

21

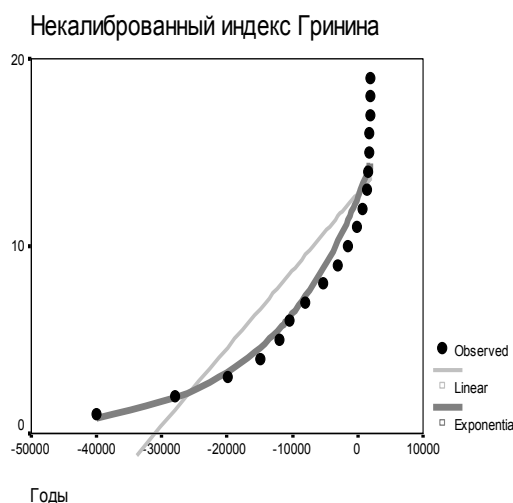
Глобальная история и математические макромоделли социально-исторических процессов*

А. В. Кортаев

В опубликованной выше (с. 383–403) статье Л. Е. Гринин приходит к выводу о том, что если откалибровать предлагаемую им модель по оси ординат, то «разворачивание исторического процесса принимает вид, напоминающий уже не экспоненту (как на Диаграммах 1–4, с. 401–402), а гиперболу (см. Диаграмму 6 на с. 403), что свидетельствует о том, что для него, по-видимому, характерен режим с обострением». Начнем нашу статью с выяснения того, к чему все-таки ближе форма кривых, представленных в статье Л. Е. Гринина на Диаграммах 5 и 6, – к гиперболе или экспоненте?

Формальный анализ кривой, представленной в статье Л. Е. Гринина на Диаграмме 5 (до 1955 г.), дает следующие результаты. Рассматриваемая кривая действительно дает очень близкое соответствие экспоненциальной модели, которая значительно превосходит аналогичные показатели для линейной модели (см. Диаграмму 1).

Диаграмма 1. Некалиброванный индекс Гринина (I): линейная и экспоненциальная модели (40 000 г. до н. э. – 1955 г. н. э.)

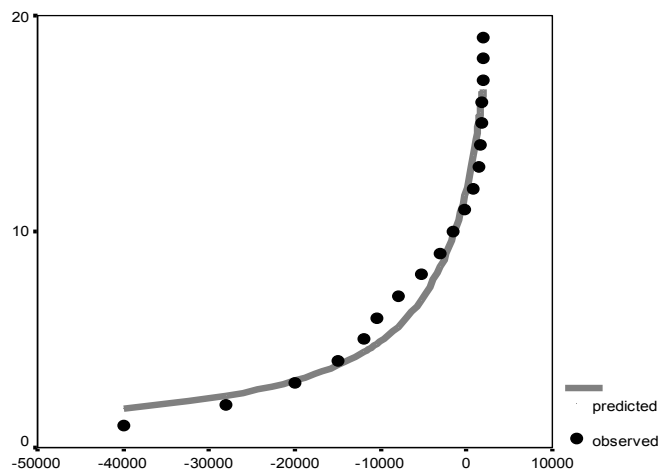


Примечание. Черные маркеры соответствуют фактическим оценкам Л. Е. Гринина. *Линейная регрессия:* $R = 0,865$, $R^2 = 0,748$, $\alpha < 0,001$. Тонкая светло-серая прямая, дающая наибольшее соответствие наблюдаемым данным, сгенерирована следующим уравнением: $I_t = 12,8359 + 0,0004t$. Параметры здесь и далее определены методом наименьших квадратов. *Экспоненциальная регрессия:* $R = 0,986$, $R^2 = 0,973$, $\alpha < 0,001$. Толстая темно-серая экспоненциальная кривая, дающая наибольшее соответствие наблюдаемым данным, сгенерирована следующим уравнением: $I_t = 12,6101 \times e^{0,000068t}$. Для того, чтобы можно было провести экспоненциальную регрессию, начальное значение индекса Гринина (на 40 000 г. до н. э.) было во всех случаях приравнено к 1.

* Исследование выполнено при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Экономика и социология науки и образования».

Отметим, что гиперболическая модель тоже дает здесь значительно более высокое соответствие, чем линейная, но все-таки несколько более низкое, чем экспоненциальная модель (см. Диаграмму 2).

Диаграмма 2. Некалиброванный индекс Гринина: простая гиперболическая модель (40 000 г. до н. э.¹–1955 г. н. э.)



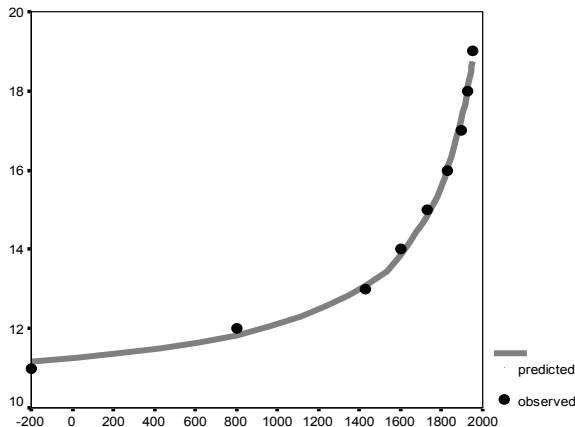
Примечание. $R = 0,978$,
 $R^2 = 0,957$, $\alpha \ll 0,0001$.
 Черные маркеры соответствуют фактическим оценкам. Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:
 $I_t = 83901,4 / (7000 - t)$. Параметры C (83901,4) и t_0 (7000) определены методом наименьших квадратов.

Стоит отметить, что хотя гиперболическая модель и достаточно точно описывает кривую Гринина, наибольшее соответствие здесь получается при значении момента обострения (t_{cr}) порядка 7000 г. н. э., что резко расходится со всеми остальными гиперболическими моделями макроисторической динамики, где это значение обычно получается в пределах от 2000 до 2050 г. (см., например: Капица 1992; 1999; Князева, Курдюмов 2005; Коротаев и др. 2005a; 2005b; von Foerster *et al.* 1960; von Hoerner 1975; Johansen, Sornette 2001; Podlazov 2004 и т. д.)². Особое же внимание стоит здесь обратить на то обстоятельство, что для участка 200 г. до н. э. – 1950 г. н. э. гиперболическая модель описывает кривую Гринина с точностью, крайне близкой к максимально возможной, в то время как экспоненциальная модель дает здесь несравненно более низкое соответствие, лишь немногим лучше того, что отмечается для простой линейной модели (см. Диаграммы 3 и 4).

¹ Отметим, что у самого Л. Е. Гринина в качестве условной даты начала «исторического процесса», которое он связывает с верхнепалеолитической революцией и появлением «40–45 тыс. лет назад действительно человеческой культуры», берется 40 000 л. н., то есть ~38 000 г. до н. э. Мы в качестве таковой взяли более традиционный ~40 000 г. до н. э., хотя в связи с наметившейся (и достаточно обоснованной) тенденцией к удревнению даты перехода к верхнему палеолиту (см., например: Brantingham *et al.* 2004), возможно, лучше было бы остановиться на ~45 000 г. до н. э. Подчеркнем, что никакого серьезного влияния на оценку форм анализируемых кривых такое варьирование оценок не оказывает.

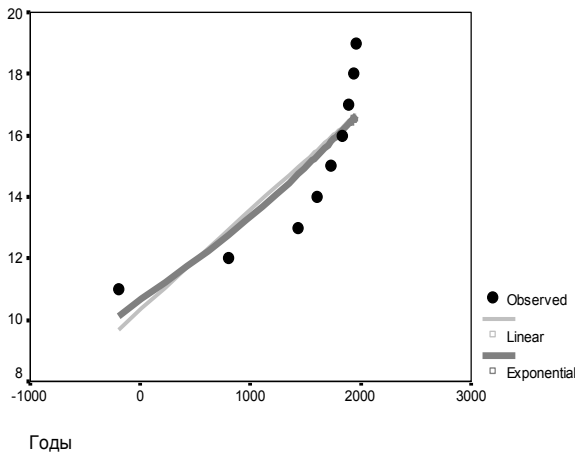
² При гиперболическом росте динамика соответствующей переменной описывается кривой, уходящей в бесконечность в так называемый «момент обострения». Так, например, фон Ферстер и его коллеги, впервые открывшие явление гиперболического роста населения Земли, установили, что если бы тенденция роста народонаселения мира, наблюдавшаяся вплоть до 1958 г., продолжилась бы и дальше, то население земного шара стало бы бесконечным 13 ноября 2026 г., что и дало им основание дать своей знаменитой статье броское шуточное название – «Судный день: Пятница, 13 ноября 2026 года от Рождества Господня» (von Foerster *et al.* 1960). «В реальной действительности бесконечность, разумеется, не может быть достигнута, в частности, за счет попадания – через неустойчивость – в область затухания» (Князева, Курдюмов 2005: 76).

Диаграмма 3. Некалиброванный индекс Гринина: простая гиперболическая модель, 200 г. до н. э. – 1955 г. н. э.



Примечание. $R = 0,998$, $R^2 = 0,996$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют фактическим оценкам. Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:
 $I_t = 10,254 + 2208,584/(2210 - t)$.
 Значения константы (10,254), параметров C (2208,584) и t_0 (2210) определены методом наименьших квадратов.

Диаграмма 4. Некалиброванный индекс Гринина (I_t): линейная и экспоненциальная модели (200 г. до н.э. – 1955 г. н.э.)



Примечание. Черные маркеры соответствуют фактическим оценкам Л. Е. Гринина. *Линейная регрессия:* $R = 0,842$, $R^2 = 0,709$, $\alpha < 0,001$. Тонкая светло-серая прямая, дающая наибольшее соответствие наблюдаемым данным, сгенерирована следующим уравнением:
 $I_t = 10,3421 + 0,0032t$.
Экспоненциальная регрессия: $R = 0,879$, $R^2 = 0,772$, $\alpha < 0,001$. Толстая темно-серая экспоненциальная кривая, дающая наибольшее соответствие наблюдаемым данным, сгенерирована следующим уравнением: $I_t = 10,6121 \times e^{0,0002t}$.

Прежде чем продолжить настоящее исследование, представляется необходимым рассмотреть некоторые общеметодологические вопросы.

Начнем с того, что сами понятия «периодизация всемирной истории» или «периодизация всемирно-исторического процесса», до сих пор распространенные в отечественной исторической литературе (см., например: Скворцов 2001), представляются нам крайне неудачными. Например, в такого рода периодизациях древность и Средние века рассматриваются в качестве «эпох всемирной истории», грань между которыми приходится на середину I тыс. н. э., древность же делится на «раннюю» и «имперскую» (или «античность»), грань между которыми приходится на I тыс. до н. э. Конечно, можно согласиться с тем, что формирование целого пояса империй от Атлантики до Тихого океана было исключительно важной вехой, ознаменовавшей собой

наступление новой эпохи. Однако в истории чего? Во «всемирной истории»? Во «всемирно-историческом процессе»? Всемирно-исторический процесс просто не является «всемирно-историческим», если он не охватывает собою весь мир. Но разве, скажем, формирование пояса империй в Евразии и Северной Африке в конце I тыс. до н. э. оказало хоть какое-то влияние на историю австралийцев, полинезийцев, обитателей Нового Света, Южной Африки и т. д.? Абсолютно нет. Можно совершенно определенно утверждать, что вышеназванный феномен не привел к началу новой эпохи в истории населения трех из пяти обитаемых континентов Земли (это, к тому же, относится и к истории обитателей и обширных частей двух оставшихся континентов), и говорить о том, что это знаменовало собой наступление нового периода *всемирного* исторического процесса, нет совершенно никаких оснований. Таким образом, говорить о периодизации «всемирно-исторического процесса» до XIX в. представляется просто невозможным за простым отсутствием объекта периодизации. С таким же успехом можно было бы заниматься, скажем, периодизацией развития производства компьютеров в Антарктиде.

Однако можно ли утверждать, что предложенная Л. Е. Грининым периодизация не имеет абсолютно никакого смысла? На наш взгляд, здесь идет речь о вполне приемлемой периодизации (по крайней мере, с эпохи аграрной революции). Но только не «всемирно-исторического процесса». Но чего?

Как нам видится, здесь имеются в виду этапы развития вполне реальной системы, зародившейся в начале голоцена на Ближнем Востоке в непосредственной связи с начавшейся там аграрной («неолитической») революцией и постепенно охватившей собой весь мир. Вслед за А. Г. Франком (Frank 1990; 1993; Frank, Gills 1993) мы называем эту систему Мир-Системой, и вслед за ним мы хотим подчеркнуть, что на то, чтобы Мир-Система охватила собой весь мир, ушло много тысяч лет; и поэтому на протяжении абсолютно большей части своего существования история Мир-Системы ни в коем случае не была тождественна «всемирной истории» (отметим, что предлагаемый Л. Е. Грининым подход, несмотря на терминологические различия, достаточно близок нашему).

Отметим, что, как было показано нами ранее (Коротаев и др. 2005a; 2005b), именно с развитием Мир-Системы связано наличие гиперболического тренда роста народонаселения мира. Наличие гиперболического тренда свидетельствует о том, что большая часть соответствующей общности (а в последнем 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: подобное системное единство в рассматриваемую эпоху действительно реально наблюдалось. В нашем распоряжении имеется достаточно данных о систематическом распространении важнейших инноваций (доместицированных 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. (см., например: Чубаров 1991). В результате данных процессов эволюция обществ данного макрорегиона уже в это время не может рассматриваться как полностью независимая.

Здесь представляется необходимым и следующий комментарий. 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 И. Валлерстайном (Wallerstein 1974; 1987; 2004), потому что в это время какое-либо движение массовых товаров,

скажем, между Китаем и Европой полностью отсутствовало (и мы не имеем никаких оснований не согласиться с И. Валлерстайном в его классификации попадавшего в данное время в Европу китайского шелка как предмета роскоши, но никак не массового товара). Однако Мир-Система I века н. э. (и даже I тысячелетия до н. э.) может быть вполне классифицирована именно как Мир-Система, если мы применим здесь более мягкий критерий «информационной сети», предложенный К. Чейз-Данном и Т. Д. Холлом (Chase-Dunn, Hall 1997; см. также, например: Чешков 1999). Подчеркнем, что, как было показано нами ранее (Коротаев и др. 2005a; 2005b), наличие информационной сети, охватывающей всю Мир-Систему, является совершенно достаточным условием, которое делает возможным рассматривать всю Мир-Систему как единое развивающееся целое. Безусловно, в I тыс. до н. э. какие-либо массивные товаропотоки между Тихоокеанским и Атлантическим побережьями Евразии были принципиально невозможны. Однако Мир-Система достигла к этому времени такого уровня интеграции, который уже делал возможным распространение по всей Мир-Системе принципиально важных технологий за промежутки времени, заметно меньше тысячелетия.

Другим важным моментом может представляться то обстоятельство, что даже в I в. н. э. Мир-Система охватывала заметно менее половины всей обитаемой земной суши. Однако гораздо более важным здесь является другой факт: 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) (см., например: Dugand 1977: 256). За несколько тысячелетий до этого мы имеем дело с поясом культур, также характеризовавшимся удивительно сходным уровнем и характером культурной сложности, протянувшимся от Балкан вплоть до границ долины Инда (см., например: Peregrine, Ember 2001a; 2001b; Peregrine 2003)³. Таким образом, уже несколько тысяч лет динамика населения мира отражает прежде всего именно динамику населения Мир-Системы, что и делает возможным ее описание при помощи математических макромоделей.

Отметим, что сказанное выше предполагает возможность разработки нового подхода к мир-системному анализу. В рамках этого подхода в качестве наиболее важного механизма интеграции Мир-Системы могли бы рассматриваться генерация и диффузия инноваций. Если некое общество систематически заимствует извне важные технологические инновации, его эволюция уже не может рассматриваться в качестве действительно независимой; это общество уже имеет смысл рассматривать в качестве части некоего большего эволюционирующего целого, внутри которого данные инновации систематически генерируются и распространяются. Одной из главных задач мир-системного подхода было найти эволюционирующую единицу. Базовой и совершенно разумной идеей здесь было то соображение, что эволюцию отдельного общества совершенно невозможно адекватно объяснить, не принимая во внимание то обстоятельство, что любое такое общество было частью некоего более обширного целого. Однако традиционный мир-системный анализ слишком сосредоточился на изучении движения товаров массового потребления и эксплуатации периферии со стороны ядра при почти полном игнорировании роли генерирования и диффузии инноваций в мир-системной интеграции. Вместе с тем информационная сеть оказывается древнейшим механизмом мир-системной интеграции, она играла исключительно важную

³ Подчеркнем, что и в том и в другом случае население соответствующих поясов включало в себя большую часть населения мира соответствующей эпохи.

роль на протяжении всей истории эволюции Мир-Системы и продолжает играть не менее важную роль в настоящее время. Эта роль представляется даже более важной, чем та, что играла в эволюции Мир-Системы эксплуатация (нередко мнимая) периферии со стороны ядра. (Не принимая во внимание механизм генерирования и диффузии инноваций, невозможно объяснить такие важнейшие мир-системные события, как, скажем, демографический взрыв XX в., непосредственной причиной которого было радикальное снижение смертности, но в качестве главной конечной причины которого выступала именно диффузия инноваций, сгенерированных почти исключительно мир-системным ядром.) Наряду с прочим предлагаемый подход предполагает и пересмотр определения мир-системного ядра, в качестве которого в этом случае имеет смысл понимать скорее не мир-системную зону, эксплуатирующую другие зоны, а ту зону Мир-Системы, которая имеет наивысшее соотношение между сгенерированными внутри нее (и получившими распространение в других зонах) и заимствованными из других зон инновациями, и которая выступает в качестве донора инноваций в несравнимо большей степени, чем в качестве их реципиента (отметим, что Л. Е. Гринин вполне независимо от нас пришел к аналогичному, по сути своей, подходу).

Л. Е. Гринин совершенно справедливо рассматривает в качестве своего ближайшего предшественника И. М. Дьяконова, пришедшего к близким выводам при анализе своей периодизации «всемирной истории» (Дьяконов 1994: 352–353):

Нет сомнения, что исторический процесс являет признаки закономерного экспоненциального ускорения. От появления Homo sapiens до конца I фазы прошло не менее 30 тыс. лет, II фаза длилась около 7 тыс. лет, III фаза – около 2 тыс. лет, IV фаза – около 1,5 тыс. лет, V фаза – около тысячи лет, VI фаза – около 300, VII фаза – немногим более 100 лет, продолжительность VIII фазы пока определить невозможно. Нанесенные на график, эти фазы складываются в экспоненциальное развитие, которое предполагает переход к вертикальной линии или, вернее, к точке – так называемой сингулярности... Вертикальная линия на графике равносильна переходу в бесконечность. В применении к истории понятие «бесконечность» лишено смысла: не могут дальнейшие фазы исторического развития, все убыстряясь, сменяться за годы, месяцы, недели, дни, часы и секунды. Если не предвидеть катастрофы... тогда, очевидно, следует ожидать вмешательства каких-то новых, еще не учитываемых движущих сил, которые изменят эти графики.

Отметим, что хотя И. М. Дьяконов и говорит здесь об «экспоненциальном ускорении», Е. Н. Князева и С. П. Курдюмов (2005: 77) обращают внимание на то, что на самом деле речь у него идет именно о гиперболическом ускорении, о режиме с обострением. Подчеркнем также, что результаты последних исследований показывают, что начиная с 60-х гг. прошлого века Мир-Система достаточно успешно выходит из режима с обострением, новые и уже вполне учитываемые силы действуют со все нарастающей силой, так что «эсхатологические ожидания» И. М. Дьяконова лишены достаточных оснований (см., например: Кремер 1993; Коротаев и др. 2005a).

Хотя И. М. Дьяконов и говорит о некоем графике, он его не приводит. Л. Е. Гринин такой график приводит, но не поясняет, какая именно величина у него отложена по оси ординат. И на первый взгляд может показаться, что подобные графики никакого особого содержательного смысла вообще не имеют. Тем не менее, на наш взгляд, речь здесь может идти о вполне определенной и достаточно полезной переменной.

Действительно, при создании своей периодизации Л. Е. Гринин старался придерживаться единого основания – производственного. Таким образом, переход от одного

этапа к другому здесь маркируется комплексами производственных инноваций. Следовательно, величина, отложенная Л. Е. Грининым по оси ординат Графика 5, может быть интерпретирована как индекс технологического развития в максимально широком смысле этого слова, близком как нам, так и Л. Е. Гринину.

Математические модели, не только описывающие, но и объясняющие наблюдавшийся вплоть до 60-х гг. прошлого века гиперболический рост населения Земли, опираются на положение, которое было сформулировано еще в XVIII в. Томасом Мальтусом (Malthus 1978 [1798]; Мальтус 1993 [1798]). 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. (1)

В той или иной форме данное положение использовалось многими более поздними исследователями (Artzrouni, Komlos 1985; Komlos, Nefedov 2002; Нефедов 2000; 2001; 2002а; 2002б; 2003; Nefedov 2004; Turchin 2003; Малков и др. 2005; Коротаев и др. 2005а и т. д.).

Простейшая модель, предлагаемая М. Кремером (Kremer 1993), 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, более близких к обозначениям С. П. Капицы, не искажая при этом сути уравнений М. Кремера.

М. Кремер считает, что совокупный производимый человечеством продукт равен:

$$G = rTN^\alpha V^{1-\alpha}, \quad (2)$$

где G – общий продукт; T – уровень технологии; N – население; V – используемые земельные ресурсы; r и α ($0 < \alpha < 1$) – параметры. 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:

$$G = rTN^\alpha, \quad (3)$$

где r , α ($0 < \alpha < 1$) – некоторые константы.

Далее М. Кремер использует положение (1), 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:

$$\bar{N} = \left(\frac{\bar{g}}{r} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}. \quad (4)$$

Как мы видим, уравнение для численности населения фактически не является здесь динамическим. В модели М. Кремера динамика заложена в уравнение для технологического роста. Наряду с другими исследователями (Aghion, Howitt 1992; 1998;

Grossman, 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 (Kremer 1993: 685):

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. (5)

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 так:

$$\frac{dT}{dt} : T = bN, \quad (6)$$

где b – средняя продуктивность изобретательской работы одного обитателя Мир-Системы.

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

$$\frac{dT}{dt} = bNT. \quad (7)$$

Далее Кремер объединяет уравнения для технологии и населения следующим образом:

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 населения⁴. Для того, чтобы доказать это более строго, возьмем логарифм уравнения, определяющего численность населения (4), и дифференцируем по отношению ко времени:

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

Подставим в это уравнение вместо выражения для скорости роста технологии его эквивалент из формулы (6) и получим (Kremer 1993: 686):

$$\frac{dN}{dt} : N = \frac{b}{1-\alpha} N. \quad (8)$$

⁴ Что, отметим, и дает на выходе гиперболический рост населения. – А. К.

Отметим, что, перемножив обе части уравнения (8) на N , мы получим:

$$\frac{dN}{dt} = aN^2, \quad (9)$$

где a равно:

$$a = \frac{b}{1-\alpha}. \quad (10)$$

Конечно, то же самое уравнение может быть записано и так:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{C}, \quad (11)$$

где C равно:

$$C = \frac{1-\alpha}{b}. \quad (12)$$

Таким образом, модель Кремера генерирует ту же самую макродемографическую динамику, что и модели фон Ферстера (von Foerster *et al.* 1960) и Капицы (1992; 1999) (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 млн 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 во 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 10 раз (так как он оказывается в состоянии поддержать 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 [7]). 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.

На основании модели М. Кремера нами (Коротаев и др. 2005a; 2005b) была разработана математическая модель, описывающая не только гиперболический рост населения мира, но и макродинамику производства мирового ВВП вплоть до 1973 г.:

$$G = rTN^\alpha, \quad (3)$$

$$\frac{dN}{dt} = aSN, \quad (13)$$

$$\frac{dN}{dt} = bNT, \quad (7)$$

где G – это мировой ВВП; T – уровень технологического развития Мир-Системы; N – население; S – «избыточный» продукт, производимый при данном уровне технологического развития Мир-Системы на одного человека сверх продукта m , минимально

необходимого для простого (с нулевой скоростью роста) воспроизводства населения; a , b , c и α ($0 < \alpha < 1$) – параметры.

Нами было также показано, что эта модель может быть далее упрощена до следующего вида:

$$\frac{dN}{dt} = aSN, \quad (13)$$

$$\frac{dS}{dt} = bNS, \quad (14)$$

где N – это население Земли; 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:

$$G = mN + SN, \quad (15)$$

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

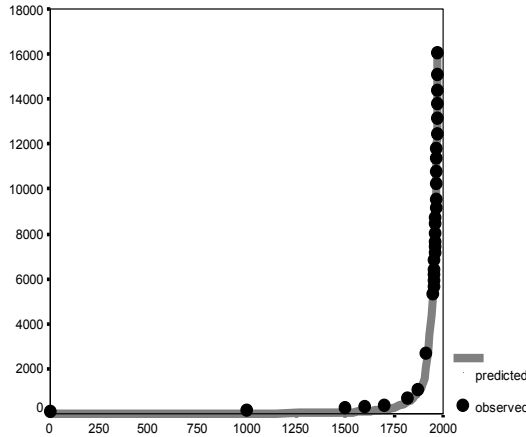
Согласно нашей модели, гиперболический рост населения мира сопровождался даже не гиперболическим, а квадратично-гиперболическим ростом мирового ВВП, динамика которого аппроксимируется следующим уравнением:

$$G = \frac{C}{(t_0 - t)^2}. \quad (16)$$

При этом сделанные нами тесты показали исключительно высокое соответствие данной предельно простой модели актуально наблюдаемой динамике (см. Диаграмму 5).

Подчеркнем, что речь идет о долгосрочных тенденциях, ибо рассматриваемые здесь модели предназначены только для описания линий тренда. При рассмотрении же социальной макродинамики на относительно коротких временных отрезках обязательно необходимо учитывать еще и циклическую (а также стохастическую) составляющую, что не входит в задачи данной работы. Отметим здесь только, что на протяжении аграрных политико-демографических циклов актуально наблюдаемая динамика была прямо противоположна динамике, описываемой моделями тысячелетнего мир-системного тренда и актуально прослеживаемой в тысячелетнем масштабе. Так в ходе аграрного политико-демографического цикла рост населения почти всегда значительно обгонял темпы технологического роста, что вело именно к мальтузианской динамике – рост населения сопровождался не увеличением, а уменьшением производства продукта на душу населения, что, как правило, в конечном счете приводило к политико-демографическим коллапсам и началу новых политико-демографических циклов (см., например: Нефедов 2000; 2001; 2002а; 2002б; 2003; Nefedov 2004; Turchin 2003; Малков и др. 2005; Коротаев и др. 2005а). Для того же, чтобы выявить и точно описать гиперболическую «кузнецианскую» трендовую составляющую, необходим переход к работе с максимально большим временным и пространственным масштабам, ибо наиболее отчетливо этот тренд прослеживается для Мир-Системы в целом и именно во многотысячелетнем масштабе.

Диаграмма 5. Динамика мирового ВВП, 1–1973 гг., в млрд международных долларов 1990 г. в паритетах покупательной способности: соответствие предикций КВАДРАТИЧНОЙ гиперболической модели наблюдаемым данным



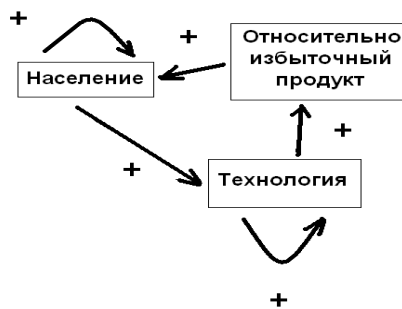
Примечание. $R = 0,9993$, $R^2 = 0,9986$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Мэддисона (Maddison 2001); данные по производству мирового ВВП на душу населения на 1000 г. скорректированы по В. А. Мельянцеву (1996; 2003; 2004; Meliantsev 2004). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$G_t = \frac{17749573,1}{(2006 - t)^2}.$$

Параметры C (17749573,1) и t_0 (2006) определены методом наименьших квадратов (собственно говоря, как было упомянуто выше, наилучшее соответствие достигается при $C = 17355487,3$, а $t_0 = 2005,56$ [что и соответствует «экономическому концу света 23 июля 2005 г.», но мы решили здесь и далее ограничиваться целыми значениями годов).

Отметим, что эта модель дает достаточно простое объяснение гиперболическому росту Мир-Системы, показывая, что он является результатом действия исключительно простого механизма – механизма нелинейной положительной обратной связи второго порядка. Действительно, согласно модели, рост населения (N) ведет к росту темпов технологического роста $\left(\frac{dT}{dt} : T\right)$, а рост этих темпов ведет к росту производства относительно избыточного продукта на душу населения, что в свою очередь приводит к ускорению темпов роста населения, а это ведет к дополнительному ускорению темпов технологического роста и т. п. (см. Диаграмму 6).

Диаграмма 6. Блок-схема положительной обратной связи между населением, технологией и экономикой



Как уже говорилось, положительная обратная связь между демографическим и экономическим (через технологическое) развитием Мир-Системы может быть смоделировано математически при помощи следующей системы из двух простейших дифференциальных уравнений:

$$\frac{dN}{dt} = aSN, \quad (13)$$

$$\frac{dS}{dt} = cNS, \quad (14)$$

где N – это население Мир-Системы; S – «избыточный» продукт, производимый при данном уровне технологического развития Мир-Системы на одного человека.

Собственно говоря, эта математическая запись может быть легко переведена на естественный язык следующим образом: темпы роста населения Мир-Системы (N) тем выше, чем больше само население (так как в 10 раз большее число женщин при прочих равных в тенденции родит в 10 раз больше детей) и чем выше уровень технико-экономического развития Мир-Системы (выраженного через S – «избыточный» продукт, производимый при данном уровне технологического развития Мир-Системы на одного человека); но, в свою очередь, темпы роста технико-экономического развития Мир-Системы тем выше, чем выше сам технологический уровень (так как чем шире технологическая база, тем большее число инноваций на ее основе можно потенциально сделать) и чем больше число потенциальных изобретателей (то есть N). При этом математический анализ базовой модели (3)–(13)–(7) показывает, что на протяжении «мальтузианско-кузнецовского» участка человеческой истории (то есть до 60-х гг. прошлого века) размеры S (относительно избыточного продукта, производимого при данном уровне технологического развития Мир-Системы на одного человека) должны были быть в долгосрочной тенденции прямо пропорциональны размерам численности населения Мир-Системы: $S = kN$. Статистический анализ имеющегося в нашем распоряжении эмпирического материала подтвердил актуальное существование данного соотношения. Таким образом, в правой части уравнения (12) S может быть заменено на kN , в результате чего мы получим:

$$\frac{dN}{dt} = kaN^2. \quad (9)^5$$

С другой стороны, решением дифференциальных уравнений такого типа является следующее равенство:

$$N_t = \frac{C}{(t_0 - t)}, \quad (17)$$

которое и описывает гиперболический рост.

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

$$S = \frac{kC}{t_0 - t}. \quad (18)$$

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

⁵ Таким образом, мы получаем дифференциальное уравнение, ранее феноменологически установленное С. П. Капицей (1992; 1999). Отметим, что, как мы могли это видеть выше, данное равенство может быть выведено и другим путем из системы уравнений М. Кремера.

$$SN = \frac{kC^2}{(t_0 - t)^2}. \quad (19)$$

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. И как мы могли видеть выше, эта аппроксимация работает исключительно эффективно.

Таким образом, система нелинейных положительных обратных связей второго порядка с неизбежностью порождает именно гиперболический рост. Другими словами, долгосрочная тенденция к гиперболическому росту основных показателей развития Мир-Системы является логичным результатом нелинейных положительных обратных связей между ее основными подсистемами.

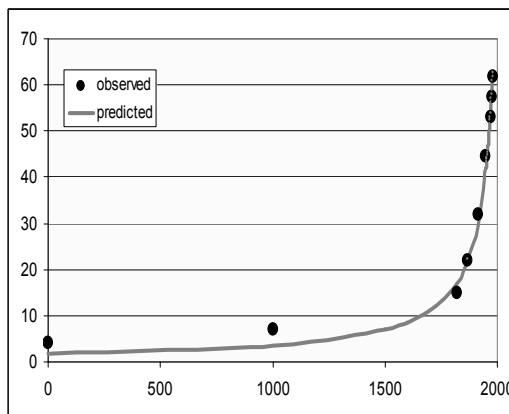
Ранее нами (Коротаев и др. 2005a) было показано, что динамика роста грамотности населения Мир-Системы (l) очень точно описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dl}{dt} = aSl(1-l), \quad (20)$$

где l – доля грамотного населения; S – «избыточный» продукт, производимый при данном уровне технологического развития Мир-Системы на одного человека; a – константа. По сути дела, это разновидность автокаталитической модели. Данное уравнение имеет тот смысл, что рост уровня грамотности пропорционален доле грамотного населения l (потенциальные учителя), доле неграмотного населения $(1-l)$ (потенциальные ученики) и наличию излишков S , которые могут использоваться на образовательные программы (кроме того, S связано с уровнем технологий T , в том числе образовательных, увеличивающих скорость обучения). С математической точки зрения уравнение (20) аналогично логистическому уравнению, где насыщение достигается при уровне грамотности $l = 1$, а S отвечает за скорость выхода на этот потолок.

Важно отметить, что при низких значениях l (а это абсолютно большая часть человеческой истории), порождаемый этой моделью рост может быть достаточно точно аппроксимирован гиперболически (см. Диаграмму 7).

Диаграмма 7. Динамика мировой грамотности, 1–1980 гг. (в %): соответствие предикций простой гиперболической модели наблюдаемым данным



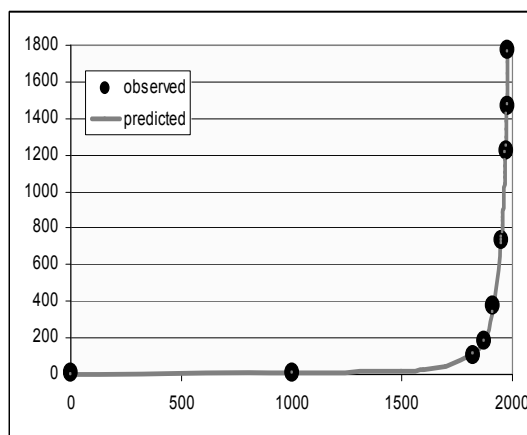
Примечание. $R = 0,997$, $R^2 = 0,994$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам ЮНЕСКО (World Bank 2004) для периода после 1970 г.; для предшествующего периода использованы оценки, полученные на основе данных, опубликованных В. А. Мельянцевым (1996; 2003; 2004; Meliantsev 2004). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$l_t = \frac{3769,264}{2040 - t}.$$

Параметры C (3769,1) и t_0 (2040) определены методом наименьших квадратов.

Число грамотных людей пропорционально, с одной стороны, уровню грамотности, а с другой стороны, общему числу людей. Так как обе эти переменные испытывали вплоть до 60-х гг. прошлого века гиперболический рост, следует ожидать, что вплоть до самого недавнего времени число грамотных людей на Земле (L)⁶ росло не просто гиперболически, а квадратично-гиперболически (подобно мировому ВВП). Наша эмпирическая проверка этой гипотезы подтвердила ее – оказалось, что квадратично-гиперболическая модель описывает рост числа грамотных обитателей этой планеты с необычайно высокой точностью (см. Диаграмму 8).

Диаграмма 8. Динамика численности грамотного населения мира (L , в млн чел.), 1–1980 гг.: соответствие предикций КВАДРАТИЧНОЙ гиперболической модели наблюдаемым данным



Примечание. $R = 0,9997$, $R^2 = 0,9994$, $a \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют эмпирическим оценкам ЮНЕСКО (World Bank 2005) для периода после 1970 г.; для предшествующего периода использованы оценки, полученные на основе данных, опубликованных В. А. Мельянцевым (1996; 2003; 2004; Meliantsev 2004) с учетом изменения возрастной структуры населения (UN Population Division 2005). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$L_t = \frac{4958551}{(2033 - t)^2}.$$

Параметры C (4958551) и t_0 (2033) определены методом наименьших квадратов.

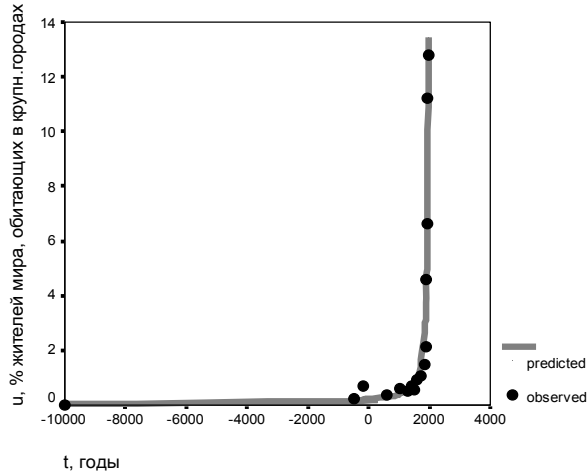
Сходные процессы наблюдаются и применительно к урбанизации, макродинамика которой, по всей видимости, описывается сходным дифференциальным уравнением:

$$\frac{du}{dt} = bSu(u_{\text{lim}} - u), \tag{21}$$

где u – доля городского населения; S – «избыточный» продукт, производимый при данном уровне технологического развития Мир-Системы на одного человека; b – константа; u_{lim} – предельно возможная доля городского населения. Отметим, что данная модель предполагает, что в эпоху развития в режиме с обострением гиперболический рост мировой урбанизации в тенденции сопровождался квадратично-гиперболическим ростом городского населения мира, что подтверждается нашими эмпирическими тестами (см. Диаграммы 9 и 10).

⁶ Уже с тех пор, как появилась грамотность, практически все грамотное население Земли обитало в рамках Мир-Системы, поэтому грамотное население Земли и грамотное население Мир-Системы всегда представляли собой понятия почти полностью синонимичные.

Диаграмма 9. Динамика мировой мегаурбанизации (% населения мира, живущего в городах с числом жителей > 250 тыс.), 10 000 г. до н. э. – 1960 г. н. э.: соответствие предикций ПРОСТОЙ гиперболической модели эмпирическим оценкам

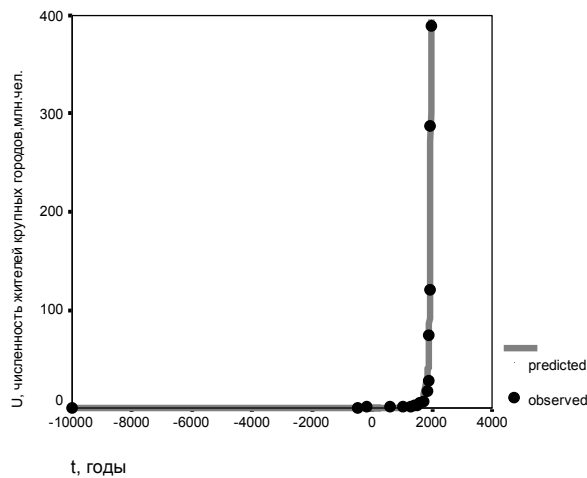


Примечание. $R = 0,987$, $R^2 = 0,974$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Д. Р. Уайта и др. (White *et al.* 2006) с учетом данных Т. Чандлера (Chandler 1987) и ООН (UN Population Division 2005). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$u_t = \frac{403,012}{1990 - t}.$$

Параметры C (403,012) и t_0 (1990) определены методом наименьших квадратов. Для сравнения: лучшее соответствие (R^2), получаемое для экспоненциальной модели, составляет 0,492.

Диаграмма 10. Динамика численности жителей крупных городов (> 250 тыс. чел.), в млн чел., 10 000 г. до н. э. – 1960 г. н. э.: соответствие предикций КВАДРАТИЧНОЙ гиперболической модели эмпирическим оценкам



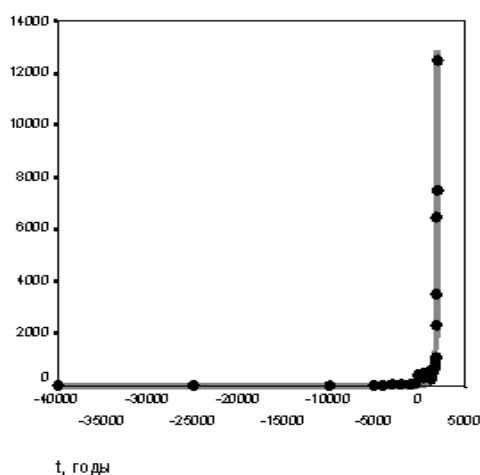
Примечание. $R = 0,998$, $R^2 = 0,996$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Д. Р. Уайта и др. (White *et al.* 2006) с учетом данных Т. Чандлера (Chandler 1987) и ООН (UN Population Division 2005). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$U_t = \frac{912057,9}{(2008 - t)^2}.$$

Параметры C (912057,9) и t_0 (2008) определены методом наименьших квадратов. Для сравнения: лучшее соответствие (R^2), получаемое для экспоненциальной модели, составляет 0,637.

В связи с этим не вызывает удивления, что квадратично-гиперболическую динамику демонстрирует и динамика численности населения самого крупного поселения Мир-Системы (см. Диаграмму 11).

Диаграмма 11. Динамика размеров крупнейшего поселения мира, в тыс. чел., 10 000 г. до н. э. – 1950 г. н. э.: соответствие предикций КВАДРАТИЧНОЙ гиперболической модели эмпирическим оценкам



Примечание. $R = 0,992$, $R^2 = 0,984$, $\alpha \ll \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Г. Модельски (Modelski 2003), Т. Чандлера (Chandler 1987) и ООН (UN Population Division 2005). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

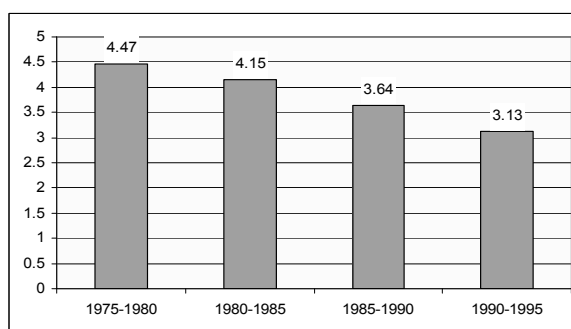
$$U_{\max t} = \frac{104020618,573}{(2040 - t)^2}.$$

Параметры C (104020618,573) и t_0 (2040) определены методом наименьших квадратов. Для сравнения: лучшее соответствие (R^2), получаемое здесь для экспоненциальной модели, составляет 0,747.

Как было показано культурными антропологами (см., например: Naroll, Divale 1976; Levinson, Malone 1980: 34), размер самого крупного поселения в доаграрных, аграрных и раннеиндустриальных обществах является неплохим индикатором общего уровня социокультурной сложности соответствующей системы, что заставляет предполагать, что и этот интегративный показатель рос в эпоху развития в режиме с обострением по квадратично-гиперболическому закону.

Конечно же, для уровня грамотности особенно очевидно, что его рост после середины 1960-х гг. не мог продолжиться сколько-нибудь долго, ведь он по определению не может превысить 100 %. Тем более что с конца 1970-х гг. стал сказываться и эффект насыщения⁷, описываемый нашей моделью, и темпы роста мировой грамотности стали замедляться (см. Диаграмму 12).

Диаграмма 12. Динамика роста мировой грамотности, 1975–1995 гг., прирост процента грамотного населения мира по пятилетиям



⁷ На «уровне почвы» действие эффекта насыщения сказывается, например, в том, что для того, чтобы ликвидировать неграмотность среди последних 2 % взрослого населения, требуется несравненно больше времени и сил, чем для того, чтобы поднять уровень грамотности населения с 50 до 52 %.

Однако еще до этого рост мировой грамотности и других показателей уровня развития человеческого капитала успел привести к началу процесса выхода Мир-Системы из режима с обострением, к концу эпохи гиперболического роста. Как было показано нами ранее, гиперболический рост населения (а также соответственно городов, школ и т. д.) наблюдается только при относительно низких ($< 0,5$, то есть $< 50\%$) значениях уровня мировой грамотности. Для того же, чтобы описать демографическую динамику Мир-Системы и в последние десятилетия, оказывается необходимым расширить систему уравнений (13)–(14) добавлением к ней равенства (20) и прибавлением в уравнение (13) множителя $(1 - l)$, в результате чего мы получаем математическую модель, описывающую не только гиперболическое развитие Мир-Системы вплоть до 60–70-х гг. прошлого века, уход ею в режим с обострением, но и наблюдающийся в настоящее время выход из режима с обострением:

$$\frac{dN}{dt} = bSN (1 - l), \quad (22)$$

$$\frac{dS}{dt} = bNS, \quad (14)$$

$$\frac{dl}{dt} = aSl(1 - l). \quad (20)$$

Собственно говоря, мы ни в коем случае не намерены утверждать, что рост грамотности – это единственный фактор глобального демографического перехода и выхода из режима с обострением. Очень важную роль здесь, конечно же, играли и многие другие факторы, такие как развитие систем здравоохранения или социального обеспечения (см., например: Chesnais 1992). Отметим, что все эти переменные вместе с грамотностью могут рассматриваться как разные параметры одной интегративной переменной, уровня развития человеческого капитала (см., например: Мельянцев 1996; 2003; 2004; Meliantsev 2004). Стоит также отметить и то обстоятельство, что эти переменные связаны с демографической динамикой образом, очень сходным с тем, что был описан выше применительно к грамотности. В начале демографического перехода развитие системы социального обеспечения очень тесно коррелирует с уменьшением смертности, так как динамика обеих переменных в своей основе детерминирована, в конечном счете, одним и тем же фактором – растущим ВВП на душу населения. Однако на второй фазе демографического перехода развитие системы социального обеспечения оказывает достаточно сильное и независимое отрицательное воздействие на рождаемость через устранение одного из важнейших стимулов к максимизации числа детей в семье.

Влияние на демографическую динамику развития системы здравоохранения демонстрирует еще более тесные параллели с тем, что мы наблюдали для роста грамотности. Отметим прежде всего, что развитие современной системы здравоохранения самым прямым образом связано с развитием современной системы образования (которая наряду с прочим готовит медицинские кадры, без которых современная система здравоохранения была бы просто невозможна). С одной стороны, во время первой фазы демографического перехода развитие современной системы здравоохранения выступает в качестве одного из важнейших непосредственных факторов снижения смертности. С другой стороны, когда потребность в снижении рождаемости достигает критического уровня, именно современная медицина разрабатывает все более и более эффективные технологии, практики и средства планирования семьи. Примечательным представляется то обстоятельство, что рост данной потребности наблюдается во многом

в результате именно снижения смертности, которая не могла бы достичь критически низких значений без достаточно развитой системы здравоохранения. Таким образом, когда потребность в снижении рождаемости достигает критического значения, те, кто такую потребность имеют, практически по определению находят систему медицинского обеспечения достаточно развитой для того, чтобы быстро и эффективно данную потребность удовлетворить.

Стоит вспомнить, что паттерн воздействия грамотности на демографическую динамику имеет почти идентичную структуру: максимальные значения относительных темпов роста населения не могут быть достигнуты без выхода на определенный (достаточно высокий) уровень экономического развития, который, в свою очередь, не может быть достигнут без достаточно заметного развития системы образования. Таким образом, тот факт, что система достигла максимальных темпов относительного роста населения, почти по определению подразумевает, что и уровень грамотности достиг таких значений; что отрицательное воздействие женской грамотности на рождаемость выросло до такого уровня, который повлечет за собой снижение относительных темпов роста населения. С другой стороны, как уровень развития системы социального обеспечения, так и уровень развития системы здравоохранения демонстрируют очень тесную корреляцию с уровнем грамотности⁸. В результате если мы знаем, что уровень грамотности в стране А достигает 90 %, а в стране Б грамотна лишь четверть взрослого населения, мы можем быть совершенно уверены, что и системы здравоохранения и социального обеспечения в стране А находятся на несравнимо более высоком уровне развития, чем в стране Б. Таким образом, уровень грамотности оказывается очень сильным предиктором уровня развития и таких важных факторов уменьшения рождаемости, какими являются системы социального обеспечения и здравоохранения.

Так как и в реальности, и в нашей макромоделли как спад смертности в начале процесса демографического перехода (приведший к демографическому взрыву), так и спад рождаемости на его второй фазе (приведший к радикальному уменьшению относительных [а затем и абсолютных] темпов роста населения) были, в конечном счете, произведены одним фактором (ростом человеческого капитала), оказалось возможным избежать включения в нашу модель смертности и рождаемости в качестве самостоятельных переменных. С другой стороны, грамотность оказалась крайне чувствительным индикатором уровня развития человеческого капитала, что сделало возможным избежать включения в макромоделль в качестве самостоятельных переменных других параметров этой интегративной переменной (например, разного рода показателей уровня развития систем здравоохранения или социального обеспечения).

Отметим, что гиперболический рост целого ряда других важнейших показателей развития Мир-Системы (таких как уровень грамотности или урбанизации) перестал быть в последние десятилетия гиперболическим в силу действия элементарного эф-

⁸ Например, наш кросснациональный анализ базы данных *World Development Indicators* (World Bank 2004) на 1975 г. дал следующие показатели корреляции между уровнем грамотности и процентом рождений, принимаемых квалифицированным медицинским персоналом: $R = 0,83$; $\alpha \ll 0,0001$, сходные результаты были получены и при корреляционном анализе данных за другие годы. С другой стороны, наш анализ данных за 1995 г. показывает, что уровень грамотности менее 30 % является максимально ($\gamma = 1,0$) предиктором того, что взносы в фонды социального страхования будут составлять менее 5 % текущих доходов (а при уровне грамотности менее 75 % они будут составлять менее 15 % текущих доходов). А, скажем, число врачей на 1000 человек коррелирует с уровнем грамотности экспоненциально ($R = 0,844$). (В последнем случае данные по грамотности были взяты из базы данных *World 95* [SPSS 2004]; данные по другим параметрам были взяты из базы данных *World Development Indicators* [World Bank 2004]).

фекта насыщения – скажем, грамотность просто по определению не может превысить 100 %, и в силу описанных выше механизмов ее рост начинает все больше замедляться при приближении к этому уровню, неизбежно трансформируясь из гиперболического в логистический.

Модель (22)–(14)–(20) математически описывает выход из режима с обострением не только динамики роста мирового населения и мировой грамотности, но и мировой экономической динамики. Однако эта модель не описывает замедления темпов экономического роста Мир-Системы после 1973 г., ведь согласно этой модели темпы роста мирового ВВП продолжают расти и после начала выхода Мир-Системы из режима с обострением, но все более медленными темпами. В реальности после 1973 г. замедлилась не просто скорость увеличения темпов роста мирового ВВП, но и сами эти темпы. Представляется, что приблизить описание мировой экономической динамики к реально наблюдаемой можно было бы добавлением множителя $(1 - l)$ и в уравнение (14). Этот множитель имел бы следующий смысл: более грамотное население имеет склонность направлять больше средств в ресурсовосстановление, что, с одной стороны, открывает перспективу выхода на траекторию устойчивого развития, но, с другой стороны, замедляет темпы экономического роста (см.: Люри 2005). Отметим, что развитие по такому сценарию не отменяет правильности уравнения технологического роста (7). Таким образом, модифицированная модель предполагает, что полный выход Мир-Системы из режима с обострением будет означать стабилизацию численности населения мира, производства мирового ВВП и ряда других показателей (таких как мировые урбанизированность и грамотность – в связи с насыщением, то есть выходом на предельно возможный уровень); однако технологический рост будет продолжаться, но уже не гиперболически, а экспоненциально. Таким образом, прекращение роста мирового ВВП не будет означать прекращения роста уровня жизни населения мира. И достигаться это будет благодаря так называемому эффекту Нордхауса (Nordhaus 1997). Суть этого эффекта можно пояснить следующим образом. Допустим, вы получили 1000 долларов и отправились в магазин покупать себе компьютер. Теперь представьте себе, какой компьютер вы смогли бы купить на ту же тысячу долларов пять лет назад. Конечно же, тот компьютер, который вы сможете купить на тысячу долларов сейчас, будет гораздо лучше, эффективнее, удобнее и т. п., чем тот компьютер, который вы смогли бы купить на ту же тысячу долларов пять лет назад. Однако если вы посмотрите в справочник Всемирного банка, вы обнаружите, что в паритетах покупательной способности 1000 долларов сегодня заметно меньше, чем 1000 долларов пять лет назад. Дело в том, что традиционные меры экономического роста (и прежде всего ВВП, измеряемый в международных долларах в паритете покупательной способности) во все большей и большей степени перестают улавливать реальный рост уровня жизни (и в особенности в наиболее развитых странах). Допустим, некая фирма, выпускавшая в 2000 г. по миллиону компьютеров в год, продающая их по 1000 долларов за штуку, сняла с производства старые компьютеры и запустила новые, значительно более эффективные (а что делать? Иначе ведь фирма разорится). В 2005 г. она выпускает их уже в количестве 1 миллион сто тысяч и продает по-прежнему по тысяче долларов за штуку (а если цену увеличить, то кто их купит?). Как это отразится на показателе ВВП страны, где эта фирма расположена, и на мировом ВВП? Никак. В 2005 г. фирма выпустила компьютеров на 110 млн долларов. Допустим, что при этом фирме удалось уменьшить свои издержки, увеличив за счет этого и свою прибыль, и зарплату своим работникам. Но Всемирный банк пересчитает эту цифру на международные доллары 2000 г., и выяснится, что 110 млн долларов 2005 г.

в паритетах покупательной способности равны 100 млн международных долларов 2000 г. Следовательно, ощутимый технологический прорыв, достигнутый фирмой и приведший к заметному росту уровня жизни заметного числа людей, никак не отразится на сводках Всемирного банка, который не зафиксирует прироста ВВП ни для данной страны, ни для мира в целом.

Дело здесь в том, что рост производства будет фиксироваться в традиционных мерах, только если он связан с увеличением потребления ограниченных ресурсов (включая и рабочую силу), если же он достигается при отсутствии такого увеличения, то его вроде бы как и нет. Модифицированная макромоделли и прогнозирует такую ситуацию, предполагая, что выход Мир-Системы из режима с обострением завершится прекращением роста мирового ВВП в традиционных мерах его измерения, при переходе к экспоненциальному (но не гиперболическому) росту технологии и уровня жизни, который будет достигаться без роста потребления ограниченных ресурсов.

В результате того, что макродинамика развития Мир-Системы подчиняется набору достаточно простых законов, имеющих к тому же исключительно простое математическое выражение, мы наблюдаем, что соотношение между основными параметрами уровня развития Мир-Системы для эпохи гиперболического роста описывается с высокой степенью точности следующей серией аппроксимаций:

$$N \sim S \sim l \sim u, \\ G \sim L \sim U \sim N^2 \sim S^2 \sim l^2 \sim u^2 \sim SN \sim \text{и т. д.},$$

где, напомним, N – это численность населения мира; S – «избыточный» продукт, производимый при данном уровне технологического развития Мир-Системы на одного человека сверх продукта m , минимально необходимого для простого (с нулевой скоростью роста) воспроизводства населения; l – мировая грамотность, пропорция грамотных среди взрослого населения мира; u – мировая грамотность, часть населения мира, живущая в городах; G – мировой ВВП; L – численность грамотного населения мира; U – численность городского населения мира.

Для эпохи гиперболического роста абсолютные темпы роста N (как впрочем и S , l и u)⁹ с высокой степенью точности описываются как kN^2 , но они с такой же точностью могут быть описаны как k_2SN , k_3S^2 или (по всей видимости, с несколько меньшей точностью) как k_4G , k_5L , k_6U , k_7l^2 , k_8u^2 и т. д.

Необходимо подчеркнуть, что нынешнее падение темпов роста коренным образом отличается от спадов и колебаний прошлого. Это не очередное колебание, это фазовый переход на новый, не типичный для всей прежней истории режим развития. Если все предыдущие спады численности населения мира происходили на фоне катастрофического падения уровня жизни населения и были вызваны прежде всего увеличением смертности вследствие различных катаклизмов: войн, голода, эпидемий, – а по мере завершения этих бедствий человечество быстро восстанавливалось и выходило на прежнюю траекторию, то нынешний спад происходит на фоне экономического подъема и вызван качественно отличными причинами: *резким снижением рождаемости*, происходящим как раз из-за роста уровня жизни основной массы населения Мир-Системы и вызванного этим роста уровня образованности, обеспеченности медицинским обслуживанием (включая разнообразные методы и средства планирования семьи), социальным страхованием и т. п. Снижение темпов роста грамотности и урбанизированности также нередко наблюдалось в предшествующие эпохи, но тогда оно было связано с нехваткой экономических ресурсов, а сейчас это наблюдается на фоне высочайших темпов экономического роста и связано с выходом на уровень насыщения.

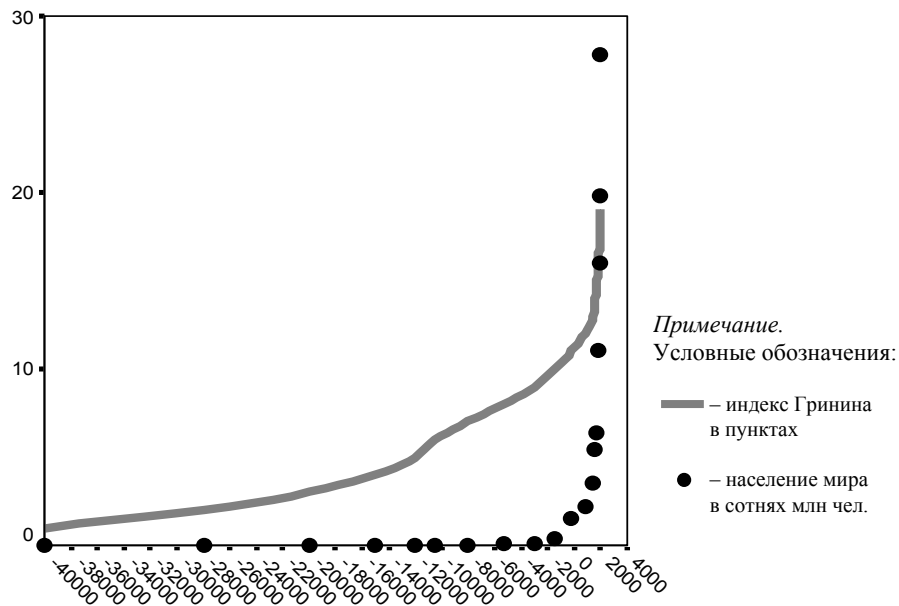
⁹ Впрочем, для u эта точность, по всей видимости, несколько меньше.

Таким образом, гипотеза Л. Е. Гринина о том, что «движение всего исторического процесса» (в нашей терминологии – развитие Мир-Системы) «можно выразить гиперболой», представляется вполне оправданной, с одной лишь оговоркой – развитие Мир-Системы было гиперболическим лишь до 60–70-х гг. прошлого века. Гиперболическая тенденция, наблюдавшаяся вплоть до этого времени, не могла продолжаться далее сколько-нибудь долго просто по определению. Ведь если бы тенденция роста, наблюдавшаяся вплоть до этого времени, продолжилась бы и дальше, то население Земли должно было бы стать бесконечным уже в 20-е гг. этого века, а мировой ВВП должен был бы уйти в бесконечность еще раньше – в 2005 г. (см. выше Диаграмму 5). Естественно, что еще задолго до этого Мир-Система стала выходить из режима с обострением, а рост ее перестал быть гиперболическим.

Вернемся теперь к рассмотрению вопроса о том, насколько некалиброванный индекс Гринина можно рассматривать в качестве индекса уровня технологического развития Мир-Системы. Начнем с того, что согласно модели (3)–(13)–(7), между численностью населения Мир-Системы и уровнем ее технологического развития должна наблюдаться очень тесная корреляция. Между индексом Гринина и численностью населения мира действительно наблюдается довольно тесная корреляция ($R = 0,805$, $R^2 = 0,648$, $\alpha = 0,00003$) (см. Диаграмму 13).

Однако проанализированные модели заставляют предполагать, что корреляция между адекватным индексом технологического развития Мир-Системы и численностью населения мира (основная часть которого, как говорилось выше, уже много тысяч лет живет в рамках Мир-Системы) должна быть значительно сильнее.

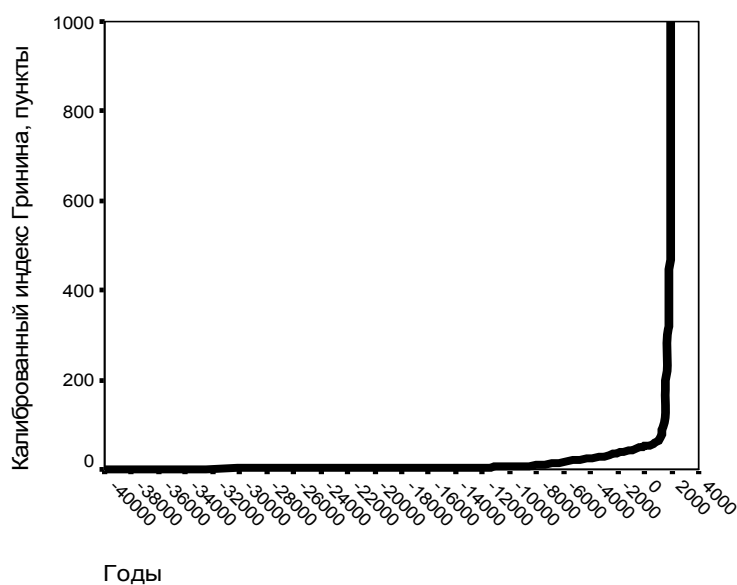
Диаграмма 13. Динамика некалиброванного индекса Гринина и численности населения мира, 40 000 г. до н. э. – 1955 г. н. э.



На наш взгляд, некалиброванный индекс Гринина не может рассматриваться в качестве адекватной меры уровня технологического развития Мир-Системы, так как в нем не учитывается кардинально различный вес разных социально-технологических сдвигов,

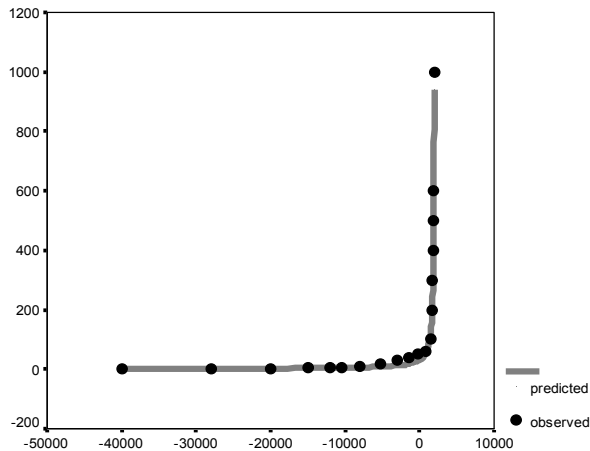
маркирующих новые эпохи в периодизации Гринина. Так, вряд ли оправдано откладывать на единой шкале одно и то же значение для перехода (в терминологии Л. Е. Гринина) от одного принципа производства к другому (например, для аграрной революции) и для сдвига в рамках одного и того же принципа производства (например, для появления специализированного собирательства). Действительно, скажем, первый из этих сдвигов увеличивал несущую способность Земли на 1–2 порядка, а второй – в лучшем случае в 2–3 раза. Поэтому, на наш взгляд, калиброванный индекс Гринина является более адекватной мерой уровня технологического развития Мир-Системы, так как в этом варианте сдвиги от одного принципа производства к другому рассматриваются в качестве сдвига на порядок, а сдвиги в пределах одного принципа производства – как сдвиги на пункты в пределах соответствующего порядка. Динамика калиброванного индекса Гринина на интересующем нас отрезке выглядит следующим образом (см. Диаграмму 14).

Диаграмма 14. Динамика калиброванного индекса Гринина, 40 000 г. до н. э. – 1955 г. н. э.



Стоит сразу же отметить, что, как и следовало бы ожидать для адекватной меры уровня технологического развития Мир-Системы, динамика калиброванного индекса Гринина демонстрирует несравненно лучшее соответствие гиперболической модели, чем его некалиброванная версия (см. Диаграмму 15).

Диаграмма 15. Калиброванный индекс Гринина, 40 000 г. до н. э. – 1950 г. н. э.: простая гиперболическая модель



Примечание.

$$R = 0,998, R^2 = 0,996, \alpha \ll 0,0001.$$

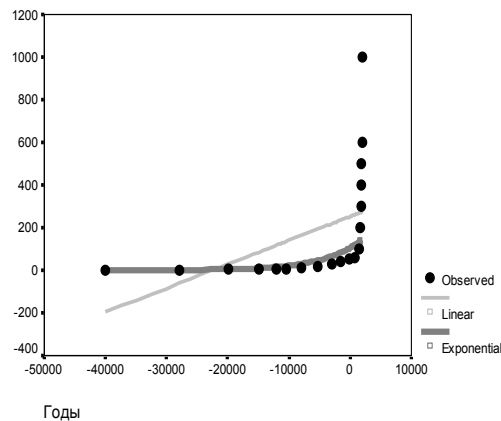
Черные маркеры соответствуют фактическим оценкам. Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$I_{ct} = 10,254 + 2208,584 / (2210 - t).$$

Значения константы (10,254), параметров C (2208,584) и t_0 (2210) определены методом наименьших квадратов.

При этом в данном случае уровень соответствия гиперболической модели значительно превышает таковой не только для линейной, но и для экспоненциальной модели (см. Диаграмму 16).

Диаграмма 16. Калиброванный индекс Гринина (I), 40 000 г. до н. э. – 1950 г. н. э.: линейная и экспоненциальная модели



Примечание. Черные маркеры соответствуют фактическим оценкам Л. Е. Гринина.

Линейная регрессия: $R = 0,485$, $R^2 = 0,235$, $\alpha = 0,035$. Тонкая светло-серая прямая, дающая наибольшее соответствие наблюдаемым данным, сгенерирована следующим уравнением:

$$I_{ct} = 252,242 + 0,0112t.$$

Экспоненциальная регрессия:

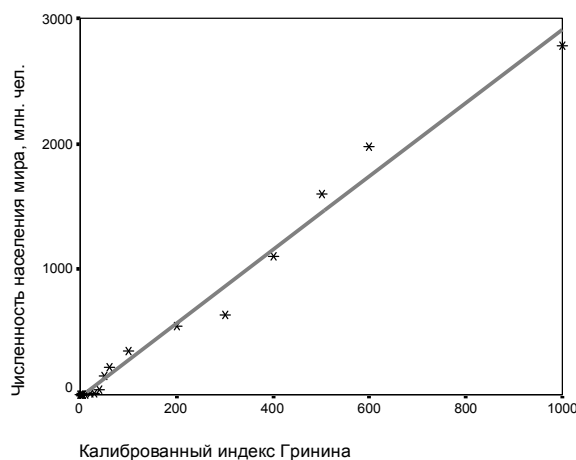
$$R = 0,869, R^2 = 0,755, \alpha < 0,001.$$

Толстая темно-серая экспоненциальная кривая, дающая наибольшее соответствие наблюдаемым данным, сгенерирована следующим уравнением:

$$I_t = 106,004 \times e^{0,0002t}.$$

Отметим также, что для калиброванного индекса Гринина мы получаем время обострения значительно более близкое к тому, что было получено нами и другими исследователями для иных показателей уровня развития Мир-Системы, чем мы имеем это для некалиброванного варианта рассматриваемого индекса. Кроме того, калиброванный вариант демонстрирует несравнимо более высокую корреляцию с численностью населения мира (см. Диаграмму 17), что в свете сказанного выше заставляет предполагать: он является значительно более адекватной мерой уровня технологического развития Мир-Системы.

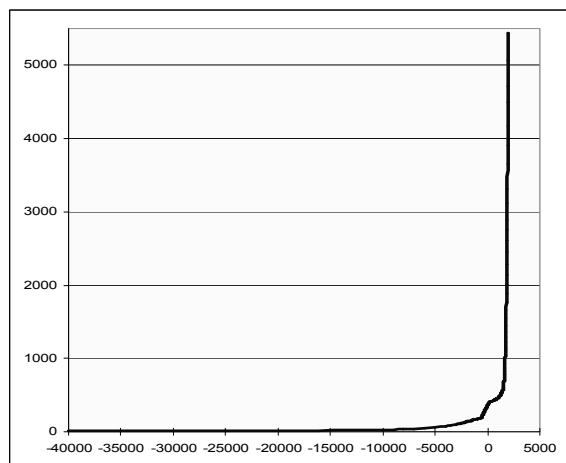
Диаграмма 17. Корреляция между калиброванным индексом Грина (I_G) и численностью населения мира, 40 000 г. до н. э. – 1955 г. н. э.: диаграмма рассеивания с наложенной линией регрессии



Примечание. $R = 0,993$, $R^2 = 0,986$, $\alpha \ll 0,0001$. Источник данных по динамике численности населения мира – Kremer 1993.

Проведем дополнительную проверку с использованием разработанного нами индекса технологического развития Мир-Системы. Этот индекс был рассчитан нами на основе базы данных А. Хеллеманса и Б. Банча (Hellemans, Bunch 1988), создатели которой постарались зафиксировать в хронологической последовательности все основные изобретения и открытия, сделанные вплоть до 80-х гг. прошлого века. В качестве индекса технологического развития на момент X мы рассматривали общее число изобретений и открытий, сделанных вплоть до этого момента. Общая динамика индекса технологического развития Мир-Системы выглядит следующим образом (см. Диаграмму 18).

Диаграмма 18. Динамика индекса технологического развития, 40 000 г. до н. э. – 1970 г. н. э.



Начнем с того, что данный индекс позволяет нам, наконец, провести эмпирическую проверку гипотезы Кузнеця–Кремера, выражаемой уравнением (7):

$$\frac{dT}{dt} = bNT, \quad (7)$$

где, напомним, T – это уровень технологического развития Мир-Системы; N – численность населения; b – коэффициент, соответствующий средней продуктивности изобретательской работы одного обитателя Мир-Системы.

Вербально эта гипотеза может быть сформулирована следующим образом: абсолютные темпы технологического роста на момент t пропорциональны, с одной стороны, уровню развития технологии, достигнутому на данный момент, а с другой – численности наличного на этот момент населения (то есть численности потенциальных изобретателей).

Эмпирическая проверка этой гипотезы тем более настоятельно необходима, что уравнение Кремера (то есть математическое выражение этой гипотезы) уже широко используется в математических моделях гиперболического роста (Cohen 1995; Komlos, Nefedov 2002; Tsirel 2004; Podlazov 2004¹⁰; Коротаев и др. 2005а; 2005b), хотя эмпирическая проверка этой гипотезы, насколько нам известно, до сих пор так и не проводилась.

При использовании подсчитанного нами индекса технологического развития гипотеза Кузнеця – Кремера может быть операционализирована следующим образом: если эта гипотеза верна, то число изобретений и открытий, сделанных в среднем в течение года периода A , должно быть пропорционально произведению числа изобретений и открытий, сделанных до начала этого периода¹¹, на численность населения на начало этого периода.

Анализ базы данных Хеллеманса – Банча дает следующие результаты (см. Таблицу 1 и Диаграмму 19).

Таблица 1. Долгосрочная демографико-технологическая динамика

i (годы)	T (индекс технологического развития = число изобретений и от- крытий, сделанных до начала года i)	N (численность населения мира на год i в млн чел.)	NT	dT (число изобре- тений и откры- тий, сделанных за период, начинающийся в год i)	dT/dt (число изобретений и открытий, сделанных в среднем за год, за период, следую- щий за годом i)
-40000	10	3	30	3	0.0002
-25000	13	3.34	43.42	10	0.000667
-10000	23	4	92	40	0.008
-5000	63	5	315	10	0.01
-4000	73	7	511	22	0.022
-3000	95	14	1330	35	0.035
-2000	130	27	3510	41	0.041
-1000	171	50	8550	39	0.078
-500	210	100	21000	100	0.333333
-200	310	150	46500	47	0.235
0	357	170	60690	48	0.228571
210	405	190	76950	12	0.06
410	417	190	79230	12	0.06

¹⁰ Необходимо отметить, что А. В. Подлазов и С. В. Цирель вывели данное уравнение технологического роста независимо от М. Кремера.

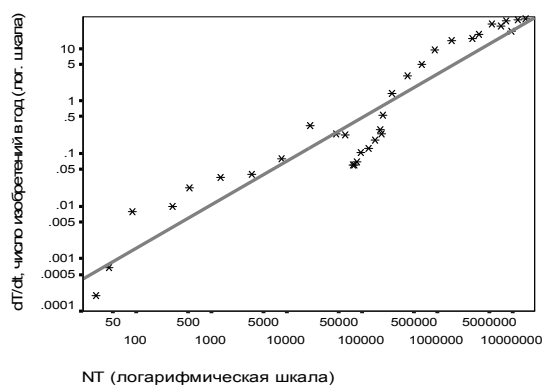
¹¹ То есть индекса технологического развития на начало периода A .

Продолжение табл. 1

i (годы)	T (индекс технологического развития = число изобретений и от- крытий, сделанных до начала года i)	N (численность населения мира на год i в млн чел.)	NT	dT (число изобре- тений и откры- тий, сделанных за период, начинающийся в год i)	dT/dt (число изобретений и открытий, сделанных в среднем за год, за период, следую- щий за годом i)
610	429	200	85800	14	0.07
810	443	220	97460	21	0.105
1010	464	265	122960	11	0.122222
1100	475	320	152000	18	0.18
1200	493	360	177480	28	0.28
1300	521	360	187560	24	0.24
1400	545	350	190750	53	0.53
1500	598	425	254150	141	1.41
1600	739	545	402755	305	3.05
1700	1044	610	636840	249	4.98
1750	1293	720	930960	476	9.52
1800	1769	900	1592100	690	13.8
1850	2459	1200	2950800	302	15.1
1870	2761	1300	3589300	556	18.53333
1900	3317	1625	5390125	583	29.15
1920	3900	1813	7070700	271	27.1
1930	4171	1987	8287777	330	33
1940	4501	2213	9960713	212	21.2
1950	4713	2555.36	12043412	355	35.5
1960	5068	3039.67	15405048	370	37
1970	5438	3708.07	20164485		

Примечание. Источник данных по динамике численности населения мира – Кремер 1993.

Диаграмма 19. Корреляция между NT и абсолютными темпами технологического роста (dT/dt): диаграмма рассеивания в двойной логарифмической шкале с наложенной линией регрессии, 40 000 г. до н. э. – 1970 г. н. э.



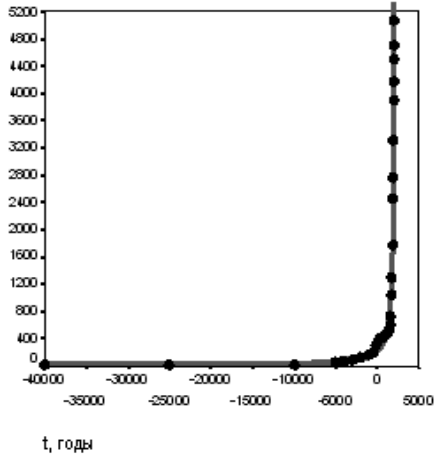
Примечание. $R = +0,934$, $R^2 = 0,872$, $\alpha = 2,9 \times 10^{-16}$.

Как мы видим, гипотеза Кузнеця – Кремера прошла нашу эмпирическую проверку в высшей степени успешно: корреляция оказалась в предсказанном направлении очень

сильной и статистически значимой. Вариация абсолютных темпов технологического роста объясняется вариацией NT более чем на 87 %.

Предсказуемым образом индекс технологического развития демонстрирует ярко выраженную долгосрочную гиперболическую динамику (см. Диаграмму 20).

Диаграмма 20. Динамика индекса технологического развития, 40 000 г. до н. э. – 1960 г. н. э.: соответствие предикций простой гиперболической модели наблюдаемым данным



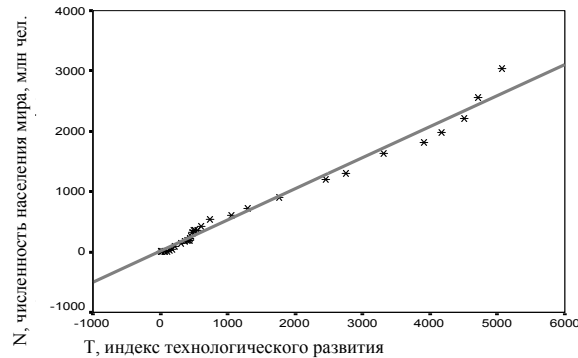
Примечание. $R = 0,996$, $R^2 = 0,992$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют нашим оценкам, сделанным на основе базы данных Хеллеманса – Банча (Hellemans, Bunch 1988). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$T_t = \frac{464803,8}{(2047 - t)}$$

Параметры C (464803,8) и t_0 (2047) определены методом наименьших квадратов. Для сравнения лучшее соответствие (R^2), получаемое в этом случае для экспоненциальной модели составляет 0,785. Значение t_0 здесь, совершенно очевидно, несколько завышено из-за недоучета базой данных Хеллеманса – Банча значительного числа важных изобретений и открытий, сделанных после 1870 г.

С динамикой численности населения мира наш индекс технологического развития демонстрирует высокую корреляцию того же самого порядка, что и калиброванный индекс Гринина (см. Диаграмму 21).

Диаграмма 21. Корреляция между индексом технологического развития (T) и численностью населения мира, 40 000 г. до н. э. – 1960 г. н. э.: диаграмма рассеивания с наложенной линией регрессии

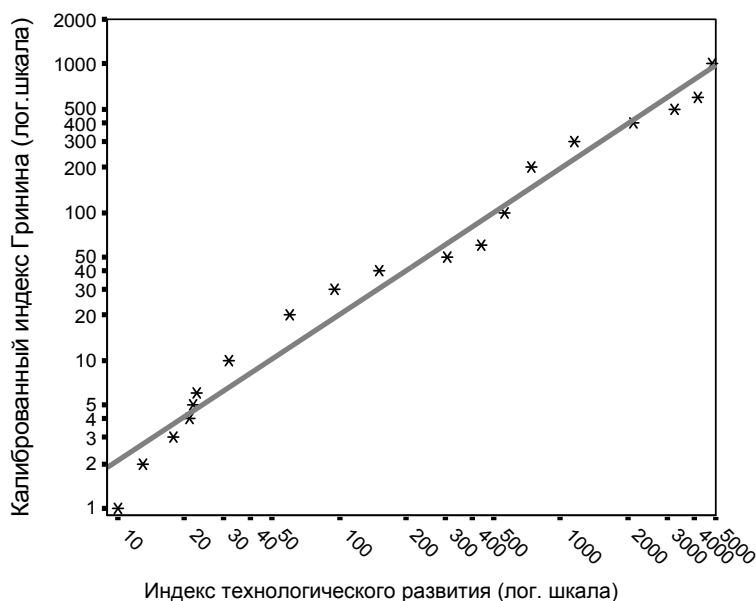


*Примечание*¹². $R = 0,991$, $R^2 = 0,982$, $\alpha \ll 0,0001$. Источник данных по динамике численности населения мира – Кгемер 1993.

¹² Отметим, что в реальности эта корреляция, по всей видимости, еще сильнее. Действительно, имеются достаточные основания предполагать, что начиная с середины XIX в. Банч и Хеллеманс все больше

Отметим, что калиброванный индекс Гринина демонстрирует очень тесную корреляцию с подсчитанным нами индексом технологического развития (см. Диаграмму 22).

Диаграмма 22. Корреляция между индексом технологического развития (T) и калиброванным индексом Гринина (I_c), 40 000 г. до н. э. – 1955 г. н. э.: диаграмма рассеивания с наложенной линией регрессии



Примечание. $R = 0,978$, $R^2 = 0,982$, $\alpha = 4,6 \times 10^{-13}$.

Таким образом, динамика индекса Гринина (в особенности в его калиброванном варианте) достаточно точно отражает гиперболическую динамику развития Мир-Системы, так как, по всей видимости, динамика данного индекса отражает гиперболическую динамику одного из важнейших показателей этого развития – технологического.

В заключение попытаемся дать свой ответ на вопрос, поставленный в статье Л. Е. Гринина: чем математические модели исторических макропроцессов могут помочь нам при разработке более обоснованных периодизаций истории развития Мир-Системы? А помочь они здесь, по всей видимости, действительно могут.

и больше недоучитывают. Так, ими явно недоучтен стремительный рост изобретательской активности во второй половине XIX в., когда, например, в США на смену 23140 изобретениям, зарегистрированным в 50-е гг., пришло 440 тыс. изобретений, зарегистрированных в последующие три десятилетия, а общие «масштабы изобретательства возросли... с 1860 по 1890 год... в 7 раз» (Гринин 2003: 145), в то время как, судя по базе данных Банча и Хеллеманса, этот рост по миру не превышал двух раз, что даже с учетом того, что данный рост в США заметно превышал таковой почти во всех остальных странах мира, представляется явной недооценкой. Эта недорегистрация, по всей видимости, во многом объясняется чисто техническими причинами. Дело в том, что к середине XIX в. Хеллеманс и Банч вышли на такой уровень инновационной активности, когда даже самое краткое описание сделанных за год важных изобретений и открытий стало занимать более двух страниц большого формата, и начиная с этого времени им пришлось отказываться от упоминания все большего числа изобретений и открытий для того, чтобы предотвратить разрастание их книги (которая и так занимает около 700 страниц большого формата) до непечатного объема.

Например, рассмотренные выше математические модели позволяют бросить свежий взгляд на проблему периодизации. Они, например, позволяют разделить историю развития Мир-Системы на две основные макроэпохи:

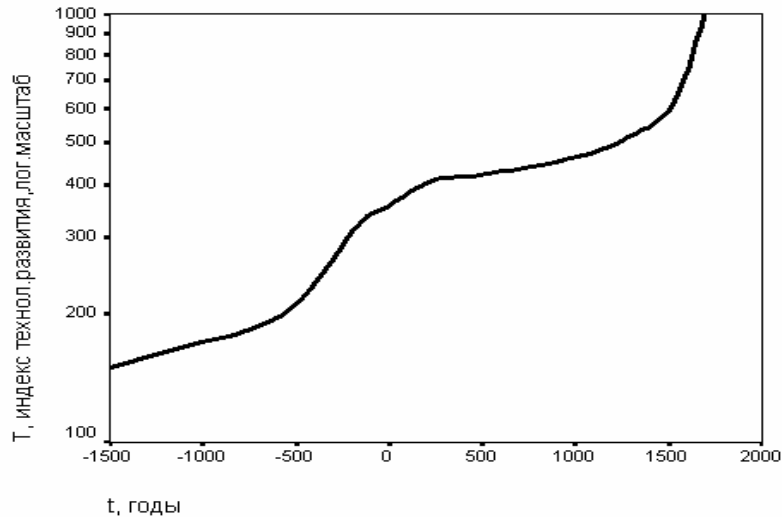
1) макроэпоху гиперболического роста (эпоху входа в режим с обострением), до 60–70-х гг. прошлого века;

2) макроэпоху выхода из режима с обострением, начиная с 60–70-х гг. прошлого века.

При этом 60–70-е гг. прошлого века могли бы рассматриваться в качестве переходной эпохи между двумя этими макроэпохами¹³.

С другой стороны, макроэпоха развития в режиме с обострением распадается на две достаточно самостоятельные эпохи гиперболического роста, граница между которыми в общем и целом задается концом Осевого времени. При этом вторая гипербола полностью подавляет своими масштабами первую, так что, скажем, на приведенной выше Диаграмме 18 Осевое время выглядит лишь каким-то мелким бугорком, досадно нарушающим элегантную форму гиперболы технологического роста. То, что большая гипербола здесь складывается из двух малых, оказывается возможным рассмотреть только при увеличении интересующего нас участка (см. Диаграмму 23).

Диаграмма 23. Динамика индекса технологического развития, 1500 г. до н. э. – 1700 г. н. э.: логарифмический масштаб

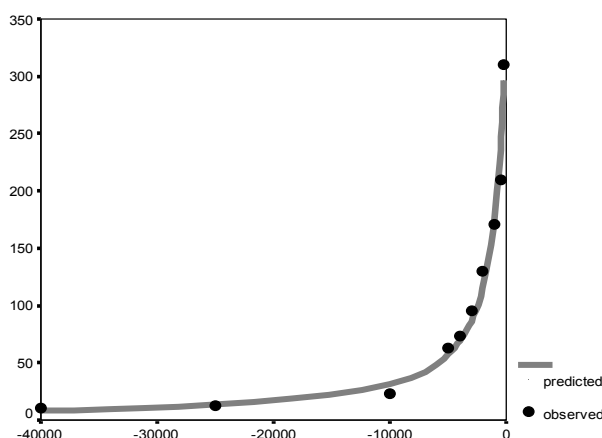


Напомним, что в логарифмическом масштабе гипербола выглядит как экспонента, что и позволяет нам отчетливо рассмотреть: большая гипербола складывается из двух малых, и при этом выход из одной гиперболы завершается вхождением во вторую.

Однако насколько оправданно рассматривать в целом технологическую динамику Мир-Системы до конца Осевого времени как гиперболическую? Математический анализ показывает, что она действительно имеет безусловно гиперболический характер (см. Диаграмму 24).

¹³ К сходным результатам уже раньше пришел С. П. Капица (1999), однако у него речь шла прежде всего о демографической истории человечества, в то время как приведенные выше данные позволяют говорить, что подобную структуру имеет и в целом история развития Мир-Системы.

Диаграмма 24. Динамика индекса технологического развития, 40000–200 гг. до н. э.: соответствие предикций простой гиперболической модели наблюдаемым данным



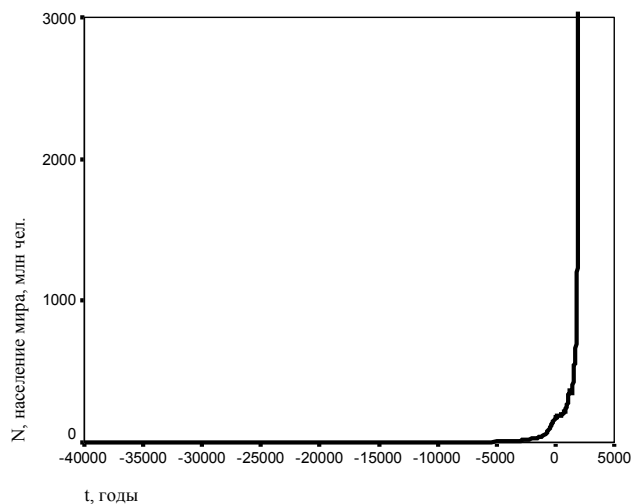
Примечание. $R = 0,993$, $R^2 = 0,986$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют нашим оценкам, сделанным на основе базы данных Хеллеманса – Банча (Hellemans, Bunch 1988). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$T_t = \frac{341303,1}{(950 - t)}$$

Параметры C (341303,3) и t_0 (950) определены методом наименьших квадратов. Для сравнения: лучшее соответствие, получаемое в этом случае для экспоненциальной модели, составляет 0,785 (R^2).

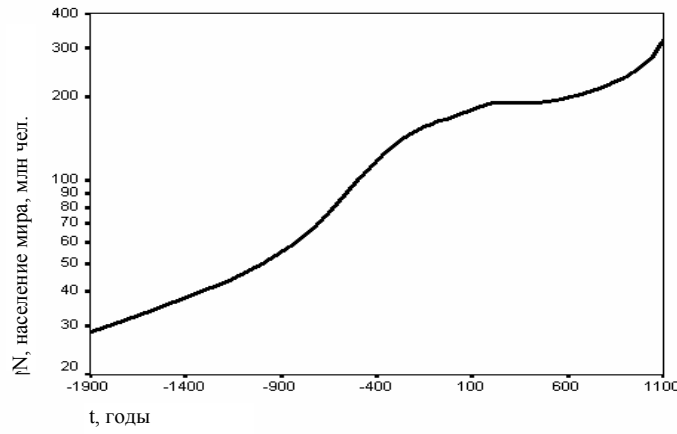
Не менее сложно рассмотреть то обстоятельство, что макрокривая гиперболического роста Мир-Системы состоит из двух гипербол и на общей диаграмме роста населения мира (см. Диаграмму 25).

Диаграмма 25. Динамика численности населения мира, 40 000 г. до н. э. – 1960 г. н. э., млн чел.



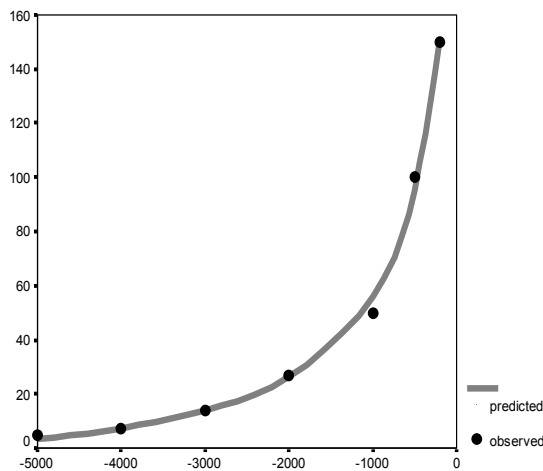
Однако и здесь рассмотрение «бугры Осевого времени» в логарифмическом масштабе выявляет две примыкающие друг к другу гиперболические кривые, при том, что выход из одной гиперболы завершается вхождением во вторую (см. Диаграмму 26).

Диаграмма 26. Динамика численности населения мира, 1900 г. до н. э. – 1100 г. н. э., млн чел.: логарифмический масштаб



При этом математический анализ однозначно подтверждает общий гиперболический характер демографической динамики Мир-Системы вплоть до конца Осевого времени (см. Диаграмму 27).

Диаграмма 27. Динамика численности населения мира, 5000 – 200 гг. до н. э., млн чел.: соответствие предикций простой гиперболической модели наблюдаемым данным



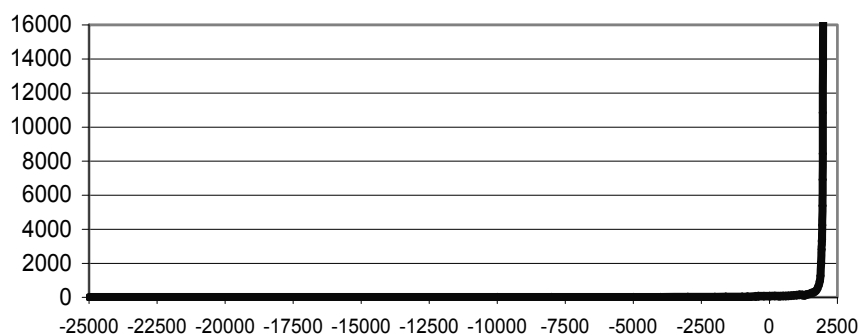
Примечание. $R = 0,998$, $R^2 = 0,996$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам М. Кремера (Kremer 1993). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$N_t = \frac{99674,642}{(400-t)} - 15,29.$$

Параметры C (99674,642), t_0 (400) и константа (-15,29) определены методом наименьших квадратов. Для периода 40 000 – 200 г. до н. э. корреляция с гиперболической моделью несколько меньше ($R^2 = 0,990$ при $t_0 = 275$). Для сравнения: лучшее соответствие, получаемое для экспоненциальной модели, составляет 0,459 (R^2) для периода 40000 – 200 г. до н. э. и 0,973 (R^2) для периода 5000 – 200 г. до н. э.

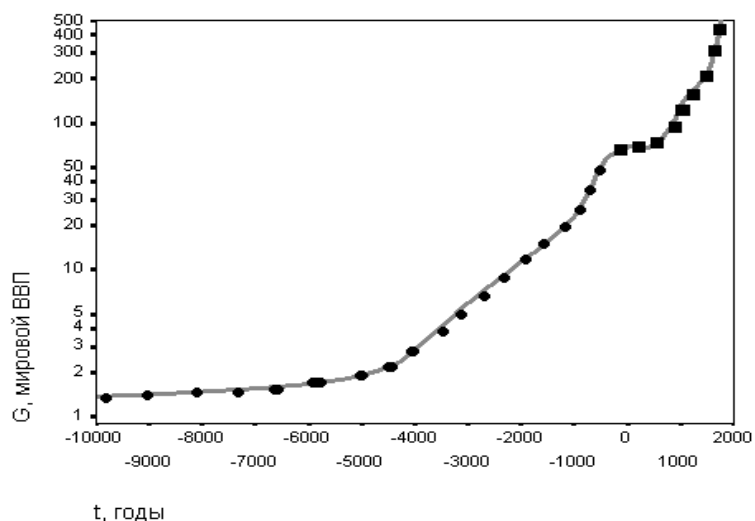
Из-за общего квадратично-гиперболического характера роста мирового ВВП рассмотреть две гиперболы на диаграмме его роста, составленной на основе оценок Дж. Б. Делонга (DeLong 1998), уже просто невозможно (см. Диаграмму 28).

Диаграмма 28. Рост мирового ВВП с 25 000 г. до н. э. до начала 70-х гг. XX в., в млрд международных долларов 1990 г. в ППС



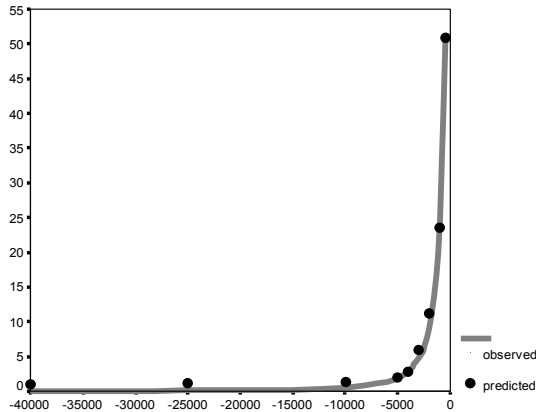
Однако и здесь рассмотрение диаграммы роста в логарифмическом масштабе выявляет две примыкающие разновеликие гиперболические кривые, перетекающие друг в друга в конце Осевого времени (см. Диаграмму 29).

Диаграмма 29. Рост мирового ВВП с 10 000 г. до н. э. до второй половины XVIII в., в миллиардах международных долларов 1990 г. в ППС, логарифмический масштаб



Математический анализ оценок Дж. Б. Делонга подтверждает общий квадратично-гиперболический характер экономической динамики Мир-Системы вплоть до Осевого времени (см. Диаграмму 30).

Диаграмма 30. Динамика мирового ВВП, 40 000–500 г. до н. э., в млрд международных долларов 1980 г. в паритетах покупательной способности: соответствие предикций КВАДРАТИЧНОЙ гиперболической модели оценкам Дж. Б. Делонга



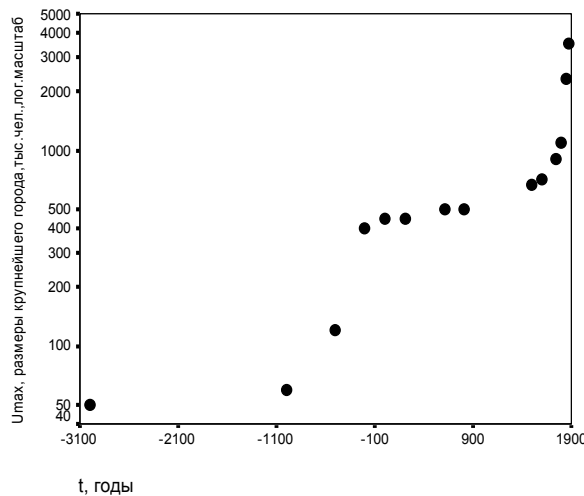
Примечание. $R = 0,999$, $R^2 = 0,998$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Дж. Б. Делонга (DeLong 1998). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$G_t = \frac{61303619,77}{(595 - t)^2}.$$

Параметры C (61303619,77) и t_0 (595) определены методом наименьших квадратов. Для периода 40000–200 г. до н. э. корреляция с гиперболической моделью несколько меньше ($R^2 = 0,986$ при $t_0 = 1200$). Для сравнения: лучшее соответствие (R^2), получаемое для экспоненциальной модели, составляет 0,480 для периода 40 000–200 г. до н. э. и 0,475 для периода 40 000–500 г. до н. э.

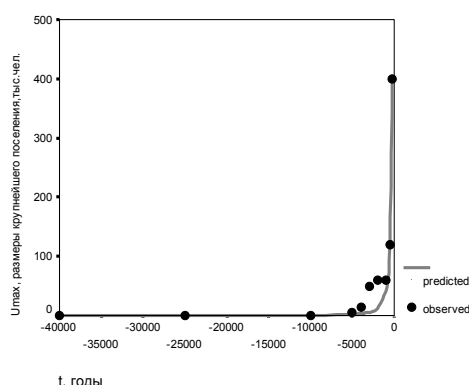
Две гиперболические кривые прослеживаются и по данным о динамике такого важнейшего показателя, как размеры крупнейшего города Мир-Системы (см. Диаграмму 31).

Диаграмма 31. Динамика размеров крупнейшего поселения мира, 3000 г. до н. э. – 1870 г. н. э., в тыс. чел., логарифмический масштаб



Математический анализ подтверждает, что общая динамика размеров крупнейшего поселения Мир-Системы имела вплоть до конца Осевого времени квадратично-гиперболический характер (см. Диаграмму 32).

Диаграмма 32. Динамика размеров крупнейшего поселения мира, 40 000–200 гг. до н. э., в тыс. чел.: соответствие предикций КВАДРАТИЧНОЙ гиперболической модели наблюдаемым данным



Примечание. $R = 0,989$, $R^2 = 0,978$, $\alpha \ll 0,0001$. Черные маркеры соответствуют оценкам Г. Модельски (Modelski 2003) и Т. Чандлера (Chandler 1987). Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$U_{\max t} = \frac{56637733,865}{(175 - t)^2}.$$

Параметры C (56637733,865) и t_0 (175) определены методом наименьших квадратов. Для сравнения: лучшее соответствие (R^2), получаемое для экспоненциальной модели, составляет здесь 0,805¹⁴.

Значит, исходя из сказанного выше, можно предполагать, что и общая динамика роста совокупной социокультурной сложности Мир-Системы вплоть до конца Осевого времени была квадратично-гиперболической. Отметим, что для эпохи «Младшей гиперболы» наблюдаются очень жесткие корреляции между размерами крупнейшего города Мир-Системы и такими показателями, как общий уровень ее урбанизированности/процента городских жителей ($R = 0,99$; $\alpha < 0,001$), общее число городских жителей ($R = 0,98$; $\alpha < 0,001$), мировая грамотность ($R = 0,98$; $\alpha < 0,001$), общее число грамотных людей ($R = 0,99$; $\alpha < 0,001$)¹⁵. Если пропорции между основными показателями развития Мир-Системы оставались в рамках «Старшей гиперболы» в основе своей теми же, что и в рамках «Младшей», квадратично-гиперболический рост размеров крупнейшего поселения может рассматриваться как косвенный индикатор того, что вплоть до конца Осевого времени в рамках Мир-Системы наблюдалась гиперболическая тенденция роста урбанизированности, грамотности, а также квадратично-гиперболическая тенденция роста общего числа горожан и грамотных людей¹⁶.

Стоит обратить внимание и на то, на какие даты приходится момент обострения для проанализированных выше «старших гипербол» (см. примечания к Диаграммам 24, 27, 30 и 32). А даты эти следующие: 950 г. н. э. — для уровня технологического развития; 400 г. — для населения; 595 г. — для мирового ВВП; даже 175 г. — для населения крупнейшего города Мир-Системы. Другими словами, если бы общая тенденция гиперболического роста Мир-Системы, наблюдавшаяся вплоть до Осевого времени (включительно), продолжилась бы еще всего лишь несколько веков, уже в I тыс. н. э. все основные показатели развития Мир-Системы стали бы бесконечными. Ясно, что такой сценарий развития событий невозможен по определению. Значит, в любом случае режим гиперболического развития Мир-Системы, наблюдавшийся вплоть до Осевого времени,

¹⁴ Отметим, что данная диаграмма побуждает задать вопрос: а не распадались ли и «Старшая гипербола» на две? Для ответа на этот вопрос мы пока не имеем достаточно количественных данных.

¹⁵ Рассчитано по источникам, описанных выше в примечаниях к Диаграммам 7–9.

¹⁶ Данное утверждение, конечно же, нуждается в самостоятельной эмпирической проверке, которая пока не может быть произведена из-за отсутствия в нашем распоряжении необходимых количественных данных. Отметим, что даже использованные выше данные по динамике численности населения, обитающего в городах с числом жителей более 250 тыс. чел., здесь не могут быть использованы, так как города таких размеров появляются только в Осевое время.

должен был вскоре после его окончания измениться (ведь, скажем, не могла же в самом деле численность населения крупнейшего города мира достигнуть в 174 г. н. э. 57 млрд человек¹⁷, а в следующем году уйти в бесконечность). И действительно, после окончания Осевого времени Мир-Система из режима с обострением выходит. Гиперболическая макродинамика Мир-Системы на продолжительный промежуток времени меняется на логистическую, что напоминает современную макроэпоху. Однако сходство здесь достаточно поверхностное.

Как уже говорилось, в современную эпоху выход из режима с обострением происходит на фоне стремительного роста уровня жизни абсолютного большинства обитателей мира, как раз благодаря этому росту поднимается уровень образования до такой степени, что это приводит к стремительному снижению рождаемости (а значит, и переходу гиперболической демографической динамики в логистическую), с одной стороны, и с другой – ко все большему приближению мировой грамотности к уровню насыщения (а значит, и переходу динамики роста мировой грамотности из гиперболической в логистическую).

Выход из режима с обострением в «первую переходную эпоху» происходил прямо противоположным путем: за счет снижения (нередко вплоть до отрицательных значений) темпов экономического роста и, как следствие этого, снижения уровня жизни, роста смертности, снижения (нередко вплоть до отрицательных значений) темпов роста грамотности и урбанизации, несмотря на то, что до уровня насыщения им было еще очень и очень далеко.

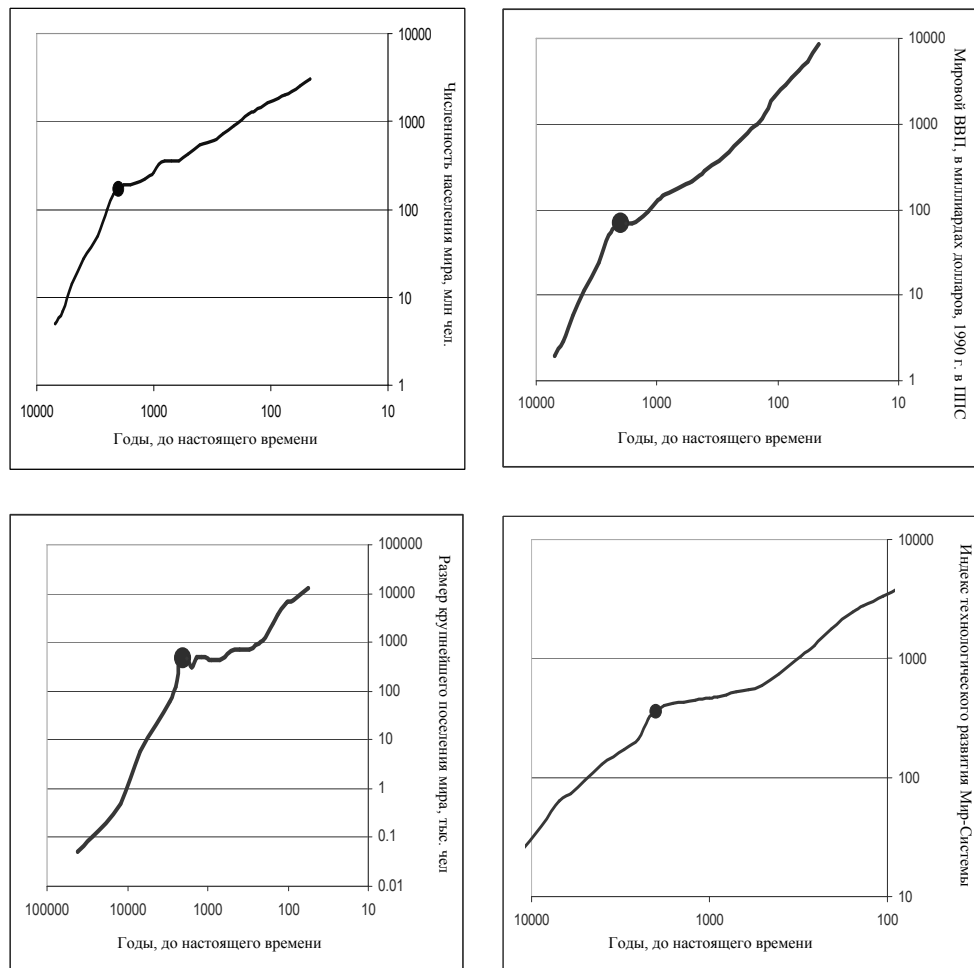
Как уже говорилось, выход из «Старшей гиперболы» был, по сути дела, одновременно вхождением в новую – «Младшую гиперболу». Существенно, что процесс этот вовсе не представлял собой возвращения на старую траекторию гиперболического роста. Речь шла, по сути, о радикальной смене режимов гиперболического роста, сопровождавшей радикальную трансформацию Мир-Системы. Образно выражаясь, можно сказать, что Мир-Система не выдержала того режима стремительного ускорения, в котором она развивалась несколько тысяч лет после начала аграрной революции, и после Осевого времени она перешла в новый режим несколько более плавного, но и более стабильного гиперболического ускорения.

Данное обстоятельство особенно хорошо видно при рассмотрении динамики показателей уровня развития Мир-Системы в двойной логарифмической шкале (см. Диаграмму 33).

Напомним, что в двойном логарифмическом масштабе гипербола выглядит как прямая. При этом больший наклон соответствует большим темпам гиперболического ускорения. Таким образом, по всем четырем показателям, по которым в нашем распоряжении имеются количественные данные, прослеживается одна и та же картина: переход от режима более быстрого гиперболического ускорения, характерного для развития Мир-Системы вплоть до Осевого времени, к режиму относительно более медленного (но, совершенно очевидно, более стабильного) «постосевого» гиперболического ускорения. Таким образом, «большая» гипербола развития Мир-Системы распадается на две «малых» – «Старшую» и «Младшую», различающиеся между собой по своим базовым характеристикам.

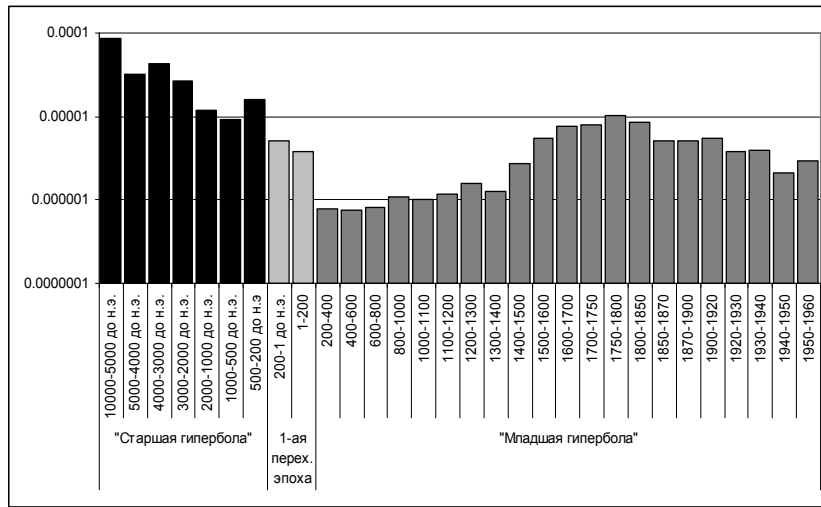
¹⁷ См. уравнение в примечании к Диаграмме 32.

Диаграмма 33. Долгосрочная динамика основных показателей уровня развития Мир-Системы в двойном логарифмическом масштабе: численности населения (до 1960 г.), мирового ВВП (до 1960 г.), размера крупнейшего поселения (до 1950 г.), индекса технологического развития (до конца XIX в.)



Примечание. Черный круглый маркер обозначает точку данных, соответствующую 200 г. до н. э., что приблизительно совпадает с окончанием Осевого времени.

То, что речь идет о двух разных режимах гиперболического роста, видно, например, из сопоставления значений коэффициента b уравнения технологического роста М. Кремера (7), который самим Кремером интерпретируется как «коэффициент подушевой изобретательской продуктивности» (Kremer 1993: 686) (см. Диаграмму 34).

Диаграмма 34. Значения коэффициента подушевой изобретательской продуктивности, логарифмический масштаб

Примечание. Рассчитано по Таблице 1.

Как отмечалось выше, значения коэффициента для периода после 1850 г., скорее всего, несколько занижены. Однако даже с учетом этого кардинальное различие между «Старшей» и «Младшей» гиперболами здесь очевидно¹⁸.

Итак, рассмотрение проблем периодизации истории развития Мир-Системы с учетом математических моделей ее эволюции подтверждает фундаментальную правоту К. Ясперса (1994), рассматривавшего Осевое время в качестве вехи, в некотором смысле центральной, делящей эту историю на две равноположенные части, и, собственно говоря, введший это выразительное понятие в научный оборот.

Отметим также, что некоторые из разработанных к настоящему времени периодизаций достаточно адекватно отражают общую гиперболическую динамику эволюции Мир-Системы вплоть до 70-х гг. прошлого века (речь идет прежде всего о периодизациях И. М. Дьяконова и Л. Е. Гринина, которому к тому же удалось выработать и достаточно удачное графическое выражение своей периодизации). Вместе с тем надо за-

¹⁸ На вопрос о причинах резкого снижения изобретательской продуктивности после Осевого времени, конечно, сложно дать однозначный ответ. Но не было ли оно хотя бы частично связано с произошедшим в Осевое время сдвигом от доосевого «симпрактического» (Романов 1991) к трансцендентально-ориентированному мышлению (Eisenstadt 1982)? Пускай он охватил лишь меньшинство населения, но это было как раз наиболее творческое меньшинство. Отметим также, что предположение о том, что подушевая изобретательская продуктивность современной Мир-Системы может быть ниже данного показателя для Мир-Системы неолитической или халколитической эпохи может показаться абсолютно неправдоподобным – ведь современные темпы технологического роста столь несравнимо выше неолитических. Здесь, однако, необходимо иметь в виду то обстоятельство, что современный технологический прогресс достигается при на порядки большем числе потенциальных изобретателей и при на порядки более развитой технологической базе. В то же самое время на порядки меньшее население Мир-Системы первых тысячелетий после аграрной революции, располагая на порядки менее развитой технологией, смогло сделать колоссальное количество фундаментальнейшей важности изобретений и технологических инноваций, заложивших становой хребет современной технологии (здесь достаточно упомянуть о доместикации пшеницы, ячменя, крупного и мелкого рогатого скота, создании технологий керамического и текстильного производства, металлургии меди, бронзы, а в дальнейшем и железа, изобретении колеса, плуга, письменности, денег, кредита, налогообложения, формального образования и т. д. и т. п.).

метить, что ни одной из известных нам периодизаций не удалось пока отразить сложный характер гиперболы мир-системной эволюции, стремительное ускорение темпов мир-системного развития к концу Осевого времени, радикальное замедление этих темпов в последующий период, смену режимов гиперболического развития¹⁹ и, нако-

¹⁹ Подробное рассмотрение конкретных причин и механизмов выхода Мир-Системы из режима с обострением в период, следующий за Осевым временем, кардинального замедления темпов мир-системного развития (которое произошло лишь на время, но на время в высшей степени продолжительное) и смены режимов гиперболического роста выходит за рамки этой работы. Ограничимся здесь лишь попыткой наметить некоторые возможные пути ответа на поставленные выше вопросы (сразу же отметим, что все они являются не взаимоисключающими, а взаимодополняющими):

1) Рост населения Мир-Системы к концу I тыс. до н. э. до девятизначных чисел делал практически неизбежным появление нового поколения особо смертоносных патогенов, не способных воспроизводить себя в масштабах более мелких популяций (Diamond 1999: 202–205; Коротаев и др. 2005a: 105–113), а уровень развития технологий здравоохранения, достигнутый Мир-Системой к началу I тыс. н. э., оказался совершенно неадекватным радикально выросшему уровню патогенной угрозы, что привело к глобальным депопуляциям II и VI вв. в результате Антониновой и Юстиниановой пандемий и внесло мощнейший вклад в замедление общих темпов мир-системного демографического роста в I тыс. н. э. Отметим, что в связи с этим с начала I тыс. н. э. резко возрастает роль уровня развития технологий здравоохранения как детерминанты потолка несущей способности Земли, что может хотя бы частично объяснить изменение режима гиперболического роста.

2) На наш взгляд, некоторую подсказку здесь дают вышеописанные математические модели (3)–(13)–(7) и (13)–(14). Согласно этим моделям, долгосрочное снижение производства относительно избыточного продукта на душу населения (S) должно приводить к снижению темпов роста населения, а значит, и к замедлению ускорения технологического роста. Между тем, по всей видимости, к концу Осевого времени наблюдалась глобальная (а точнее говоря, мир-системная) тенденция именно к снижению этого показателя. Связано это было не с падением производства, а прежде всего с ростом количества необходимого продукта. Наблюдавшийся в I тыс. до н. э. стремительный рост населения сделал возможным гиперболический рост сложности социально-политических инфраструктур (а с другой стороны, стал благодаря ему возможен – мы очередной раз сталкиваемся здесь с положительной обратной связью). Однако радикальное увеличение сложности социально-политических структур на фоне гиперболического демографического роста означало и очень заметное увеличение необходимого продукта, так как очень заметные расходы на поддержание нормального функционирования этих структур, по всей видимости, нужно относить именно к необходимому, а не избыточному продукту. Действительно, к концу I тыс. до н. э. население Мир-Системы составило девятизначное число, и даже простое (на нулевом уровне) воспроизводство столь многочисленного населения требовало поддержания функционирования разного рода инфраструктур (транспортной, юридической, административной и других такого рода субсистем). В таких условиях, если урожая, собранного крестьянином, оказывалось достаточно, чтобы поддержать на уровне голодного выживания его самого и его семью, но недостаточно для уплаты налогов, нельзя уже сказать, что необходимый продукт крестьянином произведен. Произведенное им уже меньше необходимо. Действительно, как показал опыт последующих веков, в сверхсложных аграрных обществах падение подушевого производства (как правило, в результате относительного перенаселения) до уровня, не позволявшего нормально выплачивать налоги вел к развалу социально-политических инфраструктур и демографическому коллапсу (см., например: Нефедов 2000; 2001; 2002a; 2002b; 2003; Коротаев и др. 2005a: 177–227; Turchin 2003: 121–127). Имеются основания предполагать, что наблюдавшийся в I тыс. до н. э. долгосрочный рост необходимого продукта заметно превысил долгосрочный рост общего равновесного душевого продукта, в результате чего произошло долгосрочное уменьшение S , а значит, и долгосрочное снижение темпов роста населения Мир-Системы. С другой стороны, это означало уменьшение устойчивости социально-политических систем и соответственно усиление роли циклической и хаотической составляющих макроисторической динамики относительно трендовой. Вместе с тем необходимо отметить, что данное обстоятельство может объяснить лишь уменьшение ускорения темпов технологического роста, в то время как после Осевого времени, по всей видимости, произошло не просто уменьшение ускорения, а падение абсолютных темпов этого роста.

3) То обстоятельство, что смена режима гиперболического роста происходит после того, как политическая централизация Мир-Системы гиперболическими темпами достигает критически высокого уровня (к началу I тыс. н. э. абсолютное большинство обитателей Мир-Системы оказалось под контролем всего четырех политий: римской, парфянской, кушанской и ханьской), не представляется случайным и по некоторым другим причинам. Произшедший в I тыс. до н. э. стремительный рост политической централизации подталкивался наряду с прочим распространением металлургии железа, не только радикально повысившим потолок несущей способности Земли, но и приведшим к налаживанию производства относительно дешевого эффективного вооружения, что сделало возможным формирование многочисленных армий, без создания которых появление мировых империй вряд ли было бы возможным. Однако сам этот процесс имел важные побочные следствия. Политически централизованные системы часто достигают военного превосходства

нец, происходящий в настоящее время выход из режима с обострением. Исследование К. Ясперса подсказывает возможные пути к решению этой проблемы, но само это решение является задачей будущих исследований.

Библиография

- Гринин Л. Е. 2003. *Производительные силы и исторический процесс*. 2-е изд. Волгоград: Учитель.
- Дьяконов И. М. 1994. *Пути истории. От древнего человека до наших дней*. М.: Вост. лит-ра.
- 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.
- Князева Е. Н., Курдюмов С. П. 2005. *Основания синергетики*. М.: УРСС.
- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2005а. *Законы истории: Математическое моделирование исторических макропроцессов (Демография. Экономика. Войны)*. М.: УРСС.
- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2005б. Компактная математическая макро-модель технико-экономического и демографического развития Мир-Системы (1–1973 гг.). *История и синергетика: Математическое моделирование социальной динамики* / Ред. С. Ю. Малков, А. В. Коротаев, с. 6–48. М.: УРСС.
- Люри Д. И. 2005. Устойчиво ли «устойчивое развитие»? *История и синергетика: методология исследования* / Ред. С. Ю. Малков, А. В. Коротаев, с. 164–180. М.: УРСС.
- Малков С. Ю., Селунская Н. Б., Сергеев А. В. 2005. Социально-экономические и демографические процессы в аграрном обществе как объект математического моделирования. *История и синергетика: Математическое моделирование социальной динамики* / Ред. С. Ю. Малков, А. В. Коротаев, с. 70–87. М.: УРСС.
- Мальтус Т. 1993 [1798]. *Опыт о законе народонаселения*. Т. 4. *Шедевры мировой экономической мысли*. Петрозаводск: Петроком.

путем развития специализированных военных подсистем – относительно малых, но хорошо обученных и вооруженных профессиональных армий. Однако необходимым условием для сохранения такого превосходства обычно является наличие монополии на какие-либо эффективные виды вооружения (боевые колесницы, оружие из бронзы и т. п.). Если же происходит революция в производстве средств насилия, в результате которой монополия на них не может более эффективно поддерживаться (например, в случае появления железного оружия), менее политически централизованные общества с большей долей военно-активного населения получают значительное преимущество и могут стать сильнее в военном отношении политически централизованных обществ. Именно таким был ход исторического развития во многих частях Ойкумены Старого Света в поздней древности. В дополнение к этому менее политически централизованные общества с большей долей военно-активного населения могли значительно увеличивать свою военную эффективность без заметного увеличения своей политической централизации или внутренней дифференциации, например, путем номадизации, роста специализации на скотоводстве, поскольку сам каждодневный труд скотовода и характер его социализации производят высоко боеспособного воина. Кочевое скотоводство с широким использованием пастухов-всадников могло значительно увеличивать военный потенциал таких обществ и без дополнительной политической централизации и функциональной дифференциации. Что для нас важно в этом контексте, так это то, что технологические сдвиги I тыс. до н. э. имели в качестве своего побочного следствия усиление военного потенциала варварской периферии в целом, и в особенности социально-политических систем кочевников. В результате на протяжении большей части эпохи «Младшей гиперболы» кочевники имели систематическое военное превосходство над оседлыми сообществами (дополнительно усиленное с изобретением и диффузией стремян и сабли), что привело к дополнительному замедлению темпов демографического роста Мир-Системы не только в результате массовых депопуляций, к которым периодически приводили вторжения кочевников, но и в результате некоторого понижения несущей способности земли во многих важных зонах Мир-Системы в результате давления варварских (и в особенности кочевых) периферий (здесь достаточно вспомнить о российской «житнице» – Черноземье, известной большую часть II тыс. как Дикое поле именно из-за угрозы набегов).

- Мельянцеv В. А. 1996. *Восток и Запад во втором тысячелетии*. М.: МГУ.
- Мельянцеv В. А. 2003. Три века российского экономического роста. *Общественные науки и современность* 5: 84–95.
- Мельянцеv 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.
- Романов В. Н. 1991. *Историческое развитие культуры. Проблемы типологии*. М.: Наука.
- Скворцов Ю. Е. 2001. *История Древней Руси*. Волгоград: ВМА.
- Чешков М. А. 1999. *Глобальный контекст постсоветской России: Очерки теории и методологии мироцелостности*. М.: МОНФ.
- Чубаров В. В. 1991. Ближневосточный локомотив: темпы развития техники и технологии в древнем мире. *Архаическое общество: узловые проблемы социологии развития* / Ред. А. В. Коротаев, В. В. Чубаров, т. 1, с. 92–135. М.: Институт истории СССР АН СССР.
- Ясперс К. 1994. *Смысл и назначение истории*. М.: Республика.
- Aghion P., Howitt P. 1992. A Model of Growth through Creative Destruction. *Econometrica* 60: 323–352.
- Aghion P., Howitt P. 1998. *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Artzrouni M., Komlos J. 1985. Population Growth through History and the Escape from Malthusian Trap: A Homeostatic Simulation Model. *Genus* 41: 21–39.
- Brantingham P. J., Kuhn S. L., Kerry K. W. (Eds.) 2004. *The Early Upper Paleolithic beyond Western Europe*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Boserup E. 1965. *The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure*. Chicago, IL: Aldine.
- Chandler T. 1987. *Four Thousand Years of Urban Growth: A Historical Census*. Lewiston, NY: Mellen.
- Chase-Dunn C., Hall T. 1997. *Rise and Demise: Comparing World-Systems* Boulder, CO: Westview Press.
- Chesnais J. C. 1992. *The Demographic Transition: Stages, Patterns, and Economic Implications*. Oxford: Clarendon 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. URL: http://www.j-bradford-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.
- Eisenstadt S. 1982. The Axial Age: The Emergence of Transcendental Visions and the Rise of Clerics. *European Journal of Sociology* 23(2): 294–314.

- Frank A. G. 1990.** A Theoretical Introduction to 5,000 Years of World System History. *Review* 13(2): 155–248.
- Frank A. G. 1993.** The Bronze Age World System Cycles. *Current Anthropology* 34: 383–413.
- Frank A. G., Gills B. K. (Eds.) 1993.** *The World System: Five Hundred Years or Five Thousand?* London: Routledge.
- Foerster H. von, Mora P., Amiot L. 1960.** Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. *Science* 132: 1291–1295.
- Grossman G., Helpman E. 1991.** *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hellems A., Bunch B. 1988.** *The Timetables of Science*. New York, NY: Simon and Schuster.
- Hoerner S. J. von. 1975.** Population Explosion and Interstellar Expansion. *Journal of the British Interplanetary Society* 28: 691–712.
- Johansen A., Sornette D. 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., Nefedov S. 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* / Ed. by G. S. Becker, pp. 324–340. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Levinson D., Malone M. 1980.** *Toward Explaining Human Culture*. New Haven, CT: HRAF Press.
- 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.
- Meliantsev V. A. 2004.** Russia's Comparative Economic Development in the Long Run. *Social Evolution & History* 3(1): 106–136.
- Modelski G. 2003.** *World Cities: –3000 to 2000*. Washington: Faros 2000.
- Naroll R., Divale W. T. 1976.** Natural Selection in Cultural Evolution: Warfare versus Peaceful Diffusion. *American Ethnologist* 3: 97–128.
- Nefedov S. A. 2004.** A Model of Demographic Cycles in Traditional Societies: The Case of Ancient China. *Social Evolution & History* 3(1): 69–80.
- Nordhaus W. 1997.** Do Real Output and Real Wage Measures Capture Reality?: The history of light suggests not. *The Economics of New Goods* / Ed. by T. Bresnahan, R. Gordon, pp. 29–66. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Peregrine P. 2003.** Atlas of Cultural Evolution. *World Cultures* 14: 2–88.
- Peregrine P., Ember M. (Eds.) 2001a.** *Encyclopedia of Prehistory*. Vol. 4. *Europe*. New York: Kluwer.
- Peregrine P., Ember M. (Eds.) 2001b.** *Encyclopedia of Prehistory*. Vol. 8. *South and South-West Asia*. New York: Kluwer.

- Podlazov A. V. 2004.** Theory of the Global Demographic Process. *Mathematical Modeling of Social and Economic Dynamics* / Ed. by M. G. Dmitriev, A. P. Petrov, pp. 269–72. Moscow: Russian State Social University.
- Simon J. 1977.** *The Economics of Population Growth*. Princeton, NJ: 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.
- SPSS. 2004.** *World95 Database*. Chicago, IL: SPSS Inc.
- 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, A. P. Petrov, pp. 367–369. Moscow: Russian State Social University.
- Turchin P. 2003.** *Historical Dynamics: Why States Rise and Fall*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- UN Population Division. 2005.** United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. URL: <http://www.un.org/esa/population>
- Wallerstein I. 1974.** *The Modern World-System*. Vol. 1. *Capitalist Agriculture and the Origin of the European World-Economy in the Sixteenth Century*. New York: Academic Press.
- Wallerstein I. 1987.** World-Systems Analysis. *Social Theory Today* / Ed. by A. Giddens, J. Turner, pp. 309–324. Cambridge: Polity Press.
- Wallerstein I. 2004.** *World-Systems Analysis: An Introduction*. Durham, NC: Duke University Press.
- World Bank 2004.** *World Development Indicators*. Washington, D.C.: World Bank.