

I. СИНГУЛЯРНОСТЬ И БОЛЬШАЯ ИСТОРИЯ

1

Математический анализ сингулярности XXI века в контексте Большой истории¹

Андрей Витальевич Коротаев

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»;
Институт Африки РАН

*Представление о том, что в ближайшее время нас ждет некая «сингулярность», стало в последнее время достаточно популярным, прежде всего благодаря деятельности технического директора Google в области технического обучения Рэймонда Курцвейла и его книге *The Singularity is Near* (2005). Показано, что математический анализ приводимого им ряда событий, начинающегося с возникновения нашей Галактики и заканчивающегося расшифровкой кода ДНК, действительно практически идеально описывается неизвестной самому Курцвейлу крайне простой математической функцией с сингулярностью в районе 2029 г. Показано также, что составленный в начале 2000-х гг. (совершенно независимо от Курцвейла) российским физиком А. Д. Пановым аналогичный временной ряд (начинающийся с возникновения жизни на Земле и заканчивающийся информационной революцией) также практически идеально описывается не использованной А. Д. Пановым математической функцией (крайне сходной с вышеупомянутой) с сингулярностью в районе 2027 г. Показано, что эта функция также чрезвычайно сходна с уравнением, открытым в 1960 г. Х. фон Ферстером, показавшим в своей знаменитой статье в журнале *Science*, что она практически идеально описывает динамику численности населения и характеризуется математической сингулярностью в районе 2027 г. Все это говорит о наличии достаточно строгих глобальных макроэволюционных закономерностей, которые могут удивительно точно описываться крайне простыми математическими функциями. Вместе с тем про-*

¹ Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Математические методы анализа сложных систем».

демонстрировано, что в районе точки сингулярности нет основания вслед за Курцвейлом ожидать невиданного (на много порядков) ускорения темпов технологического развития; имеются большие основания интерпретировать эту точку как индикатор зоны перегиба, после прохождения которой темпы глобальной эволюции будут систематически в долгосрочной перспективе замедляться.

Ключевые слова: сингулярность, Большая история, временной ряд Модиса – Курцвейла, временной ряд Панова, фазовые переходы, глобальная эволюция, макроэволюция.

Введение

Вопрос о «сингулярности» глобальной (или даже Большой) истории обсуждается в последнее время очень активно (см., например: Назаретян 2013; 2014; 2015а; 2015б; Eden *et al.* 2012; Shanahan 2015; Callaghan *et al.* 2017; Nazaretyan 2015; 2016; 2017; 2018). Этот вопрос стал очень популярным благодаря усилиям Р. Курцвейла, технического директора в области машинного обучения и обработки естественного языка компании *Google*, и в особенности его книге *The Singularity is Near* (2005), но также и созданию им Университета Сингулярности (2009), активной PR-кампании и т. п. В сфере Большой истории² внимание к проблеме сингулярности было привлечено благодаря деятельности таких специалистов в этой области, как А. П. Назаретян (2005; 2009; 2013; 2014; 2015а; 2015б; Балашова и др. 2017; Nazaretyan 2005; 2015; 2016; 2017; 2018; 2020), А. Д. Панов (2004; 2005; 2006; 2008; Panov 2005; 2011; 2017; 2020) и Г. Д. Снукс (Snooks 2005; 2020). В перспективе Большой истории «гипотеза сингулярности» может представлять определенный интерес, так как она вроде бы предлагает «научно обоснованную» датировку «9-й пороговой вехи Большой истории» (Big History Threshold 9)³. Однако попробуем прежде всего разобраться, могут ли математические расчеты даты сингулярности действительно помочь нам выявить дату наступления очередной пороговой вехи Большой истории.

² Напомним, что, по определению Международной ассоциации Большой истории, суть Большой истории заключается в «стремлении понять интегрированную историю Космоса, Земли, Жизни и Человечества с использованием надежных эмпирических данных и научных методов» (Big History seeks to understand the integrated history of the Cosmos, Earth, Life, and Humanity, using the best available empirical evidence and scholarly methods – <https://bighistory.org/>).

³ О понятии «пороговых вех Большой истории» (Big History Thresholds) см.: Christian 2008. Стоит, видимо, пояснить, что в качестве 5-й пороговой вехи Большой истории Д. Кристиан рассматривает возникновение жизни, 6-й – антропогенез и возникновение «коллективного научения» (collective learning), 7-й – неолитическую революцию, а 8-й – глобальную модернизацию последних веков, особенно активно протекавшую в XIX–XX вв. (Modern Revolution).

Временной ряд Модиса – Курцвейла и математическая сингулярность

Р. Курцвейл одним из первых расположил главные макроэволюционные сдвиги значительной части Большой истории вдоль гиперболической кривой, которая может быть описана уравнением с математической сингулярностью⁴. Например, на с. 18 своего бестселлера *The Singularity is Near* (Kurzweil 2005) он приводит следующую диаграмму (см. Рис. 1)⁵:

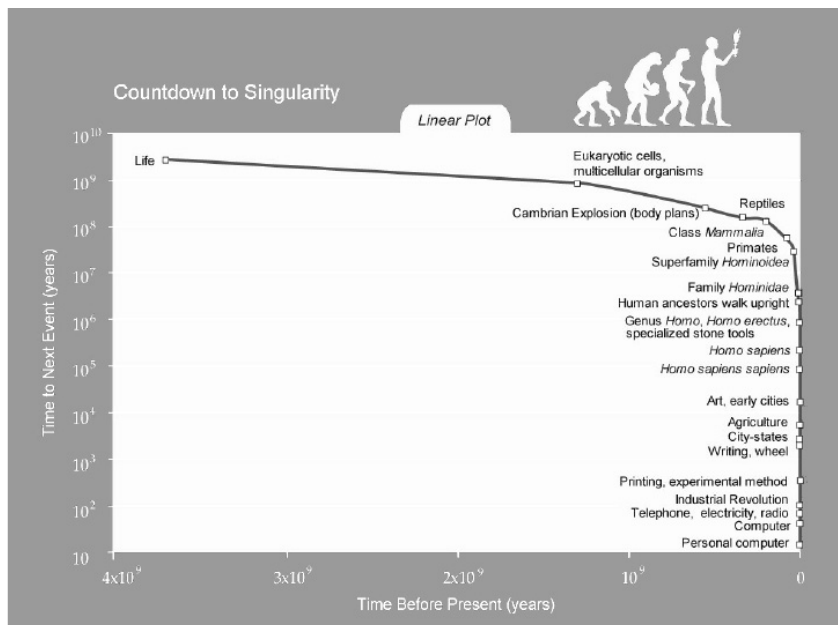


Рис. 1. «Обратный отсчет времени до сингулярности» согласно Р. Курцвейлу

Однако, как это ни удивительно, Курцвейл, по-видимому, не заметил, что кривая, представленная на этом рисунке, является гиперболической и что она описывается уравнением, имеющим самую настоящую математическую сингулярность (более того, значение этой сингулярности, 2029 год, не так далеко от того, что предсказывается самим Курцвейлом). Это объясняется прежде всего некоторыми математическими неточностями, ха-

⁴ Причины того, почему мы называем этот временной ряд «рядом Модиса – Курцвейла», станут понятны ниже.

⁵ Собственно говоря, прототип этого графика (но в двойной логарифмической шкале) можно найти на с. 5 в опубликованном Р. Курцвейлом в 2001 г. эссе «Закон возрастающей отдачи» (Kurzweil 2001: 5).

раактерными для технического директора *Google* (достаточно упомянуть, что он упорно называет глобальный паттерн ускорения эволюции «экспоненциальным», не обращая внимания на то, что экспоненциальная функция не имеет какой-либо сингулярности).

В свете этого не может не вызвать некоторого удивления то обстоятельство, что сам Курцвейл знает о понятии математической сингулярности и более или менее точно описывает его. Действительно, на с. 22–23 своего бестселлера он дает довольно точное описание понятия «математическая сингулярность»:

Singularity – это английское слово, означающее уникальное в своем роде событие с крайне особыми последствиями. Это слово используется математиками для обозначения значения, которое превосходит любое конечное ограничение, такое как взрывообразный рост величины, возникающий при делении константы на переменную, значение которой все больше приближается к нулю. Такая математическая функция никогда не достигает бесконечного значения, так как деление на ноль математически «неопределенно» (это невозможно вычислить). Но значение y превосходит любой возможный конечный предел (приближается к бесконечности), когда знаменатель x стремится к нулю (с. 22–23).

Более того, на с. 23 он сопровождает свое описание понятия «математическая сингулярность» вполне адекватным иллюстрирующим графиком (см. Рис. 2):

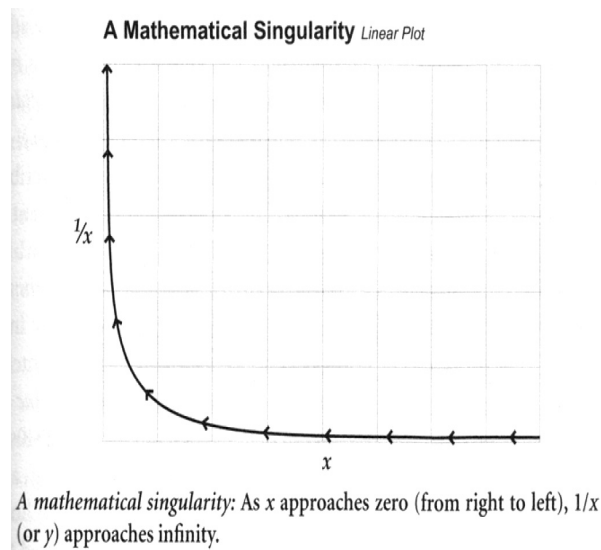


Рис. 2. Пример математической сингулярности (в натуральном масштабе)

Однако, представив достаточно адекватное описание понятия «математическая сингулярность», Курцвейл, похоже, теряет интерес к этому понятию, внезапно переключаясь на использование термина «сингулярность» астрофизиками (с. 23).

Одна из загадочных вещей в книге Курцвейла заключается в том, что он, похоже, не заметил, что форма гиперболической кривой на его графике «Математическая сингулярность» (с. 23 книги Курцвейла, см. Рис. 2 выше) принципиально идентична (хотя, конечно, повернута на 180 градусов) форме кривой на его графике «Обратный отсчет времени до сингулярности» (с. 18 той же книги, см. выше Рис. 1). Более того, как мы увидим ниже, математическая модель, обеспечивающая наилучшую аппроксимацию кривой типа той, что изображена на Рис. 1, в основном идентична гиперболической функции, показанной на Рис. 2, то есть $y = k/x$. Таким образом, если бы Курцвейл сделал простой математический анализ временного ряда на своем Рис. 1, он бы нашел, что его лучше всего описывает математическое уравнение того самого типа, что он изображает на своем Рис. 2 (с той очень небольшой разницей, что у нас в числителе уравнения оказалось бы «2», а не «1»⁶). Более того, он обнаружил бы, что значение математической сингулярности уравнения, лучше всего описывающего кривую на графике «Обратный отсчет времени до сингулярности» Курцвейла (см. выше Рис. 1), соответствует 2029 году, что не так сильно отличается от 2045 года, предложенного им в его книге, и просто идентично дате, предложенной Курцвейлом совсем недавно (см.: Ranj 2016)⁷.

Преобразование Панова

Между тем то, что не было сделано Р. Курцвейлом в 2005 г., было сделано в 2003 г. А. Д. Пановым⁸. Панов проанализировал достаточно похожий временной ряд (построенный, впрочем, на совершенно других источниках) и пришел к очень похожим выводам, но в гораздо более продвинутой форме. Очень важно, что он совершил шаг (к которому Курцвейл был очень близок, но который он фактически не сделал), который позволил

⁶ А при несколько ином расчете, чем тот, что мы применим ниже, в знаменателе этого уравнения окажется число, слабо отличающееся от «1» или даже просто равное «1» (см. Приложение 2).

⁷ Точнее, это дата, когда, согласно последнему прогнозу Курцвейла, люди станут бессмертными, что вполне можно рассматривать как своего рода сингулярность (а также в качестве довольно вероятного кандидата на 9-ю пороговую веху Большой истории) – даже если мы действительно имеем дело с радикальным увеличением ожидаемой продолжительности жизни человека (или постчеловека?), а не с бессмертием как таковым, поскольку это все равно будет означать изменение биологической природы людей, что не может не повлиять на ход человеческой истории самым драматичным образом.

⁸ Его описанные ниже расчеты были впервые представлены в ноябре 2003 г. на Академическом семинаре Государственного астрономического института в Москве (Nazaretyan 2005: 69) и впоследствии опубликованы в его статьях (Панов 2004; 2005; 2006; Panov 2005; 2011; 2017) и монографии (Панов 2008: 19–40).

Панову сделать анализ рассматриваемого временного ряда гораздо более прозрачным, благодаря чему он смог точно рассчитать дату сингулярности.

В своей книге 2005 г. Курцвейл отложил по оси ординат своих диаграмм «время для следующего события», что, на мой взгляд, существенно затруднило их интерпретацию. С другой стороны, в своем эссе 2001 г. на с. 5 при анализе диаграммы с аналогичным временным рядом (источник которого, кстати, не был указан) он начал говорить об ускорении «скорости сдвига парадигм» (paradigm shift rate) (Kurzweil 2001: 5), но (что довольно типично для главного инженера *Google*) почти сразу же переключился на другую тему. Вместе с тем, чтобы сделать его диаграммы гораздо более понятными, следовало лишь отложить по оси ординат не «время до следующего события», а именно «скорость сдвига парадигм», как это сделал Панов. Действительно, чтобы преобразовать время до следующего «парадигмального сдвига» в скорость сдвига парадигм, нужно было сделать довольно простую вещь: взять один год и разделить его на время до следующего сдвига парадигм; в результате мы получим число парадигмальных сдвигов в год, то есть именно «скорость сдвига парадигм». Как мы уже говорили, это не было сделано Курцвейлом, но было сделано Пановым, получившим в результате следующие графики (см. Рис. 3):

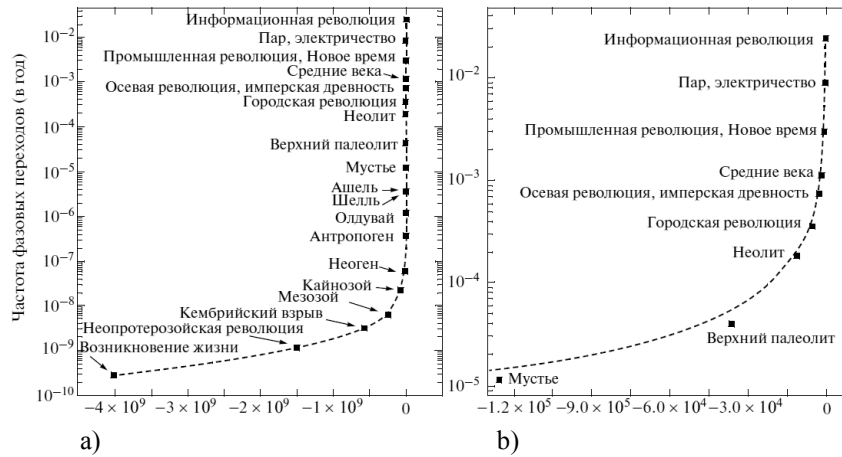


Рис. 3. Динамика скорости глобального макроэволюционного развития согласно Панову (источник: Назаретян 2015а: 760, Рис. 3).

График 3а на Рис. 3 описывает ускорение глобальной скорости макроэволюции начиная с 4 млрд лет до настоящего времени, тогда как левый график (3b) описывает это для человеческой части Большой истории. Заметим сразу, что кривая 3а А. Д. Панова является зеркальным отображением

графика «Обратный отсчет времени до сингулярности» Р. Курцвейла (см. Рис. 4):

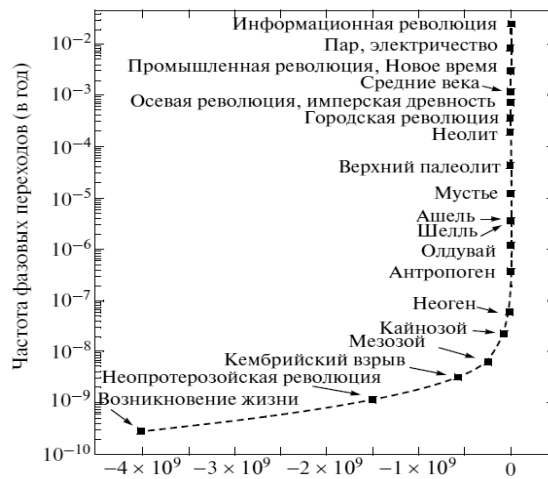
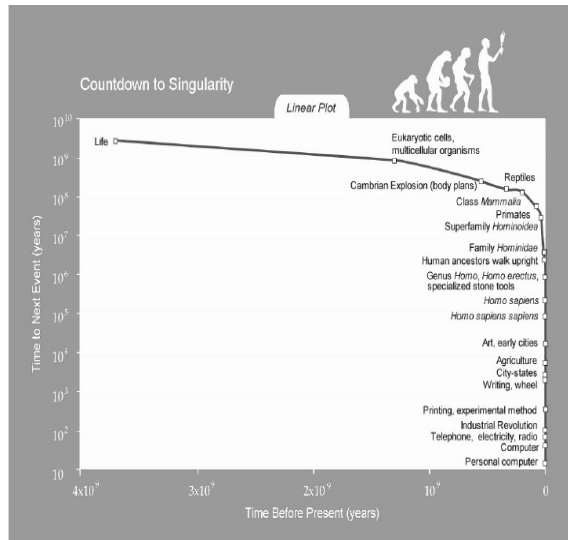


Рис. 4. Сравнение между «Счетом времени до сингулярности» Р. Курцвейла и графическим изображением А. Д. Пановым динамики «частоты глобальных фазовых переходов» (= глобальной скорости макроэволюционного развития)

Однако математическая интерпретация графика Панова намного проще и нагляднее. Заметим, что сам Панов обозначал переменную, нанесенную по

оси ординат его графиков, как «частоту фазовых переходов в год». Однако совершенно очевидно, что «фазовый переход» Панова является синонимом «сдвига парадигм» Курцвейла, тогда как «частота фазовых переходов в год» описывает именно «скорость парадигмальных сдвигов» или темпы глобального макроэволюционного развития / темпы роста глобальной сложности. Это преобразование значительно упрощает точное определение картины ускорения темпов глобального макроэволюционного развития.

Временной ряд Курцвейла – Модиса: формальный анализ

Ниже мы проведем математический анализ временного ряда Курцвейла – Модиса по линии, предложенной Пановым (хотя и с некоторыми нашими модификациями).

В дополнение к курцвейловскому графику «Обратный отсчет времени до Сингулярности» в одинарной логарифмической шкале, представленной выше на Рис. 1, Курцвейл публикует две другие версии этого графика в двойной логарифмической шкале (см. Рис. 5 и 6):

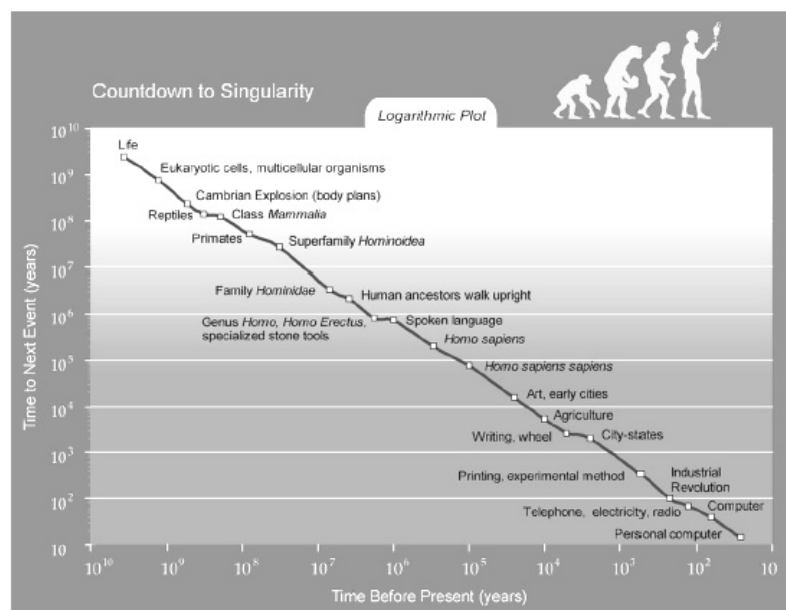


Рис. 5. Первая версия курцвейловского графика «Обратный отсчет времени до сингулярности» в двойной логарифмической шкале

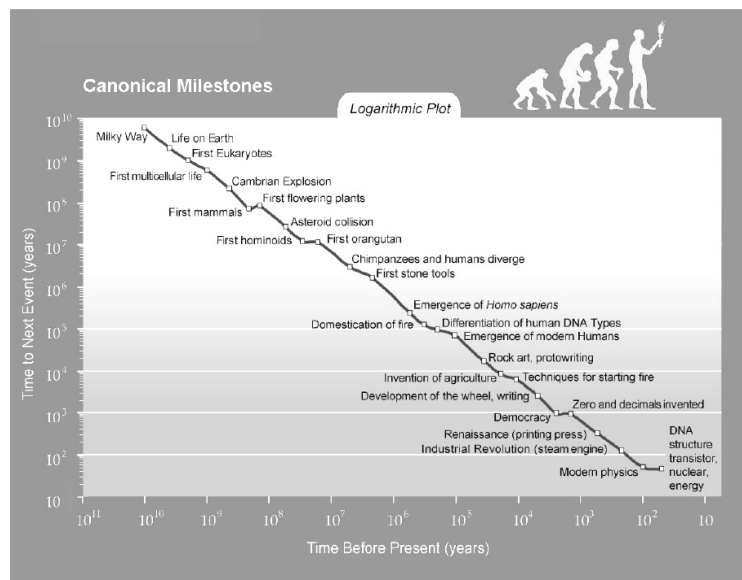


Рис. 6. Вторая версия курцвейловского графика «Обратный отсчет времени до сингулярности» («Канонические вехи», Canonical Milestones) в двойной логарифмической шкале

Хотя временной ряд, представленный на Рис. 5, представляется мне несколько более обоснованным, чем тот, который представлен на Рис. 6, я решил проанализировать временной ряд на Рис. 6 по следующей причине. Дело в том, что источник данных для Рис. 5 остается мне совершенно неясным; следовательно, я не вижу способа восстановить соответствующий временной ряд до тех деталей, которые необходимы для его формального математического анализа. Но таких проблем нет с источником данных для Рис. 6, поскольку Р. Курцвейл указывает его совершенно четко. Это статья Теодора Модиса «Пределы сложности и изменения» (Modis 2003), подготовленная, в свою очередь, на основе его предыдущей статьи, опубликованной в известном научном журнале *Technological Forecasting and Social Change* (Idem 2002). К счастью, Модис публикует все необходимые данные в статьях по своему временному ряду, что дает возможность его математически анализировать.

Мы начнем наш анализ с вышеупомянутого преобразования, то есть заменим «время до следующего события» на «интенсивность парадигмальных сдвигов» ~ «частоту фазовых переходов» ~ «скорость глобального макроэволюционного развития» ~ «скорость роста глобальной сложности». Результат выглядит следующим образом (см. Рис. 7):

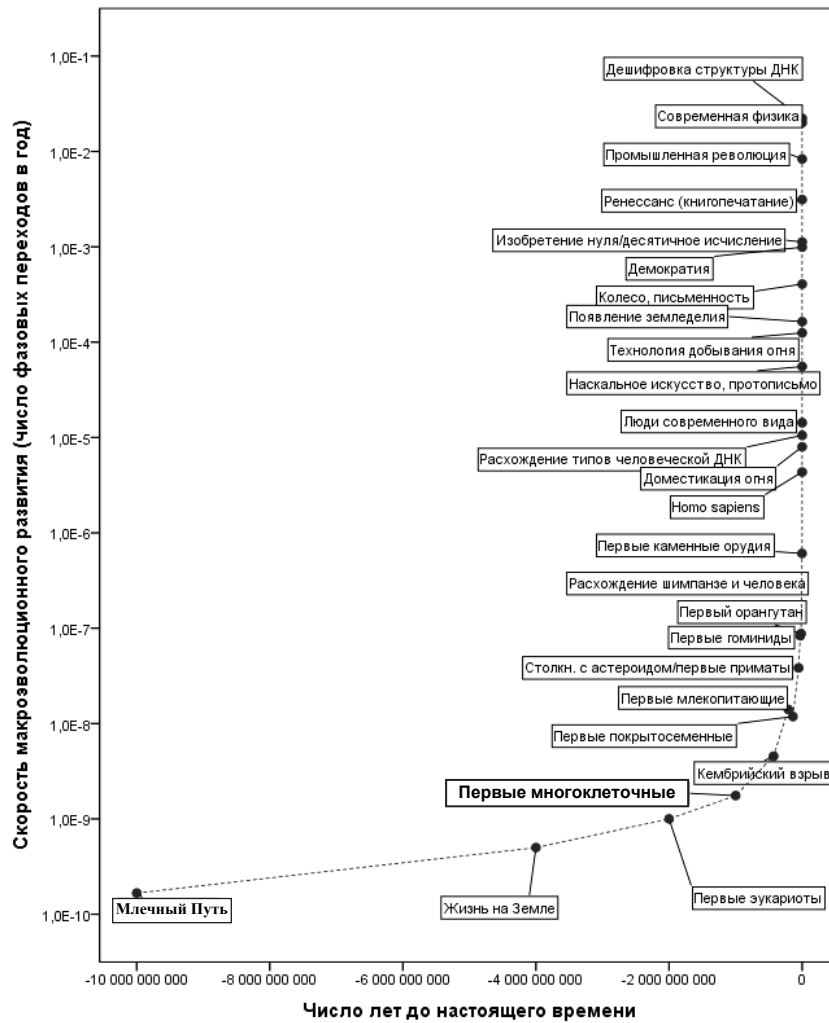


Рис. 7. График Курцвейла «Канонические вехи»⁹, трансформированный с использованием преобразования Панова (с логарифмической шкалой по оси ординат)

С использованием же той техники, которая была применена Р. Курцвейлом при построении своего графика «Обратный отсчет времени до сингулярности» (см. выше Рис. 1), мы получим для анализируемого нами временного ряда следующий график (см. Рис. 8):

⁹ См. выше Рис. 6.

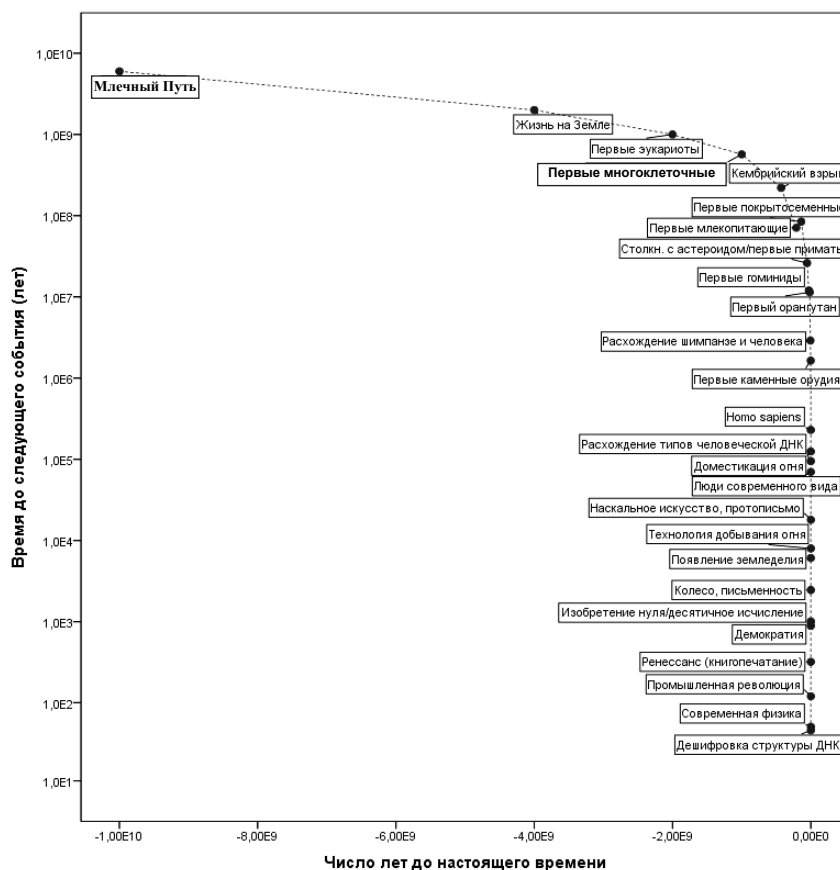
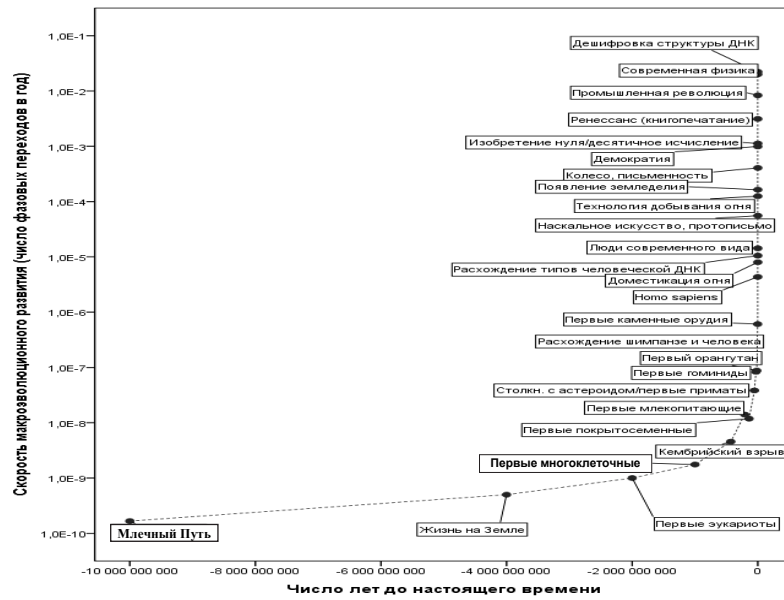


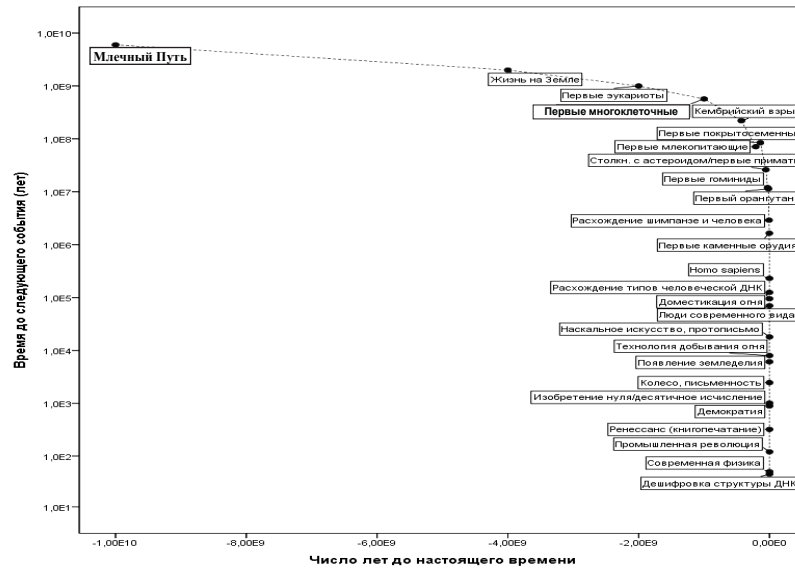
Рис. 8. Курцвейловский график «Канонические вехи»¹⁰ с логарифмической шкалой по оси ординат

На Рис. 9 легко увидеть, что один график является зеркальным отражением другого (см. Рис. 9):

¹⁰ См. выше Рис. 6.



(a)



(b)

Рис. 9. График «по Панову» (a) является зеркальным отражением курцвейловского (b)

Хорошо видно, что кривая на Рис. 7 (= Рис. 9а) практически идентична гиперболической кривой на Рис. 2, иллюстрирующей математическую функцию с сингулярностью.

На следующем шаге отложим по оси абсцисс время до сингулярности, а по оси ординат – скорость глобальной макроэволюции (число фазовых переходов в единицу времени) и вычислим дату сингулярности, получив (методом наименьших квадратов) такую гиперболическую кривую, которая наиболее точно описывает анализируемый нами временной ряд. Результаты этого анализа представлены на Рис. 10 (как уже упоминалось выше, наш математический анализ определил дату сингулярности для этого временного ряда как 2029 г. н. э.).

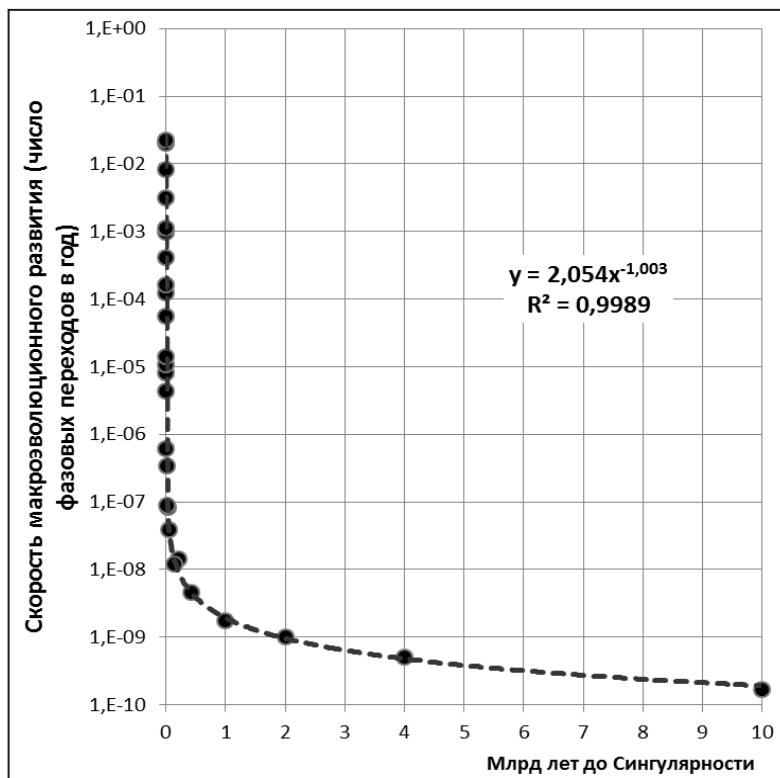


Рис. 10. Диаграмма рассеивания (с логарифмической шкалой по оси ординат) для точек фазовых переходов из списка Модиса – Курцвейла с добавленной линией степенной регрессии с датой сингулярности, идентифицированной методом наименьших квадратов в районе 2029 г. н. э.

Ниже тот же самый график представлен в двойной логарифмической шкале (см. Рис. 11):

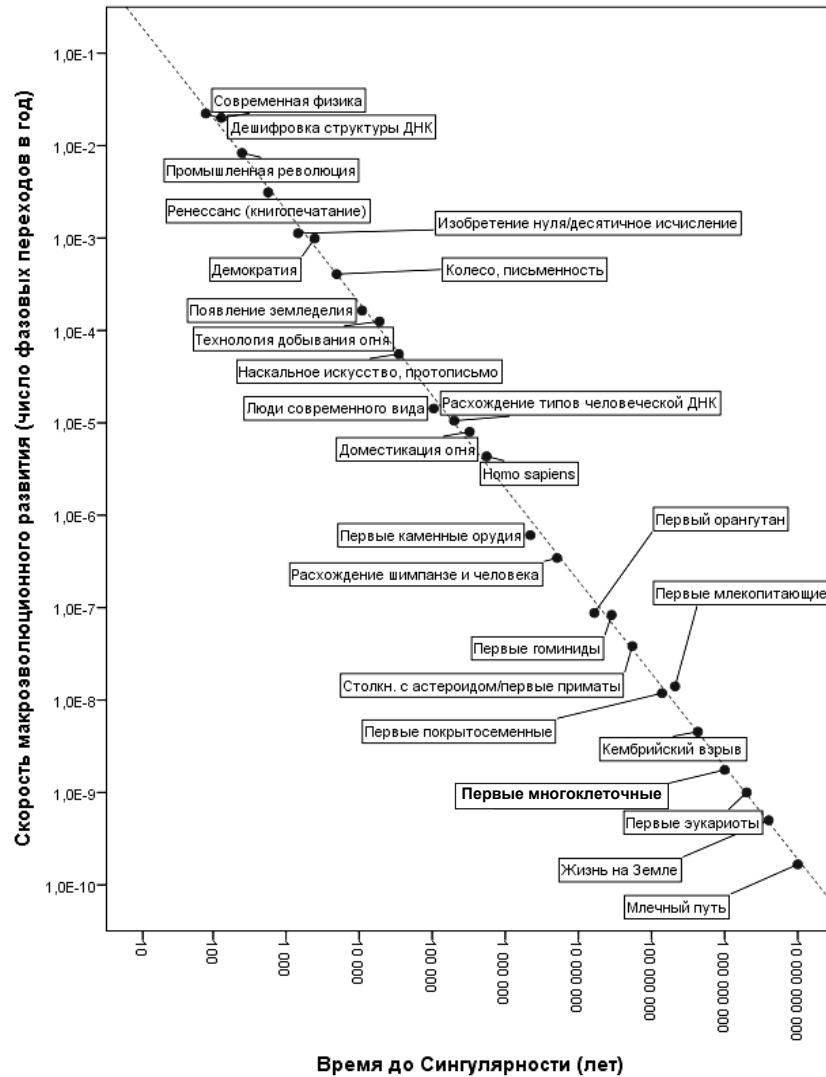


Рис. 11. Диаграмма рассеивания (в **двойной** логарифмической шкале*) для точек фазовых переходов из списка Модиса – Курцвейла с наложенной линией степенной регрессии с датой сингулярности, идентифицированной методом наименьших квадратов в районе 2029 г. н. э.

Теперь проанализируем полученные нами результаты. Как мы видим, временной ряд Модиса – Курцвейла с чрезвычайно высокой точностью описывается с помощью математической функции типа $y = k/x$, имеющей откровенно выраженную математическую сингулярность, которую Курцвейл вполне точно охарактеризовал на с. 22–23 его книги – к удивлению, не обратив внимания на ее релевантность для математического описания временного ряда «обратный отсчет времени до сингулярности», представленного им всего за несколько страниц до этого (с. 17–20). Действительно, наша степенная регрессия для рассматриваемого нами курцвейловского временного ряда «Обратный отсчет времени до сингулярности» определила следующее наилучшее подходящее уравнение, описывающее этот временной ряд с почти идеальной точностью ($R^2 = 0,999$ (!)):

$$y = \frac{2,054}{x^{1,003}}, \quad (1)$$

где y – это скорость роста глобальной сложности (число фазовых переходов за единицу времени), x – время до сингулярности, а 2,054 и 1,003 – константы.

Отметим, что показатель «степень знаменателя» (1,003) лишь в пренебрежимо малой степени отличается от «1» (полностью в пределах погрешности); таким образом, имеются все основания использовать это уравнение в следующей упрощенной форме:

$$y = \frac{2,054}{x}, \quad (2)$$

где y – это скорость роста глобальной сложности (число фазовых переходов за единицу времени), x – время до сингулярности, а 2,054 – константа.

Таким образом, оказывается, что временной ряд Курцвейла – Модиса может быть с удивительно высокой точностью математически описан при помощи той самой простой гиперболической функции, которую Курцвейл представляет на с. 22–23 своей книги – с той лишь разницей, что в знаменателе правой части этого уравнения находится 2 (а не 1)¹¹.

Экспоненциальная и гиперболическая формулы глобального ускорения

Особо стоит подчеркнуть, что проведенный нами анализ достаточно строго демонстрирует: паттерн ускорения роста глобальной сложности, прослеживаемый во временном ряде Модиса – Курцвейла, является не экспоненциальным (как это утверждает Курцвейл), а гиперэкспоненциальным, или, если быть более точными, гиперболическим (см. Рис. 12).

¹¹ Или, точнее, 2,054. Вместе с тем отметим, что подсчеты А. А. Фомина (Fomin 2020) показывают: если при расчете при помощи данной модели в качестве t брать не момент начала периода, по которому вычисляется производная, а его середину, то значение параметра в знаменателе оказывается ближе скорее к 1, чем к 2.

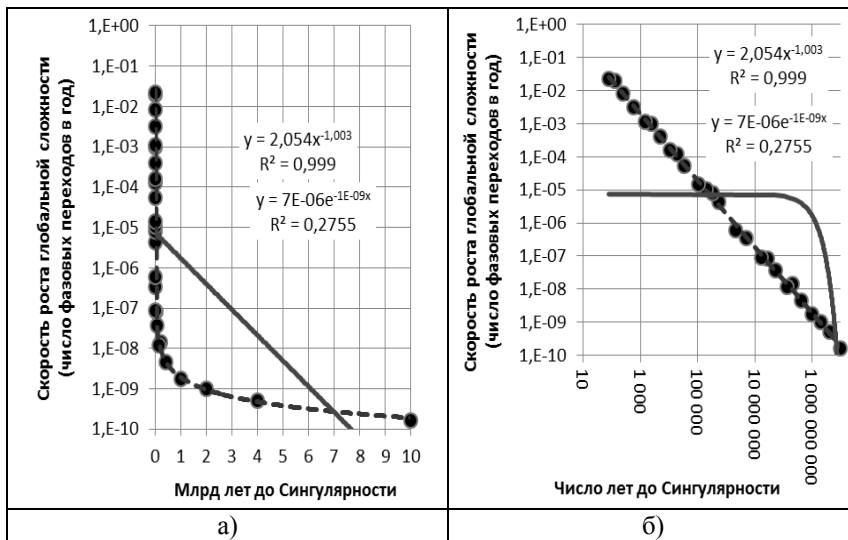


Рис. 12. Диаграмма рассеивания для точек фазовых переходов из списка Модиса – Курцвейла с наложенными линиями степенной/гиперболической и экспоненциальной регрессии: а) с логарифмической шкалой по оси ординат; б) в двойной логарифмической шкале. Сплошные регрессионные линии были сгенерированы экспоненциальной моделью, продемонстрировавшей (методом наименьших квадратов) наилучшее соответствие эмпирическим оценкам, пунктирные линии – гиперболическим уравнением

Стоит вспомнить, что при использовании логарифмической шкалы по оси ординат экспоненциальная кривая выглядит как прямая линия (в то время как гиперболическая линия выглядит похожей на экспоненциальную кривую). С другой стороны, в двойной логарифмической шкале гиперболическая кривая выглядит как прямая линия, в то время как экспоненциальная кривая оказывается похожей на перевернутую экспоненциальную линию. Таким образом, Рис. 12 показывает, что Р. Курцвейл не вполне прав, когда утверждает, что глобальное макроэволюционное развитие ускорялось экспоненциально, демонстрируя, что это ускорение было отнюдь не экспоненциальным, а гиперболическим.

Формула ускорения глобального макроэволюционного развития по временному ряду Модиса – Курцвейла

Чтобы сделать рассматриваемую нами модель ускорения более понятной, имеет смысл произвести небольшое преобразование уравнения (2). Напомним, что это уравнение представляет собой немного упрощенную вер-

сию уравнения (1), использованного для генерирования гиперболических кривых на Рис. 12, и выглядит оно следующим образом:

$$y = \frac{2,054}{x}, \quad (2)$$

где y – это скорость глобального макроэволюционного развития / темпы роста глобальной сложности, x – это время до сингулярности, а 2,054 – константа.

Конечно, x (время до сингулярности) на момент времени t равняется $t^* - t$, где t^* – это дата Сингулярности. Таким образом,

$$x = t^* - t.$$

С учетом данного обстоятельства уравнение (2) может быть переписано следующим образом:

$$y_t = \frac{2,054}{t^* - t}, \quad (3)$$

где y – это скорость глобального макроэволюционного развития / темпы роста глобальной сложности на момент времени t , t^* – это дата сингулярности, а 2,054 – константа.

Наконец, вспомним, что регрессионный анализ трансформированного временного ряда Модиса – Курцвейла с использованием метода наименьших квадратов позволил нам идентифицировать дату сингулярности как 2029 г. н. э. С учетом этого обстоятельства уравнение (3) может быть записано следующим образом:

$$y_t = \frac{2,054}{2029 - t}. \quad (4)$$

При этом, конечно, в общем виде эта модель имеет следующий вид:

$$y_t = \frac{C}{t^* - t}, \quad (5)$$

где C и t^* – константы.

Несмотря на небольшое упрощение (в виде округления показателя степени в знаменателе до 1), уравнение (4) генерирует такие кривые, которые демонстрируют чрезвычайно высокое ($R^2 = 0,999(!)$) соответствие эмпирическим оценкам паттерна гиперболического ускорения роста глобальной сложности (см. ниже Рис. 13–15).

Кривая, сгенерированная этим чрезвычайно простым уравнением, описывает неожиданно точным образом паттерн гиперболического ускорения темпов планетарного макроэволюционного развития на протяжении миллиардов лет (см. Рис. 13):

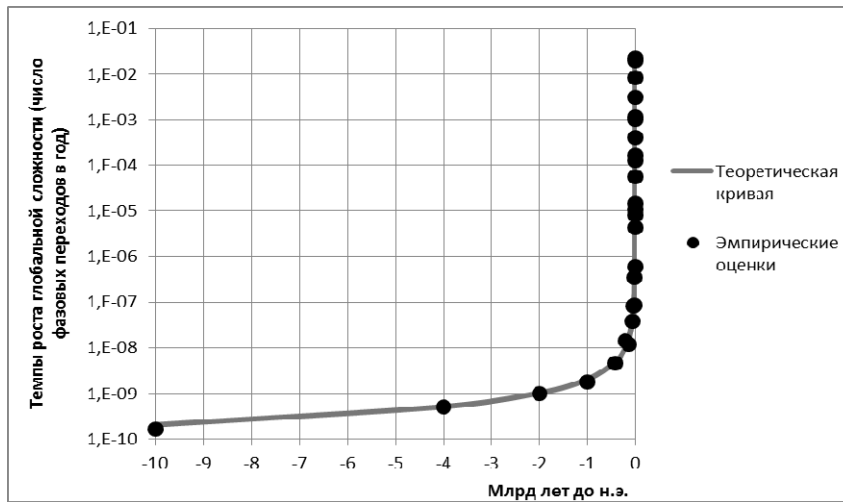


Рис. 13. Корреляция между эмпирическими оценками темпов роста глобальной сложности и теоретической кривой, сгенерированной гиперболическим уравнением $yt = 2,054 / (2029 - t)$, 10 млрд лет до н. э. – 2000 г. н. э., с логарифмической шкалой по оси ординат

Однако если мы рассмотрим Рис. 13 «под увеличением» для того, чтобы лучше увидеть последние два миллиарда лет, мы увидим, что уравнение (4), несмотря на свою чрезвычайную простоту, оказывается способным чрезвычайно точно описать гиперболическое ускорение темпов планетарного макроэволюционного развития и в этом масштабе времени (см. Рис. 14):

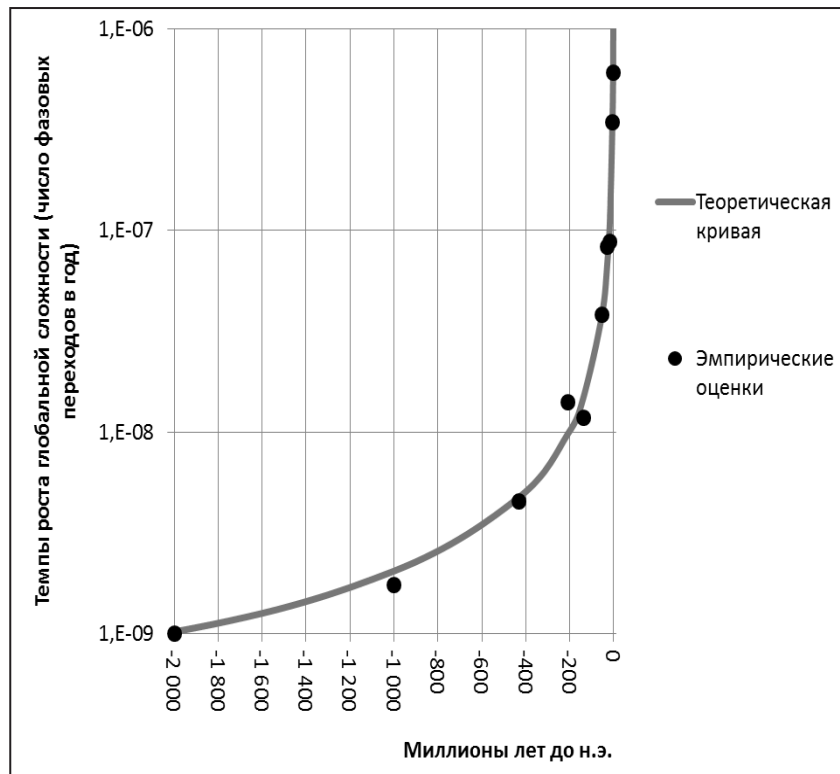


Рис. 14. Корреляция между эмпирическими оценками темпов роста глобальной сложности и теоретической кривой, сгенерированной гиперболическим уравнением $yt = 2,054 / (2029 - t)$, 2 млрд лет до н. э. – 2 200 000 г. до н. э., с логарифмической шкалой по оси ординат

Попробовав рассмотреть «под увеличением» и этот график, чтобы увидеть более детально ускорение глобального макроэволюционного развития за последние сотни тысяч лет Большой истории (что соответствует доистории и истории человечества), мы увидим столь же удивительно точное соответствие между гиперболической линией, генерируемой уравнением (4), и эмпирическими оценками темпов роста глобальной сложности (см. Рис. 15):

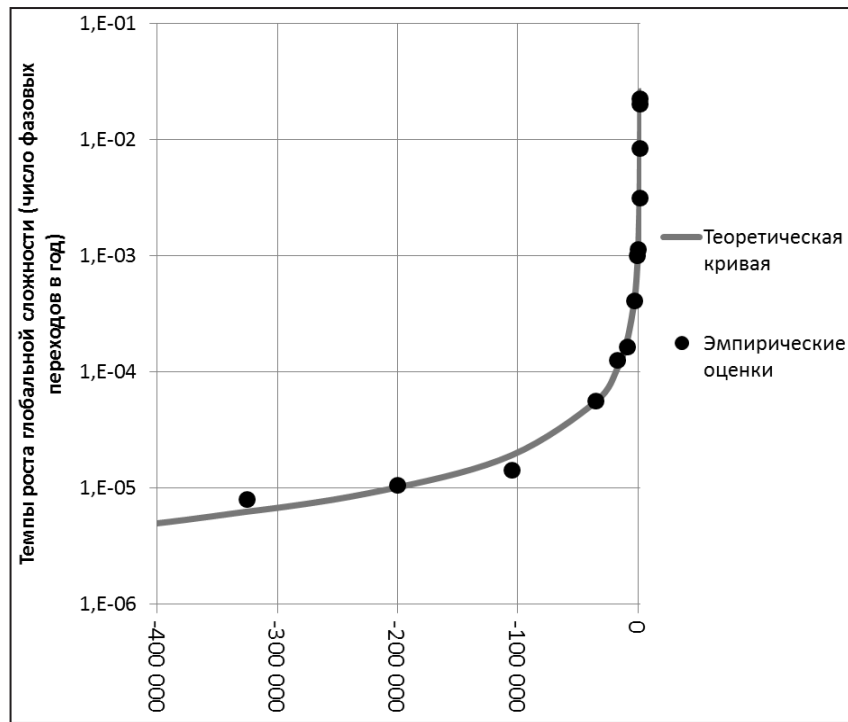


Рис. 15. Корреляция между эмпирическими оценками темпов роста глобальной сложности и теоретической кривой, сгенерированной гиперболическим уравнением $yt = 2,054 / (2029 - t)$, 400 000 г. до н. э. – 2000 г. н. э., с логарифмической шкалой по оси ординат

И, наконец, сфокусировавшись на последних тысячелетиях социальной фазы Большой истории, мы увидим, что и на этом участке то же самое уравнение описывает гиперболическое ускорение глобального макроэволюционного развития в высшей степени точно (см. Рис. 16):

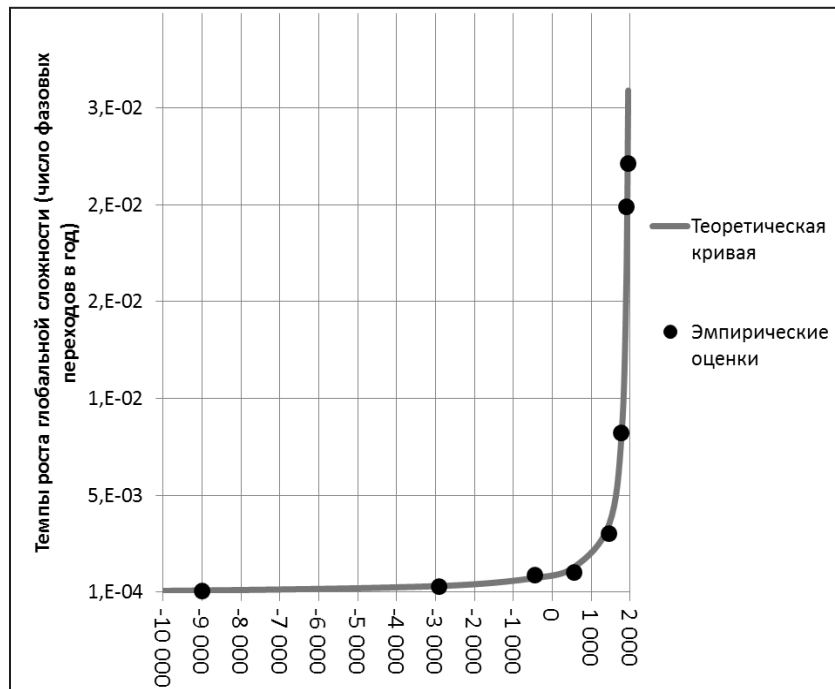


Рис. 16. Корреляция между эмпирическими оценками темпов роста глобальной сложности и теоретической кривой, сгенерированной гиперболическим уравнением $y_t = 2,054 / (2029 - t)$, 10 000 г. до н. э. – 2000 г. н. э., с натуральной шкалой по обеим осям

Подчеркнем еще раз, что кривая, удивительно точно описывающая ускорение человеческой истории после 10 тыс. до н. э. (Рис. 16), и кривая, столь же точно описывающая ускорение планетарного макроэволюционного развития до появления человека (Рис. 14), сгенерирована одним и тем же уравнением – простейшим уравнением (4).

Как мы видим, простое гиперболическое уравнение $y_t = 2.054 / (2029 - t)$ описывает наблюдавшееся до самого последнего времени ускорение темпов глобального макроэволюционного развития удивительно точным образом для всех основных эр глобальной истории.

Собственно говоря, модель (4) имеет достаточно простой «физический смысл». Действительно, подсчитаем скорость глобального макроэволюционного развития примерно за 200 лет до сингулярности (то есть около 1829 г.), пользуясь еще более упрощенным видом уравнения (4): $(y_t = 2 / (2029 - t))$: $y_{1829} = 2 / (2029 - 1829) = 2 / 200 = 1 / 100$. Таким образом мы

получаем следующий результат: «Около 1800 г. характерная скорость глобального макроэволюционного развития составляла порядка одного фазового перехода (типа промышленной революции) за 100 лет» – то есть глобальное макроэволюционное развитие шло в масштабе веков.

Тот же самый подсчет для временной точки примерно за 2000 лет до сингулярности (\approx до настоящего времени) – около 1 г. н. э., в районе 29 г. даст следующий результат: $y_{29} = 2/(2029-29) = 2/2000 = 1/1000$ – таким образом, в эту эпоху макроэволюционные фазовые переходы (типа фазового перехода Осевого времени) имели тенденцию происходить в масштабе один переход за тысячелетие, то есть в масштабе тысячелетий. Таким образом, в районе 18-го тыс. до н. э. мы обнаружим, что планетарное макроэволюционное развитие шло в масштабе десятков тысяч лет, около 200 тыс. лет до настоящего времени – в масштабе сотен тысяч лет (около одного фазового перехода за сто тысяч лет), около 2 млн лет назад – в масштабе миллионов лет, около 20 млн лет назад – в масштабе десятков миллионов лет, около 200 млн лет назад – в масштабе сотен миллионов лет, а около 2 млрд лет назад – в масштабе миллиардов лет (то есть около одного планетарного макроэволюционного фазового перехода за миллиард лет). Другими словами, с каждым уменьшением времени до настоящего момента (\approx до «сингулярности») на порядок (с 2 млрд лет назад до 200 млн лет назад, с 200 млн лет назад до 20 млн лет назад, с 20 млн лет назад до 2 млн лет назад, и т. д.) темпы глобального макроэволюционного развития (\sim темпы роста глобальной сложности) всякий раз увеличивались именно на порядок. И лично мне такой паттерн ускорения представляется очень похожим на реально наблюдавшийся.

Здесь также стоит вспомнить, что алгебраическое уравнение типа:

$$y_t = \frac{C}{t^* - t}, \quad (5)$$

может рассматриваться как решение следующего дифференциального уравнения:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{y^2}{C}, \quad (6)$$

(см., например: Korotayev, Malkov, Khalbourina 2006a: 118–120).

Таким образом, формула ускорения, подразумеваемая уравнением (4), может быть выражена следующим образом:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{y^2}{2.054} \approx 0.5y^2. \quad (7)$$

Вербально общая формула ускорения планетарной макроэволюции, которая столь точно описывает ряд «скачков [в уровне] сложности»¹²

¹² Именно так (не без некоторых оснований) Т. Модис (Modis 2002; 2003) называет то, что А. Д. Панов обозначает как «биосферные революции» или «фазовые переходы».

Курцвейла – Модиса при помощи уравнений (4)/(5), может быть сформулирована следующим образом: увеличение темпов макроэволюционного развития в a раз сопровождается увеличением скорости роста (то есть ускорения) темпов макроэволюционного развития в a^2 раз; так, двукратное увеличение темпов макроэволюционного развития в тенденции сопровождается четырехкратным увеличением скорости роста (то есть ускорения) темпов макроэволюционного развития; десятикратное увеличение темпов макроэволюционного развития в тенденции сопровождается стократным ускорением роста темпов макроэволюционного развития; и т. д.

Теперь используем ту же самую методику для формального анализа временного ряда глобальных макроэволюционных «фазовых переходов» / «биосферных революций», идентифицированного А. Д. Пановым (Панов 2004; 2005; 2006; 2008; Panov 2005; 2011; 2017).

Однако прежде, чем мы проведем этот анализ, представляется целесообразным разобрать несколько существенных моментов.

Временные ряды Р. Курцвейла – Т. Модиса и А. Д. Панова: внешний сравнительный анализ

Т. Модис и А. Д. Панов провели идентификацию своих временных рядов полностью независимо друг от друга. Как свидетельствует мое личное общение как с А. Д. Пановым, так и с Т. Модисом, ни один из них даже не догадывался, что в практически то же самое время¹³ на другом конце Европы другой человек занимался идентификацией очень похожего временного ряда (А. Д. Панов работал и работает в Москве, а Т. Модис – в Женеве). Как мы увидим ниже, они опирались на совершенно различные источники; и неудивительно, что полученные ими временные ряды оказались совсем не идентичными.

Действительно, временной ряд Т. Модиса (Modis 2003), который стоит за курцвейловским графиком «Канонические вехи» (Kurzweil 2005: 20), выглядит следующим образом (мы воспроизводим его ниже в том виде, как он был опубликован Т. Модисом в его эссе в научно-популярном журнале *Futurist* [Modis 2003], так как именно на эту версию ряда опирался Р. Курцвейл при создании своего графика и именно эта версия ряда была выше проанализирована математически; мы, однако, время от времени уточняем некоторые детали по более академическому описанию данного ряда из статьи Т. Модиса, опубликованной в 2002 г. в научном журнале *Technological Forecasting & Social Change* [Idem 2002]):

¹³ Т. Модис впервые представил свои результаты в 2002 г. в статье в журнале *Technological Forecasting and Social Change* (эту статью А. Д. Панов прочитал только в марте 2018 г., после того как она была послана ему мною), в то время как еще в 2003 г. Панов представил свои результаты в Москве на семинаре Государственного астрономического института.

- 1) Возникновение Млечного Пути, первые звезды – 10 млрд лет назад¹⁴.
- 2) Возникновение жизни на Земле, формирование Солнечной системы и Земли, древнейшие скалы – 4 млрд лет назад.
- 3) Появление эвкариот, «изобретение» полового размножения (микроорганизмами), атмосферный кислород, древнейшие фотосинтезирующие растения, возникновение тектоники плит – 2 млрд лет назад.
- 4) Первые многоклеточные, губки, водоросли, протисты – 1 млрд лет назад.
- 5) Кембрийский взрыв/беспозвоночные/позвоночные, растения колонизируют сушу, первые деревья, рептилии, насекомые, амфибии – 430 млн лет назад.
- 6) Первые млекопитающие, первые птицы, первые динозавры – 210 млн лет назад.
- 7) Первые покрытосеменные, древнейшие остатки цветковых растений – 139 млн лет назад.
- 8) Первые приматы / столкновение с астероидом / массовое вымирание (включая динозавров) – 54,6 млн лет назад.
- 9) Первые человекообразные обезьяны, первые гоминиды – 28,5 млн лет назад.
- 10) Первый орангутан, проконсул – 16,5 млн лет назад.
- 11) Расхождение предков шимпанзе и человека, самые ранние свидетельства прямохождения у гоминид – 5,1 млн лет назад.
- 12) Первые каменные орудия, *Homo erectus* – 2,2 млн лет назад.
- 13) Возникновение *Homo sapiens* – 555 000 лет назад.
- 14) Освоение огня / *Homo heidelbergensis* – 325 000 лет назад.
- 15) Расхождение типов человеческой ДНК – 200 000 лет назад.
- 16) Люди современного вида / древнейшие погребения – 105 700 лет назад.
- 17) Наскальное искусство, протописьмо – 35 800 лет назад.
- 18) Технология добывания огня – 19,200 years ago.
- 19) Появление земледелия – 11,000 years ago¹⁵.
- 20) Изобретение колеса / письмо / древние империи / большие цивилизации / Египет / Месопотамия – 4 907 лет назад.
- 21) Демократия / города-государства / древние греки / Будда [≈ Осевое время] – 2 437 лет назад.

¹⁴ Собственно говоря, Модис начинает с Большого взрыва, но Курцвейл вполне обоснованно предпочитает начать с формирования Млечного Пути.

¹⁵ Более популярная версия презентации результатов Модиса (Modis 2003) содержит явную опечатку (указывается 19 200 лет назад как дата начала неолитической революции). Эта опечатка отсутствует в более академической версии презентации результатов Модиса (*Idem* 2002), на которую мы в данном случае и опираемся.

22) Изобретение нуля и десятичного исчисления, падение Рима, исламские завоевания – 1 440 лет назад.

23) Ренессанс (книгопечатание) / открытие Нового Света / научный метод – 539 лет назад.

24) Промышленная революция (паровой двигатель) / политические революции (Франция, США) – 225 лет назад.

25) Современная физика / радио / электричество / автомобиль / аэроплан – 100 лет назад.

26) Дешифровка структуры ДНК / изобретение транзистора / ядерная энергия / Вторая мировая война / холодная война / спутник – 50 лет назад.

27) Интернет / расшифровка генома человека – 5 лет назад.

Отметим, что сам Модис вполне ясно заявляет: «...настоящее время приравнивается здесь к 2000 г. н. э.» (Modis 2003: 31). Действительно, это имеет, вне всякого сомнения, смысл по отношению к векам (24)–(27) из списка Модиса – Курцвейла. С другой стороны, имеются некоторые основания предполагать, что Модис начал составлять первые варианты своего списка за несколько лет до 2000 г. и, по всей видимости, не привел в своей публикации 2003 г. некоторые старые датировки веков в соответствии с новой условной датой «настоящего времени», установленной на точку 2000 г. н. э. Иначе трудно понять датировки им веков (20), (21) и (23).

Т. Модис (Modis 2002: 393–401) дает следующий список научных публикаций, на которые он опирался при идентификации своего временного ряда: Barrow, Silk 1980; Burenhult 1993; Heidmann 1989; Johanson, Edgar 1996; Sagan 1989; Schopf 1991¹⁶.

А. Д. Панов при идентификации своего временного ряда опирался на абсолютно другие публикации¹⁷ (см. Табл. 1):

¹⁶ К этому он также добавляет стенд “Timeline of the Universe” Американского музея естественной истории (American Museum of Natural History, Central Park West at 79th Street, New York), *Encyclopaedia Britannica* (без точных библиографических ссылок на конкретные статьи), “the web site of the Educational Resources in Astronomy and Planetary Science (ERAPS), University of Arizona” (без указания точного URL), “Private communication, Paul D. Boyer, Biochemist. Nobel Prize 1997. Dec 27, 2000” и “a timeline for major events in the history of life on earth as given by David R. Nelson, Department of Biochemistry at the University of Memphis, Tennessee” (<http://drnelson.utmem.edu/evolution2.html>).

¹⁷ По крайней мере, при составлении своего первого списка «фазовых переходов/биосферных революций» на русском языке (Панов 2004; 2005). Отметим, что при подготовке публикации своих результатов на английском языке А. Д. Панов (Panov 2005) добавил к своей почти полностью русскоязычной библиографии 8 публикаций на английском языке (Begun 2003; Carrol 1988; Jones 1994; Nazaretyan 2003; A. H. 1975; A. P. 1975; J. B. W. 1975; T. K. 1975) и 1 публикацию на немецком языке (Jaspers 1955). Нельзя полностью исключить того, что это могло как-то повлиять на датировку Пановым некоторых из его «биосферных революций» (действительно, можно найти некоторые [очень, впрочем, небольшие] различия в датировках между публикациями 2005 г. на русском [Панов 2005] и английском [Panov 2005] языках). Отметим также, что эти англоязычные публикации включают в себя четыре статьи из *Encyclopaedia Britannica*, что сделало список источников

Табл. 1. Сопоставление источников, использованных Т. Модисом (Modis 2002; 2003) и А. Д. Пановым (2005) для составления их списков «фазовых переходов» / «биосферных революций» / «канонических вех» / «эволюционных поворотных точек» / «скачков сложности»

<i>Источники, использованные Т. Модисом для идентификации списка «фазовых переходов» / «скачков сложности», опубликованного в: Modis 2002; 2003</i>	<i>Источники, использованные А. Д. Пановым для идентификации списка «фазовых переходов» / «биосферных революций», опубликованного в первой полностью академической публикации его результатов (Панов 2005)</i>
<p>1) Barrow, Silk 1980; 2) Burenhult 1993; 3) Heidmann 1989; 4) Johanson, Edgar 1996; 5) Sagan 1989; 6) Schopf 1991; к этому списку Т. Модис добавляет: 7) “Timeline of the Universe” (American Museum of Natural History, Central Park West at 79th Street, New York), 8) “Encyclopaedia Britannica”, 9) “The web site of the Educational Resources in Astronomy and Planetary Science (ERAPS), University of Arizona”, 10) “Private communication, Paul D. Boyer, Biochemist. Nobel Prize 1997. Dec 27, 2000”, 11) “a timeline for major events in the history of life on earth as given by David R. Nelson, Department of Biochemistry at the University of Memphis, Tennessee” (http://drnelson.utmem.edu/evolution2.html)</p>	<p>Работы российских ученых, опубликованные на русском языке: 1) Борисковский 1970; 1974а; 1974б; 1978; 2) Дьяконов 1994; 3) Федонкин 2003; 4) Галимов 2001; 5) Капица 1996; 6) Келлер 1975; 7) Лопатин 1983; 8) Муратов, Вахрамеев 1974; 9) Назаретян 2004; 10) Розанов 1986; 2003; 11) Розанов, Заварзин 1997; 12) Шанцер 1973; 13) Заварзин 2003; 14) Зайцев 2001.</p> <p>Работы западных ученых, переведенные на русский язык: 1) Антисери, Реале 2001; 2) Биган 2004; 3) Кэррол 1992; 1993а; 1993б; 4) Фоули 1990; 5) Ясперс 1991; 6) Кринг, Дурда 2004; 7) Вонг 2003.</p> <p>Оригинальные публикации западных ученых на английском языке: 1) Alvarez <i>et al.</i> 1980; 2) Orgel 1998; 3) Wood 1992.</p>

Как мы видим, нет ни одной публикации, на которую опирались бы одновременно и Т. Модис (Modis 2002; 2003), и А. Д. Панов (2004; 2005), когда

в англоязычной статье Панова (Panov 2005) уже не столь абсолютно отличным от модисовского списка, как это наблюдалось для русскоязычной статьи (Панов 2005) (так как Модис также включил *Encyclopaedia Britannica* в список своих источников). Поэтому «для чистоты эксперимента» мы решили для наших вычислений опираться на пановский список «фазовых переходов / биосферных революций», представленный в его русскоязычной (Панов 2005), а не англоязычной (Panov 2005) статье.

они составляли свои списки «канонических вех» / «биосферных революций». Списки использованных ими источников различаются на 100 %. Более того, они в основном опирались на источники, принадлежащие к разным научным традициям. Действительно, Модис опирался исключительно на работы западных ученых, опубликованные на английском языке¹⁸. В разительном контрасте с этим из 30 источников, использованных Пановым (2005), 18 представляют собой работы российских исследователей, опубликованных в России на русском языке; 9 – работы западных ученых, переведенные на русский язык и опубликованные в России; и лишь 3 – это оригинальные работы западных исследователей на английском языке.

В свете этого вряд ли у кого-то вызовет удивление, что пановский список фазовых переходов (Панов 2005: 124–127) оказался ни в коем случае не идентичным модисовскому¹⁹:

0. *Возникновение жизни на Земле* – около 4×10^9 лет назад (Orgel 1998; Розанов, Заварзин 1997; Розанов 2003; Федонкин 2003). Жизнь возникает в форме примитивных безъядерных одноклеточных организмов – прокариот (и, возможно, вирусов [Галимов 2001]). После возникновения жизни, приблизительно в течение 2–2,5 млрд лет, эволюция протекала, по-видимому, без существенных потрясений, при этом главным системообразующим фактором биосферы была прокариотная фауна. Это видно, в частности, по монотонному росту скорости отложения горючих ископаемых (седиментогенез) вплоть до достижения максимума 2,0–1,5 млрд лет назад (Лопатин 1983). Однако задолго до конца прокариотной эры возникли первые эвкариоты и, возможно, даже примитивные многоклеточные организмы (Розанов 2003; Федонкин 2003). Специально отмечается (Федонкин 2003), что эвкариоты не играли заметной роли в глобальных биохимических циклах вплоть до кислородного кризиса около 1,5 млрд лет назад (см. ниже). Эвкариотная фауна на фоне прокариотной существовала в форме избыточного внутреннего разнообразия.

1. *Кислородный кризис или неопротерозойская революция* – $1,5 \times 10^9$ лет назад (Федонкин 2003; Лопатин 1983; Розанов 2003; Заварзин 2003). Цианобактерии обогатили первоначально восстановительную атмосферу Земли кислородом, который был сильным ядом для анаэробных прокариотов. Анаэробные организмы стали вымирать, что видно, в частности, по резкому замедлению седиментогенеза в этот период (Лопатин 1983; Розанов, Заварзин 1997).

¹⁸ Впрочем, один из его источников (Heidmann 1989) представляет собой перевод на английский язык книги, изначально опубликованной на французском.

¹⁹ Отметим, что в тех случаях, когда А. Д. Панов (2005) указывает временные интервалы, а не точные даты, мы для своих расчетов использовали средние значения соответствующих интервалов; например, Панов (2005) в качестве даты «биосферной революции 5» («начало неогена») указывает $25\text{--}20 \times 10^6$ лет назад, в то время как мы для своих расчетов используем среднее значение соответствующего интервала (то есть $22,5 \times 10^6$ лет назад).

Кислородный кризис – типичный пример эндоэзогенного кризиса и первый глобальный экологический кризис в истории Земли. На смену анаэробным прокариотам пришли аэробные формы жизни, которые представлены в основном как одноклеточными, так и многоклеточными эвкарриотами. По разным данным, это событие имело место от 2,0 до 1,0 млрд лет назад, но при этом фактически имеются в виду разные фазы этого перехода. От пика революции нас отделяет приблизительно 1,5 млрд лет.

2. *Кембрийский взрыв* – 590–510 × 106 лет назад (Келлер 1975; Розанов 1986; Кэррол 1992). В течение нескольких десятков миллионов лет возникают практически все современные филогенетические стволы многоклеточных, включая позвоночных (Кэррол 1992: 37). Кембрийский взрыв совпадает с началом палеозойской эры. В течение палеозоя жизнь постепенно выходила на сушу и осваивала ее. Уже в кембрии обнаружены первые попытки выхода беспозвоночных на сушу (Федонкин 2003). Палеозойская эра заканчивается господством на суше земноводных, чрезвычайно разнообразных и часто гигантских (Кэррол 1992), среди растений – хвощей, плаунов и папоротников. За несколько десятков миллионов лет до окончания палеозоя возникают первые пресмыкающиеся (избыточное разнообразие), которые становятся системообразующим фактором следующей фазы развития планетарной системы.

3. *Начало мезозойской эры, революция пресмыкающихся* – 235 × 106 лет назад (Кэррол 1992; Муратов, Вахрамеев 1974; Кэррол 1993а). Внезапно и быстро вымирают практически все отряды палеозойских земноводных (Кэррол 1992: 192), лидерство на суше переходит к пресмыкающимся – сначала звероподобным и зверозубым ящерам, потом к динозаврам (Он же 1993а). В мире растений начинают господствовать голосемянные (хвойные, гинкговые и др.). Уже в середине мезозоя появляются первые млекопитающие, но в экосистемах они играют подчиненную роль (избыточное многообразие).

4. *Начало кайнозойской эры, революция млекопитающих* – 66 × 106 лет назад (Шанцер 1973; Кэррол 1993а; 1993б). Полностью вымирают динозавры, на суше – гигантский всплеск разнообразия млекопитающих, в воздухе господствуют птицы, среди растений голосемянные вытесняются покрытосемянными (цветковыми). Предположение о том, что вымирание динозавров вызвано исключительно последствиями падения гигантского метеорита, образовавшего кратер Чиксулуб (Alvares *et al.*, 1980; Кринг, Дурда 2004), вызывает серьезную критику, так как вымирание динозавров длилось 1–2 млн лет, а пыль и сажа могли держаться в атмосфере максимум несколько месяцев (Кэррол 1993а), при этом длительных глобальных климатических изменений не отмечается.

5. *Начало неогена* – 25–20 × 106 лет назад (Шанцер 1973; Кэррол 1993б; Биган 2004) – сопровождается резким обновлением фауны на территории Европы; флора и фауна приобретают практиче-

ски современный вид. Возникают гоминоиды – человекообразные обезьяны, причем это событие имеет характер сильнейшего эволюционного взрыва. Между 22 и 17 млн лет назад Африку населяли не менее 14 родов гоминоидов, что составляет десятки видов (Биган 2004) (много больше, чем сейчас).

6. *Начало четвертичного периода (антропоген)* – $4,4 \times 10^6$ лет назад (Биган 2004; Фоули 1990; Wood 1992). Первые примитивные люди (гоминиды) отделяются от обезьяноподобных (гоминоидов). Подобно началу неогена, начало антропогена сопровождалось всплеском разнообразия *Homo* (Wood 1992). Далее следует несколько событий, имеющих, возможно, не столько биологический, сколько социальный характер (см. обсуждение в конце данного раздела). Периоды различаются по характеру обработки орудий труда людьми каменного века. Существующая традиция, отраженная и в энциклопедиях, выделяет последовательность эпох олдувай – шель – ашель – мустье.

7. *Олдувай, палеолитическая революция* – $2,0\text{--}1,6 \times 10^6$ лет назад (Борисковский 1974а). Появление первых очень грубо обработанных каменных орудий труда – так называемых чопперов. Галечные культуры, *Homo habilis*.

8. *Шель* – $0,7\text{--}0,6 \times 10^6$ лет назад (Он же 1978). Овладение огнем, топоровидные орудия с поперечным лезвием (кливеры), грубые рубила. Основной носитель культуры – *Homo erectus*.

9. *Ашель* – $0,4 \times 10^6$ лет назад (Он же 1970) – характеризуется стандартизированными овальными, треугольными, круглыми и другими симметричными рубилами. Основной представитель по-прежнему *Homo erectus*. На фоне ашельской культуры появляется неандерталец (*Homo sapiens neandertalensis*) (Там же) и около 160 тыс. лет назад – *Homo sapiens sapiens* или очень близкий вид (Вонг 2003). Однако, по-видимому, ни тот ни другой не играют пока существенной роли в планетарной системе (избыточное разнообразие).

10. *Мустье (культурная революция неандертальцев)* – 150–100 тыс. лет назад (Назаретян 2004; Борисковский 1974б). Лидером планетарной системы становится неандерталец. Каменные и костяные орудия тонкой обработки – скребла, остроконечники, сверла, ножи. Жилища из костей мамонта и шкур. Захоронение мертвых (примитивные религии). *Homo sapiens sapiens* по-прежнему не имеет существенного значения в планетарной системе (Назаретян 2004).

11. *Верхнепалеолитическая революция (культурная революция кроманьонцев)* – 40 тыс. лет назад [Там же; Дьяконов 1994]. Вымирают неандертальцы, носителем культуры становится человек современного вида *Homo sapiens sapiens*. Многократно возросла продуктивность использования каменного сырья, заметно усовершенствовались знаковые системы коммуникации. Значительное разви-

тие охотничьей автоматике (копья, ловушки), широкое распространение искусства (наскальные рисунки).

12. *Неолитическая революция* – 12–9 тыс. лет назад (Назаретян 2004; Дьяконов 1994). В конце верхнего палеолита развитие охотничьих технологий привело к истреблению популяций и целых видов животных, что подорвало пищевые ресурсы палеолитического общества и вызвало ужесточение межплеменной конкуренции. Ответом на кризис были переход от присваивающего (охота, собирательство) к производящему (земледелие, скотоводство) хозяйству и смена нормативного геноцида зачаточными формами коллективной эксплуатации [Назаретян 2004]. Уже в неолите появляются предки городов, такие как Чатал-Хююк (7–6-е тыс. до н. э.), Иерихон (7-е тыс. до н. э.) [Дьяконов 1994]. Однако на этом этапе они еще не являются существенным системообразующим фактором [Там же].

13. *Городская революция, начало древнего мира* – 4–3-е тыс. до н. э. [Назаретян 2004; Дьяконов 1994]. Массовое распространение крупных человеческих агломераций, возникновение письменности, первых правовых документов, настоящей бюрократии и классового общества, появление ремесел. Революция последовала за распространением бронзовых орудий, демографическим взрывом и обострением конкуренции за плодородные земли.

14. *Железный век, эпоха империй, революция Осеевого времени* – 800–500 лет до н. э. [Ясперс 1991; Назаретян 2004; Дьяконов 1994; Зайцев 2001]. Возникновение технологии получения железа около 1000–900 лет до н. э. привело к тому, что оружие стало намного более дешевым, легким, эффективным, а войны – более кровопролитными. Ответом на этот кризис техно-гуманитарного баланса было, во-первых, объединение мелких государств в более крупные образования – империи и, во-вторых, то, что авторитарное мифологическое мышление стало вытесняться личностным. Личность начала восприниматься как суверенный носитель морального выбора. Это привело к практически одновременному появлению в разных местах Земли мыслителей и полководцев нового типа – Заратустра, иудейские пророки, Сократ, Будда, Конфуций [Ясперс 1991] и др. – и к культурному взрыву Античности [Зайцев 2001].

15. *Гибель Древнего мира, начало Средневековья* – 400–630 гг. (здесь и далее новой эры) [Дьяконов 1994]. Начало перехода я условно связываю с деятельностью Святого Августина и осуждением пелагианства на Карфагенском соборе в 417 г., что означало конец эллинистической философии [Антисери, Реале 2001], а конец перехода – с деятельностью пророка Мухаммеда (570–632). Основное содержание перехода состоит в кризисе и гибели Римской империи (Древнего мира) с последующим распространением феодальных государств и княжеств под ведущей ролью мировых тоталитарных религий (но, конечно, не сводится только к этому).

16. *Первая промышленная революция* – 1450–1550 гг. [Капица 1996; Назаретян 2004; Дьяконов 1994]. В терминологии И. Дьяко-

нова – начало стабильно-абсолютистского постсредневековья [Дьяконов 1994]. Возникновение промышленного производства (мануфактуры), Великие географические открытия, возникновение книгопечатания и культурный переворот нового времени.

17. *Вторая промышленная революция* – 1830–1840 гг. [Капица 1996; Дьяконов 1994]. Возникновение механизированного производства, эпоха пара и электричества. Начало глобализации в области информации – в 1831 г. изобретен телеграф. В культурной области начинает формироваться устойчивое негативное отношение к войне как к средству решения политических вопросов (Л. Толстой и др.).

18. *Информационная революция* – 1950 г. [Капица 1996; Назаретян 2004; Дьяконов 1994]. Переход промышленно развитых стран в постиндустриальную эпоху, когда большая часть населения занята не в материальном производстве, а в сфере обслуживания и в переработке информации. Распространение компьютеров и автоматизированных баз данных. Войны между промышленно развитыми супердержавами вытесняются в виртуальную область, принимая форму холодной войны (изменение уровня техно-гуманитарного баланса).

19. *Кризис и распад социалистического лагеря, информационная глобализация* – 1991 г. Распад мировой системы тоталитарной плановой экономики, резкое снижение уровня глобального противостояния, становление мировой сети Интернет, означающее завершение информационной глобализации. Данные события пока отнюдь не всегда трактуются как революция, но, как будет видно, по некоторым чисто формальным признакам они имеют тот же статус, что и предыдущие (Панов 2005: 124–127).

Отметим, что последняя точка данных (19) отсутствует на приводимых ниже графиках, но она была использована для оценки скорости глобального макроэволюционного развития для точки данных (18).

В свете вышеописанного радикального различия в источниковых базах Модиса и Панова, а также полной независимости друг от друга проводившихся ими исследований вряд ли может вызвать удивление то, что пановский список «биосферных революций» очень значительно отличается от ряда «канонических вех» Модиса – Курцвейла:

1) Список Модиса – Курцвейла содержит 27 «канонических вех», в то время как пановский ряд включает лишь 20 «биосферных революций». Таким образом, как минимум 7 вех Модиса – Курцвейла не имеют никаких параллелей в ряду Панова.

2) Есть лишь одна «веха», для которой и Модис, и Панов имеют полностью идентичные название и датировку (Модис – Курцвейл 2 = Панов 0). Имеется также одна веха (Модис – Курцвейл 26 = Панов 18), которую Модис и Панов датируют одинаково, но которой они дают совершенно различные названия.

3) Имеется несколько вех, которым Модис и Панов дают отдаленно сходные названия и примерно (но не в точности) сходные датировки (например, Модис – Курцвейл 23 \approx Панов 16; Модис – Курцвейл 19 \approx Панов 12; Модис – Курцвейл 17 \approx Панов 11; Модис – Курцвейл 9 \approx Панов 5). В одном случае Модис и Панов дают одной и той же вехе (Модис – Курцвейл 5 \sim Панов 2) одинаковое название, но очень разные даты.

4) С другой стороны, для очень значительных отрезков рассматриваемых рядов корреляция между ними выглядит крайне удаленной. Например, для периода между 400 млн лет назад и 150 тыс. лет назад эта корреляция выглядит следующим образом (см. Табл. 2):

Табл. 2. Корреляция между списками фазовых переходов Модиса и Панова для периода между 400 млн лет назад и 150 тыс. лет назад

<i>Ряд Модиса – Курцвейла</i>	<i>Ряд Панова (2005)</i>
(6) Первые млекопитающие, первые птицы, первые динозавры – 210 млн лет назад.	(3) Начало мезозойской эры, революция пресмыкающихся – 235 млн лет назад.
(7) Первые покрытосеменные, древнейшие остатки цветковых растений – 139 млн лет назад.	(4) Начало кайнозойской эры, революция млекопитающих – 66 млн лет назад.
(8) Первые приматы / столкновение с астероидом / массовое вымирание (включая динозавров) – 54,6 млн лет назад.	(5) Начало неогена – 25–20 млн лет назад.
(9) Первые человекообразные обезьяны, первые гоминиды – 28,5 млн лет назад.	(6) Начало четвертичного периода (антропоген) – 4,4 млн лет назад.
(10) Первый orangutan, проконсул – 16,5 млн лет назад.	(7) Олдувай, палеолитическая революция – 2,0–1,6 млн лет назад.
(11) Расхождение предков шимпанзе и человека, самые ранние свидетельства прямохождения у гоминид – 5,1 млн лет назад.	(8) Шелль – 600–700 тыс. лет назад.
(12) Первые каменные орудия, <i>Homo erectus</i> – 2,2 млн лет назад.	(9) Ашель – 400 тыс. лет назад
(13) Возникновение <i>Homo sapiens</i> – 555 000 лет назад.	
(14) Доместикация огня / <i>Homo heidelbergensis</i> – 325 000 лет назад.	
(15) Расхождение типов человеческой ДНК – 200 000 лет назад	

Как мы видим, для очень большой части планетарной истории (между кембрийским взрывом и возникновением *Homo sapiens sapiens*) корреляция между двумя рядами выглядит реально слабой; вполне очевидно, что речь идет о совершенно независимо составленных (и достаточно отличных друг от друга) списках.

Временной ряд А. Д. Панова: формальный анализ

Теперь, после того как мы уже знаем все это, проанализируем ряд Панова тем же самым способом, как мы проанализировали выше ряд Модиса – Курцвейла. Результаты этого анализа выглядят следующим образом (см. Рис. 17):

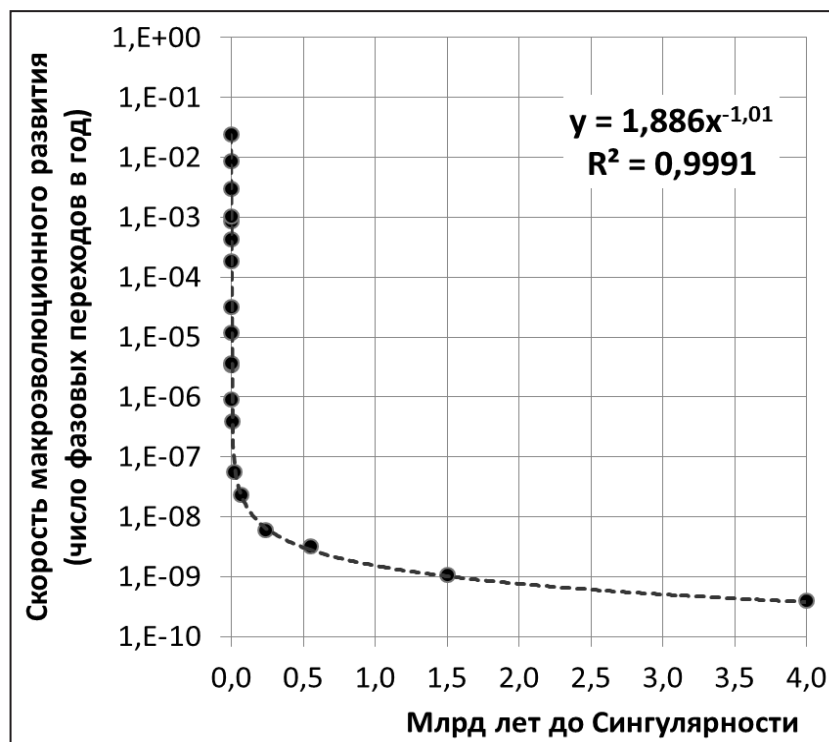


Рис. 17. Диаграмма рассеивания точек фазовых переходов Панова с наложенной линией степенной регрессии (с логарифмической шкалой по оси ординат) – для определенной методом наименьших квадратов даты сингулярности = 2027 г. н. э.

В двойной логарифмической шкале соответствие между степенной моделью $y = 1,886/x^{1,01}$ (где x обозначается число лет до точки сингулярности, определенной методом наименьших квадратов как 2027 г. н. э.) и эмпирическими оценками Панова выглядит следующим образом (см. Рис. 18):

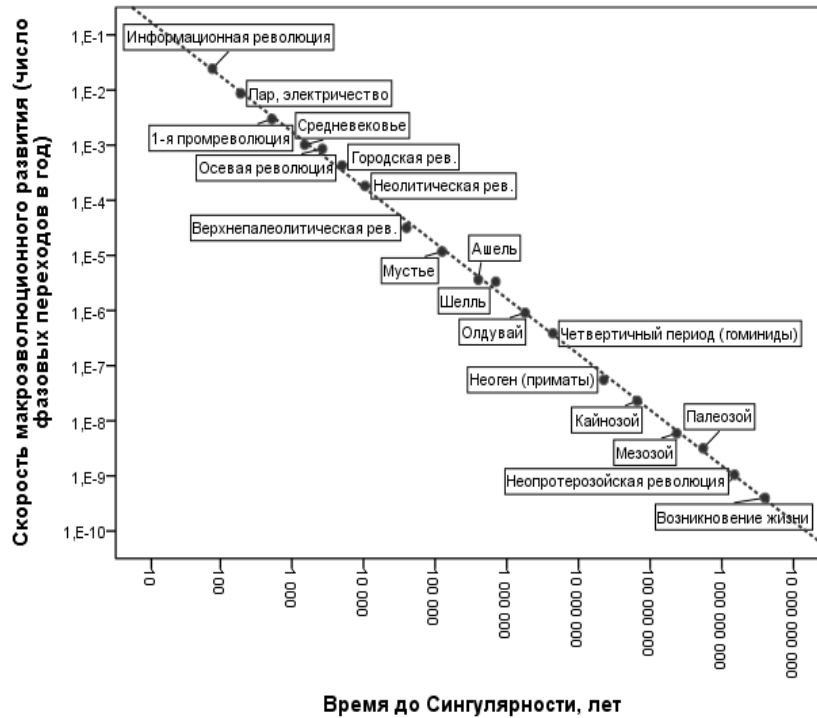


Рис. 18. Диаграмма рассеивания точек фазовых переходов Панова с наложенной линией степенной регрессии (в двойной логарифмической шкале) – для определенной методом наименьших квадратов даты сингулярности = 2027 г. н. э.

Собственно говоря, я, конечно, ожидал, что уравнение, лучше всего описывающее ряд Панова, будет выглядеть достаточно похожим на уравнение, которое мы выше получили для ряда Модиса – Курцвейла; но, честно скажу, не ожидал, что оно окажется **до такой степени похожим** (в особенности если иметь в виду то обстоятельство, что Модис и Панов при идентификации своих рядов опирались на абсолютно разные источники, и полученные ими в итоге списки фазовых переходов оказались очень заметно отличающимися друг от друга).

Однако полученные нами в результате нашего анализа данных рядов уравнения оказались **предельно** сходными (это особенно впечатляет, принимая во внимание то обстоятельство, что ни Модис, ни Панов не предпринимали попыток аппроксимировать свои ряды при помощи уравнения (10), а потому их никак нельзя подозревать в попытках «подогнать» свои ряды под это уравнение). Действительно, в неупрощенном виде степенное уравнение, лучше всего описывающее прослеживаемый в ряде Модиса – Курцвейла паттерн ускорения планетарного макроэволюционного развития, выглядит следующим образом (см. также выше Рис. 10):

$$y = \frac{2,054}{(2029 - t)^{1,003}}, \quad (8)$$

где, напомним, y – это скорость макроэволюционного развития (измеряемая как число фазовых переходов за единицу времени), а 2029 (г. н. э.) – точка сингулярности, определенная методом наименьших квадратов.

В то же самое время степенное уравнение, лучше всего описывающее паттерн ускорения планетарного макроэволюционного развития, прослеживаемый в ряде Панова (2005), выглядит следующим образом (см. также выше Рис. 18):

$$y = \frac{1,886}{(2027 - t)^{1,01}}. \quad (9)$$

В общем виде соответствующее уравнение выглядит следующим образом:

$$y = \frac{C}{(t^* - t)^\beta}. \quad (10)$$

Это уравнение имеет три параметра – C , t^* , и β . И, как мы видели, все три параметра оказались удивительно близкими как для ряда Курцвейла – Модиса, так и для ряда Панова.

Формулы ускорения глобального макроэволюционного развития в рядах Модиса – Курцвейла и Панова: сравнительный анализ

Действительно, сравнение уравнений типа (10), наиболее точно математически описывающих два соответствующих ряда, дает следующие результаты (см. Табл. 3):

Табл. 3. Сопоставление уравнений типа (10), наиболее точно математически описывающих ряд Модиса – Курцвейла и ряд Панова

Степенное уравнение типа (10), наиболее точно математически описывающее ряд Модиса – Курцвейла	Степенное уравнение типа (10), наиболее точно математически описывающее ряд Панова
$y = \frac{2,054}{(2029-t)^{1,003}} \quad (8), R^2 = 0,9989$	$y = \frac{1,886}{(2027-t)^{1,01}} \quad (9), R^2 = 0,9991$

Собственно говоря, на меня наиболее сильное впечатление произвело даже не то обстоятельство, что значение параметра сингулярности (t^*) для обеих регрессий оказалось столь близким (разница всего в два года!). Даже большее впечатление произвело то, что значение показателя степени β в обоих случаях оказалось столь близким к «1», что, между прочим, позволяет еще больше упростить и так уже очень простое степенное уравнение (10):

$$y_t = \frac{C}{(t^* - t)^\alpha} \quad (10)$$

до еще более простого гиперболического уравнения (5):

$$y_t = \frac{C}{t^* - t}. \quad (5)$$

Даже третий параметр уравнения (10), C , оказывается очень близким в уравнениях для ряда Модиса – Курцвейла ($C = 2,1$) и ряда Панова ($C = 1,9$).

Особого упоминания заслуживает исключительно высокая корреляция между теоретическим кривыми, генерируемыми чрезвычайно простыми уравнениями типа (5), и эмпирическими оценками, как Модиса – Курцвейла, так и Панова. Применительно к ряду Модиса – Курцвейла уравнение (5) описывает 99,89 % всей вариации скорости глобального макроэволюционного развития на протяжении нескольких миллиардов лет, в то время как для ряда Панова это соответствие составляет 99,91 % – с другой стороны, предельная близость значений R^2 для обеих регрессий (разница между ними составляет всего лишь 0,02 %) впечатляет и сама по себе (подчеркну еще раз, что данное обстоятельство выглядит особенно впечатляюще ввиду того, что ни Модис, ни Панов не пытались аппроксимировать свои ряды при помощи уравнений типа (5) или (10))²⁰.

²⁰ Отмечу, что в статье С. В. Циреля (2018) обосновываются утверждения, что формулы, описывающие ряды Модиса – Курцвейла и Панова, по построению имеют показатель степени $\beta = 1$ и в силу практически полного совпадения начальной и двух конечных точек не могли существенно разойтись друг с другом, а небольшие различия значений числителя объясняются разным количеством фазовых переходов.

И конечно же, не вызывает никакого удивления то, что дифференциальное уравнение, описывающее ускорение темпов роста глобальной сложности в ряде Панова, оказывается крайне сходным с формулой ускорения темпов глобального макроэволюционного развития для ряда Модиса – Курцвейла.

Действительно, как мы уже упоминали, имеются достаточные основания упростить уравнение (9):

$$y = \frac{1,886}{(2027 - t)^{1,01}} \quad (9)$$

до простого гиперболического варианта (11):

$$y = \frac{1,9}{2027 - t} . \quad (11)$$

Как мы помним, такое алгебраическое уравнение может рассматриваться как решение следующего дифференциального уравнения, которое оказывается крайне сходным с тем, что мы выше получили для ряда Модиса – Курцвейла:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{y^2}{1,9} \approx 0,5y^2 . \quad (12)$$

Таким образом, общая формула ускорения темпов глобального макроэволюционного развития, столь точно описывающая пановскую серию «биосферных революций», оказывается практически идентичной той, что была нами обнаружена выше для ряда Модиса – Курцвейла: увеличение темпов макроэволюционного развития в a раз сопровождается увеличением скорости роста (то есть ускорения) темпов макроэволюционного развития в a^2 раз; так, двукратное увеличение темпов макроэволюционного развития в тенденции сопровождается четырехкратным увеличением скорости роста (то есть ускорения) темпов макроэволюционного развития; десятикратное увеличение темпов макроэволюционного развития в тенденции сопровождается стократным ускорением роста темпов макроэволюционного развития; и т. д.

На мой взгляд, все это говорит о наличии достаточно строгих глобальных макроэволюционных закономерностей (описывающих рост сложности на нашей планете на протяжении нескольких миллиардов лет), которые могут удивительно точно описываться крайне простыми математическими функциями.

Удивительное открытие Хайнца фон Ферстера

Здесь представляется уместным вспомнить о том, что в 1960 г. Х. фон Ферстер, П. Мора и Л. Амиот опубликовали в журнале *Science* сообщение об удивительном открытии (Foerster *et al.* 1960). Они показали, что между 1 и 1958 г. н. э. динамика численности народонаселения мира (N) может

быть с необычайно высокой точностью описана при помощи следующего поразительно простого уравнения:

$$N_t = \frac{C}{(t^* - t)^{0,99}}, \quad (13)$$

где N_t – это население мира в момент времени t , а C и t^* – это константы, при этом t^* соответствует так называемой «демографической сингулярности». Параметер t^* был оценен Х. фон Ферстером и его коллегами как 2026,87, что соответствует 13 ноября 2026 г.; это, кстати, предоставило им возможность дать своей статье предельно броское название «Конец света: пятница, 13 ноября 2026 г. от Рождества Христова» (Foerster von *et al.* 1960); однако позже было показано, что эта тенденция прослеживалась какое-то время и после 1958 г. (см., например: Капица 1999; Коротаев и др. 2010), а с другой стороны, что эта же тенденция прослеживается и в течение многих тысячелетий до н. э. (Капица 1996; 1999; Подлазов 2000; 2001; 2002; Коротаев 2006; 2010а; Коротаев, Малков, Халтурина 2005а; 2007; Kapitza 1996; 2003; Kremer 1993; Tsirel 2004; Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006а; 2006b). Более того, М. Кремер (Kremer 1993) утверждает, что эта тенденция прослеживается с 1 000 000 лет назад, а С. П. Капица (1996; 1999) даже настаивал на том, что ее можно проследить начиная примерно с 4 000 000 г. до н. э.

Трудно не заметить, что паттерн ускорения темпов роста численности населения мира, обнаруженный еще в 1960 г. Х. фон Ферстером в эмпирических данных по динамике численности населения Земли между 1 и 1958 гг. н. э., оказывается практически идентичным тому паттерну ускорения темпов глобального макроэволюционного развития, который мы выше обнаружили во временных рядах как Модиса – Курцвейла, так и Панова (и как будет показано в приложении к этой статье, данное обстоятельство, по всей видимости, совсем не случайно). Особо отметим, что степенная регрессия для всех трех рядов дала значение показателя степени β , крайне близкое к «1» (1,003 для ряда Модиса – Курцвейла, 1,01 для ряда Панова и 0,99 у Х. фон Ферстера для динамики численности населения мира).

Однако и обнаруженная крайняя близость значений параметра t^* (а это именно значение точки сингулярности) также не может не впечатлить (степенная регрессия дает в качестве точки сингулярности 2029 г. для ряда Модиса – Курцвейла, 2027 г. – для ряда Панова, и в точности тот же 2027 г. для ряда фон Ферстера²¹).

²¹ Отметим, что степенная регрессия, благодаря которой получено данное значение параметра сингулярности для ряда значений численности населения мира, была рассчитана более чем за 50 лет до того, как была рассчитана регрессия, благодаря которой получено то же самое значение параметра t^* для ряда Панова (собственно говоря, первая регрессия была рассчитана еще тогда, когда автор этой статьи еще даже не родился). Тем не менее я не

Мы уже говорили выше, что, как и в случае с уравнениями (8) и (9), в уравнении фон Ферстера (13) значение степени в знаменателе (0,99) оказывается столь слабо отличным от «1», что, как уже предлагалось С. фон Хернером (Hoerner von 1975) и С. П. Капицей (1992; 1999), его целесообразно использовать в следующем упрощенном виде:

$$N_t = \frac{C}{t^* - t}. \quad (14)$$

Как мы видим, полученное в результате этого уравнение оказывается полностью идентичным вышеприведенному уравнению (5), которое способно описать с чрезвычайно высокой точностью общий паттерн ускорения темпов глобального макроэволюционного развития в течение как минимум последних 4 млрд лет. Отметим, что уравнение (14) оказалось способным описать тренд динамики численности населения мира (вплоть до начала 1970-х гг.) с такой же предельно высокой точностью, с какой уравнение (5) способно описать ускорение темпов роста глобальной сложности (как минимум за последние 4 млрд лет). Применительно к уравнению (5) это уже было продемонстрировано выше. Так что ниже имеет смысл продемонстрировать это для уравнения фон Ферстера (14).

Заменим в уравнении (14) t^* на 2027 г. (это просто результат округления полученного фон Ферстером значения точки сингулярности, 2026,87), а C – на 215 000.²² Это даст нам вариант уравнения фон Ферстера – фон Хенера – Капицы с определенными параметрами:

$$N_t = \frac{215000}{2027 - t}. \quad (15)$$

Общее совпадение кривой, описываемой уравнением фон Ферстера, и наиболее детального ряда эмпирических оценок выглядит следующим образом (см. Рис. 19):

склонен слишком серьезно относиться к столь поразительному совпадению значений параметра t^* , полученных разными степенными регрессиями для разных временных рядов в совершенно разные годы; я склонен предполагать, что речь здесь все-таки в очень значительной степени идет о совпадении. В любом случае, как мы увидим ниже, нет никаких оснований ожидать что-то похожее на «конец света» в пятницу 13 ноября 2026 г. от Рождества Христова...

²² Отметим, что все вычисления приводятся ниже в миллионах человек. Отметим также, что использованное нами значение параметра C несколько отличается от значения, использованного Х. фон Ферстером.

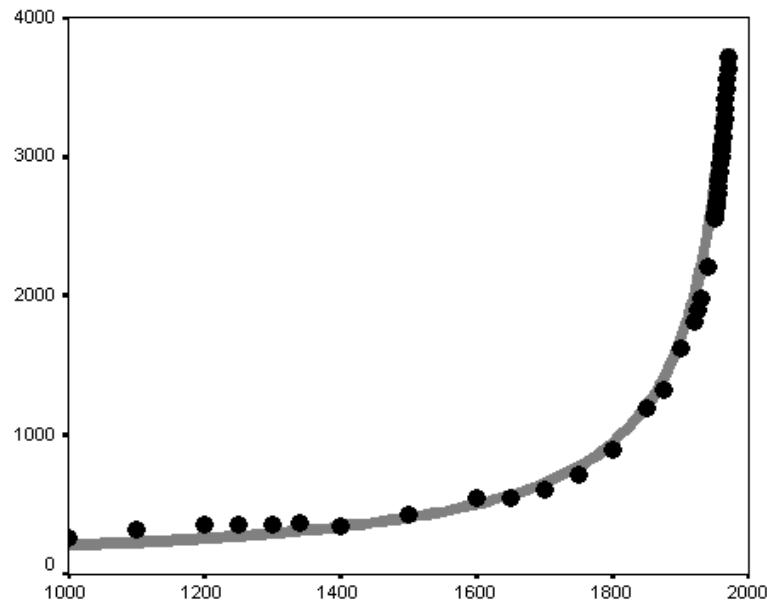


Рис. 19. Корреляция между эмпирическими оценками долгосрочной динамики численности населения мира (в млн человек, 1000–1970 гг.) и кривой, генерируемой уравнением фон Ферстера (15)

Примечание: черные маркеры соответствуют эмпирическим оценкам численности населения мира, сделанным Мак-Эведи и Джоунсом (McEvedy, Jones 1978) для 1000–1950 гг., и эмпирическим оценкам Отдела народонаселения ООН (UN Population Division 2018) для периода с 1950 г. по 1970 г. Серая кривая сгенерирована уравнением фон Ферстера (15). Формальные характеристики этой корреляции таковы: $r = 0,998$; $R^2 = 0,996$; $p = 9,4 \times 10^{-17} \approx 1 \times 10^{-16}$.

Как мы видим, и на самом деле уравнение (14) оказывается способным описать динамику ускорения роста численности населения мира (вплоть до начала 1970-х гг.) таким же удивительно точным образом, каким уравнение (5) способно описать общий паттерн глобального макроэволюционного ускорения за последние 4 млрд лет.

В контексте Большой истории очень важным представляется то обстоятельство, что уравнение (5), описывающее ускорение темпов глобального макроэволюционного ускорения, и уравнение (14), описывающее рост численности населения Земли, оказываются полностью идентичными. Более того, эмпирический и математический анализ показывает, что между ними существует очень глубокая взаимосвязь и что они описывают две стороны одного процесса (см. Приложение к данной статье).

О формуле ускорения глобального эволюционного развития

Признаюсь, что у меня были серьезные сомнения, когда я впервые ознакомился с расчетами А. Д. Панова и Т. Модиса (и я не удивлен, что у большинства историков возникают очень похожие сомнения, когда они видят эти работы). У меня возникло много возражений относительно точности многих описаний их «канонических вех», относительно адекватности их отбора и точности датировок. Честно скажу, что я начал серьезно относиться к расчетам Модиса и Панова, только когда сам проанализировал два соответствующих временных ряда, идентифицированных (как мы видели выше) полностью независимо друг от друга двумя разными исследователями, использующими совершенно разные источники. При этом я анализировал их при помощи математической модели, которая не применялась к их анализу ни Модисом, ни Пановым, и обнаружил, что они описываются необычно точным образом почти идентичной математической гиперболической функцией. На мой взгляд, это заставляет предполагать объективное наличие довольно простой гиперболической закономерности ускорения глобального макроэволюционного развития, наблюдаемого на Земле в течение последних 4 млрд лет. Это впечатление стало еще более сильным, когда уравнение, описывающее картину ускорения планетарной макроэволюции в рядах Модиса – Курцвейла и Панова, оказалось полностью идентичным уравнению, найденному еще в 1960 г. Хайнцем фон Ферстером, уже тогда показавшему, что оно способно с необычайной точностью описать глобальный паттерн ускорения роста численности населения Земли между 1 и 1958 гг.

У меня были основания ожидать, что планетарное макроэволюционное ускорение за последние 4 млрд лет может быть описано единым гиперболическим уравнением с достаточно высокой точностью, так как предыдущие исследования показали, что и биологическая, и социальная эволюция может описываться с достаточно высокой точностью простыми гиперболическими уравнениями²³, но должен сказать, что и я был удивлен, когда обнаружил, что макроэволюционное ускорение за последние 4 млрд лет описывается единым гиперболическим уравнением с такой высокой точностью.

²³ См: Марков, Коротаяев 2007; 2008а; 2008б; 2008в; 2009а; 2009б; Марков, Анисимов, Коротаяев 2010; 2011; Коротаяев 2007; 2010б; Коротаяев, Марков 2006; Коротаяев, Комарова, Халтурина 2007; Коротаяев, Малков, Халтурина 2005б; Коротаяев, Халтурина 2009; Korotayev 2005; 2006а; 2006б; 2007а; 2007б; 2008; 2009; 2012; 2013; Korotayev, Khaltourina 2006; Khaltourina *et al.* 2006; Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006а; 2006б; Markov, Korotayev 2007; 2008, 2009; Markov, Anisimov, Korotayev 2010; Korotayev, Malkov 2012; Korotayev, Markov 2014; 2015; Grinin, Markov, Korotayev 2013; 2014; 2015; Korotayev, Malkov 2016; Korotayev, Zinkina 2017.

На мой взгляд, все это заставляет предполагать существование достаточно строгих глобальных макроэволюционных закономерностей (описывающих рост глобальной сложности на протяжении нескольких миллиардов лет), которые могут быть неожиданно точно описаны при помощи предельно простых математических функций, и в том числе наличие следующей дифференциальной формулы ускорения темпов роста (y) глобальной сложности:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{y^2}{C}, \quad (6)$$

где C представляет собой параметр следующего гиперболического уравнения:

$$y_t = \frac{C}{t^* - t}, \quad (5)$$

где t^* – это дата сингулярности.

Также отнюдь небезынтересным представляется то обстоятельство, что даты сингулярности для всех трех (очень различных) рассмотренных нами временных рядов оказались практически идентичными (2029 г. для ряда Модиса – Курцвейла и 2027 г. для рядов Панова и фон Ферстера).

К интерпретации сингулярности. Место сингулярности в Большой истории и глобальной эволюции

Но насколько серьезно мы должны относиться к «предсказанию» сингулярности, содержащемуся в таких математических моделях? Следует ли нам вместе с Курцвейлом действительно ожидать, что примерно около 2029 г. мы будем иметь дело с ускорением глобального технологического роста на несколько порядков (что, действительно, вытекает из уравнения (4), если понимать его буквально²⁴)?

Например, можем ли мы использовать то обстоятельство, что наш анализ ряда Модиса – Курцвейла выявил сингулярность около 2029 г., как указание на то, что в районе этого времени нам следует ожидать начало «девятой пороговой вехи Большой истории» (Big History Threshold 9)?

Отметим, что некоторые специалисты в области Большой истории склонны относиться к таким «математически обоснованным» предсказаниям совершенно серьезно. Наиболее известен из них А. П. Назаретян. В своей статье с симптоматическим заголовком «Мегаистория и ее “загадочная сингулярность”» в ведущем журнале Российской академии наук он утверждает следующее: «Солнечная система образовалась около 4,6 млрд лет назад, а самые первые признаки жизни на Земле насчитывают до 4 млрд лет. Таким образом, наша планета стала одной из (вероятно, мно-

²⁴ Это делает, например, А. П. Назаретян (2015а; 2015б; Nazaretyan 2015; 2016; 2017; 2018).

жества) точек, на которых локализовалась последующая эволюция Метагалактики. Хотя ее ускорение замечено давно, в последнее время обнаружилось новое обстоятельство. Австралийский экономист и историк-глобалист Г. Снукс, российский физик А. Д. Панов и американский математик Р. Курцвейл независимо, по разным источникам и с использованием разного математического аппарата сопоставили временные интервалы между глобальными фазовыми переходами в биологической, прасоциальной и социальной эволюции (Панов 2005; 2008; Kurzweil 2005; Snooks 1996; Вайнберг 1981). Расчеты показывают, что периоды сокращались по строго убывающей геометрической прогрессии, то есть ускорение эволюции на Земле следовало логарифмическому закону» (Назаретян 2015: 759).

Далее А. П. Назаретян утверждает: «...экстраполировав линию гиперболического ускорения в будущее, исследователи пришли к единодушному и еще более шокирующему выводу: около середины XXI в. она упирается в точку финальной (большой) сингулярности. Кривая заворачивает в вертикаль, то есть скорость эволюционного процесса стремится к бесконечности, а интервалы между фазовыми переходами – к нулю» (Там же: 761; см. также: Nazaretyan 2017: 32).

Как мы видим, А. П. Назаретян использует математические расчеты²⁵ даты сингулярности глобальной эволюционной гиперболы для предсказания возможной даты того, что в терминологии основоположника Большой истории Д. Кристиана (Christian 2008) можно было бы назвать «девятой пороговой вехой Большой истории» (Big History Threshold 9)²⁶, которая, согласно Назаретяну, будет существенно более значимой, чем предшествующие вехи 7 («аграрная революция») и 8 («модернизационная революция»)²⁷.

Однако дают ли расчеты, проведенные А. Д. Пановым в 2003–2005 гг. или нами выше в этой статье, действительные основания ожидать сингулярности / наступления 9-й пороговой вехи Большой истории между 2029

²⁵ По всей видимости, речь идет о математических расчетах А. Д. Панова, так как Г. Снукс и Р. Курцвейл, упоминаемые Назаретяном в первой цитате наряду с Пановым, таких расчетов не проводили. Отметим, впрочем, что А. Д. Панов пользовался для своих расчетов не гиперболической, а логарифмической моделью, а «экстраполяции линии гиперболического ускорения в будущее» по ряду Панова до меня, насколько мне известно, никем не проводилось (вышеупомянутый перенос Курцвейлом даты сингулярности на 2029 г., впрочем, может свидетельствовать о том, что кто-то из сотрудников Курцвейла все-таки провел анализ ряда Модиса – Курцвейла с использованием гиперболической модели, но о публикации результатов этого анализа мне неизвестно).

²⁶ Напомним, что в качестве 5-й пороговой вехи Большой истории Д. Кристиан рассматривает возникновение жизни, 6-й – антропогенез и возникновение «коллективного обучения» (collective learning), 7-й – неолитическую революцию, а 8-й – глобальную модернизацию последних веков, особенно активно протекавшую в XIX–XX вв. (Modern Revolution).

²⁷ По крайней мере, А. П. Назаретян пишет о «завершающем фазовом переходе, сопоставимом по значению с появлением жизни» (Назаретян 2015: 761).

и 2050 гг.? Как, наверное, уже понятно, я склонен дать на этот вопрос однозначно отрицательный ответ.

Собственно говоря, данная статья представляет собой, по всей видимости, первую попытку в явном виде «экстраполировать линию гиперболического ускорения в будущее»²⁸. Хотя А. П. Назаретян и утверждает обратное, подобная попытка не предпринималась Д. Снуксом (Snooks 1996), который не пытался вычислять какие бы то ни было математические сингулярности. Никаких формальных попыток «экстраполировать линию гиперболического ускорения в будущее» с использованием каких-либо математических методов Р. Курцвейлом не предпринималось – уже хотя бы потому, что он до сих пор уверен в том, что имеет дело с экспоненциальным, а не гиперболическим ускорением. Таким образом, едва ли ни единственным (до нас) исследователем, предпринявшим попытку математически рассчитать время сингулярности для линии ускорения планетарной эволюции, является А. Д. Панов (2004; 2005; 2006; 2008; Panov 2005; 2011; 2017) – хотя с некоторыми оговорками это можно также сказать про С. Н. Гринченко (2001; 2004; 2006; 2007 и др.), Т. Модиса (Modis 2002; 2003) и Д. ЛеПуара (LePoire 2013; 2015).

Использованная А. Д. Пановым методика расчета сингулярности существенно отличалась от «экстраполирования линии гиперболического ускорения в будущее» (это, скорее, та самая методика, которая была использована нами, а не Пановым); однако нет сомнений в том, что Пановым была применена не менее строгая методика расчета времени сингулярности планетарной эволюции. Но каковы были результаты этих расчетов? После того как Панов применил свою методику математического анализа к своему временному ряду, начинающемуся с фазового перехода 0 («возникновение жизни на Земле») и заканчивающемуся на фазовом переходе 19 («кризис и распад социалистического лагеря, информационная глобализация»), он обнаружил, что точка сингулярности для его временного ряда находится вовсе не «около середины XXI в.», как утверждает Назаретян (2015: 761), а приходится на 2004 г. н. э. (!)²⁹ (Панов 2005: 130; Panov 2005: 222). При этом А. П. Назаретян даже, кажется, не заметил, что вскоре после обнаружения Пановым точки сингулярности последний занялся изучением постсингулярного развития человечества (и вообще вопросом о постсингулярных цивилизациях) и тесно связанным

²⁸ Демонстрируя вместе с тем, что обнаруживаемая сингулярность должна скорее служить индикатором перегиба, после которого темпы глобального макроэволюционного развития начнут систематически в долгосрочной перспективе замедляться.

²⁹ Между прочим, это очень близко к сингулярности 2005 г., которую мы ранее обнаружили при анализе ряда данных А. Мэддисона (Maddison 2001) по мировому ВВП за 1–1973 гг. (Корогаев, Малков, Халтурина 2005а; 2005б; 2007; 2008; Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006а; 2006б) и которую еще раньше в данных по мировому ВВП обнаружил Р. Таагерпера (Taagepera 1976).

с этим вопросом о глобальном замедлении темпов научно-технического прогресса (Панов 2009; 2013; Panov 2011; 2017).

Как пишет Д. ЛеПуар, «прослеживаемые в Большой истории тенденции к ускоряющимся изменениям и росту сложности и связанная с ними тенденция к ускоренному росту потребления энергии не могут продолжаться до бесконечности. Мы исследовали признаки потенциального замедления темпов изменений в экономике, технологии и социальной сфере. Это не означает, что изменения прекратятся, просто темпы изменений уже не будут ускоряться. Фактически, к точке перегиба в логистической кривой обучения была сделана только половина открытий. Поскольку в истории жизни, человека и технологической цивилизации было три основных этапа³⁰, продолжение логистической кривой предполагает еще три фазы³¹. Направление развития технологий указывает на следующий этап, включая усовершенствованные технологии изменения природы человека посредством усовершенствованных биотехнологий и компьютерной интеграции... Слишком быстрое изменение не всегда хорошо. Оно приводит к тому, что эффективность систем падает, потому что мы имеем мало долгосрочных ожиданий» (LePoire 2013: 115–116). В качестве важных факторов начавшегося замедления темпов глобального макроэволюционного развития ЛеПуар называет «рост себестоимости производимой энергии, ограниченные природные ресурсы, снижение темпов фундаментальных открытий в области физических наук и необходимость инвестиций в охрану окружающей среды»³² (*Ibid.*: 109).

Отметим также, что Т. Модис (Modis 2002; 2003; 2005; 2012) тоже интерпретирует максимальное ускорение темпов роста глобальной сложности, выявляемое им в районе 2000 г. н. э., именно как точку перегиба, после которой он прогнозирует нарастающее снижение темпов роста глобальной сложности. Собственно говоря, наиболее ранняя известная мне попытка математически выявить математическую сингулярность в ряду событий планетарной эволюции³³, которые Модис бы назвал «каноническими вехами», была предпринята в 2001 г. (то есть всего за год до публи-

³⁰ Речь идет о трех этапах, связанных с возникновением и эволюцией жизни, возникновением и эволюцией человека, а также возникновением и эволюцией технологической цивилизации (при этом границы между этими этапами приблизительно соответствуют пороговым вехам Большой истории № 5, 6 и 8).

³¹ И, таким образом, еще три пороговые вехи Большой истории.

³² О связи между ростом инвестиций в охрану окружающей среды и снижением темпов экономического роста см. также, например: Коротаяев, Божевольнов 2010.

³³ Отметим, что наиболее ранняя известная нам попытка математически выявить сингулярность на основе данных по человеческой истории была предпринята еще в 1909 г. Г. Адамсом, который обнаружил ее около 1921 г. при одном способе подсчетов, а при втором способе подсчетов – около 2025 г. (Adams 1969 [1909]: 308) – что, конечно, совсем недалеко от демографической сингулярности 2027 г., обнаруженной Х. фон Ферстером в 1960 г., а также от планетарной сингулярности 2027 г., обнаруженной нами выше во временном ряде Панова.

кации основополагающей статьи Т. Модиса в *Technological Forecasting and Social Change*) С. Н. Гринченко (см.: Гринченко 2001; см. также: Он же 2006; 2007; 2015; Гринченко, Щапова 2017; Щапова, Гринченко 2017; Grinchenko 2006; 2011; Grinchenko, Shcharova 2010; 2016; 2017); точка сингулярности была им математически определена³⁴ как 1981 г. н. э., в то время как последующий период был интерпретирован Гринченко точно так же, как и Модисом – как период прогрессирующего замедления «скорости макроэволюции». Отметим, что это хорошо коррелирует с идентификацией нами 1973 г. как точки перегиба, после квадратично-гиперболический тренд ускорения роста мирового ВВП начал меняться на прямо противоположный тренд к замедлению роста этого показателя (Коротаяев 2006; Коротаяев, Малков, Халтурина 2007; Коротаяев и др. 2010; Коротаяев, Божевольнов 2010; Акаев и др. 2014; Садовничий и др. 2014; Коротаяев, Билюга 2016; Korotayev 2006a; 2006b). Все это хорошо подтверждается растущим объемом данных, свидетельствующих о начале долгосрочной тенденции к замедлению темпов научно-технического и экономического роста (см., например: Крылов 1999; 2002; 2007; Панов 2009; 2013; Акаев 2010; Коротаяев, Малков, Халтурина 2007; Коротаяев, Божевольнов 2010; Коротаяев и др. 2010; Коротаяев, Билюга 2016; Huebner 2005; Khaltourina, Korotayev 2007; Maddison 2007; Modis 2002; 2005; 2012; Gordon 2012; Teulings, Baldwin 2014; Piketty 2014; LePoire 2005; 2009; 2013; 2015; 2016; Summers 2016; Cervellati *et al.* 2017; Taylor, Tyers 2017; Jones 2018; Popović 2018 и т. д.).

Итак, насколько серьезно мы должны относиться к «предсказанию» сингулярности, содержащемуся в гиперболических математических моделях глобального развития? Или – следует ли нам вместе с Курцвейлом ожидать, что где-то около 2029 г. мы будем реально иметь дело с ускорением глобального технологического роста на несколько порядков (что действительно вытекает из уравнения (4), если понимать его буквально³⁵)?

Как уже понятно, я склонен дать на этот вопрос однозначно отрицательный ответ. И в заключение приведу еще один аргумент в пользу этого. На мой взгляд, отрицательный ответ на этот вопрос вытекает, например, из известных нам эмпирических данных по динамике численности населения мира и установленных к настоящему времени механизмов этой динамики. Как мы помним, формула гиперболического роста численности населения Земли, открытая фон Ферстером, идентична формуле ускорения темпов глобального макроэволюционного развития, прослеживаемого в рядах Модиса – Курцвейла и Панова, и она характеризуется параметром

³⁴ Следует заметить, что для вычисления сингулярности по своим данным С. Н. Гринченко использовал методику, существенно отличающуюся от использованной как А. Д. Пановым, так и нами.

³⁵ И именно это, как мы помним, делает, например, А. П. Назаретян (2015a; 2015b; Nazaretyan 2015; 2016; 2017; 2018).

сингулярности (2027 г. н. э.), который просто идентичен для формулы ускорения в ряду Панова и имеет разницу всего лишь в 2 года для ряда Модиса – Курцвейла. Однако каковы основания ожидать, что к пятнице 13 ноября 2026 г. темпы прироста населения мира увеличатся на несколько порядков, как это подразумевает уравнение фон Ферстера? Ответ на данный вопрос ясен. Нет абсолютно никаких оснований этого ожидать. Действительно, как мы показали довольно давно, «когда фон Ферстер и его коллеги давали своей статье (von Foerster *et al.* 1960) знаменитое название “Судный день: пятница, 13 ноября 2026 г.”, они вовсе не имели в виду, что население Земли в этот день действительно может стать бесконечным (хотя “эсхатологические” выводы из гиперболических моделей роста Мир-Системы без каких-либо достаточных на то оснований делаются до сих пор [см., например: Johansen, Sornette 2001]). Из этой статьи, скорее, вытекал прямо противоположный прогноз – наблюдавшийся вплоть до 1960 г. на протяжении многих веков гиперболический рост мирового населения должен испытать в самые ближайшие годы радикальную трансформацию и смениться на принципиально иной тип демографической макродинамики. Отметим, что этот прогноз стал блестяще оправдываться всего лишь через несколько лет после публикации статьи фон Ферстера и его коллег (Коротаев, Малков, Халтурина, 2007: 14–22). Мир-Система начала свой выход из режима с обострением» (Они же 2008: 99; см. также: Коротаев, Халтурина 2009; Зинькина и др. 2016; Зинькина, Коротаев 2017; Korotayev 2008: 154).

Действительно, с начала 1970-х гг. кривая роста численности населения мира стала все больше отклоняться от гиперболической траектории (ср. Рис. 19 и 20) (см., например: Капица 1999; Коротаев, Малков, Халтурина 2005а; 2007; Коротаев 2015; 2016; Kapitza 2003; 2006; 2010; Livi-Vaccì 2012; Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006а; 2006b; Korotayev, Goldstone, Zinkina 2015; Grinin, Korotayev 2015), и за последние десятилетия она приняла определенно логистическую форму – тенденция к гиперболическому ускорению сменилась тенденцией к логистическому замедлению (см. Рис. 20):

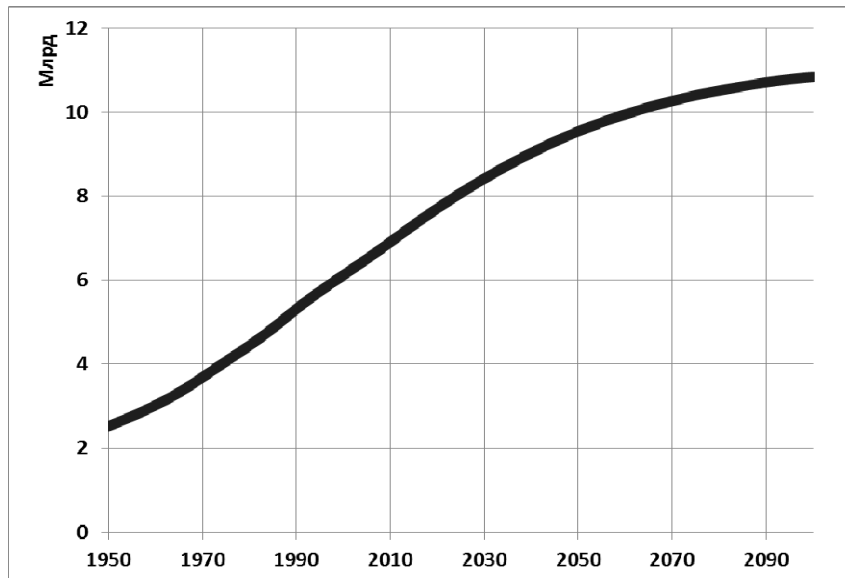


Рис. 20. Динамика численности населения мира (млрд), эмпирические оценки Отдела народонаселения ООН за 1950–2015 гг. со средним прогнозом до 2100 г.

В некоторых отношениях вполне можно сказать, что Х. фон Ферстер открыл сингулярность глобальной демографической истории; можно сказать, он обнаружил, что человеческая Мир-Система приближалась к сингулярному периоду в своей истории, когда тенденция гиперболического ускорения, которой она следовала много тысячелетий (а, по мнению некоторых, даже несколько миллионов лет), будет заменена на противоположный тренд к замедлению. Именно через этот сингулярный период мы сейчас и проходим. Процессы и механизмы данного разворота трендов к настоящему времени очень тщательно изучены³⁶ и известны как «глобальный демографический переход» (Капица 1999; 2007; Подлазов 2001; 2017; Романчук, Медведева 2009; Коротаев 2015; Kapitza 2003; 2006; 2010; Korotayev, Goldstone, Zinkina 2015; Podlazov 2017). При этом особое внимание здесь стоит обратить на то обстоятельство, что в случае с глобальной демографической эволюцией переход от гиперболического ускорения к логистическому замедлению начался за несколько десятилетий до даты сингулярности, математически вычисленной Х. фон Ферстером.

³⁶ См., например; Вишневский 1976; 2005; Коротаев, Малков, Халтурина 2005a; 2007; Римащевская и др. 2012; Коротаев 2015; Подлазов 2017; Chesnais 1992; Caldwell *et al.* 2006; Khaltourina *et al.* 2006; Korotayev, Malkov, Khaltourina 2006a; 2006b; Korotayev 2009; Gould 2009; Dyson 2010; Reher 2011; Livi-Bacci 2012; Choi 2016; Podlazov 2017.

На мой взгляд, имеются основания утверждать, что замедление скорости глобального макроэволюционного развития также уже началось – и началось оно за несколько десятилетий до той точки сингулярности, которую можно математически выявить в глобальных эволюционных рядах Модиса – Курцвейла и Панова³⁷.

Заключение

Итак, проведенный нами анализ позволяет предполагать наличие достаточно строгих глобальных макроэволюционных закономерностей (описывающих эволюцию сложности на нашей планете за последние несколько миллиардов лет), которые могут удивительно точно описываться крайне простыми математическими функциями. Вместе с тем этот анализ заставляет предполагать, что в районе точки сингулярности нет основания вслед за Курцвейлом ожидать невиданного (на много порядков) ускорения темпов технологического развития; имеются большие основания интерпретировать эту точку как индикатор зоны перегиба, после прохождения которой темпы глобальной эволюции будут систематически в долгосрочной перспективе замедляться.

Библиография

- Акаев А. А. 2010.** Фундаментальные пределы экономического роста и потребления. *Системный мониторинг глобальных и региональных рисков 2*: 12–30.
- Акаев А. А., Коротаев А. В., Малков С. Ю. 2014.** Современная ситуация и контуры будущего. *Комплексный системный анализ, математическое моделирование и прогнозирование развития стран БРИКС. Предварительные результаты* / Отв. ред. А. А. Акаев, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 10–31. М.: Кранд/URSS, 2014.
- Антисери Д., Реале Дж. 2001.** *Западная философия от истоков до наших дней. Античность, Средневековье.* СПб.: Петрополис.
- Балашова Н. А., Савченко В. А., Сажинко Е. В., Назаретян А. П. 2017.** Мегаистория и глобальные вызовы XXI века: синергетическая модель. *Историческая психология и социология истории* 10(1): 193–212.
- Биган Д. 2004.** Планета человекообразных. *В мире науки* 11: 68–77.
- Борисковский П. И. 1970.** Ашельская культура. *Большая советская энциклопедия.* Т. 2, с. 471. М.: Советская энциклопедия.
- Борисковский П. И. 1974а.** Олдовай. *Большая советская энциклопедия.* Т. 18, с. 369. М.: Советская энциклопедия.
- Борисковский П. И. 1974б.** Мустьерская культура. *Большая советская энциклопедия.* Т. 17. М.

³⁷ Кстати, вполне возможно, что началось оно в то же самое время, что и начало выхода Мир-Системы из демографического режима с обострением (то есть в начале 1970-х гг.) (см., например: Коротаев, Божевольнов 2010).

- Борисковский П. И. 1978.** Шелльская культура. *Большая советская энциклопедия*. Т. 29. М.
- Вайнберг С. 1981.** *Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной*. М.: Энергоиздат.
- Вишневский А. Г. 1976.** *Демографическая революция*. М.: Статистика.
- Вишневский А. Г. 2005.** *Избранные демографические труды*. Т. 1. *Демографическая теория и демографическая история*. М.: Наука.
- Вонг К. 2003.** У колыбели Homo sapiens. *В мире науки* 11: 9–10.
- Галимов Э. М. 2001.** *Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции*. М.: Едиториал УРСС.
- Гринченко С. Н. 2001.** Социальная метаэволюция Человечества как последовательность шагов формирования механизмов его системной памяти. *Электронный журнал «Исследовано в России»* 145: 1652–1681.
- Гринченко С. Н. 2004.** *Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры)*. М.: ИПИ РАН, Мир.
- Гринченко С. Н. 2006.** История Человечества с информатико-кибернетических позиций: проблемы периодизации. *История и Математика* 1: 38–52.
- Гринченко С. Н. 2007.** *Метаэволюция (систем неживой, живой и социально-технологической природы)*. М.: ИПИ РАН.
- Гринченко С. Н. 2015.** Моделирование: индуктивное и дедуктивное. *Проблемы исторического познания* / Отв. ред. К. В. Хвостова, с. 95–10. М.: ИВИ РАН.
- Гринченко С. Н., Шапова Ю. Л. 2017.** Палеоантропология, хронология и периодизация археологической эпохи: числовая модель. *Пространство и Время* 1 (27): 72–82.
- Дьяконов И. М. 1994.** *Пути истории. От древнейшего человека до наших дней*. М.: Вост. лит-ра.
- Заварзин Г. А. 2003.** Становление системы биогеохимических циклов. *Палеонтологический журнал* 6: 16–24.
- Зайцев А. И. 2001.** *Из наследия А. И. Зайцева*. Т. 1. *Культурный переворот в Греции VIII–V вв. до н. э.* СПб.: Петрополис.
- Зинькина Ю. В., Коротаев А. В. 2017.** *Социально-демографическое развитие стран Тропической Африки: Ключевые факторы риска, модифицируемые управляющие параметры, рекомендации*. М.: Ленанд/URSS.
- Зинькина, Ю. В., Шульгин, С. Г., Коротаев, А. В. 2016.** *Эволюция глобальных сетей. Закономерности, тенденции, модели*. М.: Ленанд/URSS.
- Капица С. П. 1992.** Математическая модель роста населения мира. *Математическое моделирование* 4(6): 65–79.
- Капица С. П. 1996.** Феноменологическая теория роста населения Земли. *Успехи физических наук* 166(1): 63–80.
- Капица С. П. 1999.** *Сколько людей жило, живет и будет жить на земле*. М.: Наука.

- Капица С. 2007.** Демографический переход и будущее человечества. *Вестник Европы* 21: 7–16.
- Келлер Б. М. 1975.** Палеозойская группа (эра). *Большая советская энциклопедия*. Т. 19. М.
- 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. 2007.** Макродинамика урбанизации Мир-Системы: количественный анализ. *История и Математика: Макроисторическая динамика общества и государства* / Ред. С. Ю. Малков, Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 21–39. М.: КомКнига/URSS.
- Коротаев А. В. 2010а.** Компактные математические модели долгосрочного развития Мир-Системы. *Уральский исторический вестник* 3: 15–24.
- Коротаев А. В. 2010б.** Компактные математические модели развития Мир-Системы. *Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики* / Отв. ред. А. А. Акаев, А. В. Коротаев, Г. Г. Малинецкий, с. 70–92. М.: ЛКИ/URSS.
- Коротаев А. В. 2015.** Глобальный демографический переход и фазы дивергенции – конвергенции центра и периферии Мир-Системы. *Вестник Института экономики Российской академии наук* 1: 149–162.
- Коротаев А. В. 2016.** Великая дивергенция и великая конвергенция как фазы процесса модернизации. *География мирового развития: сб. науч. тр. Вып. 3* / Ред. Л. М. Синцерова, с. 49–60. М.: Тов. научных изд. КМК.
- Коротаев А. В., Билюга С. Э. 2016.** О некоторых современных тенденциях мирового экономического развития. *Вестник Института экономики Российской академии наук* 4: 20–39.
- Коротаев А. В., Божевольнов Ю. В. 2010.** Некоторые общие тенденции экономического развития Мир-Системы. *Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики* / Ред. А. А. Акаев, А. В. Коротаев, Г. Г. Малинецкий, с. 161–171. М.: ЛКИ/URSS.
- 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. 2005а.** *Законы истории: Математическое моделирование исторических макропроцессов (Демография. Экономика. Войны)*. М.: КомКнига/URSS.
- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2005б.** Компактная математическая макромодель 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/КомКнига.

- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2007.** *Законы истории: Математическое моделирование развития Мир-Системы. Демография, экономика, культура.* М.: КомКнига/ URSS.
- 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.
- Коротаев А. В., Марков А. В. 2006.** Механизм гиперболического роста в биологических и социальных системах. *Философские науки* 11: 138–141.
- Коротаев А. В., Халтурина Д. А. 2009.** *Современные тенденции мирового развития.* М.: ЛИБРОКОМ/URSS.
- Коротаев А. В., Халтурина Д. А., Божевольнов Ю. В. 2010.** *Законы истории. Вековые циклы и тысячелетние тренды. Демография. Экономика. Войны.* 3-е изд. М.: ЛКИ/URSS.
- Коротаев А. В., Халтурина Д. А., Малков А. С., Божевольнов Ю. В., Кобзева С. В., Зинькина Ю. В. 2010.** *Законы истории. Математическое моделирование и прогнозирование мирового и регионального развития.* 3-е изд., испр. и доп. М.: ЛКИ/URSS.
- Кринг Д., Дурда Д. Д. 2004.** День, когда мир был сожжен. *В мире науки* 3: 56–63.
- Крылов О. В. 1999.** Будет ли конец науки. *Российский химический журнал* 43(6): 96–106.
- Крылов О. В. 2002.** Динамика развития химической науки. *Российский химический журнал* 46(3): 96–99.
- Крылов О. В. 2007.** Современная наука: близкий конец или завершение очередного этапа? *Российский химический журнал* 51(3): 71–78.
- Кэррол Р. 1992.** *Палеонтология и эволюция позвоночных.* Т. 1. М.
- Кэррол Р. 1993а.** *Палеонтология и эволюция позвоночных.* Т. 2. М.
- Кэррол Р. 1993б.** *Палеонтология и эволюция позвоночных.* Т. 3. М.
- Лопатин Н. В. 1983.** Древние биосферы и генезис горючих ископаемых. *Палеонтология и эволюция биосферы. Труды XXV сессии всесоюзного палеонтологического общества.* Л.: АН СССР.
- 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., Анисимов В. А., Коротаев А. В. 2011.** Гиперэкспоненциальный рост минимального размера генома в эволюционном ряду от прокариот к млекопитающим. *Эволюция: дискуссионные аспекты глобальных эволюционных процессов* / Ред. Л. Е. Гринин, И. В. Ильин, А. В. Коротаев, А. В. Марков, с. 113–154. М.: Изд-во ЛКИ.
- 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. 2008а.** Гиперболический рост разнообразия морской и континентальной биот фанерозоя и эволюция сообществ. *Журнал общей биологии* 69(3): 175–194.
- Марков А. В., Коротаев А. В. 2008б.** Гиперболический рост биоразнообразия в фанерозое объясняется ростом сложности и устойчивости сообществ. *Современные проблемы биологической эволюции* / Ред. А. С. Рубцов, с. 278–323. М.: Изд-во Гос. Дарвиновского музея.
- Марков А. В., Коротаев А. В. 2008в.** Динамика разнообразия морской и континентальной биоты фанерозоя соответствует модели гиперболического роста. *Геобиосферные события и история органического мира* / Ред. Т. Н. Богданова, Н. Г. Крымгольц, с. 108–110. СПб.: Палеонтологическое общество РАН.
- Марков А. В., Коротаев А. В. 2009а.** *Гиперболический рост в живой природе и обществе*. М.: ЛИБРОКОМ/URSS.
- Марков А. В., Коротаев А. В. 2009б.** О причинах ускорения роста разнообразия морской и континентальной биоты фанерозоя: факты и модели. *Синтетическая теория эволюции: состояние, проблемы, перспективы* / Ред. И. Д. Соколов, с. 37–39. Луганск: Элтон-2.
- Муратов М. В., Вахрамеев В. А. 1974.** Мезозойская группа (эра). *Большая советская энциклопедия*. М.: Советская энциклопедия.
- Назаретян А. П. 2004.** *Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории*. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Пер се.
- Назаретян А. П. 2005.** Знает ли история сослагательное наклонение? (Мегаисторический взгляд на альтернативные модели). *Философские науки* 2: 7–18.
- Назаретян А. П. 2009.** Смыслообразование как глобальная проблема современности: синергетический взгляд. *Вопросы философии* 5: 5–19.
- Назаретян А. П. 2013.** Середина XXI века: загадка сингулярности. *Философские науки* 9: 15–24.
- Назаретян А. П. 2014.** «Национальная идея»: Россия в глобальных сценариях XXI века. *Историческая психология и социология истории* 7(1): 75–91.
- Назаретян А. П. 2015а.** Мегаистория и ее «загадочная сингулярность». *Вестник Российской академии наук* 85(8): 755–764.
- Назаретян А. П. 2015б.** *Нелинейное будущее. Мегаистория, синергетика, культурная антропология и психология в глобальном прогнозировании*. М.: Аргмак-Медиа.
- Панов А. Д. 2004.** Автомодельный аттрактор социально-биологической эволюции на Земле и гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни. *Бюллетень Научно-культурного центра SETI Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского* 7(24): 4–21.
- Панов А. Д. 2005.** Сингулярная точка истории. *Общественные науки и современность* 1: 122–137.
- Панов А. Д. 2006.** Сингулярность Дьяконова. *История и математика: проблемы периодизации исторических макропроцессов* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 31–37. М.: КомКнига, 2006.

- Панов А. Д. 2008.** *Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума (SETI)*. М.: ЛКИ/URSS.
- Панов А. Д. 2009.** Наука как явление эволюции. *Эволюция: космическая, биологическая, социальная* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Марков, А. В. Коротаев, с. 99–127. М.: ЛИБРОКОМ.
- Панов А. Д. 2013.** Макроэволюция и наука. *Научно-исследовательские исследования: сб. науч. тр.*, с. 215–256. М.: Российская академия наук, Институт информации по общественным наукам.
- Подлазов А. В. 2000.** *Теоретическая демография как основа математической истории*. М.: ИПМ РАН.
- Подлазов А. В. 2001.** *Основное уравнение теоретической демографии и модель глобального демографического перехода*. М.: ИПМ РАН.
- Подлазов А. В. 2002.** Теоретическая демография. Модели роста народонаселения и глобального демографического перехода. *Новое в синергетике. Взгляд в третье тысячелетие* / Ред. Г. Г. Малинецкий, С. П. Курдюмов, с. 324–345. М.: Наука.
- Подлазов А. В. 2017.** Теория глобального демографического процесса. *Вестник Российской академии наук* 6: 520–531.
- Римашевская Н. М., Доброхлеб В. Г., Медведева Е. А, Крошилин С. В. 2012.** Демографический переход – специфика российской модели. *Народонаселение* 1: 23–031.
- Розанов А. Ю. 1986.** *Что произошло 600 миллионов лет назад*. М.: Наука.
- Розанов А. Ю. 2003.** Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы. *Палеонтологический журнал* 6: 41–49.
- Розанов А. Ю., Заварзин Г. А. 1997.** Бактериальная палеонтология. *Вестник РАН* 67(3): 241–245.
- Романчук А. А., Медведева О. В. 2009.** Глобальный демографический переход и его биологические параллели. *Эволюция: космическая, биологическая, социальная* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Марков, А. В. Коротаев, с. 244–269. М.: ЛИБРОКОМ.
- Садовничий В. А., Акаев А. А., Коротаев А. В., Малков С. Ю. 2014.** *Комплексное моделирование и прогнозирование развития стран БРИКС в контексте мировой динамики*. М.: Наука.
- Федонкин М. А. 2003.** Сужение геохимического базиса жизни и эвкарриотизация биосферы: причинная связь. *Палеонтологический журнал* 6: 33–33.
- Фомин А. А. 2020.** Сквозная гиперболическая эволюция от биосферы до техносферы. *Эволюция: Эволюционные грани сингулярности* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 263–282. Волгоград: Учитель.
- Фоули Р. 1990.** *Еще один неповторимый вид. Экологические аспекты эволюции человека*. М.: Мир.

- Цирель С. В. 2020.** Big History и Singularity как метафоры, гипотезы и прогноз. *Эволюция: Эволюционные грани сингулярности* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 102–125. Волгоград: Учитель.
- Шанцер Е. В. 1973.** Кайнозойская группа (эра). *Большая советская энциклопедия*. Т. 11. М.: Советская энциклопедия.
- Щапова Ю. Л., Гринченко С. Н. 2017.** *Введение в теорию археологической эпохи: числовое моделирование и логарифмические шкалы пространственно-временных координат*. М.: Исторический факультет Моск. ун-та, Федеральный исслед. центр «Информатика и управление» РАН.
- Ясперс К. 1991.** *Смысл и назначение истории*. М.: Политиздат.
- А. Н. 1975.** Mesozoic Era. *The New Encyclopaedia Britannica*. 15th ed. Vol. 11, pp. 1013–1017. Chicago: Encyclopedia Britanica, Inc.
- А. Р. 1975.** Cenozoic Era. *The New Encyclopaedia Britannica*. 15th ed. Vol. 3, pp. 1079–1083. Chicago: Encyclopaedia Britannica.
- Adams H. 1969 [1909].** The Rule of Phase Applied to History. In Adams H., *The Degradation of the Democratic Dogma*, New York, pp. 267–311. New York: Harper & Row.
- Alvarez L. W., Alvarez W., Asaro F., Michel H. V. 1980.** Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. *Science* 208(4448): 1095–1108.
- Barrow J. D., Silk J. 1980.** The Structure of the Early Universe. *Scientific American* 242(4): 118–128.
- Begun D. R. 2003.** Planet of the Apes. *Scientific American* 289(2): 64–73.
- Burenhult G. (Ed.) 1993.** *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 BC*. San Francisco: Harper.
- Caldwell J. C., Caldwell B. K., Caldwell P., McDonald P. F., Schindlmayr T. 2006.** *Demographic Transition Theory*. Dordrecht: Springer.
- Callaghan V., Miller J., Yampolskiy R., Armstrong S. 2017.** *Technological Singularity*. Dordrecht: Springer.
- Carrol R. L. 1988.** *Vertebrate Paleontology and Evolution*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Cervellati, M., Sunde, U., & Zimmermann, K. F. (2017).** Demographic Dynamics and Long-run Development: Insights for the Secular Stagnation Debate. *Journal of Population Economics* 30(2): 401–432.
- Chesnais J. C. 1992.** *The Demographic Transition: Stages, Patterns, and Economic Implications*. Oxford: Clarendon Press.
- Choi Y. 2016.** Demographic Transition in sub-Saharan Africa: Implications for Demographic Dividend. *Demographic Dividends: Emerging Challenges and Policy Implications* / Ed. by R. Pace, R. Ham-Chande, pp. 61–82. Dordrecht: Springer.
- Christian D. 2008.** *Big History: The Big Bang, Life on Earth, and the Rise of Humanity*. Chantilly, VA: The Teaching Company.

- Dyson T. 2010.** *Population and Development. The Demographic Transition.* London: Zed Books.
- Eden A. H., Moor J. H., Søraker J. H., Steinhart E. 2012. (Eds.)** *Singularity Hypotheses: A Scientific and Philosophical Assessment.* Berlin: Springer.
- Foerster H. von, Mora P. M., Amiot L. W. 1960.** Doomsday: Friday, 13 November, AD 2026. *Science* 132(3436): 1291–1295.
- Fomin A. 2020.** Hyperbolic Evolution from Biosphere to Technosphere. *The 21st Century Singularity and Global futures. A Big History Perspective /* Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 105–118. Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_5.
- Gordon R. J. 2012.** *Is US Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds.* Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Gould W. T. S. 2009.** *Population and Development.* London: Routledge.
- Grinchenko S. N. 2006.** Meta-evolution of Nature System – The Framework of History. *Social Evolution & History* 5(1): 42–88.
- Grinchenko S. N. 2011.** The Pre- and Post-History of Humankind: What is it? *Problems of Contemporary World Futurology*, pp. 341–353. Newcastle-upon-Tyne: Cambridge Scholars Publishing.
- Grinchenko S. N., Shchapova Y. L. 2010.** Human History Periodization Models. *Herald of the Russian Academy of Sciences* 80(6): 498–506.
- Grinchenko S. N., Shchapova Y. L. 2016.** Archaeological Epoch as the Succession of Generations of Evolutive Subject-carrier Archaeological Sub-epoch. *Philosophy of Nature in Cross-Cultural Dimensions*, pp. 423–439. Vienna: University of Vienna.
- Grinchenko S. N., Shchapova Y. L. 2017.** Archaeological Epoch as the Succession of Generations of Evolutive Subject-Carrier Archaeological Sub-Epoch. *Philosophy of Nature in Cross-Cultural Dimensions*, pp. 478–499. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
- Grinin L., Korotayev A. 2015.** *Great Divergence and Great Convergence. A Global Perspective.* New York, NY: Springer.
- Grinin L., Markov A., Korotayev A. 2013.** On Similarities between Biological and Social Evolutionary Mechanisms: Mathematical Modeling. *Cliodynamics* 4(2): 185–228.
- Grinin L. E., Markov A. V., Korotayev A. V. 2014.** Mathematical Modeling of Biological and Social Evolutionary Macrotrends. *History & Mathematics* 4: 9–48.
- Grinin, L. E., Markov, A. V., Korotayev, A. V. 2015.** Modeling of Biological and Social Phases of Big History. *Evolution* 4: 111–150.
- Heidmann J. 1989.** *Cosmic Odyssey.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Hoerner S. J. von. 1975.** Population Explosion and Interstellar Expansion. *Journal of the British Interplanetary Society* 28: 691–712.
- Huebner J. 2005.** A Possible Declining Trend for Worldwide Innovation. *Technological Forecasting and Social Change* 72(8): 980–986.
- J. B. W. 1975.** Paleozoic Era, Upper. *The New Encyclopaedia Britannica* 15th ed. Vol. 13, pp. 921–930. Chicago: Encyclopaedia Britannica.

- Jaspers K. 1955.** *Von Ursprung und Ziel der Geschichte*. Frankfurt a/M.: Fisher Bucherei.
- 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.
- Johanson D., Edgar B. 1996.** *From Lucy to Language*. New York: Simon and Schuster.
- Jones C. 2018.** *Aging, Secular Stagnation and the Business Cycle*. International Monetary Fund.
- Jones S. (Ed.). 1994.** *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kapitza S. P. 1996.** The Phenomenological Theory of World Population Growth. *Physics-Uspekhi* 39(1): 57–71.
- Kapitza S. P. 2003.** The Statistical Theory of Global Population Growth. *Formal Descriptions of Developing Systems*, pp. 11–35. Springer: Dordrecht.
- Kapitza S. P. 2006.** *Global Population Blow-up and After*. Hamburg: Global Marshall Plan Initiative.
- Kapitza S. P. 2010.** On the Theory of Global Population Growth. *Physics-Uspekhi* 53(12): 1287–1296.
- Khaltourina D. A., Korotayev A. V. 2007.** A Modified Version of a Compact Mathematical Model of the World System Economic, Demographic, and Cultural Development. *Mathematical Modeling of Social and Economic Dynamics* / Ed. by M. G. Dmitriev, A. P. Petrov, N. P. Tretyakov, pp. 274–277. Moscow: RUDN, 2007.
- Khaltourina D., Korotayev A., Malkov A. 2006.** A Compact Macromodel of the World System Demographic and Economic Growth, 1-1973 CE. *Cybernetics and Systems* / Ed. by R. Trappl, vol. 1, pp. 330–335. Vienna: Austrian Society for Cybernetic Research.
- Korotayev A. 2005.** A Compact Macromodel of World System Evolution. *Journal of World-Systems Research* 11(1): 79–93.
- Korotayev A. V. 2006a.** The World System History Periodization and Mathematical Models of Socio-historical Processes / Ed. by L. Grinin, V. de Munck, A. Korotayev. *History & Mathematics: Analyzing And Modeling Global Development*. Moscow: KomKniga/URSS. Pp. 39–98.
- Korotayev A. 2006b.** The World System Urbanization Dynamics: A Quantitative Analysis. *History & Mathematics: Historical Dynamics and Development of Complex Societies* / Ed. by P. Turchin, L. Grinin, A. Korotayev, V. C. de Munck. Moscow: KomKniga/URSS. Pp. 44–62.
- Korotayev A. 2007a.** Compact Mathematical Models of World System Development, and How They can Help Us to Clarify Our Understanding of Globalization Processes. *Globalization as Evolutionary Process: Modeling Global Change* / Ed. by G. Modelski, T. Devezas, W. R. Thompson, pp. 133–160. London: Routledge.

- Korotayev A. 2007b.** Secular Cycles and Millennial Trends: A Mathematical Model. *Mathematical Modeling of Social and Economic Dynamics* / Ed. by M. G. Dmitriev, A. P. Petrov, N. P. Tretyakov, pp. 118–125. Moscow: RUDN.
- Korotayev A. 2008.** Globalization and Mathematical Modeling of Global Development. *Hierarchy and Power in The History Of Civilizations: Political Aspects Of Modernity* / Ed. by L. E. Grinin, D. D. Beliaev, A. V. Korotayev, pp. 225–240. Moscow: LIBROCOM/URSS.
- Korotayev A. 2009.** Compact Mathematical Models of the World System Development and Their Applicability to the Development of Local Solutions in Third World Countries. *Systemic Development: Local Solutions in a Global Environment* / Ed. by J. Sheffield, pp. 103–116. Litchfield Park, AZ: ISCE Publishing.
- Korotayev A. 2012.** Globalization and Mathematical Modeling of Global Development. *Globalistics and Globalization Studies* 1: 148–158.
- Korotayev A. 2013.** Globalization and Mathematical Modeling of Global Evolution. *Evolution: Development within Big History, Evolutionary and World-System Paradigms. Yearbook* / Ed. by L. E. Grinin, A. V. Korotayev, pp. 69–83. Volgograd: 'Uchitel' Publishing House.
- Korotayev A., Goldstone J., Zinkina J. 2015.** Phases of Global Demographic Transition Correlate with Phases of the Great Divergence and Great Convergence. *Technological Forecasting and Social Change* 95: 163–169.
- Korotayev A., Khaltourina D. 2006.** *Introduction to Social Macrodynamics: Secular Cycles and Millennial Trends in Africa*. Moscow: KomKniga/URSS.
- Korotayev A., Malkov S. 2012.** Mathematical Models of the World-System Development. *Routledge Handbook of World-Systems Analysis* / Ed. by S. Babones, Ch. Chase-Dunn, pp. 158–161. London: Routledge.
- Korotayev A., Malkov A. 2016.** A Compact Mathematical Model of the World System Economic and Demographic Growth, 1 CE – 1973 CE. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences* 10: 200–209.
- Korotayev A., Malkov A., Khaltourina D. 2006a.** *Introduction to Social Macrodynamics: Compact Macromodels of the World System Growth*. Moscow: KomKniga/URSS.
- Korotayev A., Malkov A., Khaltourina D. 2006b.** *Introduction to Social Macrodynamics: Secular Cycles and Millennial Trends*. Moscow: KomKniga/URSS.
- Korotayev A. V., Markov A. V. 2014.** Mathematical Modeling of Biological and Social Phases of Big History. *Teaching & Researching Big History: Exploring a New Scholarly Field* / Ed. by L. E. Grinin, D. Baker, E. Quaedackers, A. V. Korotayev, pp. 188–219. Volgograd: Uchitel.
- Korotayev A. V., Markov A. V. 2015.** Mathematical Modeling of Biological and Social Phases of Big History. *Globalistics and Globalization Studies* 4: 319–343.
- Korotayev A., Zinkina J. 2017.** Systemic Boundary Issues in the Light of Mathematical Modeling of World-system Evolution. *Journal of Globalization Studies* 8(1): 78–96.

- Kremer M. 1993.** Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics* 108: 681–716.
- Kurzweil R. 2001.** The Law of Accelerating Returns. *KurzweilAI.net* 3-7-2001. URL: <http://www.kurzweilai.net/articles/art0134.html?printable=1>.
- Kurzweil R. 2005.** *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking Penguin.
- LePoire D. J. 2005.** Application of Logistic Analysis to the History of Physics. *Technological Forecasting and Social Change* 72(4): 471–479.
- LePoire, D. J. 2009.** Exploration of Connections between Energy Use and Leadership Transitions. *Systemic Transitions: Past, Present, and Future* / Ed. by W. Thompson, pp. 205–220. New York: Palgrave Macmillan.
- LePoire D. 2013.** Potential Economic and Energy Indicators of Inflection in Complexity. *Evolution: Development within Big History, Evolutionary and World-System Paradigms* / Ed. by L. E. Grinin, A. V. Korotayev, pp. 108–118. Volgograd: 'Uchitel' Publishing House.
- LePoire D. 2015.** Interpreting "Big History" as Complex Adaptive System Dynamics with Nested Logistic Transitions in Energy Flow and Organization. *Emergence: Complexity and Organization* 17(1), 1E.
- LePoire D. J. 2016.** Exploring Temporal Patterns in Big History Dynamics. *KronoScope* 16(2): 229–249.
- Livi-Bacci M. 2012.** *A Concise History of World Population*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Maddison A. 2001.** *Monitoring the World Economy: A Millennial Perspective*. Paris: OECD.
- Maddison A. 2007.** *Contours of the World Economy, 1–2030*. Oxford: Oxford University Press.
- Markov A. V., Anisimov V. A., Korotayev A. V. 2010.** Relationship between Genome Size and Organismal Complexity in the Lineage Leading from Prokaryotes to Mammals. *Paleontological Journal* 44(4): 363–373.
- Markov A. V., Korotayev A. V. 2007.** Phanerozoic Marine Biodiversity Follows a Hyperbolic Trend. *Palaeoworld* 16(4): 311–318.
- Markov A. V., Korotayev A. V. 2008.** Hyperbolic Growth of Marine and Continental Biodiversity through the Phanerozoic and Community Evolution. *Zhurnal obshchei biologii* 69(3): 175–194.
- McEvedy C., Jones R. 1978.** *Atlas of World Population History*. New York.
- Modis T. 2002.** Forecasting the Growth of Complexity and Change. *Technological Forecasting and Social Change* 69(4): 377–404.
- Modis T. 2003.** The Limits of Complexity and Change. *The Futurist* 37(3): 26–32.
- Modis T. 2005.** Discussion of Huebner Article Comments by Theodore Modis. *Technological Forecasting and Social Change* 72: 987–988.

- Modis T. 2012.** Why the Singularity Cannot Happen. *Singularity Hypothesis: A Scientific and Philosophical Assessment* / Ed. by A. H. Eden, J. H. Moor, J. H. Søraker, E. Steinhart, pp. 311–346. Berlin: Springer.
- Nazaretyan A. P. 2003.** Power and Wisdom: toward a History of Social Behavior. *Journal of the Theory of Social Behaviour* 33(4): 405–425.
- Nazaretyan A. P. 2005.** Big (Universal) History Paradigm: Versions and Approaches. *Social Evolution & History* 4(1): 61–86.
- Nazaretyan A. P. 2015.** Megahistory and its Mysterious Singularity. *Herald of the Russian Academy of Sciences* 85(4): 352–361.
- Nazaretyan A. P. 2016.** Non-Linear Futures: The “Mysterious Singularity” in View of Mega-History. *Between Past Orthodoxies and the Future of Globalization. Contemporary Philosophical Problems*, pp. 171–191. Boston: Brill-Rodopi.
- Nazaretyan A. P. 2017.** Mega-History and the Twenty-First Century Singularity Puzzle. *Social Evolution & History* 16(1): 31–52.
- Nazaretyan A. 2018.** The Polyfuration Century: Does the Evolution on Earth Have a Cosmological Relevance? *Journal of Big History* 2(1): 27–41.
- Nazaretyan A. 2020.** The 21st Century’s “Mysterious Singularity” in the Light of the Big History. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 345–362. Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_15.
- Orgel L. E. 1998.** The Origin of Life – How Long did it Take? *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 28: 91–96.
- Panov A. D. 2005.** Scaling Law of the Biological Evolution and the Hypothesis of the Self-consistent Galaxy Origin of Life. *Advances in Space Research* 36(2): 220–225.
- Panov A. D. 2011.** Post-singular Evolution and Post-singular Civilizations. *Evolution 2*: 212–231.
- Panov A. D. 2017.** Singularity of Evolution and Post-Singular Development. *From Big Bang to Galactic Civilizations. A Big History Anthology*. Vol. III. *The Ways that Big History Works: Cosmos, Life, Society and our Future* / Ed. by B. Rodrigue, L. Grinin, A. Korotayev, pp. 370–402. Delhi: Primus Books.
- Panov A. 2020.** Singularity of Evolution and Post-singular Development in the Big History Perspective. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 439–465. Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_20.
- Piketty T. 2014.** *Capital in the Twenty-First Century*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Podlazov A. V. 2017.** A Theory of the Global Demographic Process. *Herald of the Russian Academy of Sciences* 87(3): 256–266.
- Popović M. 2018.** Technological Progress, Globalization, and Secular Stagnation. *Journal of Central Banking Theory and Practice* 7(1): 59–100.

- Ranj B. 2016.** Google's Chief Futurist Ray Kurzweil Thinks We Could Start Living Forever by 2029. *Business Insider* April 20. URL: <http://www.techinsider.io/googles-chief-futurist-thinks-we-could-start-living-forever-by-2029-2016-4>.
- Reher D. S. 2011.** Economic and Social Implications of the Demographic Transition. *Population and Development Review* 37: 11–33.
- Sagan S. 1989.** *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence*. New York: Ballantine Books.
- Shanahan M. 2015.** *The Technological Singularity*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Schopf J. W. (Ed.). 1991.** *Major Events in the History of Life*. Boston: Jones and Bartlett Publishers.
- Snooks G. D. 1996.** *The Dynamic Society: Exploring the Sources of Global Change*. London: Routledge.
- Snooks G. D. 2005.** Big History or Big Theory? Uncovering the Laws of Life. *Social Evolution & History* 4(1): 160–188.
- Snooks G. D. 2020.** Is singularity a Scientific Concept, or the Metaphysical Construct of Historicism? Implications for Big History. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective.* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 225–263. Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_12.
- Summers, L. H. (2016).** The Age of Secular Stagnation: What it is and What to Do about It. *Foreign Affairs* 95(2): 2–9.
- T. K. 1975.** Paleozoic Era, Lower. *The New Encyclopaedia Britannica*, 15th ed. Vol. 13, pp. 916–920. Chicago: Encyclopaedia Britannica, Inc.
- Taagepera R. 1976.** Crisis around 2005 AD? A Technology-population Interaction Model. *General Systems* 21: 137–138.
- Taylor G., Tyers R. 2017.** Secular Stagnation: Determinants and Consequences for Australia. *Economic Record* 93(303): 615–650.
- Teulings C., Baldwin R. (Eds.) 2014.** *Secular Stagnation: Facts, Causes, and Cures*. London: CEPR.
- 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.
- UN Population Division. 2018.** *United Nations Population Division Database*. New York, NY: United Nations. URL: <http://www.un.org/esa/population>.
- Wood B. 1992.** Origin and Evolution of the Genus Homo. *Nature* 355: 783–790.