

**Демографические дискуссии. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИСТОРИЧЕСКОЙ ДЕМОГРАФИИ.
(Как хаос на микроуровне порождает предсказуемую динамику на макроуровне)**

Автор: А. В. КОРОТАЕВ, Д. С. ЧЕРНАВСКИЙ, А. С. МАЛКОВ, Н. М. ЧЕРНАВСКАЯ

В полемике между М. Клуптом и Ю. Шишковым, с одной стороны, и А. Вишневым и С. Капицей - с другой, нам несколько ближе позиция последних [Клупт, 2005; Шишков, 2005; Вишневский, 2005; Капица, 2005]. Продолжая разговор на эту тему, надо учитывать, что развивающиеся системы, в том числе общество, могут рассматриваться как на микро-, так и на макроуровне. На микроуровне может обнаруживаться множество отклонений от динамики, предсказанной макромоделами социальной эволюции (например, моделями демографического перехода или гиперболического роста населения Земли). Но способны ли подобные отклонения опровергнуть закономерности, описываемые соответствующими макромоделами?

Подчеркнем, что разделение на микро- и макроуровень условно и зависит от специфики и целей исследования. Биохимия описывает на макроуровне объекты меньшего масштаба, чем общественные науки - на микроуровне. Для последних микроуровень - поведение семьи (или клана), макроуровень - эволюция страны, цивилизации или даже всего мира. Часто высказывается мнение о том, что системы на микроуровне просты, в отличие от более сложных макросистем. Однако термины "простота" и "сложность" не очень четко определены применительно к реальным системам, много лучше - применительно к математическим моделям соответствующих процессов. В этом случае сложность определяется числом уравнений и параметров, необходимых для описания процесса с заданной точностью и в соответствии с поставленной целью. При этом, вопреки утвердившемуся мнению, модели макросистем часто оказываются *проще*, чем модели на микроуровне.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты NN 04 - 06 - 80225, 03 - 06 - 80277 и 02 - 06 - 80219).

Коротаев Андрей Витальевич - доктор исторических наук, профессор Российского государственного гуманитарного университета.

Чернавский Дмитрий Сергеевич - доктор физико-математических наук, заведующий сектором теоретической физики Физического института им. П. Н. Лебедева РАН.

Малков Артемий Сергеевич - аспирант Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН.

Чернавская Нина Михайловна - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского вычислительного центра Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

В развивающихся системах именно на микроуровне часто возникают хаотические состояния. Более того, хаотические стадии - необходимое условие развития, поскольку так рождается новая информация [Чернавский, 2004]. Хаос возникает, когда детерминированное поведение становится неустойчивым. Мерой неустойчивости в динамических системах являются числа Ляпунова λ (точнее, то из них, реальная часть которого положительна и максимальна - λ_{\max}). Именно последнее определяет темп экспоненциального нарастания малых случайных отклонений от детерминированного поведения. В результате неустойчивости детерминированное описание системы через определенное время τ теряет силу. Это время называется горизонтом прогнозирования и связано с величиной λ_{\max} простым соотношением: $\tau \approx 1/\lambda_{\max}$. За горизонтом прогнозирования возможны лишь вероятностные предсказания. Можно оценить вероятность того, что некая величина x , характеризующая систему, примет определенное значение. В большинстве случаев эти вероятности $P(x)$ распределены нормально. В состоянии хаоса флуктуации со временем затухают. Характерное время затухания флуктуации совпадает с "горизонтом прогнозирования", то есть с величиной τ .

В макросистеме, состоящей из N 1 микросистем относительные отклонения от среднего уменьшаются

пропорционально $1/\sqrt{N}$. Это обстоятельство хорошо известно, и именно оно позволяет при описании макросистем ограничиться средними характеристиками. Подчеркнем, что это справедливо лишь в случае, когда флуктуации достаточно быстро затухают (то есть за горизонтом прогнозирования). Примером таких систем можно считать термодинамически равновесное состояние идеального газа. В этом случае флуктуации затухают действительно быстро ($\tau \approx 10^{-13}$ сек.) и число частиц действительно велико ($N \approx 10^{23}$). Однако во многих реальных системах эти условия соблюдаются далеко не всегда. Если неустойчивости развиваются медленно и горизонт прогнозирования велик, флуктуации макросистемы затухают столь же медленно, а отклонения от средних значений макросистемы уже не описываются нормальным распределением. Вероятность больших флуктуации при этом существенно больше, чем в случае, когда флуктуации затухают быстро. Иными словами, даже усредненные характеристики макросистемы в данном случае ведут себя почти хаотически. Но слабая неустойчивость и большой горизонт прогнозирования поведения микросистем означают, что они являются почти детерминированными.

Приведем для иллюстрации пример простой физической системы. Рассмотрим вещество (например, воду), которое при высокой температуре находится в газообразном состоянии. При этом расстояния между молекулами достаточно велики, и отражения их друг от друга приводят к глобальной неустойчивости. Предсказать поведение каждой молекулы невозможно, несмотря на то, что законы их взаимодействия хорошо известны. Тем не менее на макроуровне плотность пространственно однородна, а флуктуации плотности малы. При понижении температуры происходит конденсация, образуются капли или кристаллики. В них расстояния между молекулами и длины свободного пробега малы. Траектории молекул предсказуемы (детерминированы). Однако в этом случае флуктуации плотности на макроуровне сильно возрастают, и предсказать, где именно возникнет капля (или кристаллик), практически невозможно.

Из сказанного следует парадоксальный вывод: хаос на микроуровне стабилизирует усредненные характеристики макросистемы, что позволяет описывать их (в этих терминах) детерминистически. Напротив, детерминистическое поведение микросистем порождает большие флуктуации средних величин макросистемы, то есть способствует их хаотизации¹. Итак, *хаотическая динамика на микроуровне генерирует высокодетерминированное системное поведение на макроуровне*.

По всей видимости, с аналогичным набором закономерностей мы сталкиваемся и в мире людей. Для того чтобы предсказать демографическое поведение отдельной се-

¹ Применительно к физическим системам см. [Чернавский, Чернавская, 1999].

мы, потребовались бы крайне сложные математические модели, причем из-за неустранимого хаотического компонента может быть предсказан лишь очень небольшой процент актуальной вариации. Для математического описания поведения систем, включающих в себя на порядки большее число людей, - городов, государств, цивилизаций - нужны заметно более простые модели, обладающие, тем не менее, заметно более высокой предиктивной способностью. В свете сказанного следует ожидать, что наиболее простые динамические социальные закономерности, объясняющие исключительно высокий процент всей макровариации, обнаружатся как раз на уровне самой большой социальной системы - на уровне человеческого мира, на уровне мир-системы в целом. Проверим, так ли обстоят дела в реальности.

Предсказуемость роста населения мира

Уже достаточно давно был открыт тот факт, что для населения мира вплоть до 1960-х гг. был характерен гиперболический рост. Предложено несколько математических моделей, описывающих последний (см., например, [Foerster, Mora, Amiot, 1960; Cohen, 1995; Johansen, Somette, 2001]). Некоторые из этих моделей вполне компактны [Капица, 1992; 1999], но не вполне объясняют механизмы роста, что, на наш взгляд, и дало определенные основания для некоторых критических замечаний Шишкова; модель М. Кремера содержит такое объяснение, но, на наш взгляд, неоправданно сложна [Kremer, 1993]². Предлагаемая нами первая компактная макро модель гиперболического роста населения исходит из следующих допущений:

- на протяжении большей части существования человечества рост его численности на каждый данный момент времени ограничен потолком несущей способности Земли, обусловленным наблюдаемым в данный момент времени уровнем развития жизнеобеспечивающих технологий;

- потолок несущей способности Земли повышался в результате развития жизнеобеспечивающих технологий. Следовательно, на протяжении большей части существования человечества скорость роста его численности была прямо пропорциональна темпам развития этих технологий;

- относительные темпы развития жизнеобеспечивающих технологий прямо пропорциональны численности населения Земли ("чем больше людей, тем больше изобретателей"); то есть при прочих равных условиях рост населения вдесятеро будет в тенденции обеспечивать рост в десять раз числа изобретений сопоставимого уровня; при этом абсолютные темпы технологического развития также пропорциональны и самому уровню развития технологий³.

Самым простым способом математического моделирования данных допущений представляется следующая (и, насколько нам известно, ранее не предлагавшаяся) система из двух дифференциальных уравнений:

$$dN/dt = a(bK-N)N, (1)$$

$$dK/dt = cNK, (2)$$

где N - население Земли, K - уровень технологического развития, bK соответствует потолку несущей способности Земли при данном уровне развития жизнеобеспечивающих технологий.

² Модель Д. Коуэна, на наш взгляд, является ухудшенной модификацией модели М. Кремера. Наименее удачна модель А. Джохансена и Д. Сорнетта, которая не обладает ни компактностью моделей Х. фон Ферстера и Капицы, ни объяснительной силой модели Кремера.

³ Об основаниях этих допущений см. [Бродель, 1986; Malthus, 1978; Habakkuk, 1953; Kuznets, 1960; Kremer, 1993; Komlos, Nefedov, 2002].

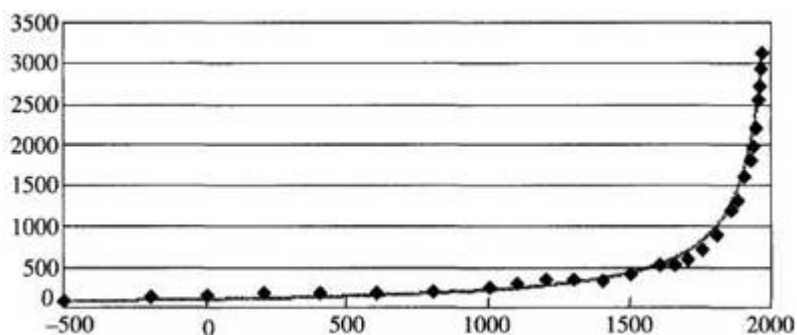


Диаграмма 1. Динамика роста населения Земли (500 г. до н.э. -1962 г. н.э.): наблюдаемые значения и значения, предсказанные моделью.

Сплошная серая линия была сгенерирована моделью; черные маркеры соответствуют оценкам численности населения мира по М. Кремеру [Kremer, 1993] для 500 г. до н.э. -1950 г. н.э. и данным Бюро переписей США [U.S... 2004] по населению мира для 1950 - 1962 гг.

Компьютерная симуляция с использованием данной модели с началом в 500 г. до н.э.⁴ дала следующие результаты (см. диаграмму 1).

Модель демонстрирует высокий уровень соответствия с другими оценками динамики численности народонаселения мира [Thomlinson, 1975; Durand, 1977; McEvedy, Jones, 1978; Biraben, 1980; Haub, 1995; UN... 2004; World... 2004]. Корреляция между предсказанными и наблюдаемыми значениями для данной

симуляции имеет следующие характеристики: $R = 0,9983$; $R^2 = 0,9966$; $a = 0,0001$. Еще более высокая корреляция была получена при компьютерной симуляции с началом в 1650 г. (до 1962 г.)⁵: $R = 0,9989$; $R^2 =$

$0,9978$; $a = 0,0001$. Симуляция с началом в 25000 (а точнее в 24 939) г. до н.э. дала несколько более

низкий, но все равно исключительно высокий уровень корреляции: $R = 0,981$; $R^2 = 0,962$; $a = 0,0001$ ⁶.

Отметим, что наряду с прочим данная модель объясняет, почему абсолютная скорость роста населения Земли до 1962 г. в тенденции была пропорциональна квадрату численности населения ($dN/dt = aN^2$), что обнаружено Капицей [Капица, 1992]. Действительно, рост населения мира (ЛЮ, например, с 10 до 100 млн. человек подразумевает, что и уровень развития жизнеобеспечивающих технологий (K) вырос приблизительно

⁴ Симуляция производилась годовыми итерациями с использованием следующей системы разностных уравнений, выведенных из двух вышеописанных дифференциальных уравнений:

$$K_{i+1} = K_i + cN_i K_i$$

$$N_{i+1} = N_i + a(bK_{i+1} - N_i)N_i$$

Были выбраны следующие значения констант и начальных условий (в соответствии с имеющимися историческими оценками): $N = 0,01$ десятков млрд. (то есть 100 млн); $a = 1,0$; $b = 1,0$; $K = 0,01$; $c = 0,04093$. Значение 1,0 было придано коэффициентам a и b для упрощения подсчетов; таким образом, в наших симуляциях с использованием первой макромодели значение K измерялось непосредственно как число людей, которых мир-система Земли может обеспечить средствами к существованию при данном уровне развития технологии (K).

⁵ Для данной симуляции были выбраны следующие значения констант и начальных условий (в соответствии с имеющимися историческими оценками): $N = 0,0545$ десятков млрд. (то есть 545 млн); $a = 1,0$; $b = 1,0$; $K = 0,0545$; $c = 0,05135$.

⁶ Компьютерная симуляция была начата в 24 939 г. до н.э. и проведена с использованием вышеописанных разностных уравнений при помощи 269 вековых итераций с окончанием в 1962 г. н.э. Для данной симуляции были выбраны следующие значения констант и начальных условий: $N = 0,00334$ млрд. (то есть 3,34 млн); $a = 1,0$; $b = 1,0$; $K = 0,00334$; $c = 2,13$. Уровень расхождения оценок численности населения мира в более раннюю эпоху слишком велик, что делает симуляции бессмысленными.

в десять раз. В то же время, 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 $10 \cdot 10 = 100$ раз в соответствии с уравнением (2) макромоделей. А так как N стремится к K - в соответствии с уравнением (1) макромоделей - 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.

Во второй модели ограничение роста населения потолком несущей способности Земли задается способом, несколько отличным от использованного в первой макромоделе: уровень технологического развития K измеряется через "избыточный" продукт, производимый при данном уровне технологического развития мир-системы на одного человека (K_2). "Избыточный продукт" понимается как разность между актуально произведенным продуктом и продуктом, минимально необходимым для простого воспроизводства населения (с нулевой скоростью его роста).

Это позволяет получить компактную макромоделю, дающую предикцию динамики как населения мира, так и мирового валового внутреннего продукта (ВВП):

$$dN/dt = aNK_2, \quad (3)$$

$$dK_2/dt = bK_2 N. \quad (4)$$

При этом для подсчета мирового ВВП может быть использовано уравнение

$$G = cN + K_2 N, \quad (5)$$

где c представляет собой количество произведенного продукта на одного человека, минимально необходимое в мальтузианском контексте для простого (с нулевой скоростью роста) воспроизводства населения мир-системы.

Компьютерная симуляция с использованием данной модели (с началом в 1 г. н.э.)⁷ дала следующие результаты (см. диаграмму 2).

Отметим, что данные оценки в высокой степени близки к оценкам, полученным нами на основании подсчетов, независимо от А. Мэддисона произведенных В. Мельянцевым [Мельянецев, 1996; 2003; 2004]. Корреляция между предсказанными и наблюдае-

⁷ Симуляция производилась годичными итерациями с использованием следующей системы разностных уравнений, выведенных из двух вышеописанных дифференциальных уравнений (где K исчисляется вторым способом, то есть речь идет о K_2):

$$N_{i+1} = N_i + aK_i,$$

$$K_{i+1} = K_i + bN_i K_i.$$

Были выбраны следующие значения констант и начальных условий (в соответствии с оценками А. Мэддисона [Maddison, 2001, p. 241, 261, 264]): $N_0 = 230,82$ (в млн. человек); $a = 0,000009119$; $b = 0,000008754$; $K_0 = 4,225$ международных долл. 1990 г. в паритетах покупательной способности/ППС (подсчитано по формуле $K_2 = G/N - c$ на основании данных Мэддисона на 1 г. н.э.). Расчет мирового ВВП производился по формуле (5); при этом в качестве значения c (минимально необходимого годового продукта на одного человека) была принята величина 440 (в международных долл. 1990 г. в ППС). Мэддисон оценивает минимально необходимый годовой продукт на одного человека в простых обществах в 400 долл. [Maddison, 2001, p. 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 subsystem), 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% [Maddison, 2001, p. 259 - 260], что позволяет оценить c в 440 долл., и соответственно K_0 - в 4,225 долл.

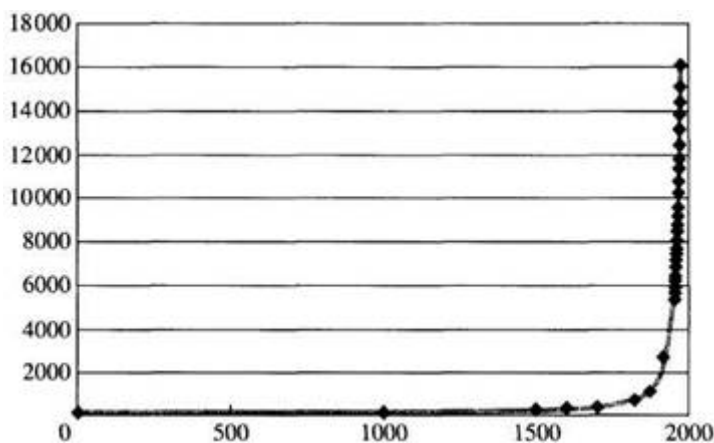


Диаграмма 2. Динамика роста мирового ВВП (1 - 1973 гг., в млн. международных долл. 1990 г. в паритетах покупательной способности). Наблюдаемые значения и значения, предсказанные моделью.

Сплошная серая линия была сгенерирована моделью; черные маркеры соответствуют оценкам размеров мирового ВВП по А. Мэддисону [Maddison, 2001, р. 261, 329] в млрд. международных долл. 1990 г. (в ППС).

Диаграмма 3. Демографическая динамика Китая (700 г. до н.э. -2003 г. н.э., в млн. человек).

Источники: [Мельянцев, 1996; Нефедов, 2003; Bielenstein, 1947; 1986; Durand, 1960; Ho, 1959; Lee, 1921; Nefedov, 2004; Zhao, Xie, 1988; U.S... 2004].

мыми значениями ВВП для данной симуляции имеет следующие характеристики: $R = 0,997$; $R^2 = 0,993$; а

0,0001. Для населения мира данные характеристики имеют следующие значения: $R = 0,996$; $R^2 = 0,992$;

а 0,0001. Итак, мы столкнулись с *исключительно высокодетерминированным* поведением на уровне мир-системы. Имеются основания полагать, что оно в высокой степени является порождением микродинамического хаоса.

Действительно, рассмотрим, например, долгосрочную динамику населения Китая - страны с хорошо документированной демографической историей (см. диаграмму 3).

При первом взгляде на диаграмму 3 в глаза бросается серия демографических циклов с ярко выраженной хаотической компонентой. Аналогичным образом долгосрочная демографическая динамика выглядит и для других стран и регионов мира (см. [Нефедов, 2003]). Почему же на уровне мир-системы хаотическая компонента выражена столь слабо? Объяснение здесь очень простое. Возьмем, например, вторую декаду I в. н.э., когда в Китае происходит демографический коллапс [Bielenstein, 1986]. Почему это событие слабо отражается на демографической динамике мир-системы? Дело в том, что в то же время интенсивно растет население в Средиземноморье, в высокой степени компенсируя убыль населения в Китае [Turchin, 2003]. Во второй половине VI в., напротив, интенсивный рост населения Китая будет в высокой степени компенсировать сокращение населения в Средиземноморье. В результате в I тыс. н.э. население различных регионов мир-системы проходит через серию демографических циклов, флуктуируя около крайне медленно повышающегося потолка несущей способности Земли. В каждый данный момент времени мы обнаружим некоторое число популяций, превысивших потолок региональной несущей способности, находящихся в преддверии демографического коллапса; другая часть будет находиться ниже потолка несущей способности, в состоянии восстановительного роста и т.д. В результате в каждый данный момент демографической истории мир-системы (по крайней мере, до выхода заметной части ее населения во вторую фазу демографического перехода) население мир-системы с очень высокой вероятностью будет иметь численность, приблизительно соответствующую наблюдаемому значению потолка несущей способности Земли, а значит, и близкую значению, предсказанному компактной макромоделью.

Предсказуемость демографической динамики Китая

Отметим, что при всей внешней хаотичности историческая динамика Китая, в свою очередь, имеет необычно высокодетерминированный характер. Хотя ранее высказывалось мнение о том, что гиперболическая тенденция роста прослеживается только на уровне мир-системы в целом, а не на уровне отдельных стран, для Китая последняя тенденция прослеживается вполне определенно, на фоне циклической динамики. Линейная регрессия дает здесь статистически значимую ($\alpha < 0,001$), но довольно слабую корреляцию ($R^2 = 0,398$)⁸. Экспоненциальная регрессия дает здесь заметно более высокую корреляцию ($R^2 = 0,685$, $\alpha < 0,001$) (см. диаграмму 4).

Однако даже самая простая модель гиперболического роста⁹ дает несравненно более высокую корреляцию

между данными, предсказанными моделью, и наблюдаемыми данными ($R^2 = 0,968$, $\alpha = 0,001$ ¹⁰) (см. диаграмму 5). Данный тренд, конечно же, особенно ощутим, если мы рассматриваем демографическую историю Китая на всем его протяжении (то есть включая и современный период). Однако если рассматривать только досовременную историю Китая (до 1852 г., то есть до реального начала Тайпинского восстания), мы сможем обнаружить гиперболическую тенденцию роста и на этом участке китайской демографической истории (см. диаграммы 6 и 7).

С каким типом тренда мы имеем дело в этом случае? И на этот раз линейная регрессия дает (для 57 - 1851 гг. н.э.) статистически значимые результаты ($R^2 = 0,469$, $\alpha < 0,001$). Экспоненциальная регрессия снова дает еще более сильную корреляцию ($R^2 = 0,600$, $\alpha < 0,001$) (см. диаграмму 7). Однако и на этот раз даже самая простая модель гипербо-

⁸ Все регрессионные анализы (как для индустриального, так и для доиндустриального периодов) проводились начиная с 57 г. н.э.

⁹ $r_i = r_{i-1} N_i / N_{i-1}$, где r_i - относительный рост населения в год i ; r_{i-1} - относительный рост населения в предшествующем году; N_i - численность населения в начале года i , а N_{i-1} - численность населения в начале предшествующего года.

¹⁰ Собственно говоря, если быть более точными, статистическая значимость корреляции достигает в этом случае астрономического уровня: $1,67 \cdot 10^{-19}$.

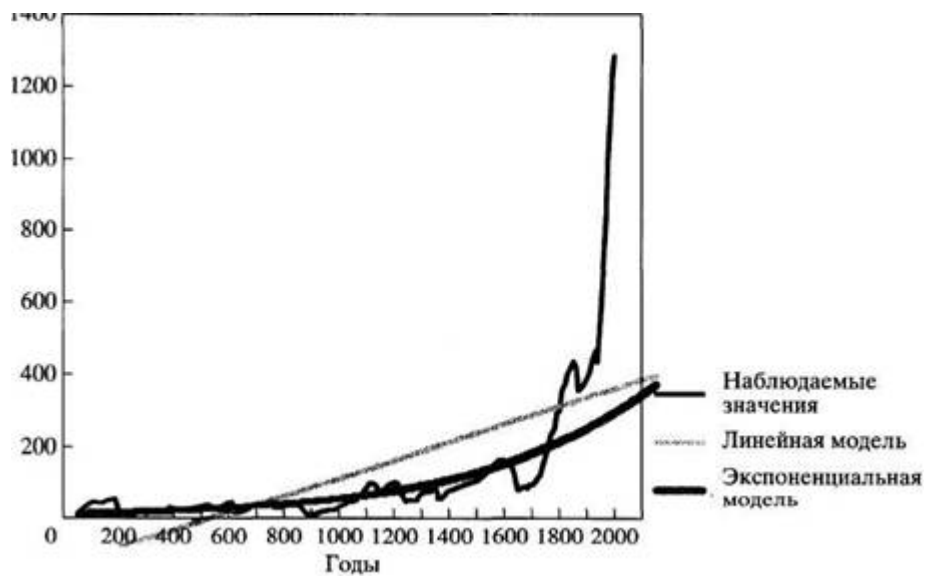


Диаграмма 4. Оценки кривой тренда исторической демографии Китая, 57 - 2003 гг. н.э. (линейная и экспоненциальная модели).

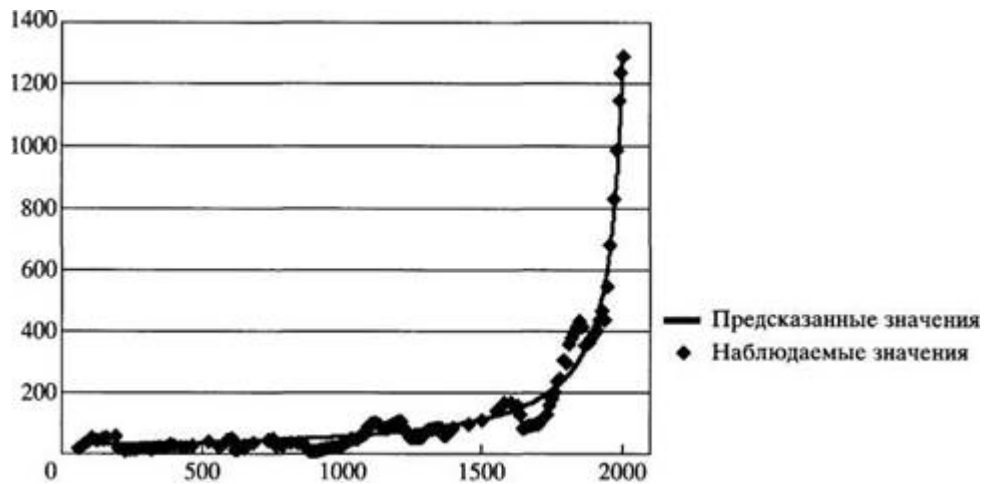


Диаграмма 5. Популяционная динамика Китая (57 - 2003 гг. н.э.), корреляция между наблюдаемыми значениями и значениями, предсказанными моделью гиперболического роста.

лического роста дает несравненно более высокую корреляцию между данными, предсказанными моделью, и наблюдаемыми данными ($R^2 = 0,968$, $\alpha = 0,001$) (см. диаграмму 8).

Итак, как мы видим, историческая демография Китая может рассматриваться в качестве *особо детерминированной* в том отношении, что законы ее динамики наиболее близки к высоко детерминированным паттернам эволюции мир-системы.

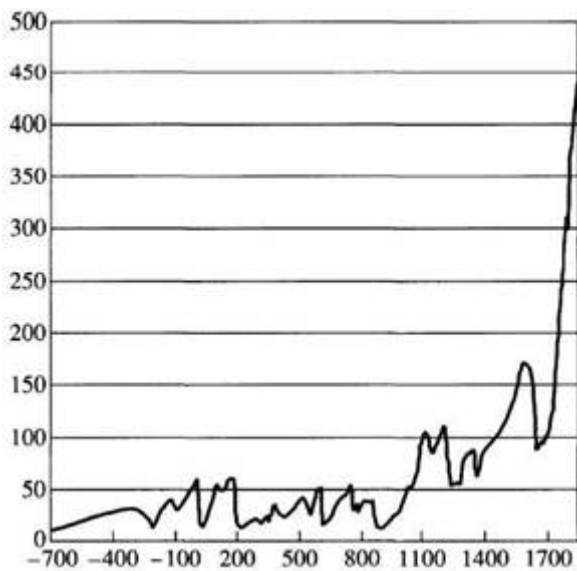


Диаграмма 6. Популяционная динамика досовременного Китая (700 г. до н.э. 1851г. н.э.).

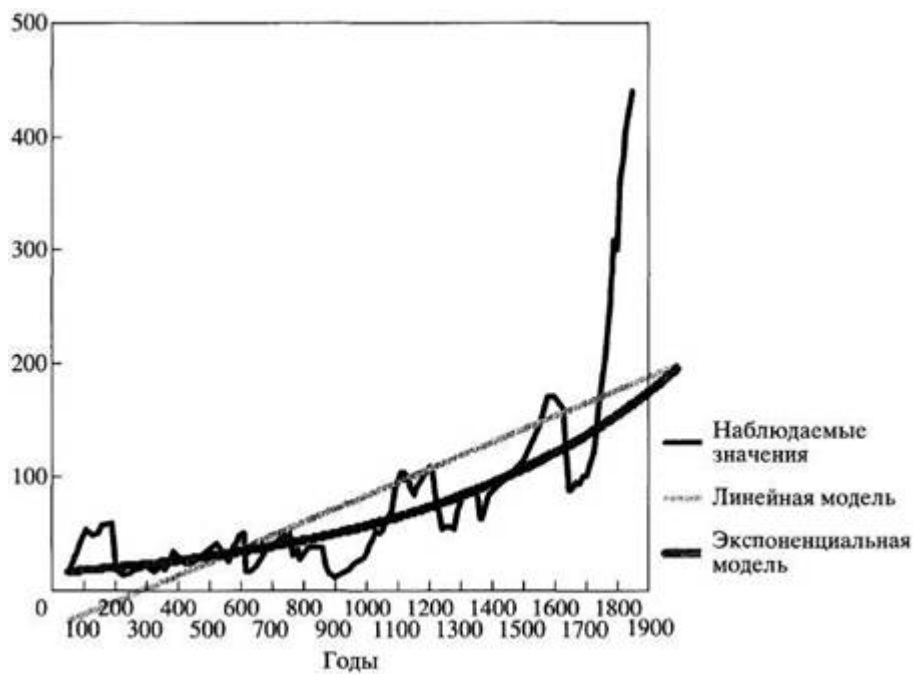


Диаграмма 7. Популяционная динамика досовременного Китая (57 - 1851 гг. н.э.), оценки кривой тренда.

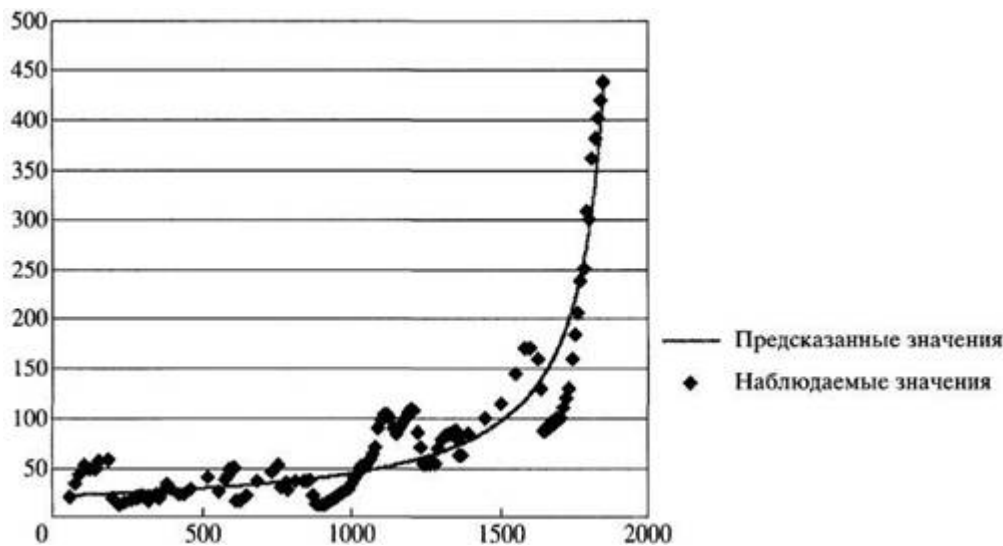


Диаграмма 8. Популяционная динамика досовременного Китая (57 - 1851 гг. н.э.), корреляция между наблюдаемыми значениями и значениями, предсказанными моделью гиперболического роста.

Источники хаоса на мир-системном уровне

Здесь мы, однако, сталкиваемся со случаем, когда применимым оказывается другой принцип, из сформулированных в начале работы, - детерминированное поведение на микроуровне будет генерировать *хаотическую* динамику на макроуровне. В связи с этим примечательно, что наиболее упорядоченная динамика региональной системы Китая и являлась одним из главных источников хаоса на уровне мир-системы. Вернемся к диаграмме 1. Отметим, например, что для 1100 г. заметно превышение наблюдаемого значения над данными, предсказанными компактной макромоделью, которое объясняется прежде всего результатами *Зеленой революции* в сунском Китае (X-XII вв.) [Gray, 1984]. В течение полувека последняя привела к расширению региональной экологической ниши приблизительно в два раза и к соответствующему росту населения. Уже до начала Зеленой революции население Китая составляло более 20% населения Земли, после нее оно превысило 30% мирового; в результате стремительный рост населения Китая означал и очень заметное (порядка 20%) увеличение населения всей Земли за исторически очень короткий период. Сунская Зеленая революция была подготовлена всем предыдущим развитием Китая, и в рамках эволюции его социальной системы может рассматриваться в качестве события, в очень высокой степени детерминированного. Однако на уровне мир-системы это событие привело к заметному отклонению наблюдаемой на конец XI в. численности населения мира от значения, предсказанного компактной макромоделью.

В 1650 - 1962 гг. наиболее значимое отклонение от кривой гиперболического роста приходится не на годы двух наиболее кровопролитных мировых войн, а на 1850 - 1870 гг. Оно связано с Тайпинским восстанием, запустившим в Китае механизм демографического коллапса, в результате которого по некоторым подсчетам число погибших (от катастрофических наводнений, голодовок, эпидемий) достигло астрономической цифры в 118 млн. человек [Huang, 2002, p. 528], которая не могла быть компенсирована даже ускоряющимися темпами роста населения во всех остальных частях мир-системы.

Подчеркнем, что данный демографический коллапс был высокодетерминированным событием, подготовленным всей предыдущей эволюцией цинского Китая [Kuhn,

1978; Mann Jones, Kuhn, 1978] и, кстати, неплохо поддающимся математическому моделированию [Нефедов, 2003; Nefedov, 2004; Turchin, 2003]. Однако именно высокодетерминированная популяционная динамика цинского Китая и привела к наиболее сильному хаотическому (с точки зрения эволюции мир-системы) возмущению, фиксируемому на глобальном уровне.

Компактные математические макромоделли и теория социальной эволюции

В целом, применение данного принципа позволяет по-новому подойти к созданию общей теории социальной макроэволюции. До сих пор в социальном эволюционизме господствовало допущение, что закономерности эволюции малых социальных систем должны быть заметно проще, чем закономерности эволюции сложных систем. А значит, только после достижения полного понимания закономерностей эволюции простых систем имеет смысл переходить к изучению действительно сложных систем¹¹. Мы полагаем, что именно этот подход в значительной степени и завел социозволюционные исследования в тупик, выход из которого может быть найден в рамках прямо противоположного подхода - в переходе 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, при том что 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, скорее всего, обнаруживаются только на том уровне, до которого у математически ориентированных историков, судя по всему, до сих пор не доходили руки, на уровне мир-системы в целом.

Совсем не случайно то, что первая компактная макромоделли показала столь высокую корреляцию с наблюдаемыми данными именно для периода 500 г. до н.э. -1962 г. н.э., при том, что корреляция падает для предшествующей и последующей эпох. Теории глобального демографического перехода хорошо объясняют период после 1962 г., когда темпы роста народонаселения мира начинают все более и более замедляться, а разрыв между предсказаниями модели и актуально наблюдаемой динамикой - расти в буквальном смысле гиперболически (в особенности после 1985 г.). Но почему корреляция существенно падает и тогда, когда мы принимаем во внимание и период до 500 г. до н.э.?

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 может рассматриваться в качестве системы. 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. 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).

¹¹ Главным исключением являются работы сторонников мир-системного подхода [Бродель, 1986; Wallerstein, 1974; Frank, Gills, 1994; Chase-Dunn, Hall, 1997; Chase-Dunn... 2003], но их исследования до настоящего времени принесли довольно ограниченные результаты; 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.

Данное возражение с достаточными основаниями приводит и Шишков¹²: "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, с. 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 случайна. Собственно говоря, она отражает динамику совершенно реальной системы, а именно мир-системы. Вместе с А. Г. Франком [Frank, Gills, 1994], но не с И. Валлерстайном [Wallerstein, 1974] мы склонны говорить о единой мир-системе, возникшей задолго до "длинного шестнадцатого века".

Отметим, что наличие более или менее интегрированной мир-системы, охватывающей большинство населения мира, - необходимое условие, без соблюдения которого корреляция между актуально наблюдаемыми и сгенерированными моделью величинами не может быть предельно высокой. Например, представим себе, что население мира численностью в N человек выросло в четыре раза, но при этом оказалось расколотым на четыре идеально изолированные региональные популяции численностью в N человек каждая. Согласно нашей модели, четырехкратный рост населения мира должен был бы привести к четырехкратному увеличению относительных темпов технологического роста. Но будет ли такое увеличение наблюдаться в реальности? Конечно, нет. Эффект, предсказываемый нашей моделью, возможен только в том случае, если инновации, произведенные любой из региональных популяций, станут доступными для всех остальных через ограниченный промежуток времени (порядка нескольких веков). Если же мы допустили, что региональные популяции живут в полной изоляции друг от друга, инновации, сделанные в каждой из них, не станут достоянием других, а значит, ожидаемое увеличение относительных темпов технологического роста наблюдаться не будет, что приведет к очень заметному разрыву между предикциями модели и актуально наблюдаемыми данными.

Имеются определенные основания полагать, что становление более или менее интегрированной мир-системы, охватившей большинство населения мира, произошло именно в I тыс. до н.э. Мощным симптомом этого представляется "железная революция", в результате которой металлургия железа распространилась за несколько веков (не тысячелетий!) на гигантском пространстве от Атлантики до Тихого океана и, по всей видимости, произвела (как это предполагалось еще К. Ясперсом [Ясперс, 1994]) целую серию однонаправленных трансформаций во всех основных центрах нарождавшейся мир-системы (Средиземноморье, Среднем Востоке, Южной и Восточной Азии), после которых развитие каждого из этих центров уже не может быть адекватно понято, описано или смоделировано, не принимая во внимание то обстоятельство, что все эти центры представляли собой части некоего большего и совершенно реального целого. Действительно, к концу I тыс. до н.э. на гигантском пространстве от Атлантики до Тихого океана мы находим пояс культур с поразительно сходным уровнем культурной сложности - базирующихся на сельском хозяйстве (интенсивном плужном земледелии с возделыванием пшеницы и совершенно определенного набора других злаков, разведением крупного и мелкого рогатого скота, производством молочных продуктов и т.п.), металлургии железа, производстве керамики с использованием гончарного круга, колесном транспорте, с военной организацией, строящейся на использовании профессиональных

¹² 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.

армий со сходным типом вооружения, обладающих сходно развитыми бюрократиями - полное перечисление соответствующих характеристик могло бы занять многие страницы.

Мы склонны интерпретировать этот феномен именно как весомый результат функционирования мир-системы. Альтернативные объяснения предполагают нечто, слишком сильно похожее на чудо - то, что культуры с поразительно сходным уровнем и характером культурной сложности развились абсолютно синхронно, но совершенно независимо друг от друга на гигантском, но вполне непрерывном пространстве, в то время как во всех остальных регионах Земного шара, в мир-систему не входивших, в рассматриваемое время ни одна из культур даже отдаленно не приблизилась к описанному уровню и характеру развития. Нам такие объяснения представляются предельно неправдоподобными. Да, обитатели, например, какой-нибудь китайской деревни в долине Хуанхэ или бакского селения в Испании и во II в. до н.э. вряд ли что-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.

Отметим, что одним из важнейших результатов Осевого времени стало превращение Западной Евразии, Южной Азии и Восточной Азии из достаточно пассивных реципиентов ближневосточных изобретений в мощные генераторы собственных инноваций [Чубаров, 1991], расходящихся все более широкими кругами по мир-системе (здесь достаточно вспомнить западноевразийскую технологию монетной чеканки, восточно-азиатский компас или возникшую в Южной Азии идеологию буддизма).

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 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 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 важнее 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, p. 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 человек [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. Таким образом, как минимум, начиная с I тыс. до н.э. и появляется возможность ее описания в мировой динамике при помощи компактных математических макромоделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бродель Ф. Материальная цивилизация, экономика и капитализм. XV-XVIII вв. Т. 1 - 3. М., 1986.

Вишневский А. Г. Это ключ от другого замка // Общественные науки и современность. 2005. N 2.

- Капица С. П.* Асимптотические методы и их странная интерпретация // *Общественные науки и современность*. 2005. N 2.
- Капица С. П.* Математическая модель роста населения мира // *Математическое моделирование*. 1992. N4/6.
- Капица С. П.* Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. М., 1999.
- Клунт М. А.* Теория демографического развития // *Общественные науки и современность*. 2005. N 2.
- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А.* Законы истории. Математическое моделирование исторических макропроцессов: демография, экономика, войны. М., 2005.
- Мельянцева В. А.* Восток и Запад во втором тысячелетии. М., 1996.
- Мельянцева В. А.* Генезис современного (интенсивного) экономического роста. М., 2004.
- Мельянцева В. А.* Три века российского экономического роста // *Общественные науки и современность*. 2003. N 5.
- Нефедов С. А.* Теория демографических циклов и социальная эволюция древних и средневековых обществ Востока // *Восток*. 2003. N 3.
- Чернавский Д. С.* Синергетика и информация (динамическая теория информации). М., 2004.
- Чернавский Д. С., Чернавская Н. М.* Белок-Машина. М., 1999.
- Чубаров В. В.* Ближневосточный локомотив: темпы развития техники и технологии в древнем мире // *Архаическое общество: узловые проблемы социологии развития*. В 2 т. Т. 1. М., 1991.
- Шишков Ю. В.* Демографические похождения физика // *Общественные науки и современность*. 2005. N 2.
- Ясперс К.* Смысл и назначение истории. М., 1994.
- Bielenstein H.* The Census of China During the Period 2 - 742 A.D. // *Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities*. 1947. N 19.
- Bielenstein H.* Wang Mang, the Restoration of the Han Dynasty, and Later Han // *The Cambridge History of China*. 11 vols. Vol. 1. Cambridge, 1986.
- Biraben J.-N.* An Essay Concerning Mankind's Evolution // *Population*. 1980. N 4.
- Bray F.* Agriculture // *Science and Civilization in China*. 1984. Vol. 6/2.
- Cohen J.E.* Population Growth and Earth's Carrying Capacity // *Science*. 1995. N 269 (5222).
- Chase-Dunn C., Alvarez A., Pasciuti D., Jorgenson A.* Time-Mapping Globalization Since the Iron Age // *Three Thousand Years of Urbanization, Empire Formation and Climate Change*. Portland, 2003.
- Chase-Dunn C., Hall T.* Rise and Demise: Comparing World-Systems. Boulder, 1997.
- Diamond J.* Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies. New York, 1999.
- Durand J.D.* Historical Estimates of World Population: An Evaluation // *Population and Development Review*. 1977. N 3 (3).
- Durand J.D.* The Population Statistics of China, A.D. 2 - 1953 // *Population Studies*. 1960. N 13.
- Foerster H. von, Mora P., Amiot L.* Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026 // *Science*. 1960. N 132.
- Frank A.G., Gills B.* The World System: 500 or 5000 Years? London, 1994.
- Habakkuk H.J.* English Population in the Eighteenth Century // *Economic History Review*. 1953. N6.
- Haub C.* How Many People Have ever Lived on Earth? // *Population Today*. 1995. N 23(2).
- Ho Ping-ti.* Studies on the Population of China, 1368 - 1953. Cambridge, 1959.
- Huang P.C.C.* Development or Involution in Eighteenth-Century Britain and China? // *The Journal of Asian Studies*. 2002. N 61.
- Johansen A., Sornette D.* Finite-time Singularity in the Dynamics of the World Population and Economic Indices // *Physica A*. 2001. N 294 (3^).
- Komlos J., Nefedov S.* A Compact Macromodel of Pre-Industrial Population Growth // *Historical Methods*. 2002. N 35.
- Kremer M.* Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990 // *The Quarterly Journal of Economics*. 1993. N 108.
- Kuhn P.A.* The Taiping Rebellion // *The Cambridge History of China*. 11 vols. Vol. 10/1. Cambridge, 1978.
- Kuznets S.* Population Change and Aggregate Output in Demographic and Economic Change in Developed Countries. Princeton, 1960.
- Lee Mabel Ping-hua.* The Economic History of China, with Special Reference to Agriculture. New York, 1921.
- Maddison A.* Monitoring the World Economy. A Millennial Perspective. Paris, 2001.

Malthus T. Population. The First Essay. Ann Arbor, 1978.

Mann Jones S., Kuhn PA. Dynastic Decline and the Roots of Rebellion // The Cambridge History of China. 11 vols. Vol. 10/1. Cambridge, 1978.

McEvedy C., Jones R. Atlas of World Population History. New York, 1978.

Nefedov S.A. A Model of Demographic Cycles in Traditional Societies: The Case of Ancient China // Social Evolution & History. 2004. N 3(1).

Thomlinson R. Demographic Problems: Controversy over Population Control. Encino, 1975.

Turchin P. Historical Dynamics: Why States Rise and Fall. Princeton, 2003.

UN Population Division. 2004. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. Internet Resource: <http://www.un.org/esa/population>.

U.S. Bureau of the Census. 2004. World Population Information. Internet Resource: www.census.gov/ipc/www/world.html.

Wallerstein I. The Modern World-System. Vol. 1. Capitalist Agriculture and the Origin of the European World-Economy in the Sixteen Century. New York, 1974.

World Bank. World Development Indicators. Washington, 2004.

Zhao Wenlin, Xie Shujun zhu. History of Chinese Population. Peking, 1988 (in Chinese).