

12

Насколько сингулярна сингулярность XXI в.?¹

Андрей Витальевич Коротаев

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

В этой статье подробно обсуждается возможность того, что сингулярность XXI в. является продуктом искаженного человеческого восприятия, описываемого законом Вебера – Фехнера. Показано, что хотя эффект Вебера – Фехнера и может создавать ряды с гиперболическими характеристиками, гиперболический паттерн ускорения с сингулярностью в XXI в., прослеживаемый в рядах Панова и Модиса – Курцвейла, объясняется прежде всего реальным гиперболическим ускорением глобальной мегаэволюции.

Ключевые слова: эффект Вебера – Фехнера, фазовые переходы, сингулярность, глобальная демографическая значимость, ряд Модиса – Курцвейла, ряд Панова.

Закон Вебера – Фехнера

Здесь представляется уместным более подробно обсудить возможность того, что сингулярность является продуктом искаженного человеческого восприятия (подробнее о такой возможности см.: Цирель 2020; Tsirel 2020a; Widdowson 2020; Malkov 2020; Dobrolyubov 2020).

М. Уиддоусон здесь довольно уместно вспоминает закон Вебера – Фехнера (см., например: Fechner 1966; Fitts, Posner 1973), отмечая, что этот закон «утверждает, что наша способность воспринимать изменение стимула является относительной по отношению к существующему уровню стимула. Включение мобильного телефона в темной комнате освещает всю комнату, в то время как включение телефона в светлой комнате не приводит к фиксируемому нами увеличению освещенности» (Widdowson 2020: 495). Таким образом, в принципе сигнал от менее важного недавнего события вполне может забивать сигнал от даже более важного, но значительно более удаленного от нас во времени события.

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

Гипербола глобального ускорения возникает прежде всего за счет систематического сокращения времени между каждым последующим фазовым переходом / скачком сложности, что дает эффект гиперболического роста скорости фазового перехода. Действительно, закон Вебера – Фехнера может произвести аналогичный эффект – при составлении списка фазовых переходов человек, по-видимому, с большей вероятностью классифицирует недавние (более заметные) события как важные фазовые переходы, тогда как более отдаленные события с меньшей вероятностью будут классифицированы как в такой же степени важные. С. Добролюбов (Dobrolyubov 2020) и С. Цирель (2020; Tsirel 2020a) склонны считать гиперболический паттерн, прослеживаемый в рядах Панова и Модиса – Курцвейла (вместе с его сингулярностью), в основном артефактом закона Вебера – Фехнера. Например, С. Цирель (2020) утверждает, что «шаг сокращения интервалов между важными пунктами эволюции (знаменатель прогрессии = 2,5 – 3) относится в большей степени к области человеческой психологии, чем к истории эволюции» (см. также: Tsirel 2020a: 140). М. Уиддоусон (Widdowson 2020) и С. Малков (Malkov 2020), похоже, не думают, что глобальная модель гиперболического ускорения в основном является продуктом искаженного человеческого восприятия, но все же считают, что эффект Вебера – Фехнера сыграл здесь заметную роль.

То, что эффект Вебера – Фехнера действительно может существенно повлиять на вычисление времени сингулярности, можно проиллюстрировать несколькими примерами.

Сингулярность Архимеда

В октябре 2015 г. на II Международном симпозиуме «Большая история и глобальная эволюция» в МГУ я представил доклад под названием «Сингулярность Архимеда»². Я провел мыслительный эксперимент, представив себе, что было бы, если бы Архимед (во время осады Сиракуз римлянами в 212 г. до н. э.) попробовал вычислить дату сингулярности, используя список фазовых переходов Панова. Ближайшая к Архимеду «биосферная революция» в этом списке описывается следующим образом: «[Фазовый переход / биосферная революция] № 14. Железный век, эпоха империй, революция Осевого времени – 800–500 лет до н. э.» (Панов 2005: 127; см. также: Panov 2020).

Однако вышеупомянутый кластер событий 1-го тыс. до н. э. (железный век, эпоха империй, революция Осевого века) вполне может быть разделен на три различных события: железная революция + революция

² Позже новая версия этого доклада была представлена на II Международной конференции ассоциации Большой истории «Building Big History: Research and Teaching» в Амстердамском университете в июле 2016 г.

Осевого века + эпоха империй (и это, скорее всего, и сделал бы Архимед, живший как раз в 1-м тыс. до н. э.). Отметим, что сам А. Д. Панов датирует железную революцию 1000–900 гг. до н. э. (Панов 2005: 127). Используем эту дату. Карл Ясперс, который ввел само понятие Осевого времени (Ясперс 1991; Jaspers 1949), датирует его VIII–III вв. до н. э.; мы возьмем середину этого интервала (450 г. до н. э.) в качестве точки данных для наших расчетов. Наиболее подходящей датировкой эпохи империй, по видимому, является конец 1-го тыс. до н. э. и начало 1-го тыс. н. э., когда почти весь цивилизованный мир от Атлантики до Тихого океана попал под контроль всего четырех огромных империй – Римской, Парфянской, Кушанской и Ханьской. В качестве условной точки данных мы выбираем 250 г. до н. э., то есть середину III в. до н. э., которую можно рассматривать как век начала эпохи империй с такими симптоматическими событиями, как формирование первой по-настоящему централизованной империи при Цинь Шихуанди в Восточной Азии, а также решающие шаги на пути к формированию развитых империй, предпринятые в Средиземноморском регионе, в Западной, Центральной и Южной Азии.

Обратим внимание на то, что последняя точка данных в исходной серии Панова (см.: Панов 2005; Panov 2020) – это дата распада Советского Союза. Однако можно очень сильно усомниться в том, что это событие привело к росту глобальной сложности, сравнимому с возникновением жизни, кембрийским взрывом или даже переходом к земледелию. Однако А. Д. Панов во многом полагался на великого российского историка И. М. Дьяконова, который закончил свой *opus magnum* «Пути истории» в 1994 г. (Дьяконов 1994; Diakonoff 1999). Несомненно, для Дьяконова, родившегося за два года до Русской революции и прожившего почти всю свою жизнь в Советском Союзе (с самого начала и до самого конца этого политического образования), распад СССР выглядел как поистине космическое событие. Итак, представим себе, что Архимед совершил аналогичную ошибку и решил добавить в свой список фазовых переходов еще одно событие: Фазовый переход № 17а. Падение Сиракуз, начало конца эллинистического мира – 0 лет до «настоящего времени» Архимеда (212 г. до н. э.).

В нашем мысленном эксперименте один из величайших математиков в мировой истории немедленно осознает, что имеет дело со степенным ускорением, выполняет преобразование Панова для своего ряда данных, проводит степенной регрессионный анализ (который он изобретает специально для этой цели); и... обнаруживает, что **сингулярность уже рядом**, что это должно произойти **уже через 17 лет** (то есть, используя нашу систему датирования, в 195 г. до н. э.) (см. Рис. 1 и 2):

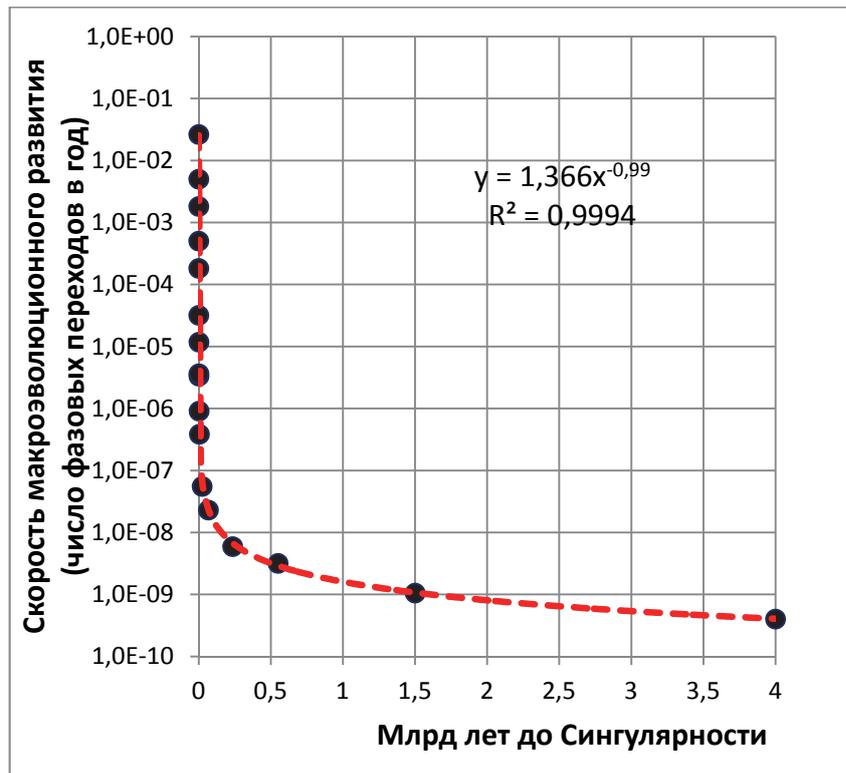


Рис. 1. Диаграмма рассеяния точек фазового перехода из списка Архимеда с подобранной линией степенной регрессии для даты сингулярности, определенной Архимедом как «17 лет после падения Сиракуз» методом наименьших квадратов (логарифмическая шкала по оси ординат)

В двойном логарифмическом масштабе эта диаграмма выглядит следующим образом (см. Рис. 2):

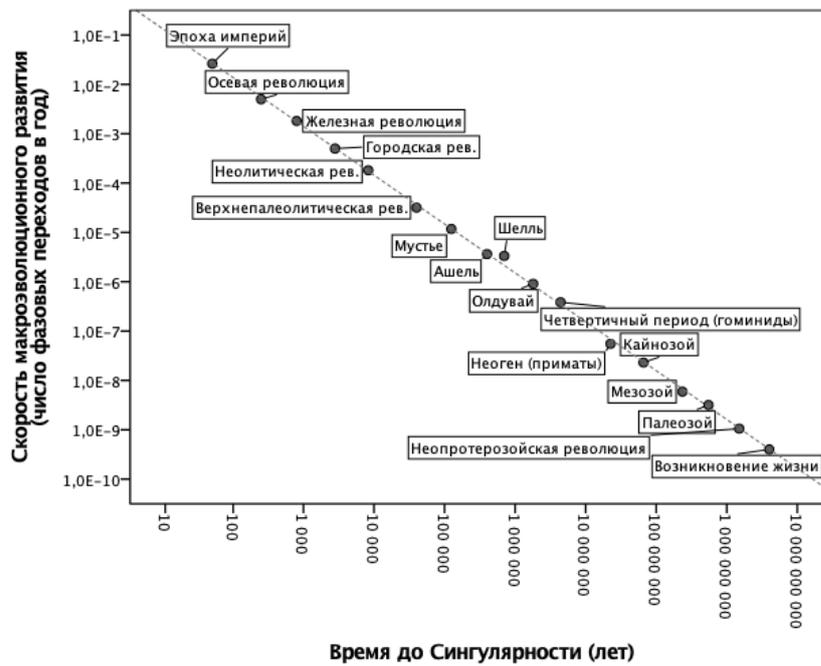


Рис. 2. Диаграмма рассеяния точек фазового перехода из списка Архимеда с подобранной линией степенной регрессии для даты сингулярности, определенной Архимедом как «17 лет после падения Сиракуз» методом наименьших квадратов (двойная логарифмическая статья)

Отметим, что приведенная выше теоретическая степенная кривая с сингулярностью в 195 г. до н. э. соответствует эмпирическим оценкам с такой же поразительной точностью ($R^2 = 0,999!$), как и степенная кривая для кривой Модиса – Курцвейла с сингулярностью в 2029 г., или для серии Панова с сингулярностью в 2027 г.³

³ Отметим, что Панов использует несколько иную модель для обнаружения сингулярности в своем временном ряду: $t_n = t^* - T/\alpha^n$, or $\lg(t^* - t_n) = \lg T - n \lg \alpha$, где n – это порядковый номер фазового перехода / «биосферной революции», t^* – дата сингулярности, T – общая временная длительность анализируемого ряда (4×10^9 лет для ряда Панова), а α – «коэффициент ускорения исторического времени, показывающий, во сколько раз каждая последующая эпоха короче предыдущей» (Панов 2005: 128). Обратим внимание, однако, на то, что если бы Архимед проанализировал свой список фазовых переходов с помощью этой модели, он бы обнаружил, что сингулярность не так близка, как предполагает степенная модель (то есть через 17 лет после падения Сиракуз или в 195 г. до н. э.), но все же, несомненно, очень близка – особенно в масштабе времени в миллиарды лет – через 97 лет после падения Сиракуз, в 115 г. до н. э. При этом отметим, что, как мы могли видеть в статье «Математиче-

Я также подумывал о вычислении «сингулярности Гильгамеша» (предположительно где-то в первой половине 3-го тыс. до н. э.) путем разделения модисовского фазового перехода № 20 («Открытие колеса / письменность / архаические империи / большие цивилизации» [Modis 2003: 31]) вместе с пановским фазовым переходом № 13 («Городская революция... Массовое распространение крупных человеческих агломераций, возникновение письменности, первых правовых документов, настоящей бюрократии и классового общества, появление ремесел» [Панов 2005: 126; Panov 2020])⁴ на изобретение колеса / гончарного круга / плуга + появление первых городов + изобретение письменности + возникновение государства + архаические империи / большие цивилизации, но пока не успел этого сделать.

Позже моему примеру (с прямой ссылкой на меня) последовал С. В. Добролюбов, продемонстрировав, что «если поставить наблюдателя в центр промышленной (паровой) революции и принять во внимание поток изобретений, которые революционизировали все сферы производства и транспорта, то сингулярность, как подсчитал автор (Добролюбов 2016), была бы в 1834 году нашей эры» (см.: Dobrolyubov 2020: 537).⁵

М. Уиддоусон (Widdowson 2020) показывает, что если мы соединим глобальную гиперболическую кривую ускорения Модиса с гиперболической кривой улучшения определенных характеристик каменных орудий в палеолите, то сможем обнаружить сингулярность глобальной эволюции за несколько тысячелетий до нашей эры.

Наконец, С. Малков (2020; Malkov 2020) рассчитал дату сингулярности, поставив себя на место первых христиан (дополнив ряд Панова, наряду с прочим, такими космическими с точки зрения первых христиан событиями, как Рождество Иисуса и его Распятие), и выявил сингулярность, приходящуюся на 64 г. н. э. Между прочим, это действительно очень соответствовало бы ожиданиям самих первых христиан, которые «воспринимали императора Нерона как антихриста во плоти, а гонения на

ский анализ сингулярности XXI века в контексте Большой истории» (Коротаев 2020a) данного выпуска *Эволюции*, разные математические модели также идентифицируют несколько разные моменты времени и для сингулярности XXI в.

⁴ Совершенно ясно, что и Т. Модис, и А. Д. Панов описывают один и тот же социокультурный макроэволюционный фазовый переход.

⁵ С. В. Добролюбов (Dobrolyubov 2020) называет сингулярность, о которой я доложил в октябре 2015 г. на II Международном симпозиуме «Большая история и глобальная эволюция» в МГУ (Коротаев 2015), «сингулярностью Коротаева – Архимеда». В свою очередь, я называю сингулярность, о которой сообщает Добролюбов, «сингулярностью Добролюбова – Стефенсона», поскольку последний фазовый переход в его серии «Локомотивы (1825 г.)» явно намекает на Локомотив № 1, построенный в 1825 г. Джорджем Стефенсоном для первой в мире паровой железной дороги общего пользования. Отметим, что описание особенности Добролюбова – Стефенсона (Добролюбов 2016) подробно воспроизводится выше в статье «О сингулярности в биологической и социальной эволюции» (Малков 2020) этого выпуска *Эволюции*.

христиан после сожжения Рима⁶ воспринимались как начало конца света, то есть, говоря современным языком, как точка сингулярности» (Malkov 2020: 523).⁷

Все эти численные эксперименты действительно демонстрируют, насколько сильно эффект Вебера – Фехнера может повлиять на вычисление точки сингулярности.

С другой стороны, С. Малков (2020; Malkov 2020) вполне обоснованно обращает наше внимание на то, что глобальную гиперболу на определенном уровне анализа можно рассматривать как состоящую из вложенных логистически-гиперболических кривых, соответствующих фазовым переходам (см. также: Назаретян 2017; 2018; Kurzweil 2012; LePoire 2015; 2020). При этом важно отметить, что мегаэволюционные фазовые переходы, как правило, вызываются механизмами положительной обратной связи второго порядка, порождающими в рамках логистических траекторий гиперболические участки со своими собственными сингулярностями (см., например: Коротаев 2006; Коротаев и др. 2007; Гринин, Коротаев 2009; Малков 2021; Korotayev 2005; 2006; 2007; 2012; 2013; Korotayev *et al.* 2006; Malkov 2020; LePoire 2015; 2020). В результате частота эволюционных событий увеличивается, что позволяет построить гиперболу соответствующего фазового перехода даже без добавления каких-либо событий, таких как «падение Сиракуз» или «Распятие Христа», а просто разделить соответствующий кластер событий на его компоненты – например, путем разделения кластера событий 1-го тыс. до н. э. (железная революция, эпоха империй, революция Осевого века) на три различных события: железный век + революция Осевого века + эпоха империй. Другие возможности – разложение модисовского фазового перехода № 20 («Изобретение колеса / письменность / архаические империи / большие цивилизации» [Modis 2003: 31]) вместе с пановским фазовым переходом № 13 («Городская революция... Массовое распространение крупных человеческих агломераций, возникновение письменности, первых правовых документов, настоящей бюрократии и классового общества, появление ремесел» [Панов 2005: 126; Panov 2020]) на «изобретение колеса / гончарного круга / плуга» + «появление первых городов» + «изобретение письменности» + «формирование государства» + «архаические империи / крупные цивилизации». Приведу цитату из моего доклада на II Международном симпозиуме «Большая история и глобальная эволюция» (Korotayev 2015: 8):

Однако ранее мы (вместе с Архимедом) немного «смухлевали»
(хотя и с некоторым эквивоком в сторону по-своему понятного пре-

⁶ В 64 г. н. э. – А. К.

⁷ С другой стороны, это, конечно, можно рассматривать просто как еще одну версию сингулярности Осевого времени. Поскольку последний фазовый переход в серии Малкова – это «восшествие Нерона на престол в Риме (54 г. н. э.)», мы можем обозначить соответствующую сингулярность как «сингулярность Малкова – Нерона».

цедента Дьяконова). В самом деле, предположение, что падение Сиракуз ознаменовало собой какой-то существенный фазовый переход в планетарной эволюции, может быть слишком сильным. Однако если бы Архимед исключил этот фазовый переход из своего списка [оставив там в качестве трех последних событий только железную революцию, революцию Осевого века и эпоху империй], результат не изменился бы каким-либо драматическим образом⁸. В этом случае он бы обнаружил, что сингулярность не так близка, что она произойдет не через всего лишь 17 лет, как это было в случае, когда падение Сиракуз считалось фазовым переходом. Но он все равно обнаружит, что СИНГУЛЯРНОСТЬ УЖЕ РЯДОМ, она будет уже через 57 лет (то есть это должно произойти в 155 г. до н. э.). Более того, для нового временного ряда почти идентичное уравнение обеспечит почти столь же идеальное соответствие ($R^2 = 0,9993$ по сравнению с $R^2 = 0,9994$ в предыдущем случае).

Стоит обратить внимание на то обстоятельство, что в отношении фазового перехода Осевого времени (1-е тыс. до н. э.) наш анализ (Коротаев, 2006; Коротаев и др. 2007) обнаружил гиперболическую динамику с сингулярностями для таких переменных, как население мира (оценки М. Кремера [Kremer 1993]; $t^* = 400$ г. н. э.), индекс мирового технологического развития (общее совокупное количество изобретений и открытий, зарегистрированных к определенному году в базе данных Хеллеманса – Банча [Hellemans, Bunch 1988]; $t^* = 950$ г. н.э.), мировой ВВП (оценки Дж. ДеЛонга [DeLong 1998]; $t^* = 595$ CE), или численность населения крупнейшего мирового поселения (оценки Т. Чэндлера [Chandler 1987] и Дж. Модельски [Modelski 2003]; $t^* = 175$ г. н. э.). Анализ С. Ю. Малкова дал аналогичные результаты (Малков 2020; Malkov 2020). И я согласен с Малковым в том, что такие сингулярности имели определенный смысл, указывая на то, что наблюдавшееся ускорение больше не могло продолжаться далее и должно было быть заменено значимым замедлением задолго до соответствующих дат сингулярностей. Для фазового перехода городской революции (4-е и начало 3-го тыс. до н. э.) гиперболическая динамика прослеживается по таким показателям, как городское население мира или население самого большого населенного пункта в мире (Коротаев 2006; Гринин, Коротаев 2009). Также обратим внимание на то, что гиперболическая динамика биоразнообразия очень четко видна для фазового перехода кембрийского взрыва (см. серую кривую на Рис. 3):

⁸ Отметим, что все эти три события можно рассматривать как достаточно глобальные, поскольку они затронули большую часть населения мира и существенно повлияли на эволюцию Мир-Системы.

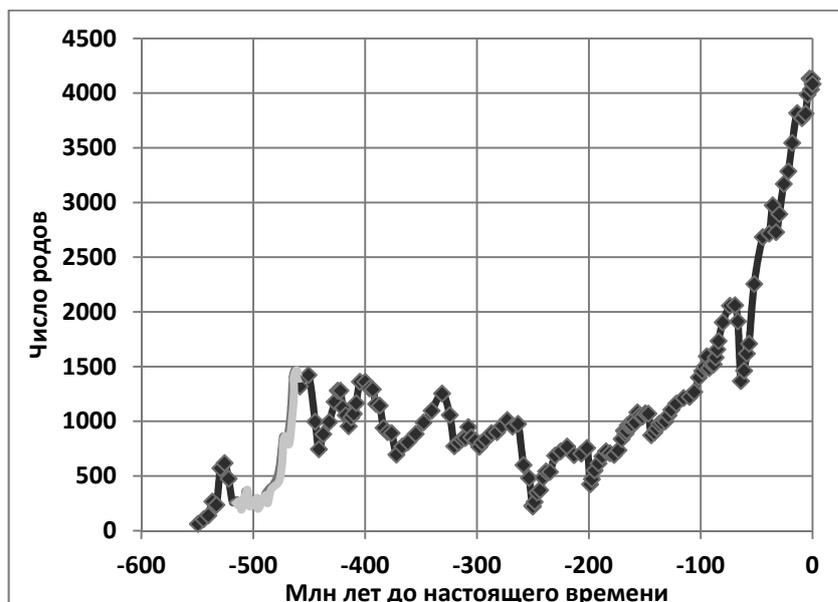


Рис. 3. Динамика фанерозойского морского биоразнообразия, количество родов

Источник данных: Markov, Korotayev 2007.

Таким образом, имеет смысл еще раз подчеркнуть, что Малков (2020; Malkov 2020) совершенно прав, обращая наше внимание на то, что глобальную гиперболу на определенном уровне анализа можно рассматривать как составленную из вложенных логистических кривых, соответствующих фазовым переходам. С другой стороны, мегаэволюционные фазовые переходы, как правило, вызываются механизмами положительной обратной связи второго порядка, порождающими гиперболические кривые со своими собственными сингулярностями.

Конечно, все это не может не поднять вопрос, вынесенный в название этой статьи: *насколько сингулярна сингулярность XXI в.?*

Насколько все-таки сингулярна сингулярность XXI века?

Как было показано выше в данном выпуске *Эволюции* (Коротаев 2020a), степенное уравнение, наилучшим образом описывающее характер ускорения в ряду Модиса – Курцвейла, выглядит следующим образом:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{2.054}{(2029 - t)^{1.003}}, \quad (1)$$

где, напомним, $dn/dt (= y)$ – скорость роста глобальной сложности (количество фазовых переходов за единицу времени), а 2029 г. н. э. – точка сингулярности, подобранная методом наименьших квадратов.

Между тем степенное уравнение, наилучшим образом описывающее картину ускорения в ряду Панова (2005), оказывается почти идентичным:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1.886}{(2027 - t)^{1.01}}. \quad (2)^9$$

С. В. Цирель (2020; Tsirel 2020a) демонстрирует, что эту закономерность гипотетически можно объяснить с помощью эффекта Вебера – Фехнера. Он также показывает, что очень высокую степень сходства наиболее подходящих гиперболических уравнений для обоих рядов гипотетически можно объяснить тем же самым эффектом. Но Цирель, похоже, не может ответить на следующий вопрос (который я задал ему напрямую): почему оба уравнения почти идентичны уравнению, открытому Хайнцем фон Фёрстером много лет назад (в 1960 г.!) и практически идеально описывающему динамику численности мирового населения до 1958 г. (von Foerster *et al.* 1960):

$$N_t = \frac{c}{(2027 - t)^{0.99}}, \quad (4)^{10}$$

где N_t – население мира в момент времени t , а C и 2027 – константы, причем 2027 (г.) соответствует так называемой «демографической сингулярности»?

Я думаю, что просто невозможно дать содержательный ответ на этот вопрос, продолжая верить, что глобальная гиперболическая макроэволюционная модель ускорения, выявляемая в рядах Модиса – Курцвейла и Панова, является всего лишь артефактом искаженного человеческого восприятия. И как было показано нами выше в статье «О взаимосвязи между формулой увеличения планетарной сложности и уравнением гиперболического роста численности населения Земли» (Коротаев 2020б), то обстоятельство, что темпы увеличения глобальной сложности в ряду Панова (dn/dt) и численность населения Земли (N) вплоть до начала 1970-х гг. росли по одному и тому же закону ($x_t = C/2027-t$), является отнюдь не случайностью, а проявлением достаточно глубокой закономерности.

⁹ Для простоты мы будем рассматривать это уравнение в следующей упрощенной форме:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{c_1}{(2027 - t)}. \quad (3)$$

¹⁰ Для простоты мы будем рассматривать это уравнение в следующей упрощенной форме:

$$N_t = \frac{c_2}{2027 - t}. \quad (5)$$

Панова (dn/dt) и численность населения Земли (N) вплоть до начала 1970-х гг. росли по одному и тому же закону ($x_t = C/2027-t$), является отнюдь не случайностью, а проявлением достаточно глубокой закономерности. Выясняется, что на социальной фазе универсальной и глобальной истории гиперболический рост темпов увеличения глобальной сложности и гиперболический рост численности населения Земли оказываются двумя теснейшим образом связанными сторонами единого процесса. Уже это обстоятельство заставляет считать попытки объяснить гиперболический паттерн ускорения с сингулярностью в XXI в., прослеживаемый в рядах Панова и Модиса – Курцвейла, исключительно эффектом Вебера – Фехнера избыточно легкомысленными.

Собственно говоря, уже это показывает, что ни ряд Модиса – Курцвейла, ни ряд Панова¹¹ не были так сильно искажены эффектом Вебера – Фехнера, как можно было бы подумать, читая статью С. В. Циреля (2020) в этом выпуске ежегодника *Эволюция*.

С. Ю. Малков (Malkov 2020) справедливо отмечает некоторую субъективность выбора фазовых переходов, но расчеты С. П. Капицы (1996) и А. А. Фомина (2020; Fomin 2020) позволяют ввести более или менее объективный критерий, позволяющий (по крайней мере, для социальной фазы Большой истории) выявить, имеют ли фазовые переходы в определенном ряду более или менее одинаковую глобальную демографическую значимость. Стоит обратить внимание на то, что это позволяет немедленно обнаруживать «игрушечные фазовые переходы», введенные в серию с явным намерением смоделировать эффект Вебера – Фехнера.

Операционализируем глобальную демографическую значимость каждого данного фазового перехода как количество раз, в которое увеличилось население между данным фазовым переходом и последующим фазовым переходом. Рассмотрим, например, диаграмму глобальной демографической значимости фазовых переходов для ряда, использованного для выявления сингулярности Малкова – Нерона (Рис. 4):

¹¹ По крайней мере, в своих частях, описывающих социальную фазу Большой истории.

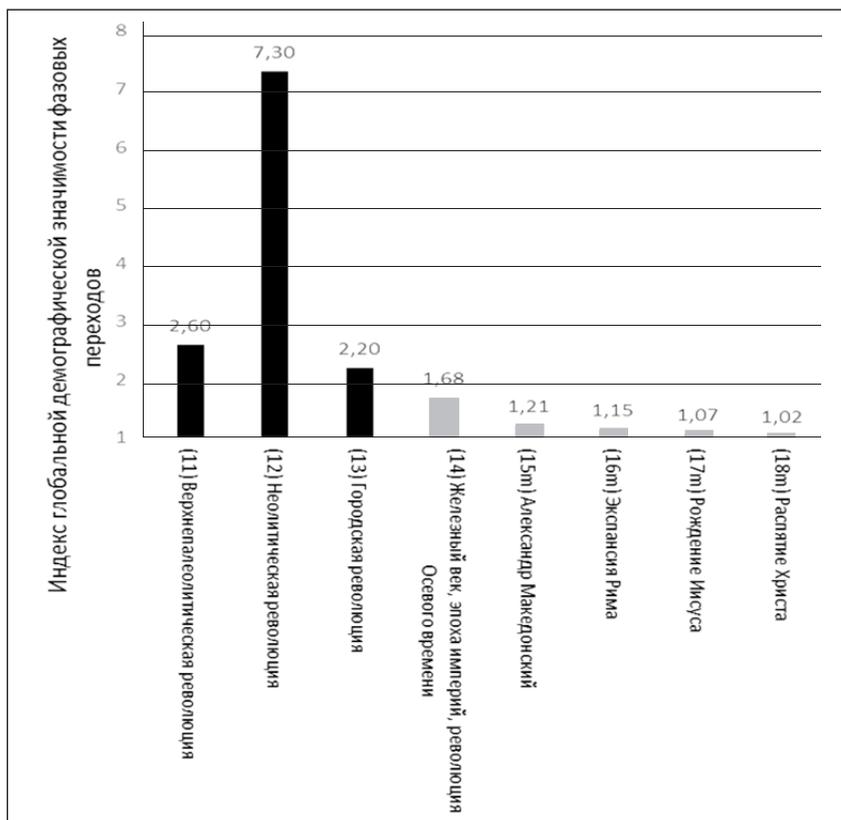


Рис. 4. Глобальное демографическое значение фазовых переходов для ряда, использованного для обнаружения сингулярности Малкова – Нерона. Черные столбики соответствуют фазовым переходам из исходного ряда Панова; серые столбики соответствуют фазовым переходам, добавленным к ним (с помощью С. Ю. Малкова) ранними христианами

Как видим, попытка Малкова симитировать эффект Вебера – Фехнера оказалась вполне удачной. Идея о том, что наивный наблюдатель включит больше событий из недавнего прошлого и что это в тенденции будет менее значимым в глобальном масштабе (хотя они могут выглядеть чрезвычайно важными на местном уровне), прошла своего рода формальную проверку – события, добавленные ранними христианами (с помощью Малкова) к ряду Панова, оказались имеющими гораздо меньшую глобальную демографическую значимость, что привело к преждевременной сингулярности (или, используя нарратив Малкова, к ложным ожиданиям

Судного дня в 64 г. н. э.). Обратим внимание, что все «игрушечные фазовые переходы», добавленные в серию для имитации эффекта Вебера – Фехнера, очень легко отличить от реальных фазовых переходов по их гораздо меньшей глобальной демографической значимости¹².

Расчет глобальной демографической значимости фазовых переходов для ряда, использованного для обнаружения сингулярности Добролюбова – Стефенсона, дает очень похожие результаты (см. Рис. 5):

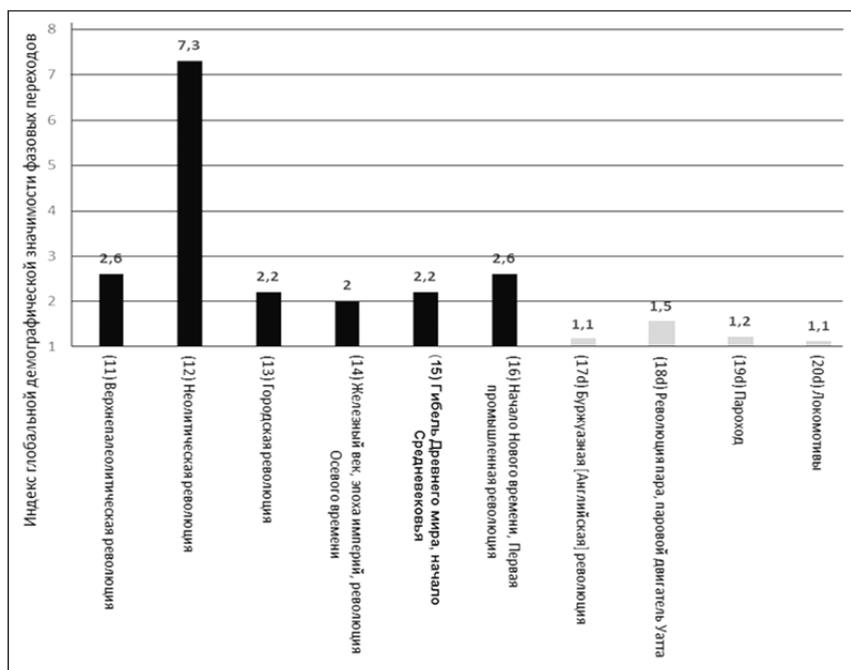


Рис. 5. Глобальное демографическое значение фазовых переходов для ряда, использованного для обнаружения сингулярности Добролюбова – Стефенсона

Примечание: черные столбики соответствуют фазовым переходам из исходного ряда Панова; серые столбики соответствуют фазовым переходам, добавленным к ним (с помощью С. Добролюбова) знаменитым изобретателем паровоза.

Как мы видим, как только под влиянием закона Вебера – Фехнера англичанин из повествования Добролюбова (возможно, сам Джордж Стефенсон) начал добавлять все больше и больше локально (но не глобально)

¹² Отметим также, что добавление события «Александр Македонский» к серии существенно уменьшило глобальное демографическое значение пановского фазового перехода № 14 («Имперская древность, железный век, революция Осеево века»). Без этого было бы 2,0, а не 1,68.

важных событий все более и более недавнего прошлого, мы начали находить в ряду события с гораздо меньшим глобальным демографическим значением, что привело к еще одной преждевременной сингулярности.

При вычислении сингулярности Коротаева – Архимеда я добавил к серии Панова только один «игрушечный фазовый переход» – «Фазовый переход 17а. Падение Сиракуз, начало конца эллинистического мира – за 0 лет до настоящего времени Архимеда (212 г. до н. э.)». Главный эффект был достигнут путем разделения пановского «[фазового перехода] № 14. Имперская древность, железный век, революция Осевого времени – 800–500 до н. э.» на три фазовых перехода:

- Фазовый переход 14а. Железная революция – 800 лет до настоящего времени Архимеда (= 1000 г. до н. э.).
- Фазовый переход 15а. Революция Осевого времени – 240 лет до настоящего времени Архимеда (= 450 г. до н. э.).
- Фазовый переход 16а. Эпоха империй – 40 лет до настоящего времени Архимеда (= 250 г. до н. э.).

Глобальная демографическая значимость этих фазовых переходов выглядит следующим образом (см. Рис. 6):

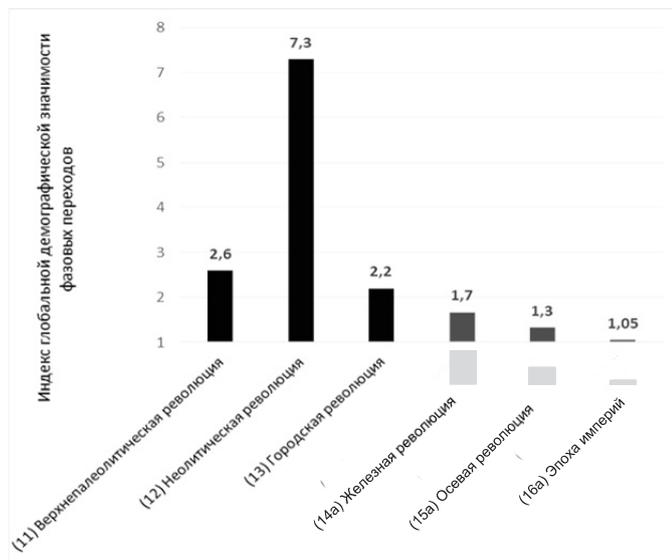


Рис. 6. Глобальная демографическая значимость фазовых переходов для ряда, использованного для обнаружения сингулярности Коротаева – Архимеда

Примечание: черные столбики соответствуют фазовым переходам из исходного ряда Панова; серые столбики соответствуют фазовым переходам, добавленным к ним (с помощью А. В. Коротаева) Архимедом.

Фактически Рис. 6 показывает, что А. Д. Панов был прав, определяя железную революцию, осевую революцию и эпоху империй как единый фазовый переход (сравнимый по значимости, скажем, с Городской революцией (13) или революцией раннего Нового времени (16)). Похоже, что три соответствующие трансформации имели значение фазового перехода только взятые вместе. Между прочим, единственный действительно «игрушечный фазовый переход», добавленный к серии «Архимедом» (*Фазовый переход 17a: Падение Сиракуз, начало конца эллинистического мира*), прямо не виден на Рис. 6, так как он использовался только для расчета глобальной демографической значимости эпохи империй (то есть глобальной демографической значимости появления нового поколения административных технологий). Но это очень заметно косвенно, так как его включение искусственно, но значительно снизило глобальную демографическую значимость фазового перехода (16a).

В целом, как мы могли видеть, эффект Вебера – Фехнера можно довольно легко идентифицировать в списке фазовых переходов (если учитывать глобальную демографическую значимость соответствующих фазовых переходов) по уменьшающейся значимости более поздних фазовых переходов, так как, согласно закону Вебера – Фехнера, более недавние события с большей вероятностью будут восприниматься как более значимые, чем события более отдаленные. На этом фоне рассмотрим глобальную демографическую значимость фазовых переходов в рядах Модиса – Курцвейла и Панова, предполагающих сингулярность в XXI в. (см. Рис. 7 и 8):

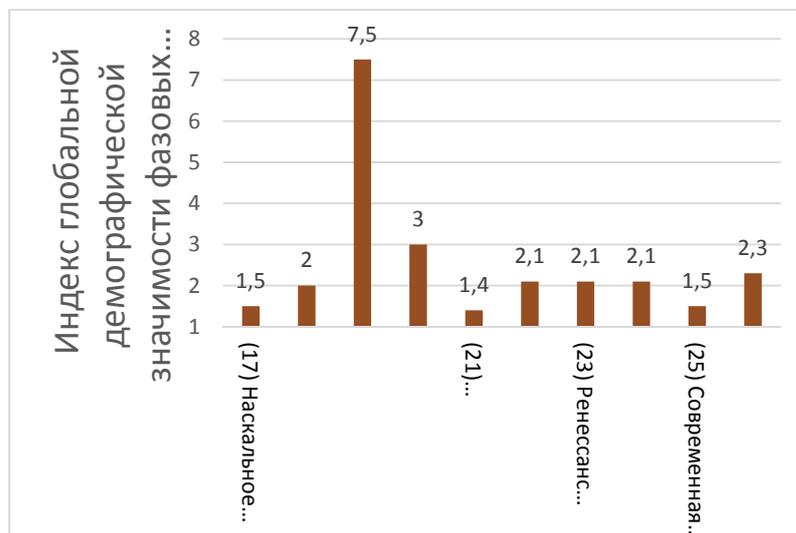


Рис. 7. Глобальная демографическая значимость фазовых переходов в ряду Модиса – Курцвейла

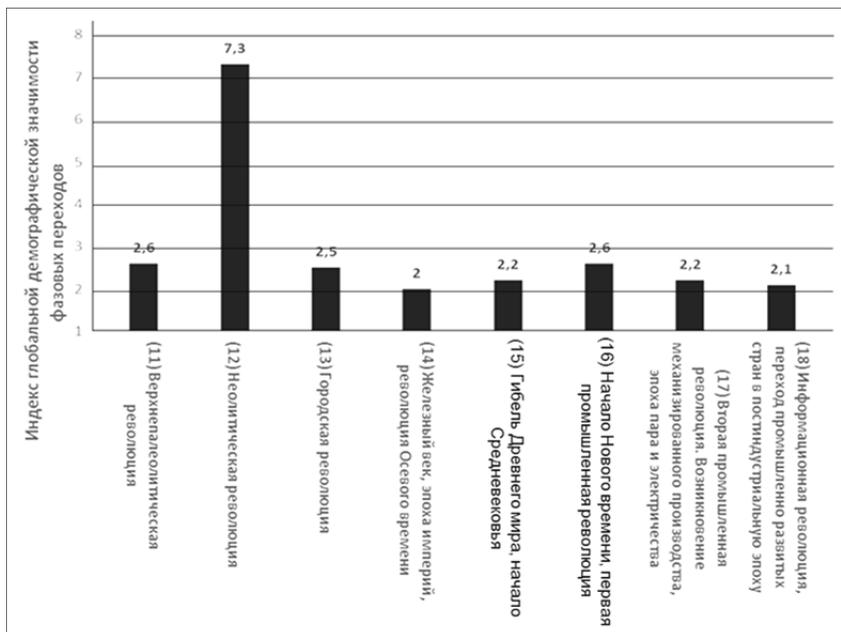


Рис. 8. Глобальная демографическая значимость фазовых переходов в ряду Панова

Как видим, и ряд Модиса – Курцвейла, и ряд Панова сильно отличается от разобранных выше «игрушечных» рядов Малкова – Нерона, Коротаева – Архимеда и Добролюбова – Стефенсона. И главное отличие – это как раз отсутствие заметного влияния эффекта Вебера – Фехнера как в ряду Модиса – Курцвейла, так и в серии Панова. Для этих двух серий мы не находим какой-либо значимой тенденции к тому, чтобы более недавние фазовые переходы были менее важны объективно (по выбранному нами критерию), чем более отдаленные события. Все «вехи» в обеих сериях характеризуются примерно одинаковым глобальным демографическим значением¹³.

Таким образом, наш формальный тест отвергает гипотезу о том, что (по крайней мере, для социальной фазы Большой истории¹⁴) гиперболиче-

¹³ С единственным заметным исключением в виде неолитической революции.

¹⁴ Ситуация с биологической фазой Большой истории оказывается более сложной. С одной стороны, А. А. Фомин (2020; Fomin 2020) предоставляет дополнительные доказательства, показывающие, что кривая гиперболического ускорения социальной мегаэволюции довольно плавно продолжает биологическую. С другой стороны, некоторые расчеты, представленные С. В. Цирелем (2020; Tsirel 2020a), заставляют предполагать, что без влияния эффекта Вебера – Фехнера гиперболическая кривая глобального биологического мегаэво-

ский паттерн ускорения, обнаруживаемый как в серии Модиса – Курцвейла, так и в ряду Панова, является продуктом искаженного человеческого восприятия, описываемого законом Вебера – Фехнера. С другой стороны, конечно, он подтверждает правильность гипотезы о том, что эта модель ускорения отражает фактическое гиперболическое ускорение глобальной мегаэволюции с сингулярностью XXI в. в качестве его параметра.

Как уже упоминалось выше, глобальную гиперболу на определенном уровне анализа можно считать составленной из вложенных логистических кривых, соответствующих фазовым переходам; с другой стороны, мегаэволюционные фазовые переходы, как правило, вызываются механизмами положительной обратной связи второго порядка, порождающими гиперболические кривые со своими собственными сингулярностями. Тем не менее это не делает сингулярность XXI в. менее сингулярной, поскольку на данном уровне анализа она оказывается «сингулярностью сингулярностей», отмечающей точку, после которой 4-миллиардная модель гиперболического роста частоты сингулярностей фазовых переходов неизбежно будет заменена какой-то совершенно новой моделью глобальной макроэволюции.

Отметим также: тот факт, что в зоне сингулярности мы наблюдаем самые высокие темпы макроэволюционного развития, предполагает, что около сингулярности XXI в. мы можем ожидать «сингулярного» фазового перехода, новой крупной «пороговой вехи» Большой истории¹⁵, которая может быть сопоставима, скажем, с пороговой вехой Большой истории № 6 («Появление людей и коллективного научения»), а не с обычным фазовым переходом из списков Модиса – Курцвейла или Панова. Что бы это могло быть? Существенное изменение биологической природы человека / трансчеловеческий переход? Сильный ИИ? Появление глобального мозга?¹⁶ Все это (вместе или даже по отдельности) означало бы, что на смену человеческой истории в том виде, в каком мы ее знаем, придет какая-то другая история¹⁷. Как уже упоминалось, это, по-видимому, связано с тем,

люционного ускорения действительно может выглядеть значительно менее гладкой, чем она смотрится теперь как в серии Курцвейла – Модиса, так и в ряду Панова (особенно для самых ранних фаз биологической мегаэволюции).

¹⁵ 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 обучения» (*collective learning*), 7-й – неолитическую революцию, а 8-й – глобальную модернизацию последних веков, особенно активно протекавшую в XIX–XX вв. (*Modern Revolution*).

¹⁶ См., например: Bohan 2020; Nazaretyan 2020; Last 2020; Tsirel 2020b.

¹⁷ Хотя это никоим образом нельзя предсказать путем вычисления математических сингулярностей.

что в районе сингулярности XXI в. скорость глобального макроразвития достигла максимальных значений, что, по-видимому, способно произвести в ближайшие десятилетия сингулярный глобальный фазовый переход даже на фоне снижения (пока все еще чрезвычайно высоких) темпов технологического роста.

Приложение

Табл. 1. Сравнение коэффициентов сокращения периода в ряду Панова с соответствующим приростом численности населения мира (расчеты А. Фомина)

Биосферная революция / крупный глобальный технологический прорыв	Примерные датировки революций, н. э.	Численность населения мира, млн	Прирост численности населения мира со времени предыдущей революции, раз	Временной период, лет со времени предыдущей революции	Сокращение периода по сравнению с предыдущим периодом, раз
(11) Верхнепалеолитическая революция	-40000	2,0		75000	
(12) Неолитическая революция	-10500	5,25	2,6	29500	2,6
(13) Городская революция	-3500	38,7	7,3	7000	4,2
(14) Железный век, эпоха империй, революция Осевого времени	-759	98,2	2,5	2740	2,5
(15) Гибель Древнего мира, начало Средневековья	500	199,5	2,0	1260	2,2
(16) Начало Нового времени, первая промышленная революция	1500	435,3	2,2	1000	1,3
(17) Вторая промышленная революция. Возникновение механизированного производства, эпоха пара и электричества	1835	1128,8	2,6	335	3,0
(18) Информационная революция, переход промышленно развитых стран в постиндустриальную эпоху	1950	2536,4	2,2	115	2,9

Окончание Табл. 1

Биосферная революция / крупный глобальный технологический прорыв	Примерные датировки революций, н. э.	Численность населения мира, млн	Прирост численности населения мира со времени предыдущей революции, раз	Временной период, лет со времени предыдущей революции	Сокращение периода по сравнению с предыдущим периодом, раз
(19) Кризис и распад социалистического лагеря, информационная глобализация	1991	5398,3	2,1	41	2,8
<i>Среднее</i>			2,9		2,7

Примечание: оценки численности населения мира были получены путем усреднения (для одного и того же момента времени) большого числа оценок разных авторов, реконструировавших динамику численности населения мира, результаты исследований которых обобщены в работе С. В. Циреля (2008). Источник данной таблицы: Fomin 2020: 110; см. также: Фомин 2020). Таблица воспроизводится в этом разделе с небольшими изменениями, чтобы облегчить сравнение рядов Модиса – Курцвейла и Панова.

Табл. 2. Сравнение коэффициентов сокращения периода в ряду Модиса – Курцвейла с соответствующим приростом численности населения мира

«Канонические вехи» / «скачки сложности» Модиса – Курцвейла	Примерные датировки «вех», н. э.	Численность населения мира, млн	Прирост численности населения мира со времени предыдущей «вехи», раз	Временной период, лет со времени предыдущей «вехи»	Сокращение периода по сравнению с предыдущим периодом, раз
(17) Наскальное искусство, протописьмо (~Верхнепалеолитическая революция)	-33800	2		70000	
(18) Технология добычи огня	-17000	3	1,5	16800	4,2
(19) Появление земледелия	-9000	6	2,0	8000	2,1
(20) Изобретение колеса / письмо / древние империи / большие цивилизации / Египет / Месопотамия (~Городская революция)	-2900	45	7,5	6100	1,3

Окончание Табл. 2

«Канонические вехи» / «скачки сложности» Модиса – Курцвейла	Примерные датировки «вех», н. э.	Численность населения мира, млн	Прирост численности населения мира со времени предыдущей «вехи», раз	Временной период, лет со времени предыдущей «вехи»	Сокращение периода по сравнению с предыдущим периодом, раз
(21) Демократия / города-государства / древние греки / Будда [≈ Осевое время]	–440	135	3,0	2460	2,5
(22) Изобретение нуля и десятичного исчисления, падение Рима, исламские завоевания	1440 лет до наст. времени/ 560	190	1,4	1000	2,5
(23) Ренессанс (книгопечатание) / открытие Нового Света / научный метод	540 лет до наст. времени/ 1460	390	2,1	900	1,1
(24) Промышленная революция (паровой двигатель) / политические революции (Франция, США)	225 лет до наст. времени/ 1775	800	2,1	315	2,9
(25) Современная физика / радио / электричество / автомобиль / аэроплан	100 лет до наст. времени/ 1900	1656	2,1	125	2,5
(26) Дешифровка структуры ДНК / изобретение транзистора / ядерная энергия / Вторая мировая война / холодная война / спутник	50 лет до наст. времени/ 1950	2536	1,5	50	2,5
(27) Интернет / расшифровка генома человека	5 лет до наст. времени/ 1995 ¹⁸	5744	2,3	45	1,1
<i>Среднее</i>			2,6		2,3

Примечание: оценки численности населения мира были получены путем усреднения (для одного и того же момента времени) большого числа оценок разных авторов, реконструировавших динамику численности населения мира, результаты исследований которых обобщены в работе С. В. Циреля (2008).

¹⁸ Вспомним здесь, что сам Модис вполне определенно утверждает: в его исследовании за временную точку «настоящего времени» принимается 2000 год (Modis 2003: 31).

Библиография

- Гринин Л. Е., Коротаев А. В. 2009.** *Социальная макроэволюция. Генезис и трансформации Мир-Системы.* М.: ЛКИ/URSS.
- Добролюбов С. В. 2016.** Глобальное общество как точка сингулярности и фазового перехода к новому типу социальной эволюции. *Эволюция: срезь, правила, прогнозы* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 229–262. Волгоград: Учитель.
- Дьяконов И. М. 1994.** *Пути истории. От древнейшего человека до наших дней.* М.: Вост. лит-ра.
- Капица С. П. 1996.** Феноменологическая теория роста населения Земли. *Успехи физических наук* 166(1): 63–80.
- 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.: КомКнига/URSS.
- Коротаев А. В. 2020а.** Математический анализ сингулярности XXI века в контексте Большой истории. *Эволюция: Эволюционные грани сингулярности* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 19–79. Волгоград: Учитель.
- Коротаев А. В. 2020б.** О взаимосвязи между формулой увеличения планетарной сложности и уравнением гиперболического роста численности населения Земли. *Эволюция: Эволюционные грани сингулярности* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 245–262. Волгоград: Учитель.
- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2007.** *Законы истории: Математическое моделирование развития Мир-Системы. Демография, экономика, культура.* М.: КомКнига/URSS.
- Малков С. Ю. 2020.** О сингулярности в биологической и социальной эволюции. *Эволюция: Эволюционные грани сингулярности* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 283–303. Волгоград: Учитель.
- Назаретян А. П. 2017.** *Нелинейное будущее. Мегаистория, синергетика, культурная антропология и психология в глобальном прогнозировании.* М.: Аргмак-Медиа.
- Назаретян А. П. 2018.** Кошмары и надежды сингулярности (заметки к дискуссии). *Историческая психология и социология истории* 11(2): 113–123.
- Назаретян А. П. 2020.** «Загадочная сингулярность» XXI века в свете Мегаистории. *Эволюция: Эволюционные грани сингулярности* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 80–101. Волгоград: Учитель.
- Панов А. Д. 2005.** Сингулярная точка истории. *Общественные науки и современность* 1: 122–137.
- 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.

- Цирель С. В. 2008.** Заметки об историческом времени и путях исторической эволюции. *История и математика: Модели и теории* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 246–278. М.: ЛКИ.
- 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.
- Ясперс К. 1991.** *Смысл и назначение истории*. М.: Политиздат.
- Bohan E. 2020.** Threshold 9: Big History as a Roadmap for the Future. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 267–286. Cham: Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_13.
- Chandler T. 1987.** *Four Thousand Years of Urban Growth: An Historical Census*. Lewiston, NY: Edwin Mellen Press.
- Christian D. 2008.** *This Fleeting World: A Short History of Humanity*. Berkshire: Great Barrington.
- DeLong J. B. 1998.** Estimating World GDP, One Million B.C. – Present. URL: http://www.j-bradforddelong.net/TCEH/1998_Draft/World_GDP/Estimating_World_GDP.html.
- Diakonoff I. 1999.** *The Paths of History*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dobrolyubov S. 2020.** Global Society as Singularity and Point of Transition to the New Phase of Social Evolution. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 535–558. Cham: Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_24.
- Fechner G. 1966.** *Elements of Psychophysics*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Fitts P. M., Posner M. I. 1973.** *Human Performance*. London: Prentice Hall.
- Foerster H. von, Mora P. M., Amiot L. W. 1960.** Doomsday: Friday, 13 November, AD 2026. *Science* 132(3436): 1291–1295. URL: <https://doi.org/10.1126/science.132.3436.1291>.
- 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. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_5.
- Hellemans A., Bunch B. 1988.** *The Timetables of Science*. New York, NY: Simon and Schuster.
- Jaspers K. 1949.** *Vom Ursprung und Ziel der Geschichte*. München: Piper.
- Korotayev A. 2005.** A compact macromodel of World System Evolution. *Journal of World-Systems Research* 11(1): 79–93. URL: <https://doi.org/10.5195/jwsr.2005.401>.
- Korotayev A. 2006.** The World System History Periodization and Mathematical Models of Socio-historical Processes. *History & Mathematics* 1: 39–98
- Korotayev A. 2007.** 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. Thompson, pp. 133–160. London: Routledge.

- 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.
- Korotayev A. 2015.** Singular Points of Big History. Archimedes Singularity. Paper presented at the 2nd Symposium ‘Big History and Global Evolution’, October 27–29, 2015 Moscow State University. URL: https://www.academia.edu/39090913/Korotayev_A_2015_Singular_Points_of_Big_History_Archimedes_Singularity_Paper_presented_at_the_2nd_Symposium_Big_History_and_Global_Evolution_October_27_29_2015_Moscow_State_University_SHORT_VERSION.
- Korotayev A., Malkov A., Khaltourina D. 2006.** *Introduction to Social Macrodynamics: Secular Cycles and Millennial Trends*. Moscow: KomKniga/URSS.
- Kremer M. 1993.** Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics* 108: 681–716. URL: <https://doi.org/10.2307/2118405>.
- Kurzweil R. 2012.** On Modis’ “Why the Singularity Cannot Happen”. *Singularity Hypotheses: A Scientific and Philosophical Assessment* / Ed. by A. H. Eden, J. H. Moor, J. H. Soraker, E. Steinhart, pp. 343–348. Berlin: Springer.
- Last C. 2020.** Global Brain: Foundations of a Distributed Singularity. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 363–375. Cham: Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_16.
- LePoire D. J. 2015.** Potential Nested Accelerating Returns Logistic Growth in Big History. *Evolution. From Big Bang to Nanorobots* / Ed. by L. E. Grinin, A. V. Korotayev, pp. 46–60. Volgograd: Uchitel.
- LePoire D. J. 2020.** Exploring the Singularity Concept within Big History. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 77–97. Cham: Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_3.
- Malkov S. 2020.** About the Singularity in Biological and Social Evolution. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 517–534. Cham: Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_23.
- Markov A., Korotayev A. 2007.** Phanerozoic Marine Biodiversity Follows a Hyperbolic Trend. *Palaeoworld* 16(4): 311–318. URL: <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2007.01.002>.
- Modelski G. 2003.** *World Cities: –3000 to 2000*. Washington, DC: FAROS 2000.
- Modis T. 2003.** The Limits of Complexity and Change. *The Futurist* 37(3): 26–32.
- 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. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_15.

- 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. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-820>.
- Tsirel S. 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.
- Tsirel S. 2020a.** Big History and Singularity as Metaphors, Hypotheses and Prediction. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 119–144. Cham: Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_6.
- Tsirel S. 2020b.** Future Technological Achievements as a Challenge for Post-Singularity Human Society. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 419–437. Cham: Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-8_19.
- Widdowson M. 2020.** The 21st Century Singularity: The Role of Perspective and Perception. *The 21st Century Singularity and Global Futures. A Big History Perspective* / Ed. by A. V. Korotayev, D. LePoire, pp. 404–427. Cham: Springer. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33730-822>.