

9

О сингулярности в биологической и социальной эволюции*

Сергей Юрьевич Малков

Российский государственный социальный университет;
Институт экономики РАН

С использованием математического моделирования рассмотрен феномен сингулярности в биологической и социальной истории. Показано, что гиперболические тренды в биологической и социальной эволюции могут быть объяснены переходными процессами, сопровождающими расширение экологических ниш вследствие периодически происходящих революционных инноваций. В эти периоды актуализируются сильные положительные обратные связи, приводящие к гиперболическому росту, который далее тормозится, а система переходит в новое качественное состояние. Затем происходит относительно медленное развитие обновленной системы с постепенным накоплением количественных характеристик – и новый инновационный рывок. И так далее. В связи с этим выявление гиперболических зависимостей в параметрах системы свидетельствует о переходности ее текущего состояния, а вычисляемая по гиперболическому тренду точка сингулярности указывает на время окончания переходного процесса.

Ключевые слова: биологическая и социальная эволюция, гиперболический рост, переходные процессы, стабилизация.

В последние годы в научной и популярной литературе все чаще обсуждается тема «сингулярности» в истории. Различные авторы пишут о биологической (Марков, Коротаев 2007; 2008; Марков и др. 2010; Grinin *et al.* 2013), эволюционной (Панов 2005; 2008; Добролюбов 2016; Коротаев 2006; Коротаев, Малков, Халтурина 2007; Цирель 2012), демографической (Коротаев, Малков, Халтурина 2008; Белавин и др. 1998; Foerster *et al.* 1960), технологической (Kurzweil 2005; Назаретян 2013; 2015) сингулярности, и этот список только расширяется. Суть проблемы в том, что проводимая различными исследователями математическая экстраполяция в будущее некоторых глобальных процессов дает удивительный результат. Оказывается, что эти процессы развиваются с ускорением, но не просто

* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-61-46004) в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Математические методы анализа сложных систем».

с ускорением экспоненциального типа, которое является привычным и естественным для многих природных и социально-экономических процессов, а с ускорением по гиперболическому закону, имеющему точку сингулярности¹, причем эта гипербола уходит в бесконечность в ближайшие годы или десятилетия. То есть формально получается, что в ближайший период времени должно произойти что-то из ряда вон выходящее, что кардинально изменит ход событий, имевший место на протяжении тысяч, миллионов и даже сотен миллионов лет. В качестве примера можно привести данные из работы А. Д. Панова (2008) (см. Рис. 1).

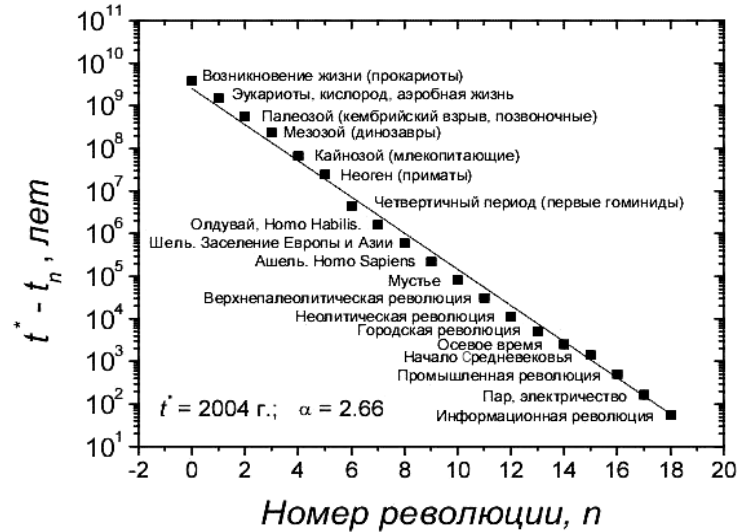


Рис. 1. Автомодельность биологической и социальной эволюций (Панов 2008)

На Рис. 1 приведены результаты аппроксимации планетарных революций по классификации А. Д. Панова (2008) (см. ниже Табл. 1). По горизонтальной оси отложен номер революции n , начиная с возникновения жизни на Земле, по вертикальной – расстояние от t_n (даты начала революции с номером n) до t^* (момента времени, соответствующего точке сингулярности) в логарифмическом масштабе. В соответствии с приведенным на Рис. 1 графиком сингулярность должна произойти в 2004 г.: в это время, если продолжить линию тренда, интервал между революциями должен сократиться до нуля (при этом А. Д. Панов не настаивает на точности определения значения t^* , ссылаясь на неточность определения значений t_n . Для него важна сама выявленная закономерность).

¹ Точка сингулярности – точка на числовой оси, в которой график гиперболической функции уходит в бесконечность (поскольку знаменатель функции становится равным нулю).

Аналогичные графики приводят и другие авторы (см., например: Kurzweil 2005; Назаретян 2015). Можно, конечно, подвергнуть сомнению правильность подбора событий, на основе которых делаются заключения этих авторов о приближении точки сингулярности, но есть и более аргументированные свидетельства, основанные на объективных статистических данных. На Рис. 2, 3 и 4 представлены данные о динамике разнообразия фанерозойской биоты за период с 550 млн лет до нашей эры до наших дней, о численности населения Земли с 3000 г. до нашей эры по 2000 г. и мировом ВВП (валовом внутреннем продукте) с начала нашей эры по 2008 г.

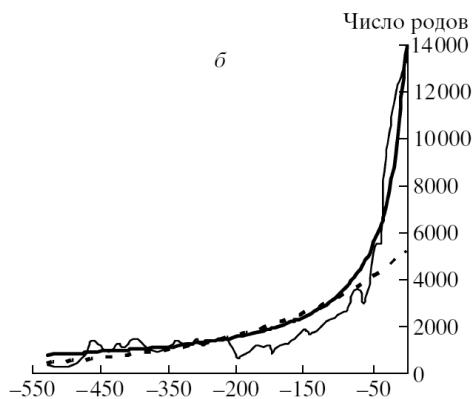


Рис. 2. Динамика разнообразия фанерозойской биоты.

Примечание: по оси абсцисс – время в млн лет. Тонкая линия – число таксонов, толстая – гиперболический тренд, пунктир – экспоненциальный тренд. Параметры моделей: экспонента – $Nt = 5187,6e0,0047t$, $R2 = 0,67$; гипербола – $Nt = 434635/(30-t)$, $R2 = 0,95$.

Источник: Марков, Коротаев 2008: рис. 3а.

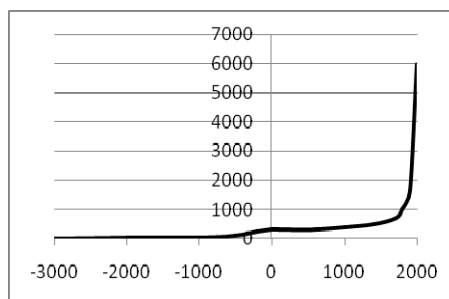


Рис. 3. Динамика численности населения Земли, млн чел. (по оси абсцисс – годы от начала нашей эры) (Коротаев, Малков, Халтурина 2007; www.ggcd.net/maddison)

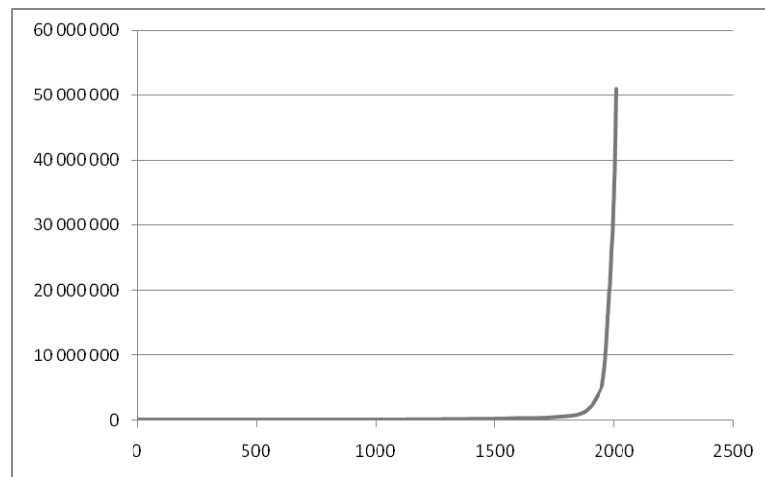


Рис. 4. Динамика мирового ВВП, численности населения Земли, тыс. долларов США 1900 г. (по оси абсцисс – годы от начала нашей эры) (www.ggdc.net/maddison)

В обоих случаях данные на удивление хорошо аппроксимируются гиперболическими кривыми. Х. фон Ферстер, впервые сделавший такую аппроксимацию для численности населения Земли, даже назвал свою статью, в которой были приведены результаты расчета, «Судный день: пятница, 13 ноября 2016 года» (Foerster *et al.* 1960), где дата 13.11.2026 г. означает вычисленную им точку сингулярности.

Возникает вопрос: что служит причиной столь удивительного результата аппроксимации, является ли возникновение точек сингулярности при анализе глобальных процессов артефактом или это отражение реальной закономерности?

К настоящему времени высказано много комментариев по поводу опубликованных в научной и популярной литературе гиперболических аппроксимаций. Приведем лишь некоторые высказанные соображения.

1. В том случае, когда гиперболические аппроксимации опираются на выборку знаковых событий в истории, многое зависит от того, какие события считать знаковыми. Так, аппроксимация знаковых событий в работе (Панов 2008) указывает на наличие точки сингулярности в 2004 г. (см. Рис. 1), однако, по нашим ощущениям, ничего экстраординарного в этот год не произошло. Более того, в работе (Добролюбов 2016) на эту тему был приведен остроумный мыслительный эксперимент. Приведем отрывок из этой статьи (см.: Там же: 249–250):

«Можно привести и другие примеры того, как различное толкование “быстрых” для современников изменений меняет результат всей “плане-

тарной эволюции”. Например, если бы мы оказались в Англии в разгар промышленной революции XIX в. и не знали о будущей цифровой революции, то фазовые переходы в самых разных сферах деятельности могли интерпретировать как вход технологической эволюции в режим с обострением, и тогда точка сингулярности эволюции оказалась бы в $t^* = 1834$ г. при $\alpha = 2,5$ (см. рис. 5).



Рис. 5. Автомодельность социальной эволюции и промышленной революции

Можно и поток фазовых переходов начала XX в. (автомобиль, самолет, танк, кино, радио, ядерная физика, теория относительности и т. д.), которые, собственно, и породили современный мир, вывести в сингулярность 1914 г. и связать с социальной катастрофой Первой мировой войны. Но очевидно, что подобная связь технологического прогресса и социальных отношений слишком спекулятивна».

Действительно, выбор набора «быстрых» изменений во многом субъективен, но именно он определяет получаемую в результате аппроксимации конкретную дату сингулярности. Можно привести еще один любопытный пример (см. Рис. 6).

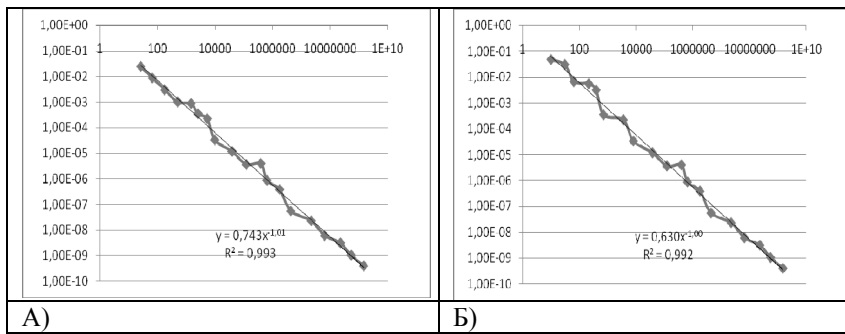


Рис. 6. Гиперболические аппроксимации знаковых событий в истории с точки зрения современного человека (А) и с точки зрения христианина, жившего в Римской империи в эпоху правления Нерона (Б). По оси ординат – время от знакового события до 2018 г. (А) и до 64 г. (Б), по оси абсцисс – интервал между знаковыми событиями

Слева на Рис. 6 представлены ряд, отображающий знаковые события («планетарные революции») в соответствии с работой (Панов 2008) (см. Табл. 1), и гиперболическая аппроксимация этого ряда с точкой сингулярности в 2018 г. Справа на рисунке представлены ряд, отображающий знаковые события с точки зрения христианина в I в. н. э. (см. Табл. 2), и гиперболическая аппроксимация этого ряда с точкой сингулярности в 64 г., когда Нерон поджиг Рим и потом обвинил в этом христиан (Табл. 2 получается из Табл. 1 путем замены пяти последних «быстрых» изменений на те, которые были актуальными для жителя Римской империи).

Табл. 1. Планетарные революции по А. Д. Панову (2008)

№ п/п	Планетарная революция	Количество лет от 2018 г.
0	Возникновение жизни на Земле – около $4 \cdot 10^9$ лет назад	4000000000
1	Кислородный кризис или неопротерозойская революция – $1,5 \cdot 10^9$ лет назад	1500000000
2	Кембрийский взрыв – $590\text{--}510 \cdot 10^6$ лет назад	550000000
3	Начало мезозойской эры, революция пресмыкающихся – $235 \cdot 10^6$ лет назад	232000000
4	Начало кайнозойской эры, революция млекопитающих – $66 \cdot 10^6$ лет назад	66000000
5	Начало неогена – $25\text{--}20 \cdot 10^6$ лет назад	22500000
6	Начало четвертичного периода (антропоген) – $4,4 \cdot 10^6$ лет назад	4400000

Окончание Табл. 1

№ п/п	Планетарная революция	Количество лет от 2018 г.
7	<i>Олдувай, палеолитическая революция – 2,0–1,6·10⁶ лет назад</i>	1800000
8	<i>Шельль – 0,7–0,6·10⁶ лет назад</i>	650000
9	<i>Ашель – 0,4·10⁶ лет назад</i>	400000
10	<i>Мустье (культурная революция неандертальцев) – 150–100 тыс. лет назад</i>	125000
11	<i>Верхнепалеолитическая революция (культурная революция кроманьонцев) – 40 тыс. лет назад</i>	40000
12	<i>Неолитическая революция – 12–9 тыс. лет назад</i>	10000
13	<i>Городская революция, начало Древнего мира –4-е – 3-е тыс. до н. э.</i>	5500
14	<i>Железный век, эпоха империй, революция осевого времени – 800–500 лет до н. э.</i>	2650
15	<i>Гибель Древнего мира, начало Средневековья – 400–630 гг.</i>	1500
16	<i>Первая промышленная революция – 1450–1550 гг.</i>	518
17	<i>Вторая промышленная революция – 1830–1840 гг.</i>	183
18	<i>Информационная революция – 1950 г.</i>	68
19	<i>Кризис и распад социалистического лагеря, информационная глобализация – 1991 г.</i>	27

Табл. 2. Планетарные революции с точки зрения жителя Римской империи начала 1-го тысячелетия

№ п/п	Планетарная революция	Количество лет от 64 г. н. э.
0	<i>Возникновение жизни на Земле – около 4·10⁹ лет назад</i>	4000000000
1	<i>Кислородный кризис или неопротерозойская революция – 1,5·10⁹ лет назад</i>	1500000000
2	<i>Кембрийский взрыв – 590–510·10⁶ лет назад</i>	550000000
3	<i>Начало мезозойской эры, революция пресмыкающихся – 235·10⁶ лет назад</i>	232000000
4	<i>Начало кайнозойской эры, революция млекопитающих – 66·10⁶ лет назад</i>	66000000
5	<i>Начало неогена – 25–20·10⁶ лет назад</i>	22500000
6	<i>Начало четвертичного периода (антропоген) – 4,4·10⁶ лет назад</i>	4400000

Окончание Табл. 2

№ п/п	Планетарная революция	Количество лет от 64 г. н. э.
7	<i>Олдувай, палеолитическая революция</i> – 2,0–1,6·10 ⁶ лет назад	1800000
8	<i>Шельль</i> – 0,7–0,6·10 ⁶ лет назад	650000
9	<i>Ашель</i> – 0,4·10 ⁶ лет назад	400000
10	<i>Мустье (культурная революция неандертальцев)</i> – 150–100 тыс. лет назад	123000
11	<i>Верхнепалеолитическая революция (культурная революция кроманьонцев)</i> – 40 тыс. лет назад	38050
12	<i>Неолитическая революция</i> – 12–9 тыс. лет назад	8050
13	<i>Городская революция, начало Древнего мира</i> – IV–III тыс. до н. э.	3550
14	<i>Железный век, эпоха империй, революция осевого времени</i> – 800–500 лет до н.э.	700
15	<i>Александр Македонский</i> – 330 г. до н. э.	490
16	<i>Экспансия Рима</i> – с середины II века до н. э.	210
17	<i>Рождение Иисуса</i> – 0 г.	60
18	<i>Распятие Иисуса</i> – 33 г.	27
19	<i>Нерон – император</i> – 54 г.	6

Видно, что левая и правая части Рис. 6 практически идентичны (включая качество гиперболических аппроксимаций), но предрекают совершенно разные точки сингулярности: соответственно, в 2018 и 64 г. н. э. Между прочим, христианами – современниками Нерона этот император воспринимался как антихрист во плоти, а гонения на христиан после поджога Рима воспринимались как начало конца света, то есть, в современных терминах, как точка сингулярности. Недаром «Апокалипсис Иоанна» был написан в I – начале II в. в ожидании Армагеддона и второго пришествия Христа (то есть в ожидании сингулярности, конца времен);

2. Увеличение интервала между знаковыми событиями в прошлом отчасти объясняется тем, что близкие события нам кажутся более значимыми. Кроме того, чем более удален в прошлое рассматриваемый период, тем меньше у нас о нем информации, и поэтому кажется, что значимых изменений на единицу времени было меньше. Это одна из причин того, что в один ряд помещаются такие события, как кембрийский взрыв и распад социалистического лагеря (см. Табл. 1);

3. Что касается рядов количественных показателей, типа отображенных на Рис. 2 и 3, то здесь необходимо иметь в виду следующее. При попытке аппроксимации процесса, состоящего из фаз медленного и быстрого развития (см., например, демографическую динамику на Рис. 3),

наилучший результат, как правило, дает аппроксимация гиперболой, а не экспонентой или полиномом. Обычно такие ситуации возникают, когда стабильный процесс завершается переходом в нестабильное состояние и запускается интенсивный переход системы в другое фазовое состояние. Здесь уместно соображение из работы (Добролюбов 2016: 231): «При желании <...> быстрый процесс можно объединить с предыдущим стабильным состоянием системы и описать их одной гиперболической кривой, чем, собственно, и грешат математические подходы к реальным явлениям».

При всей справедливости этих комментариев остается загадкой, почему аппроксимации разных авторов при всей субъективности используемых ими подходов дают схожий результат, а показатели степени гиперболических функций, получаемых в ходе аппроксимации, чрезвычайно близки к единице (речь идет о том, что наилучшими оказываются аппроксимирующие гиперболические функции вида:

$$x(t) = \frac{C}{(t' - t)^m}, \quad (1)$$

где C – константа; t' – точка сингулярности (момент времени, когда функция $x(t)$ превращается в бесконечность), $m \approx 1$ – показатель степени).

Попробуем разобраться в этой ситуации.

Сразу озвучим предлагаемую гипотезу: гиперболический рост типа (1) возникает тогда, когда происходит фазовый переход сложной биологической системы из одного относительно стабильного состояния в другое. При этом показатель степени n в формуле (1) примерно равен единице, поскольку данный переходный процесс зависит от взаимодействия ключевых акторов. Ситуация взаимодействия на языке динамических уравнений описывается выражением типа:

$$\frac{dx}{dt} \approx ax^2, \quad (2)$$

решением которого является функция $x(t)$ с показателем степени $n \approx 1$. Пока мы находимся в стадии переходного процесса, мы не знаем, чем и когда он окончится; мы видим только, что он идет по гиперболе (1), имеющей точку сингулярности t' , которая вызывает у нас тревожные ожидания и трепет. В действительности при приближении к точке сингулярности происходит переструктурирование системы, она преобразуется, меняет свой облик и продолжает существовать в новом качестве.

Ниже приведено обоснование предлагаемой гипотезы.

Начнем с долгопериодных макроприродных процессов (первые семь позиций в Табл. 1). Сделаем важное замечание, что последовательность «планетарных революций» выстроена в Табл. 1 по отношению к биологической (а не, к примеру, геологической) эволюции. Поэтому здесь замешаны геологические эры, периоды, эпохи, имеющие разный таксономический смысл, что, вообще говоря, некорректно. Если по той же методике,

как на Рис. 6, расположить не позиции Табл. 1, а геологические периоды от кембрия до четвертичного периода (антропогена)², отражающие геологическую и климатическую историю, то получится картина, представленная на Рис. 7.

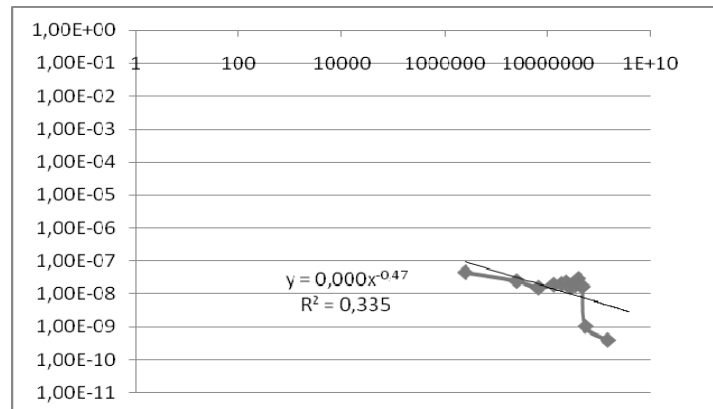


Рис. 7. Гиперболическая аппроксимация геологических периодов

Из Рис. 7 (особенно при сопоставлении его с Рис. 6) видно, что о гиперболической аппроксимации и о сингулярности в эволюции геологических процессов говорить не приходится: они живут своей жизнью, слабо связанной с жизнью биосферы.

В отношении биосферы действительно наблюдается гиперболическое ускорение эволюции и увеличение многообразия, отраженное на Рис. 2. Но это биологическое многообразие не связано с человеческой эволюцией³. Это следует из того, что получающаяся из аппроксимации гиперболическая сингулярность биологической эволюции наступит примерно через 30 млн лет (см. Рис. 2), а не в первой половине XXI в. (как это следует из анализа человеческой эволюции [Панов 2005; 2008]).

Причина гиперболического характера биологической эволюции, по-видимому, заключается в следующем. Увеличение видового многообразия – это процесс с обратной положительной связью. В биологии возникновение новых видов происходит благодаря уже существующим видам. Более ранние виды своей жизнедеятельностью изменяют среду обитания, делая ее более разнообразной, насыщая ее органикой, порождая новые биологические ниши (так, плодородные почвы есть продукт жизнедеятельности организмов).

² Кембрий, ордовик, силур, девон, карбон, пермь, триас, юра, мел, палеоген, неоген, антропоген.

³ Если не считать того, что в последние тысячелетия человек стал ощутимо влиять на биологическое многообразие в результате своего активного воздействия на природу.

тельности огромного количества предыдущих поколений живых организмов; кислород, без которого невозможна жизнь на Земле, – это продукт фотосинтеза растений и т. п.). Процесс увеличения видового многообразия с помощью упрощенной базовой математической модели может быть описан следующим образом. Рассмотрим эволюцию двух биологических сообществ, развивающихся в изолированных экологических нишах (Ризниченко 2011). На базовом уровне видовая динамика этих сообществ может быть описана уравнениями:

$$\frac{dn_1}{dt} \approx \alpha_1 n_1 - \beta_1 n_1 - \gamma_1 n_1^2, \quad (3)$$

$$\frac{dn_2}{dt} \approx \alpha_2 n_2 - \beta_2 n_2 - \gamma_2 n_2^2, \quad (4)$$

где n_i – количество видов каждого из двух сообществ ($i = 1, 2$); α_i – коэффициенты, характеризующие скорость появления новых видов (например, в результате мутаций); β_i, γ_i – коэффициенты, характеризующие скорость гибели видов, причем член $\gamma_i n_i^2$ отражает «эффект тесноты», то есть увеличение скорости гибели видов, когда экологическая ниша заполнена и ресурсы исчерпаны). Решение уравнений (3), (4) имеет вид логистических кривых, вид которых изображен на Рис. 8.

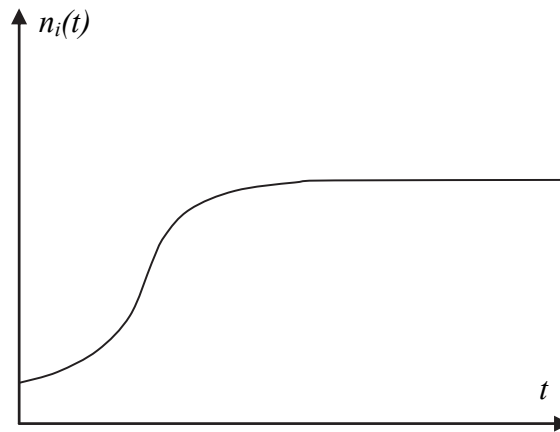


Рис. 8. Логистическая кривая динамики n_i в отсутствие расширения экологической ниши

Логистическая динамика характеризуется тем, что после периода роста происходит торможение и стабилизация n_i вследствие исчерпания экологической ниши. При наступлении стабильного состояния рост видового разнообразия прекращается:

$$\frac{dn_1}{dt} = 0, \quad \frac{dn_2}{dt} = 0, \quad (3)$$

то есть в соответствии с (3), (4) выполняются соотношения:

$$\alpha_i n_i - \beta_i n_i - \gamma_i n_i^2 \approx 0, \quad (4)$$

а значения n_i устанавливаются на максимальном для них уровне:

$$n_{i \max} = \frac{\alpha_i - \beta_i}{\gamma_i}, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

Если же биологические сообщества начинают взаимодействовать, не конкурируя, а расширяя экологические ниши друг друга, то уравнения (3), (4) преобразуются к виду:

$$\frac{dn_1}{dt} \approx \alpha_1 n_1 - \beta_1 n_1 - \gamma_1 n_1^2 + \delta_1 n_1 n_2, \quad (6)$$

$$\frac{dn_2}{dt} \approx \alpha_2 n_2 - \beta_2 n_2 - \gamma_2 n_2^2 + \delta_2 n_1 n_2, \quad (7)$$

где δ_i – коэффициент, отражающий интенсивность взаимодействия, влияющего на расширение экологических ниш. Вследствие такого взаимодействия ограничения на рост n_i снимаются. Возникающую после этого динамику иллюстрирует Рис. 9, где на фоне стабильного состояния в момент времени t_I «включается» взаимодействие биологических сообществ, приводящее к расширению экологических ниш.

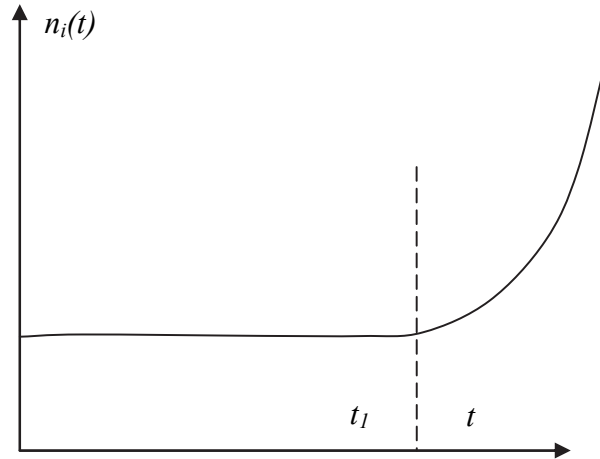


Рис. 9. Динамика n_i в случае, когда в момент времени t_I начинается расширение экологических ниш в результате взаимодействия биологических сообществ в соответствии с уравнениями (6), (7)

Естественно, после определенного времени возникнут ограничения на расширение экологических ниш, но на начальном этапе рост n_i идет в соответствии с приближенными уравнениями:

$$\frac{dn_1}{dt} \approx \delta_1 n_1 n_2, \quad \frac{dn_2}{dt} \approx \delta_2 n_1 n_2, \quad (8)$$

поскольку в исходном стабильном состоянии выполняется условие (4) и система (6), (7) преобразуется в (8).

Можно показать, что система (8) при достаточно общих допущениях может быть преобразована в систему уравнений (9):

$$\frac{dn_1}{dt} \approx \delta_2 n_1^2, \quad \frac{dn_2}{dt} \approx \delta_1 n_2^2, \quad (9)$$

которые аналогичны (2) и соответственно описывают гиперболический рост $n_i(t)$ по типу (1) с показателем $m \approx 1$.

Так как биологические сообщества в результате своей жизнедеятельности постоянно насыщают среду обитания органикой, порождая новые экологические ниши, то процесс, описываемый уравнениями (6), (7), не останавливается, создавая непрерывный переходный процесс увеличения многообразия и повышения специализации новых биологических видов (притом что в отдельные периоды могут наблюдаться определенные спады, что хорошо видно на Рис. 2).

Перейдем к процессам средней и относительно малой длительности, связанным с эволюцией человеческого общества (с восьмой по девятнадцатую позицию в Табл. 1). Здесь основным количественным показателем является численность населения Земли (см. Рис. 3). Отличие от рассмотренного выше случая биологической эволюции заключается в том, что человек научился сам расширять свою экологическую нишу и ресурсную базу, используя орудия труда и создавая новые технологии. В условиях ограниченной ресурсной базы численность человеческой популяции изменяется по логистическому закону (см. Рис. 8) в соответствии с уравнением:

$$\frac{dN}{dt} \approx \alpha N - \beta N - \gamma N^2, \quad (10)$$

где N – численность человеческой популяции; α – усредненный коэффициент рождаемости; β , γ – коэффициенты, характеризующие скорость гибели населения от природных (старость, болезни) и социальных (войны) причин, причем член γN^2 отражает «эффект тесноты», то есть увеличение скорости гибели населения, когда наблюдается острый дефицит ресурсов (голод, народные восстания, гражданские войны и т. п.) (Коротав, Комарова, Халтурина 2007; Малков 2009). Технологический прогресс снимает ресурсные ограничения и позволяет осваивать новые природные экологические ниши. В терминах модели технологический прогресс в основном

влияет на снижение коэффициента γ , отражающего ограниченность ресурсов (Подлазов 2002; 2017).

При этом нужно иметь в виду, что технологический прогресс происходит не непрерывно, а рывками, воспринимаемыми как «технологические революции», которые запускают целый «пучок» связанных друг с другом инноваций, преобразующих мир и инициирующих фазовый переход общества в качественно иное экономическое, социальное, политическое состояние. Динамика фазового перехода такова. Сначала общество находится в стабильном состоянии, определяемом уровнем традиционно используемых технологий. В этом состоянии численность населения стабильна и справедливы соотношения:

$$\frac{dN}{dt} \approx 0, \quad \alpha N - \beta N - \gamma N^2 \approx 0, \quad N \approx \frac{\alpha - \beta}{\gamma}. \quad (11)$$

Технологическая революция расширяет ресурсную базу общества и снижает значение γ до уровня γ' ($\gamma - \gamma' = \Delta\gamma$). Численность населения начинает расти от уровня $N = (\alpha - \beta)/\gamma$ в соответствии с уравнением:

$$\frac{dN}{dt} \approx \alpha N - \beta N - \gamma' N^2, \quad (12)$$

где γ' становится переменной величиной, постепенно снижающейся по мере разворачивания технологической революции и реализации инноваций.

Динамика, описываемая этим уравнением, отражена на Рис. 10.

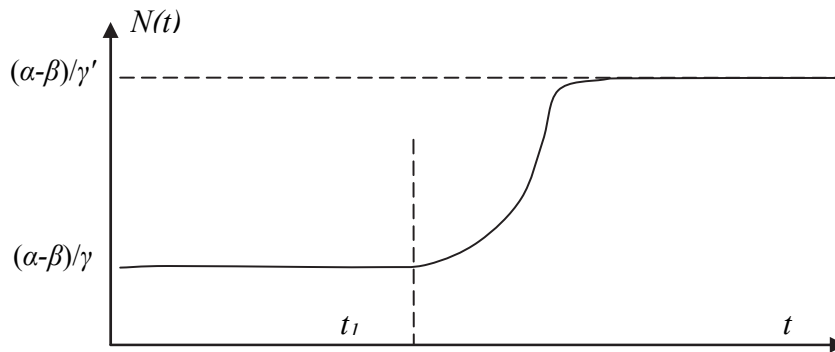


Рис. 10. Динамика N в случае, когда в исторический момент t_1 произошла технологическая революция

Рисунок показывает, что в результате «технологической революции» (и соответствующего снижения значения γ) происходит своеобразный «демографический взрыв», заканчивающийся тем, что численность популяции выходит на новый уровень, обеспечиваемый новыми технологиями,

и стабилизируется на нем. Для нового стабильного состояния характерны соотношения:

$$\frac{dN}{dt} \approx 0, \quad \alpha N - \beta N - \gamma N^2 \approx 0, \quad N \approx \frac{\alpha - \beta}{\gamma'}, \quad (13)$$

которые будут выполняться до следующей «технологической революции»⁴.

При этом, пока общество находится в переходной стадии и еще не знает, что его ожидает, ему будет казаться, что идет гиперболический рост N с близкой сингулярностью. Действительно, на начальной стадии переходного процесса рост N описывается приближенным уравнением:

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &\approx \alpha N - \beta N - \gamma' N^2 = \alpha N - \beta N - (\gamma - \Delta\gamma) N^2 = \\ &= (\alpha N - \beta N - \gamma N^2) + \Delta\gamma N^2 \approx \Delta\gamma N^2 \end{aligned}, \quad (14)$$

в силу справедливости соотношения (11)⁵. Приближенное уравнение (14) является аналогом уравнения (2), описывающего гиперболический рост N по типу (1) с показателем степени $m \approx 1$:

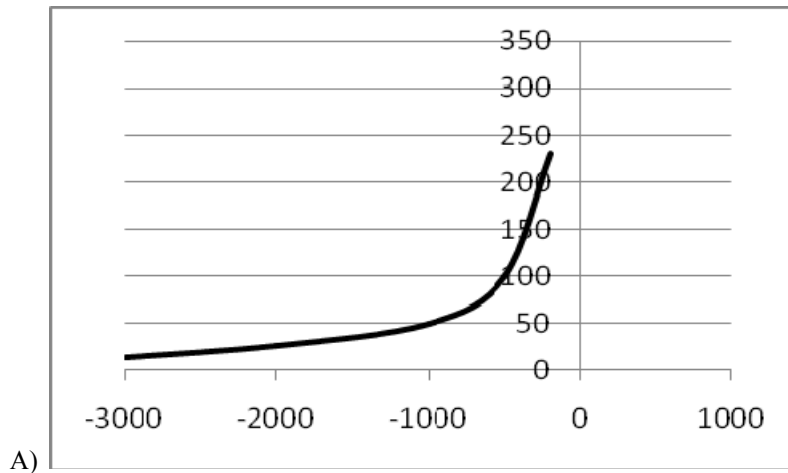
$$N(t) = \frac{C}{t' - t}. \quad (15)$$

Эта зависимость была обнаружена эмпирически Х. фон Ферстером на основе статистической обработки демографических данных (Foerster *et al.* 1960). Значение t' (точка сингулярности) оказалась при этом равной 2026 г. Понятно, что это не «Судный день», а ориентировочная дата завершения начальной стадии переходного процесса, начавшегося 200 лет назад промышленной революцией, к его завершающей стадии, которая должна закончиться формированием «нового» общества. Признаками перехода к завершающей стадии являются начавшееся торможение демографического роста, трансформация индустриального общества в информационное, глобализация экономических, информационных, политических процессов (Малков, Максимов 2018). По поводу того, каким будет «новое» общество, написано много работ, высказано много гипотез (см., например: Добролюбов 2016; Назаретян 2015; Малков, Максимов 2018 и др.), ясно одно: оно будет принципиально новым.

⁴ Следует отметить, что новый стабильный уровень численности населения определяется не только новым значением γ , но и новыми значениями α и β , определяющими динамику рождаемости и «естественной» смертности в «новом» обществе, изменившем свою социально-экономическую и демографическую структуру в результате произошедшей «технологической революции». Так, в современных развитых странах значение α снижается (в силу перехода от многодетной к малодетной модели семьи) при одновременном снижении значения β (в силу улучшения медицины и повышения продолжительности жизни).

⁵ Уравнение (14) носит весьма приближенный характер, поскольку в нем не учтена в явном виде зависимость величины γ' от времени. Но можно показать, что этот учет лишь подтверждает гиперболический характер зависимости N от времени (см., например: Grinin *et al.* 2013).

Любопытно, что переходные демографические процессы, подобные тому, который происходит сейчас, в человеческой истории уже были (Коротаяев, Малков, Халтурина 2007; Малков, Максимов 2018). Речь идет о неолитической революции (10 тыс. лет назад, переход от общества охотников-собирателей к обществу животноводов-земледельцев), о «городской революции» (5 тыс. лет назад, переход от эпохи неолита к эпохе бронзы, появление городов и ремесел), об «осевом времени» (2,5 тыс. лет назад, широкое распространение железных орудий и связанных с ними технологий). Каждый раз причиной изменений в обществе были «технологические революции», резко повышавшие производительность труда и возможности человека в различных сферах жизни, расширявшие ресурсную базу и приводящие к резкому увеличению численности человеческой популяции. Демографических данных, относящихся к первым двум революциям, немного, поэтому о количественном моделировании говорить сложно. Интересно более внимательно рассмотреть демографическую динамику «осевого времени», по которой есть более надежные и точные данные (Коротаяев, Малков, Халтурина 2007). Уже на Рис. 3 видно, что с VIII по I в. до н. э. происходил интенсивный рост населения. Масштабы этого роста кажутся незначительными, если сравнивать их с демографическим взрывом последних двух веков. Но ситуация сильно изменится, если рассматривать ее глазами современников тех событий. На Рис. 11 показана демографическая динамика, как она виделась современникам в 200 г. до нашей эры, в 1 г. нашей эры и в 600 г. н. э.



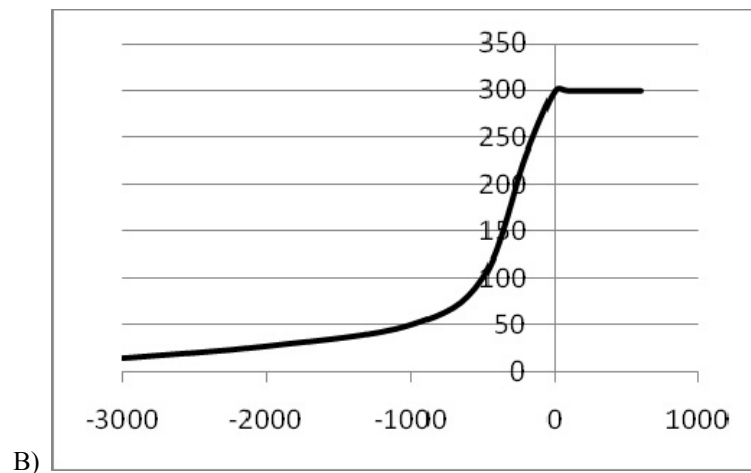
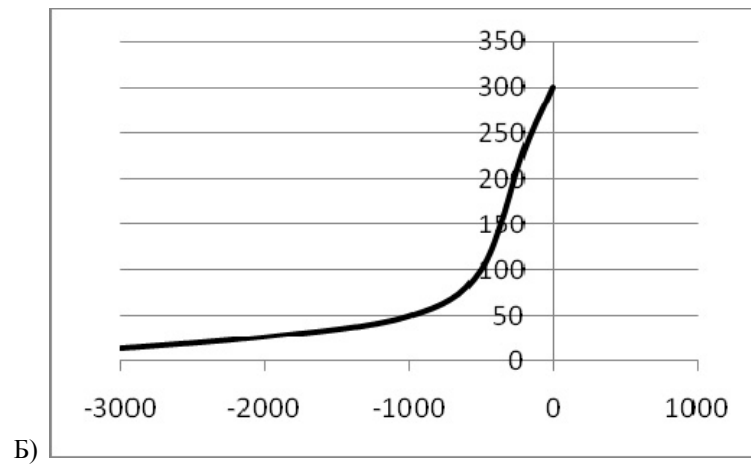


Рис. 11. Население Земли к 200 г. до н. э. (А), к 1 г. н. э. (Б) и к 600 г. н. э. (В), млн чел. (по оси абсцисс – время в годах) (источник данных: Коротаев, Малков, Халтурина 2007)

Видно, что к 600 г. н. э. переходный демографический процесс уже завершился (при этом произошел переход от Античности к Средневековью), к 1 г. н. э. стало явным торможение демографического роста (это время трансформации Римской республики в Римскую империю, завершение «локальной глобализации» на пространстве Средиземноморья). А в 200 г. до н. э. переходный процесс был еще в разгаре, демографическая кривая

отлично аппроксимировалась гиперболой с точкой сингулярности в 1 г. н. э. и с показателем степени $m = 1,00$ (см. Рис. 12).

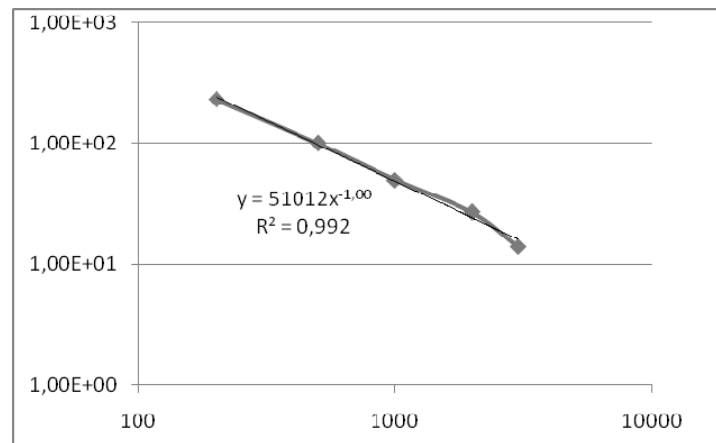


Рис. 12. Гиперболическая аппроксимация численности населения Земли в период с 3000 г. до н. э. до 200 г. до н. э., см. Рис. 11А (по данным: Коротаев, Малков, Халтурина 2007)

Таким образом, рубеж тысячелетий – это эпоха, чрезвычайно схожая с нынешним временем: эпоха бурного экономического, технологического, демографического роста и одновременно – эсхатологических предчувствий и ожидания конца света (см. Рис. 6Б). В конечном итоге мир действительно кардинально изменился: произошел фазовый переход в новое состояние – от Античности к Средневековью. Начался новый исторический период, который длился до конца XVIII в., когда произошла очередная «технологическая революция», запустившая очередной фазовый переход.

Осталось разобраться, почему интервалы между очередными «технологическими революциями» уменьшаются: неолитическая революция произошла 10 тыс. лет назад, «городская революция» – 5 тыс. лет назад, осевое время – 2,5 тыс. лет назад, промышленная революция – 200 лет назад (мы используем такой перечень революций потому, что именно эти революции сопровождались глобальными демографическими взрывами). На этот счет существует весьма аргументированное соображение, что скорость роста изобретений пропорциональна количеству изобретателей, которое составляет небольшую, но достаточно постоянную часть численности населения N (Kremer 1993; Коротаев, Малков, Халтурина 2007) и приближенно может быть описана уравнением:

$$\frac{dS}{dt} \approx \alpha NS, \quad (16)$$

где S – количество технологических инноваций (это уравнение отражает тот факт, что скорость появления инноваций пропорциональна текущему технологическому уровню развития общества). Таким образом, получается, что рост числа инноваций и связанные с ними «технологические революции» приводят к росту населения, который, в свою очередь, ускоряет появление инноваций. Данная положительная обратная связь сокращает время между «технологическими революциями», что и наблюдается в человеческой истории.

Все вышесказанное позволяет сформулировать следующие выводы:

1) часто проводимое объединение биологической и социальной эволюций в публикациях, посвященных феномену сингулярности, является большой натяжкой (точнее, некорректностью). Общее между ними лишь то, что скорость изменений и в том и в другом случае носит увеличивающийся характер;

2) ускорение биологического видообразования связано с тем, что более ранние виды своей жизнедеятельностью изменяют среду обитания, делая ее более разнообразной, насыщая органикой, порождая новые биологические ниши, тем самым создавая благоприятные условия для появления новых видов. Математическое моделирование и имеющиеся эмпирические данные показывают, что к настоящему времени динамика разнообразия биоты достаточно хорошо описывается гиперболическим трендом, который уходит в бесконечность примерно через 30 млн лет;

3) для социальной эволюции тоже характерно ускорение, но широко обсуждаемые феномены технологической, демографической, социальной сингулярности во многом носят спекулятивный характер. Как показывает математическое моделирование, наблюдаемый в последние столетия гиперболический характер роста некоторых демографических, экономических и других показателей – это следствие переходных процессов, начавшихся вследствие промышленной революции (замены ручного труда машинным) и предвещающих переход общества на новую стадию своего развития. Точка сингулярности гиперболического тренда характеризует окончание начального этапа этого процесса и переход к завершающей его стадии. Прямым аналогом современной ситуации в этом смысле является «осевое время» (период с VIII в. до нашей эры до начала нашей эры). Наличие такой аналогии позволяет заглянуть в будущее, изучая прошлое;

4) таким образом, для эволюции живых организмов характерны обратные положительные и отрицательные связи в результате их взаимодействия (то есть пропорциональные N^2), что и приводит к зависимостям гиперболического типа.

Библиография

- Белавин В. А., Капица С. П., Курдюмов С. П. 1998.** Математическая модель глобальных демографических процессов с учетом пространственного распределения. *Журнал вычислительной математики и математической физики* 38(6): 885–902.
- Добролюбов С. В. 2016.** Глобальное общество как точка сингулярности и фазового перехода к новому типу социальной эволюции. *Эволюция: срез, правила, прогнозы* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 229–262. Волгоград: Учитель.
- Коротаев А. В. 2006.** Периодизация истории Мир-Системы и математические макромодели социально-исторических процессов. *История и Математика. Проблемы периодизации исторических макропроцессов* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 116–167. М.: УРСС.
- Коротаев А. В., Комарова Н. Л., Халтурина Д. А. 2007.** *Законы истории. Вековые циклы и тысячелетние тренды. Демография. Экономика. Войны.* М.: КомКнига/URSS.
- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2007.** *Законы истории: Математическое моделирование развития Мир-Системы. Демография, экономика, культура.* М.: КомКнига.
- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2008.** Компактная математическая модель экономического и демографического развития Мир-Системы (1–1973 гг.). *Экономика и математические методы* 44(4): 90–101.
- Малков С. Ю. 2009.** *Социальная самоорганизация и исторический процесс: возможности математического моделирования.* М.: ЛИБРОКОМ.
- Малков С. Ю., Максимов А. А. 2018.** Контурь грядущего миропорядка. *История и современность* 4(30): 3–29.
- Марков А. В., Анисимов В. А., Коротаев А. В. 2010.** Взаимосвязь размера генома и сложности организма в эволюционном ряду от прокариот к млекопитающим. *Палеонтологический журнал* 4: 3–14.
- Марков А. В., Коротаев А. В. 2007.** Динамика разнообразия фанерозойских морских животных соответствует модели гиперболического роста. *Журнал общей биологии* 68(1): 3–18.
- Марков А. В., Коротаев А. В. 2008.** Гиперболический рост разнообразия морской и континентальной биот фанерозоя и эволюция сообществ. *Журнал общей биологии* 69(3): 175–194.
- Назаретян А. П. 2013.** Середина XXI века: загадка сингулярности. *Философские науки* 9: 15–24.
- Назаретян А. П. 2015.** Мегаистория и ее «загадочная сингулярность». *Вестник Российской академии наук* 85(8): 755–764.
- Панов А. Д. 2005.** Сингулярная точка истории. *Общественные науки и современность* 1: 122–137.
- Панов А. Д. 2008.** *Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума.* М.: Изд-во ЛКИ.

- Подлазов А. В. 2002.** Теоретическая демография. Модели роста народонаселения и глобального демографического перехода. *Новое в синергетике. Взгляд в третье тысячелетие* / Ред. Г. Г. Малинецкий, С. П. Курдюмов, с. 324–345. М.: Наука.
- Подлазов А. В. 2017.** Теория глобального демографического процесса. *Вестник Российской академии наук* 6: 520–531.
- Ризниченко Г. Ю. 2011.** *Лекции по математическим моделям в биологии*. М.; Ижевск: Изд-во РХД.
- Цирель С. В. 2012.** Скорость эволюции: пульсирующая, замедляющаяся, ускоряющаяся. *Универсальная и глобальная история. Эволюция Вселенной, Земли, жизни, общества*, с. 167–196. Волгоград: Учитель.
- Foerster H. von, Mora P. M., Amiot L. W. 1960.** Doomsday: Friday, 13 November, AD 2026. *Science* 132: 1291–1295.
- Grinin L., Markov A., Korotayev A. 2013.** On Similarities between Biological and Social Evolutionary Mechanisms: Mathematical Modeling. *Cliodynamics: the Journal of Theoretical and Mathematical History* 4(2): 185–228.
- Kremer M. 1993.** Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics* 108: 681–716.
- Kurzweil R. 2005.** *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking Penguin.