларов 1990 г. (в ППС); данные по мировому ВВП на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996, 2003, 2004; Meliantsev 2004).¹⁶

Корреляция между предсказанными и наблюдаемыми значениями ВВП для данной симуляции имеет следующие характеристики: $R > 0,999$; $R^2 = 0,9986$; $\alpha \ll 0,0001$. Для населения мира данные характеристики имеют близкие значения: $R = 0,996$; $R^2 = 0,992$; $\alpha \ll 0,0001$.

И согласно нашей модели, и согласно наблюдаемым данным вплоть до 70-х гг. XX в. наблюдался гиперболический рост не только населения Земли (N), но и производства "избыточного" продукта в расчете на одного человека S (см. Диаграмму 14):

¹⁶ Отметим, что данные оценки в высокой степени близки к оценкам, полученным нами на основании подсчетов, независимо от А. Мэддисона произведенных В. А. Мельянцевым (1996, 2003, 2004; Meliantsev 2004).

Диаграмма 14. Гиперболический рост производства "избыточного" продукта в расчете на одного человека (S) до начала 70-х гг. XX в., в международных \$ 1990 г. в ППС

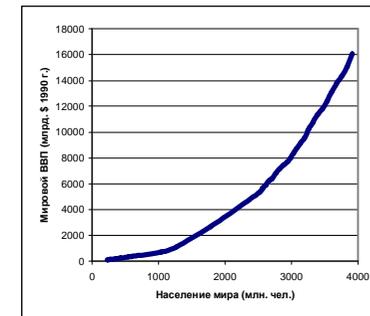


ПРИМЕЧАНИЕ: Источник данных – Maddison 2001: 241, 261; данные по мировому ВВП на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996, 2003, 2004; Meliantsev 2004).

Отметим, что даже если бы S не рос, а оставался бы стабильным, то мировой ВВП все равно бы рос гиперболически уже за счет одного только гиперболического роста населения мира. Однако наблюдающийся на интересующем нас отрезке человеческой истории гиперболический рост S ведет к тому, что рост населения мира здесь коррелирует с ростом мирового ВВП не линейно, а квадратично¹⁷ (см. Диаграмму 15):

¹⁷ Подробнее об этом говорится в следующей главе и Экскурсе 3.

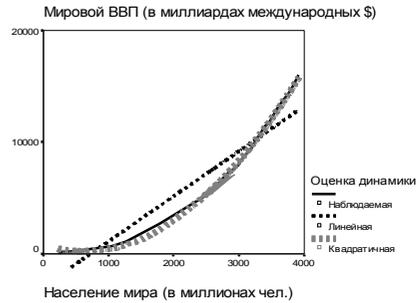
Диаграмма 15. Соотношение между динамикой роста населения Земли и мирового ВВП (1 – 1973 гг.)



ПРИМЕЧАНИЕ: Источник данных – Maddison 2001: 241, 261; данные по мировому ВВП на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996, 2003, 2004; Meliantsev 2004).

Действительно, проведенный регрессионный анализ показал почти полное ($R^2 = 0,998$) соответствие соотношения между численностью населения мира и мировым ВВП (для 1–1973 гг. н.э.) именно квадратичной модели (см. Диаграмму 16):

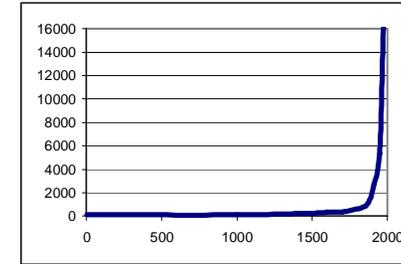
Диаграмма 16. Соотношение между динамикой роста населения Земли и мирового ВВП (1 – 1973 г.): оценки кривой



ЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ: $R^2 = 0,876, \alpha < 0,001$
 КВАДРАТИЧНАЯ РЕГРЕССИЯ: $R^2 = 0,998, \alpha < 0,001$

В результате, общая динамика роста мирового ВВП до 1973 г. была даже не гиперболической, а квадратично-гиперболической, оставляя далеко позади впечатляющую гиперболическую динамику роста населения мира (см. Диаграмму 17):

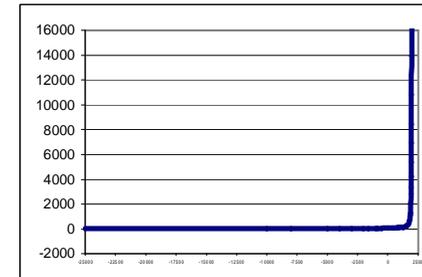
Диаграмма 17. Рост мирового ВВП с 1 г. н.э. до начала 70-х гг. XX в., в миллиардах международных \$ 1990 г. в ППС



ПРИМЕЧАНИЕ:
 Источник данных – Maddison 2001: 241, 261;
 данные по мировому ВВП на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996, 2003, 2004; Meliantsev 2004).

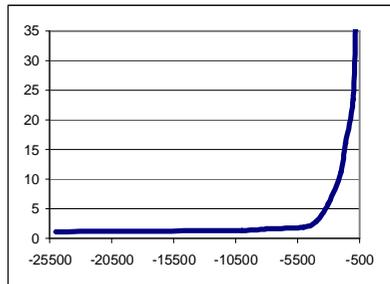
Особо впечатляюще динамика роста мирового ВВП будет выглядеть, если мы учтем и вполне, на наш взгляд, правдоподобные оценки движения этого показателя до 1 г. н.э., сделанные Дж. Б. Делонгом (DeLong 1998, см. Диаграмму 18):

Диаграмма 18. Рост мирового ВВП с 25000 г. до н.э. до начала 70-х гг. XX в., в миллиардах международных \$ 1990 г. в ППС



Мы отдаем себе отчет, что на данной диаграмме экономическая история человечества выглядит в некотором смысле несколько "скучно" – довременная эпоха представляется периодом практически полной экономической стагнации, на смену которой приходит взрывообразный современный экономический рост. На самом деле, последний просто не дает рассмотреть на приведенном выше графике то, что и многие участки довременной эпохи характеризовались относительно не менее драматическим динамизмом. Например, достаточно "рассмотреть под увеличением" кажущийся совершенно скучно прямым участком той же самой диаграммы до 800 г. до н.э. и мы увидим следующую полную самого драматического динамизма картину (см. Диаграмму 19):

Диаграмма 19. Рост мирового ВВП с 25000 г. до н.э. до 800 г. до н.э., в миллиардах международных \$ 1990 г. в ППС



Все дело здесь, конечно, в разнице масштабов. Экономический рост Мир-Системы в период "железной революции" был крайне стремительным относительно всех предшествующих эпох, но по оценкам Делонга в абсолютном выражении он составлял в этот период менее 10 млрд. долларов прироста за 100 лет. В настоящее же время мировой ВВП вырастает на ту же самую величину в среднем каждые три дня (World Bank 2004). В результате даже период относительно быстрого экономического роста Мир-Системы в эпоху "железной революции" кажется почти горизонтальной прямой рядом с участком современного экономического роста. Другими словами, ощущение довременной экономической стагнации, создавае-

мое Диаграммой 18, является в самом прямом смысле этого слова иллюзией, порождаемой именно квадратично-гиперболической тенденцией роста мирового ВВП до 1973 г.

Отметим, что выше мы упомянули о "квадратично-гиперболическом" росте мирового ВВП совсем не метафорически. Действительно, как уже было убедительно показано фон Ферстером, фон Хернером и Капицей, рост населения мира вплоть до 70-х гг. прошлого века прекрасно аппроксимируется следующим уравнением:

$$N = \frac{C}{t_0 - t} \quad (1)$$

Так как, согласно предложенной нами модели, S может быть аппроксимировано как kN , его долгосрочная динамика может быть аппроксимирована следующим уравнением:

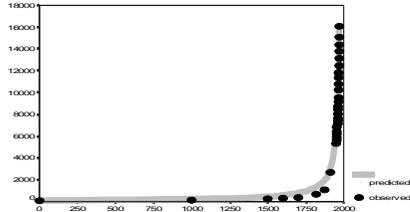
$$S = \frac{kC}{t_0 - t} \quad (23)$$

Таким образом, долгосрочная динамика наиболее динамичной компоненты мирового ВВП, SN , "мирового избыточного продукта", может быть аппроксимирована следующим образом:

$$SN = \frac{kC^2}{(t_0 - t)^2} \quad (24)$$

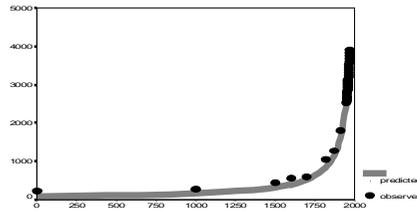
Это, конечно же, заставляет предполагать, что долгосрочная динамика мирового ВВП вплоть до начала 70-х гг. прошлого века должна лучше аппроксимироваться не простой, а квадратичной гиперболой. В самом деле, хотя динамика мирового ВВП за 1–1973 гг. н.э. совсем не плохо описывается простой гиперболической моделью (1) ($R = 0,9978$, $R^2 = 0,9956$, $\alpha \ll 0,0001$), степень данного соответствия заметно хуже того, что наблюдается для соответствия простой гиперболической модели динамики народонаселения мира за те же самые годы ($R = 0,9996$, $R^2 = 0,9991$, $\alpha \ll 0,0001$) (см. Диаграммы 20 и 21):

Диаграмма 20. Динамика мирового ВВП, 1–1973 гг. (в миллиардах международных долларов 1990 г. в паритетах покупательной способности): соответствие предикций ПРОСТОЙ гиперболической модели наблюдаемым данным



ПРИМЕЧАНИЯ: $R = 0,9978$, $R^2 = 0,9956$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Мэддисона (Maddison 2001); данные по производству мирового ВВП на душу населения на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996, 2003, 2004; Meliantsev 2004). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением: $G = \frac{227906,1}{1987 - t}$. Параметры C (227906,1) и t_0 (1987) определены методом наименьших квадратов.

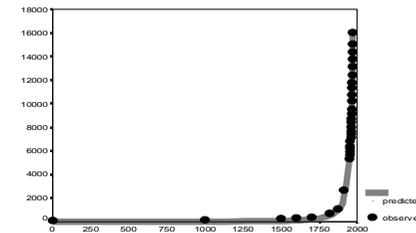
Диаграмма 21. Динамика численности населения мира, 1–1973гг. (в миллионах чел.): соответствие предикций ПРОСТОЙ гиперболической модели наблюдаемым данным



ПРИМЕЧАНИЯ: $R = 0,9996$, $R^2 = 0,9991$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Мэддисона (Maddison 2001). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением: $N = \frac{163158,78}{2014 - t}$. Параметры C (163158,78) и t_0 (2014) определены методом наименьших квадратов.

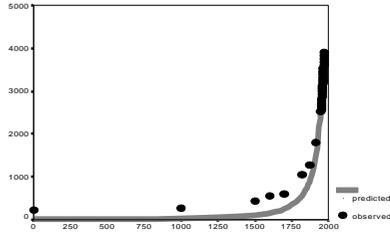
Однако квадратичная гиперболическая модель дает заметно лучшее (и собственно говоря, уже совсем не далекое от максимально возможного) соответствие наблюдаемой макродинамике мирового ВВП ($R = 0,9996$, $R^2 = 0,9991$, $\alpha \ll 0,0001$), но не численности населения мира ($R = 0,9982$, $R^2 = 0,9963$, $\alpha \ll 0,0001$), которая (как этого и следовало бы ожидать из предлагаемой нами теории) заметно лучше описывается простой гиперболической моделью (см. Диаграммы 20–23):

Диаграмма 22. Динамика мирового ВВП, 1–1973 гг. (в миллиардах международных долларов 1990 г. в паритетах покупательной способности): соответствие предикций КВАДРАТИЧНОЙ гиперболической модели наблюдаемым данным



ПРИМЕЧАНИЯ: $R = 0,9993$, $R^2 = 0,9986$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Мэддисона (Maddison 2001); данные по производству мирового ВВП на душу населения на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996, 2003, 2004; Meliantsev 2004). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением: $G = \frac{17749573,1}{(2006 - t)^2}$. Параметры C (17749573,1) и t_0 (2006) определены методом наименьших квадратов.

Диаграмма 23. Динамика численности населения мира, 1–1973гг. (в миллионах чел.): соответствие предикций КВАДРАТИЧНОЙ гиперболической модели наблюдаемым данным



ПРИМЕЧАНИЯ: $R = 0,9982$, $R^2 = .9963$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Мэддисона (Maddison 2001). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением: $N = \frac{33505220,7}{(2065 - t)^2}$. Параметры C (33505220,7) и t_0 (2065) определены методом наименьших квадратов.

Итак, как мы могли видеть, приведенные выше предельно простые математические модели способны объяснить 99,2–99,91 % всей экономической и демографической макродинамики мира на протяжении абсолютно большей части двух последних тысячелетий. Обнаруженные закономерности могут служить прекрасной иллюстрацией известного синергетического принципа, сформулированного Д. С. Чернавским: хаотическая динамика на микроуровне генерирует высокодетерминированное системное поведение на макроуровне (Чернавский 2004).

Чтобы описать поведение нескольких молекул газа в замкнутом сосуде нам потребуются крайне сложные математические модели, которые все равно не смогут достаточно точно предсказать состояние системы уже через секунду после начала эксперимента из-за неустраняемого хаотического компонента. Вместе с тем, поведение многих триллионов таких молекул может быть описано при помощи крайне простых уравнений, способных в высшей степени точно предсказать макродинамику всех основных базовых параметров (и именно из-за хаотического поведения, наблюдаемого на микроуровне).

По всей видимости, с аналогичным набором закономерностей мы сталкиваемся и в мире людей. Для того чтобы предсказать демографическое поведение отдельной семьи нам потребовались бы крайне сложные мате-

матические модели, которые смогли бы предсказать лишь очень небольшой процент актуальной вариации, и именно из-за неустраняемого хаотического компонента. Для математического описания поведения систем, включающих в себя на порядки большее число людей – городов, государств, цивилизаций – нам потребовались бы заметно более простые модели, обладающие, тем не менее, заметно более высокой предиктивной способностью. В свете сказанного вряд ли неожиданным представляется то обстоятельство, что наиболее простые закономерности, объясняющие исключительно высокий процент всей макровариации, обнаруживаются как раз на уровне социальной системы, самой большой из всех принципиально возможных – на уровне мира людей в целом, на уровне Мир-Системы.

Представляется, что применение принципа Чернавского позволяет повзрослому подойти к созданию общей теории социальной макроэволюции. Подход, до сих пор господствующий в социальном эволюционизме, основывается на следующем допущении – закономерности эволюции простых социальных систем должны быть заметно проще, чем закономерности эволюции сложных систем. Совершенно логичным выводом из этого, казалось бы, предельно самоочевидного допущения является то, что социологические исследователи должны начинать исследование с эволюционных закономерностей простых систем, и только после достижения полного понимания закономерностей эволюции простых систем имеет смысл переходить к изучению систем, действительно сложных.¹⁸

Мы полагаем, что именно этот подход в значительной степени и завел социоэволюционные исследования в тупик, выход из которого, на наш взгляд, может быть найден в рамках прямо противоположного подхода – от исследования простых законов развития сложных систем к изучению сложных закономерностей эволюции простых систем. Именно данное обстоятельство, по всей видимости, и объясняет то, почему законы истории были открыты так поздно. Ведь как мы могли видеть, законы истории все-таки существуют, и они могут иметь очень простое математическое выражение. Однако закономерности социальной эволюции, обладающие достаточным уровнем строгости для того, чтобы их можно было бы назвать именно законами социальной эволюции, законами истории, по всей видимости, обнаруживаются только на том уровне, до которого у математиче-

¹⁸ Главным исключением здесь, конечно же, является мир-системный подход (см., например: Braudel 1973; Wallerstein 1974; Frank and Gills 1994; Chase-Dunn and Hall 1997; Chase-Dunn et al. 2003, и т.д.). Однако исследования мир-системщиков до настоящего времени принесли лишь довольно ограниченные результаты, и при этом в значительной степени именно из-за того, что они избегали использовать стандартные научные методы (предполагающие математическую формализацию развиваемых рабочих гипотез с их последующим строгим эмпирическим тестированием) и в основе своей остались на уровне вербальных построений.

ски ориентированных историков, судя по всему, до сих пор не доходили руки, на уровне Мир-Системы в целом.

Литература

- Бородкин Л. И. 1999.** Историк и математические модели. *Исторические записки* 2. С. 60-87.
- Бородкин Л. И., В. Н. Владимиров и И. М. Гарскова. 2003.** Новые тенденции развития исторической информатики. По материалам XV международной конференции "История и компьютер". *Новая и новейшая история* 1. С. 117-128.
- Капица С. П. 1992.** Математическая модель роста населения мира. *Математическое моделирование* 4(6): 65-79.
- Капица С. П. 1999.** *Сколько людей жило, живет и будет жить на земле.* М.: Наука.
- Коротаев А. В., А. С. Малков, Д. А. Халтурина. 2005.** *Законы истории: Математическое моделирование исторических макропроцессов (Демография. Экономика. Войны).* М.: УРСС.
- Малинецкий Г. Г. 1996.** Нелинейная динамика – ключ к теоретической истории? *Общественные науки и современность* (4): 98-111.
- Малинецкий Г. Г. 1997.** Нелинейная динамика и историческая механика. *Общественные науки и современность* (2): 99-111.
- Мальтус Т. [1798] 1993.** *Опыт о законе народонаселения.* Петрозаводск: Петроком (Шедевры мировой экономической мысли. Т. 4).
- Мельяничев В. А. 1996.** *Восток и Запад во втором тысячелетии.* М.: МГУ.
- Мельяничев В. А. 2003.** Три века российского экономического роста. *Общественные науки и современность* (5): 84-95.
- Мельяничев В. А. 2004.** *Генезис современного (интенсивного) экономического роста.* М.: Гуманитарий.
- Нефедов С. А. 2000.** О законах истории и математических моделях. *Известия Уральского государственного университета* 15: 15-23.
- Нефедов С. А. 2001.** Метод демографических циклов. *Уральский исторический вестник* 7: 93-107.
- Нефедов С. А. 2002a.** Опыт моделирования демографического цикла. *Информационный бюллетень ассоциации "История и компьютер"* 29: 131-142.
- Нефедов С. А. 2002b.** О теории демографических циклов. *Экономическая история* 8: 116-121.
- Нефедов С. А. 2003.** Теория демографических циклов и социальная эволюция древних и средневековых обществ Востока. *Восток* (3): 5-22.
- Подлазов А. В. 2000.** *Теоретическая демография как основа математической истории.* М.: ИПМ РАН.
- Подлазов А. В. 2001.** *Основное уравнение теоретической демографии и модель глобального демографического перехода.* М.: ИПМ РАН.
- Подлазов А. В. 2002.** Теоретическая демография. Модели роста народонаселения и глобального демографического перехода. *Новое в синергетике. Взгляд в третье тысячелетие* / Ред. Г. Г. Малинецкий и С. П. Курдюмов, с. 324-345. М.: Наука.

- Розов Н. С. 1995.** Возможность теоретической истории: ответ на вызов Карла Поппера. *Вопросы философии* (12): 55-69.
- Розов Н. С. 2002.** *Философия и теория истории.* М.: Логос.
- Чернавский Д. С. 2004.** *Синергетика и информация (динамическая теория информации).* М.: УРСС.
- Шншков Ю. В. 2005.** Демографические похождения физика. *Общественные науки и современность* 2: 155-164.
- Aghion P., P. Howitt. 1992.** A Model of Growth through Creative Destruction. *Econometrica* 60: 323-352.
- Aghion P., P. Howitt. 1998.** *Endogenous Growth Theory.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Artzrouni M., J. Komlos. 1985.** Population Growth through History and the Escape from Malthusian Trap: A Homeostatic Simulation Model. *Genus* 41: 21-39.
- Bongaarts J. 2003.** Completing the Fertility Transition in the Developing World: The Role of Educational Differences and Fertility Preferences. *Population Studies* 57: 321-335.
- Boserup E. 1965.** *The Conditions for Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure.* Chicago, IL: Aldine.
- Braudel F. 1973.** *Capitalism and Material Life, 1400-1800.* New York, NY: Harper and Row.
- Cameron R. 1989.** *A Concise Economic History of World.* New York, NY: Oxford University Press.
- Chase-Dunn C., A. Alvarez, D. Pasciuti, A. Jorgenson. 2003.** Time-Mapping Globalization since the Iron Age: Three Thousand Years of Urbanization, Empire Formation and Climate Change. Paper presented at the Annual Meeting of the International Studies Association, Portland, February 27, 2003.
- Chase-Dunn C., T. Hall. 1997.** *Rise and Demise: Comparing World-Systems* Boulder, CO: Westview Press.
- Cohen J. E. 1995.** Population Growth and Earth's Carrying Capacity. *Science* 269(5222): 341-346.
- DeLong J. B. 1998.** Estimating World GDP, One Million B.C. – Present (http://www.jbradford-delong.net/TCEH/1998_Draft/World_GDP/Estimating_World_GDP.html).
- Diamond J. 1999.** *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies.* New York, NY: Norton.
- Durand J. D. 1977.** Historical Estimates of World Population: An Evaluation. *Population and Development Review* 3(3): 255-296.
- Earle T. K. 1997.** *How Chiefs Came to Power: The Political Economy of Prehistory.* Stanford, CA: Stanford University Press.
- Foerster H. von, P. Mora, L. Amiot. 1960.** Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. *Science* 132: 1291-1295.
- Frank A.G., B. Gills. 1994 (Eds.).** *The World System: 500 or 5000 Years?* London: Routledge.
- Grossman G., E. Helpman. 1991.** *Innovation and Growth in the Global Economy.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Habakkuk H. J. 1953.** English Population in the Eighteenth Century. *Economic History Review* 6: 117-133.

- Hoerner S. J. von. 1975.** Population Explosion and Interstellar Expansion. *Journal of the British Interplanetary Society* 28: 691–712.
- Hollingsworth W. G. 1996.** *Ending the Explosion: Population Policies and Ethics for a Humane Future*. Santa Ana, CA: Seven Locks Press.
- Johansen A., D. Sornette. 2001.** Finite-time Singularity in the Dynamics of the World Population and Economic Indices. *Physica A* 294(3–4): 465–502.
- Jones Ch. I. 1995.** R & D-Based Models of Economic Growth. *The Journal of Political Economy* 103: 759–784.
- Jones, Ch. I. 2003.** Population and Ideas: A Theory of Endogenous Growth. *Knowledge, Information, and Expectations in Modern Macroeconomics: In Honor of Edmund S. Phelps*, ed. by P. Aghion, R. Frydman, J. Stiglitz, and M. Woodford, pp. 498–521. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Jones Ch. I. 2005.** The Shape of Production Functions and the Direction of Technical Change. *The Quarterly Journal of Economics* 120: 517–549.
- Komlos J., S. Nefedov. 2002.** A Compact Macromodel of Pre-Industrial Population Growth. *Historical Methods* 35: 92–94.
- Kremer M. 1993.** Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics* 108: 681–716.
- Kuznets S. 1960.** Population Change and Aggregate Output. *Demographic and Economic Change in Developed Countries*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Maddison A. 1995.** *Monitoring the World Economy, 1820–1992*. Paris: OECD.
- Maddison A. 2001.** *Monitoring the World Economy: A Millennial Perspective*. Paris: OECD.
- Malthus T. 1978 [1798].** *Population: The First Essay*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- McMichael T. 2001.** *Human Frontiers, Environments, and Disease. Past Patterns, Uncertain Futures*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Meliantsev V. A. 2004.** Russia's Comparative Economic Development in the Long Run. *Social Evolution & History* 3: 106–136.
- Nefedov S. A. 2004.** A Model of Demographic Cycles in Traditional Societies: The Case of Ancient China. *Social Evolution & History* 3(1): 69–80.
- Postan M. M. 1950.** Some Economic Evidence of Declining Population in the Later Middle Ages. *Economic History Review*. 2nd ser. 2: 130–167.
- Rozov N. S.** An Apologia for Theoretical History. *History and Theory* 36: 336–352.
- Simon J. 1977.** *The Economics of Population Growth*. Princeton: Princeton University Press.
- Simon J. 1981.** *The Ultimate Resource*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Simon J. 2000.** *The Great Breakthrough and its Cause*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Tsirel S. V. 2004.** On the Possible Reasons for the Hyperexponential Growth of the Earth Population. *Mathematical Modeling of Social and Economic Dynamics* / Ed. by M. G. Dmitriev and A. P. Petrov, pp. 367–369. Moscow: Russian State Social University, 2004.
- Turchin P. 2003.** *Historical Dynamics: Why States Rise and Fall*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- U.S. Bureau of the Census. 2005.** *World Population Information* (<http://www.census.gov/ipcf/>).

- Wallerstein I. 1974.** *The Modern World-System. Vol.1. Capitalist Agriculture and the Origin of the European World-Economy in the Sixteen Century*. New York: Academic Press.
- World Bank. 2004.** *World Development Indicators*. Washington, DC: World Bank.