

«Парадоксы роста». Главы из книги

Сергей Петрович Капица (14.02.1928 -14.08.2012)

советский и российский учёный-физик, просветитель, телеведущий, главный редактор журнала «В мире науки», вице-президент РАН.

С 1973 года бессменно вёл научно-популярную телепрограмму «Очевидное — невероятное».

Сын лауреата Нобелевской премии Петра Леонидовича Капицы.

В поисках модели роста человечества

Введение

В основе исследования лежит количественное описание человечества как динамической системы. Ее рост и развитие обязано взаимодействию, охватывающему всех людей и возникшему с появлением человека, одаренного сознанием. Недаром еще Аристотель в начале своей «Метафизики» говорит, что «все люди от природы стремятся к знанию». Именно развитым сознанием, языком и культурой мы коренным образом отличаемся от животных, и потому нас в сто тысяч раз больше, чем соизмеримых с нами тварей: по существу этому вопросу и посвящены данные исследования процесса роста человечества.

Именно развитым сознанием, языком и культурой мы отличаемся от животных, и потому нас в сто тысяч раз больше.

Работа по данной проблематике привела к тому, что была предложена количественная модель нашего роста и развития. Однако тогда не было полной ясности, почему эта модель, математические средства которой очень просты, даже элементарны, оказалась столь содержательной и эффективной. Поэтому в данном очерке не только представлена модель роста человечества, но и показано, как полученные результаты поддерживаются представлениями антропологии и истории, как они соотносятся с выводами экономики и анализом устойчивости развития. Таким образом, изложение посвящено не столько выводу основных математических формул, сколько выяснению обстоятельств их соответствия действительности и представлениям других наук, в первую очередь общественных. Поэтому математическая часть дана в приложении.

Впервые к этому кругу вопросов обратился Томас Мальтус. Несмотря на то что юноша был студентом богословского факультета Кембриджского университета, он был хорошо образован математически. При посещении его мемориального кабинета в Колледже Иисуса в Кембриджском университете я обратил внимание, какое место там занимали сочинения Леонарда Эйлера. Этот великий математик развил математический анализ в том виде, в каком мы его сейчас знаем, который и поныне служит надежным инструментом физиков и инженеров. Им вполне владел Мальтус: недаром он занял девятое место на математической олимпиаде университета в 1783 г. Хотелось поэтому надеяться, что и современные обществоведы будут в состоянии овладеть математикой на уровне, который продемонстрировал автор первой модели роста населения.

Подход и миропонимание Мальтуса непосредственно связаны с развитием классической механики в XVIII в. и отвечали механистической, ньютоновской методологии и взглядам эпохи Просвещения, а также представлениям физиократов, что сельское хозяйство и производство продуктов питания определяют развитие общества. Само же предположение Мальтуса о том, что экспоненциальный рост населения ограничивается ресурсами, оказало существенное влияние на всё последующее развитие подобных исследований.

Последним обращением к такому подходу стал первый доклад Римскому клубу «Пределы роста». В 1972 г., следуя идеям американского ученого Форрестера о математическом моделировании сложных систем, авторы этого доклада под руководством Денниса Медоуза, проанализировав обширную базу данных, сделали попытку описать текущее развитие человечества. В основе доклада лежало моделирование глобального процесса роста как суммы слагающих его составляющих. Так было привлечено внимание к глобальным проблемам, в чем состоит большая заслуга авторов первого доклада Римскому клубу. Однако их результаты, основанные на редукционизме при суммировании факторов роста, показали всю ограниченность линейных моделей и концепций ресурсного ограничения

роста человечества. В этом отношении представляет интерес замечание американского экономиста Герберта Саймона:

Сорок лет опыта моделирования сложных систем на компьютерах, которые с каждым годом становились все больше и быстрее, научили, что грубая сила не поведет нас по царской тропе к пониманию таких систем... Тем самым моделирование потребует обращения к основным принципам, которые приведут нас к разрешению этого парадокса сложности.

Данная работа — ответ на этот вызов. Действительно, целостное описание человечества приводит нас к выводу, что социальные процессы развития непосредственно связаны с ростом населения. Однако это нелинейная связь, в которой нет простой причинно-следственной зависимости роста и развития. Поэтому такой подход возможен только, если рассматривать все человечество как целое.

Так, большинство крупных современных историков — Фернан Бродель, Карл Ясперс, Иммануил Валлерштейн, Николай Конрад, Игорь Дьяконов — утверждали, что подлинное понимание развития человечества возможно только на глобальном уровне. В значительной мере ими был развит целостный взгляд на мировую историю, что стало существенным фактором для данных исследований, в которых с самого начала рассматривалось развитие всего человечества. Недаром академик Конрад в итоговом сборнике статей «Запад и Восток» (1972) писал:

Таким образом, имеющиеся у нас знания прошлого в соединении с тем, что нам открывает наша современная наука по отношению как к прошлому, так и к будущему, позволяют нам осмыслить ход исторической жизни человечества и тем самым наметить философскую концепцию истории. Сделать это можно, однако, только принимая во внимание историю всего человечества, а не какой-либо группы народов или стран...

Фактов, свидетельствующих, что история человечества есть история именно всего человечества, а не отдельных изолированных народов и стран, что понять исторический процесс можно, только обращаясь к истории человечества, таких фактов можно привести сколько угодно и во всех областях. Вся история полна ими.

Немецкий историк и философ Карл Ясперс в книге «Смысл и назначение истории» (1948) первую часть «Мировая история» начинает словами:

По широте и глубине перемен во всей человеческой жизни нашей эпохе принадлежит решающее значение. Лишь история человечества в целом может дать масштаб для понимания того, что происходит в настоящее время.

Ясперс подробно аргументирует необходимость рассмотрения истории человечества как глобального процесса, когда все человечество в целом становится объектом исследования. Им выделяются единые процессы развития, которые охватывают весь мир. Однако историческая наука прошла долгий путь в познании общих закономерностей, которые определяют рост и развитие человечества. Надо отметить, что эти поиски были нелегкими, поскольку, как и в демографии, попыткам уловить общие закономерности мешала разрозненность фактов и обстоятельств в постоянно увеличивающемся множестве частных случаев. Недаром видный экономист Фридрих фон Хайек отмечал:

Деление исследований общества на специализированные дисциплины привело к тому, что все наиболее существенные вопросы пренебрежительно относились к маргиналиям неясной философии развития общества.

Приведенные взгляды историков стали существенным подтверждением идеи, что необходим подход к росту населения мира и развития человечества как к единому целому, как к развивающейся динамической системе. Однако такой взгляд традиционно отрицался в демографии, поскольку задачу демографии видели в том, чтобы в рамках отдельной страны или региона связать рост населения с конкретными социальными и экономическими условиями и на этой основе дать рекомендации по демографической политике. Именно это тормозило принятие глобального и феноменологического подхода и вытекающих из него выводов как для демографов, так и для обществоведов, концептуально повязанных границами стран.

Следует подчеркнуть, что феноменологический подход понимается нами так, как это принято в физике, а не в философии. Иными словами, мы обращаемся к общим принципам самоподобного развития, причинности, выраженной в статистических представлениях, и на этой основе строим теоретические модели. Поэтому мы и не обращаемся к так называемым элементарным явлениям, частично описывающим свойства составляющих систему компонент, суммируя которые можно представить целое. Опыт показывает, что даже для более простых, чем человечество, систем такой путь построения модели часто практически неосуществим.

Первый и наиболее успешный опыт феноменологического подхода был развит в термодинамике, когда газ рассматривался как система из многих взаимодействующих частиц. Благодаря столкновениям молекул, находящихся в термодинамическом равновесии, их состояние менялось медленно и обратимо. В этом случае можно ввести такие понятия, определяющие термодинамическое состояние системы, как

температура и давление, а также обратиться к представлению об энергии и энтропии, не входя в детальное понимание свойств атомов или молекул, составляющих газ.

Только рассматривая все население мира как взаимосвязанную систему удалось описать развитие человечества в целом.

В дальнейшем при рассмотрении процессов развития сложных систем — систем, далеких от равновесия, в которых происходят необратимые процессы эволюции и роста, — оказалось, что феноменологический подход открывает путь к пониманию таких систем на

новой основе. Даже для такой сложной системы, как человечество, он позволяет описать процессы роста и развития населения Земли. Только поднявшись на глобальный уровень анализа, переоценив масштаб проблемы, рассматривая уже все население мира как единый объект, как взаимосвязанную систему, удалось описать развитие человечества в целом. Более того, такое обобщенное понимание истории оказалось не только возможным, но и очень результативным. Именно с таких позиций можно не только описать наше прошлое, включая и самое далекое, но и понять глобальный демографический переход, который мы переживаем, и на этой основе предложить картину нашего развития в обозримом будущем.

Для этого надо было коренным образом изменить метод исследования, точку зрения как в пространстве, так и во времени и рассматривать человечество с самого начала его появления как глобальную структуру. В этом случае причину роста следует искать не в сумме всех действующих факторов, а в том коллективном взаимодействии, которое охватывает все человечество и определяет его развитие. Более того, как выяснилось, развитие этой динамической системы не только нелинейное и необратимое, но и далекое от равновесия и в настоящее время завершается демографической революцией. Это фазовый переход в новое состояние именно в физическом смысле. За всю свою историю человечество никогда прежде не переживало такой глубокой перестройки системы, что и делает наше время столь уникальным.

Столь глубокой перестройки путем фазового перехода в новое состояние человечество никогда прежде не переживало.

Следует отметить, что этот вывод принимается с трудом. Недаром замечательный математик и физик академик Людвиг Фадеев при обсуждении доклада автора на Президиуме РАН пронизательно заметил, что каждое поколение обычно убеждено в своей исключительности. Именно поэтому он обратил внимание на необходимость последовательного утверждения сделанного вывода. В значительной мере в этом и состоит задача автора. Вот почему мы обратимся к феноменологическому целостному описанию роста и будем рассматривать человечество как единую, сильно связанную систему, в которой действует управляющий развитием общий механизм, и таким образом поймем происходящее. Тогда достигнутое понимание может стать основой действия.

Течение времени в истории неравномерно и зависит от самого развития.

Появление такой системы, как человечество, есть результат его *эволюции* и *самоорганизации*, которые привели к возникновению качественно нового объекта, выделяющего его из всего животного мира.

Поэтому для его исследования мы обращаемся к методам, использующим коллективные взаимодействия для описания причинных связей в эволюции сложных систем. Под сложными системами мы понимаем системы, развитие которых зависит от числа связей между людьми на нашей планете, и сложность системы определяется не суммой числа людей, а квадратом численности населения мира. В этом состоит нелинейность процесса роста и невозможность обращения к простым причинно-следственным связям между ростом и развитием. При этом оказывается, что течение времени в истории неравномерно и зависит от самого развития. Сжатие исторического времени крайне обостряет темпы развития и придает особое значение всему, что происходит в эпоху демографической революции.

Таким образом, при интерпретации феноменологической теории роста населения нашей планеты необходимо использовать представления физики нелинейных явлений и неравновесных процессов, развитые уже в науке XX в., и с самого начала отбросить аддитивность и линейный подход. Отметим, что такая теория в принципе должна оперировать статистическими распределениями для переменных, но на первом этапе автор ограничился упрощенным подходом, вводя их средние значения. Обращаясь к идее сложности и взаимосвязанности системы, которой мы описываем развитие человечества, мы преследовали цель выяснить смысл сделанных выводов и определить пределы их применимости. В итоге именно феноменологическое понимание в противовес редукционизму позволяет положить наши выводы в основу действенной политики.

Обратимся к вопросу о численности человечества по сравнению со всеми другими животными. Самое главное, что нас в **сто тысяч раз** больше, чем сравнимых с нами по массе животных, таких как волки или медведи в наших широтах или крупные обезьяны в тропических странах (см. рис. 1).

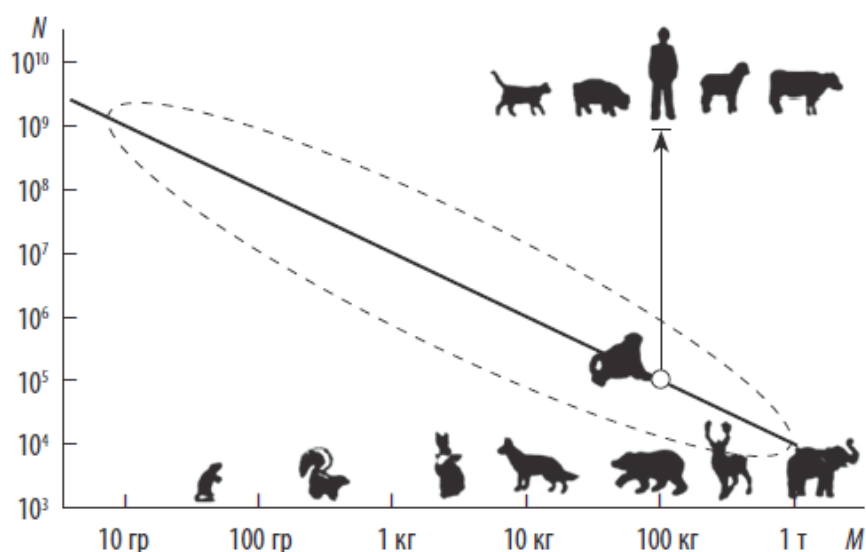


Рис. 1. Численность животных разных видов на Земле в зависимости от их массы

Этот существенный факт требует пояснения. Заметим, что именно эти животные в мифологическом сознании первобытных людей почитались как наши далекие предки. Однако между нами и ими нет промежуточных форм, которые в наивных образах могли бы объяснить происхождение и эволюцию человека, и человек как бы выпадает из животного мира. Именно такими соображениями руководствуются те, кто до сих пор так настойчиво предлагает неэволюционные пути появления человека, одаренного разумом. Эволюционно и биологически человек очень близок к животному миру. Тем не менее ни один вид сопоставимых с человеком по биологии и питанию животных, чьи популяции занимают ограниченный ареал, а численность вида определяется динамическим равновесием с окружающей природой, никогда не развивался так стремительно, как человек. Подобный рост нашей численности совершенно необычаен и происходит прямо на наших глазах. Так, 75 лет тому назад меня в школе учили, что на Земле 2 млрд человек, а в настоящее время нас более 6,5 млрд. Именно это выделяет нас среди всего мира животных и делает таким особым наш вид, рост его численности и развитие. Более того, человек еще со времен неолита, 10 000 лет тому назад, окружил себя домашними животными, которые тоже умножили свою численность, далеко опередив своих диких собратьев. Так, число голов крупного рогатого скота в мире превышает два миллиарда, а его вклад климатически активных газов (таких как метан и углекислота) в атмосферу сравним с индустриальной деятельностью человека.

Человек окружил себя домашними животными, которые также умножили свою численность, далеко опередив диких собратьев.

Именно разумом человек отличается от всего животного мира, и своим развитым сознанием он обязан стремительному росту своей численности.

Указанные обстоятельства должны учитываться, когда мы обращаемся к общим проблемам роста и развития человечества. В то же время человек, несомненно, представляет собой один вид *Homo sapiens* — человек разумный, с одним и тем же числом

хромосом, а представители разных рас могут скрещиваться между собой. Но именно разумом человек отличается от всего животного мира, и своим развитым сознанием он обязан стремительному росту своей численности. Более того, сжатие исторического времени крайне обостряет темпы развития и придает особое значение всему, что происходит в нашу эпоху. В исследовании этого процесса и сопутствующих явлений в значительной мере и состоит основная цель данной работы.

В заключение заметим, что помимо фундаментального значения таких работ для понимания развития человечества в целом подобные исследования глобальной истории необходимы и для осмысления судеб нашей страны. Благодаря географической протяженности, истории и разнообразию социальных и экономических условий Россия во многом воспроизводит глобальные процессы. Поэтому с учетом исторических масштабов этих проблем для нас существенно их понимание на уровне всего

человечества, что дает возможность обратиться и к российским проблемам в критическую эпоху мировой и отечественной истории.

Таким образом, книга предлагает новое видение прошлого, количественный подход к антропологии и истории. В то же время эти представления затрагивают актуальные вопросы экономики, устойчивости развития и тем самым связаны с вопросами мировой безопасности. И это открывает путь для понимания того социально-экономического кризиса, который так внезапно пришел и теперь стремительно развивается в мире.

Моделирование глобального роста человечества

Ответ на центральный вопрос

— чем человек обязан своему развитию, в результате которого его численность на пять порядков превосходит всех сравнимых с ним тварей, — как антропология, так и история связывают с сознанием человека. Однако для автора задача состоит в том, чтобы выразить этот вывод на языке математических моделей и физических теорий, которые опираются на основные представления, принятые в науках об обществе и экономике.

Для этого посмотрим, как за последние 4000 лет росла численность человечества (см. рис. 2).

Эту картину развития человечества мы представим на полулогарифмической сетке, где течение времени T показано на линейной шкале, а рост населения мира N — на логарифмической шкале, поскольку население за 4000 лет возросло в 100 раз.

На графике видно, как вблизи 2000 г. население мира внезапно устремляется в бесконечность демографического взрыва, который так озадачил демографов.

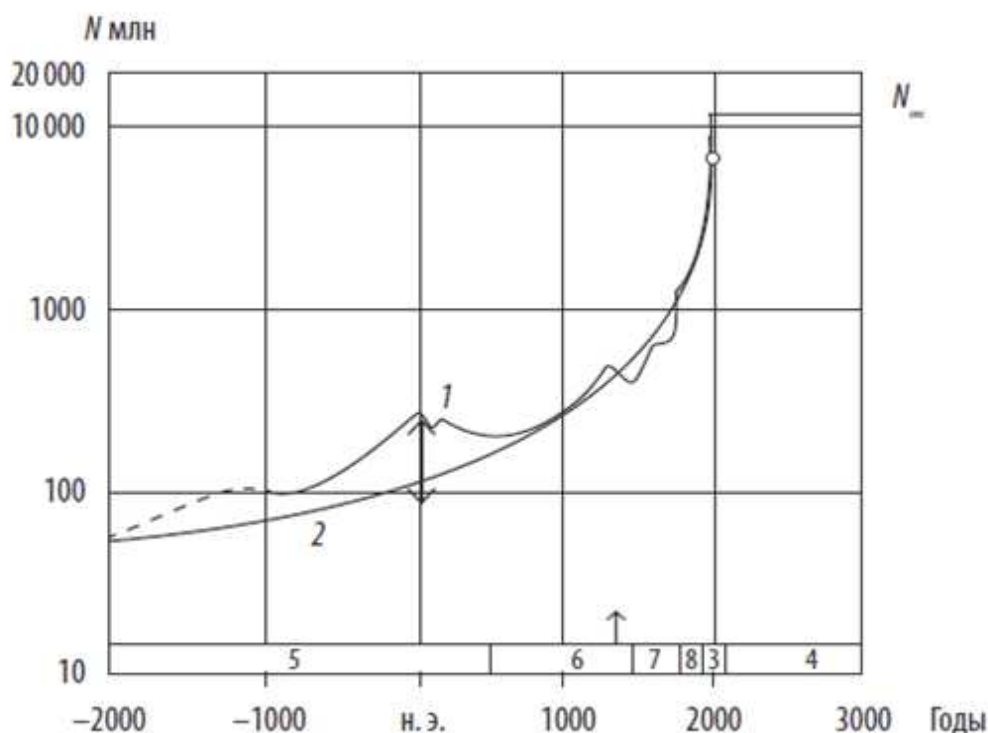


Рис. 2. Население мира от 2000 г. до н. э. до 3000 г.

1 — население мира от –2000 г. до нашего времени; 2 — взрывной режим, ведущий к обострению процесса роста численности населения мира; 3 — демографический переход; 4 — стабилизация населения; 5 — Древний мир; 6 — Средние века; 7 — Новая и 8 — Новейшая история, \uparrow — пандемия чумы 1348 г., \updownarrow — разброс данных; \circ — $N(1995) = 5,7$ млрд; $N_{\infty} = 11,4$ млрд. Если представить всю длительность развития человечества во временном масштабе данного графика от времени антропогенеза, то 5 млн лет назад находится в 100 м влево. Это указывает на то, как неравномерно течение исторического времени, вследствие чего длительность эпох сокращается по мере приближения к моменту демографического перехода и стабилизации населения мира.

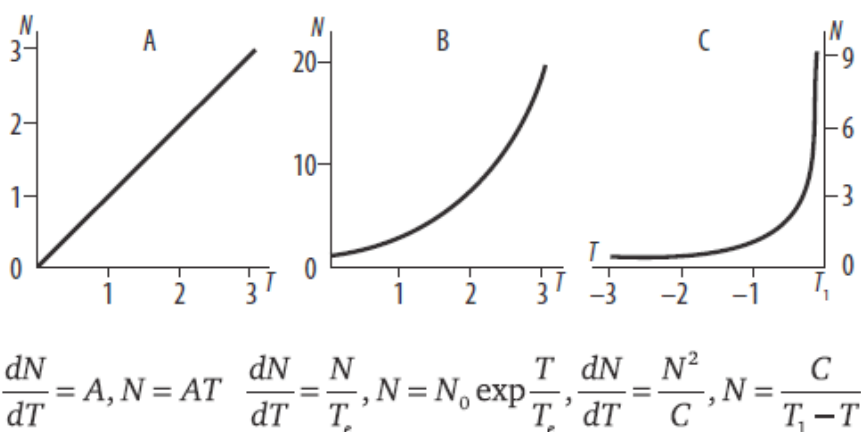


Рис. 3. Линейный рост — А, экспоненциальный рост — В и гиперболический рост — С

Поэтому для описания роста человечества рассмотрим три основных траектории развития (см. рис. 3). Первым показан линейный рост **А**, где численность населения N растет пропорционально времени T и скорость роста постоянна. График линейного роста лучше всего отображать на линейной сетке для времени и численности населения. При экспоненциальном росте **В** скорость уже пропорциональна самой численности населения и в этом случае появляется характерное для роста время. В математике обычно принято обращаться ко времени T_e для экспоненциального роста системы в e раз, где $e = 2,72$ — основание натуральных логарифмов. Часто прибегают к более наглядному времени удвоения $T_2 = 0,7T_e$, которое на 30% меньше T_e . На полулогарифмической сетке экспоненциальный рост отображается прямой, на которой время представлено на линейной, а население — на логарифмической шкале. Если бы население мира росло экспоненциально, то на рис. 2 такой рост отображался бы прямой, чего заведомо нет ни на одном этапе роста.

Рост человечества происходит совершенно иначе. Мы видим, как медленный в начале рост все ускоряется и по мере приближения к третьему тысячелетию устремляется в бесконечность демографического взрыва, и это происходит в конечное время около 2000 г. Такой процесс отражает гиперболический график роста **С**. Эта закономерность, для которой также нет характерного времени роста, представляет для нас основной интерес, поскольку данные для населения мира за миллион лет с удивительной точностью описываются формулой:

$$N = \frac{200 \cdot 10^9}{2025 - T} = \frac{C}{T_1 - T}, \quad (1)$$

где $C = 200$ млрд — постоянная с размерностью [человек × годы], а время выражено в годах. Следует отметить, что указанный закон роста очевидным образом возникает при первых попытках описать данные по росту человечества. Поэтому неудивительно, что к нему приходили в разное время разные исследователи. Одним из первых был Маккендрик, на что автору указал Натан Кейфиц. Затем к этому выражению в 1960 г. обратились американский инженер Форстер и немецкий физик Хорнер. Последний рассматривал возможность справиться со взрывным уходом численности населения на бесконечность путем распространения человечества на другие планеты Солнечной системы.

С Хорнером я впервые встретился на Международном конгрессе по астронавтике в Дрездене, где я выступал с пленарным докладом по глобальным проблемам, и он рассказал о своих идеях. Это заседание особенно запомнилось, так как оно проходило в дни объединения двух Германий в октябре 1991 г.

Заметим также, что к указанной закономерности обратился советский астрофизик И. С. Шкловский в 6-м посмертном издании замечательной книги «Вселенная, жизнь, разум». На основании этой модели он пришел к выводу, что рост определяется и ограничивается социальными и ресурсными, а не биологическими факторами. Эти работы показывают всю широту и сложность проблем, которые следуют из модели неограниченного роста.

Однако в демографии выражение (1), характеризующее гиперболический рост населения мира, никогда всерьез не рассматривалось по трем причинам.

Во-первых, в демографии было принято рассматривать население Земли просто как арифметическую сумму отдельных, не взаимодействующих популяций. Ведь задача демографии виделась в объяснении роста в зависимости от конкретных социальных и экономических условий, которые невозможно сформулировать для всего населения мира и тем более связывать скорость роста с полным населением Земли. Во-вторых, выражение (1) обращается в бесконечность по мере приближения к 2025 г. и не имеет смысла за пределом этой даты. Наконец, это выражение приводит к трудностям и при оценках населения в далеком прошлом. Так, 20 млрд лет тому назад, при рождении Вселенной согласно представлениям космологии, должно было бы уже быть десять человек, несомненно, самих космологов, наблюдающих и обсуждающих возникновение Вселенной!

В демографии было принято рассматривать население Земли просто как арифметическую сумму популяций отдельных стран.

Тем не менее постоянство этого закона роста поразительно, и если исходить из известных нам оценок населения в прошлом, он соблюдается при увеличении населения земли в десятки тысяч раз. По существу так описывается развитие человечества со времени появления *Homo habilis* (человека умелого) полтора миллиона лет тому назад, однако должного внимания на это не обращали. Численность человечества на тот момент представляет большой интерес, и потому я обратился к знаменитому французскому антропологу, профессору Коллеж де Франс Иву Коппену с вопросом: сколько тогда жило людей? Его ответ был краток и точен: сто тысяч, т. е. столько же, сколько крупных животных, подобных человеку. Оценка основана на наблюдении, что в то время на востоке и юге Африки существовало порядка тысячи больших семей по сто человек в каждой.

Эта оценка не противоречит оценкам других авторов, касающихся этого существенного времени в истории человечества в эпоху антропогенеза. Первые открытия принадлежат английскому антропологу Лики. В дальнейшем крупный вклад был сделан французской экспедицией, которой руководил Коппен, исследовавший раннюю эпоху становления человечества. Именно тогда начался гиперболический рост численности населения нашей планеты. С тех пор эта численность увеличивалась прямо пропорционально квадрату населения мира вплоть до нашего времени, когда для гиперболического роста скорость обратно пропорциональна квадрату времени. Медленная в начале, по мере роста населения скорость все увеличивается и в итоге происходит быстрее, чем по экспоненте, устремляясь в бесконечность, в конечное время, равное $T_1 = 2025$ г.

Линейный и гиперболический процессы самоподобны, т. е. во все моменты времени относительный рост неизменен.

Поэтому, обращаясь к развитию населения как единой динамической системы, мы будем рассматривать выражение (1) не только как обобщение исторических данных, но и как объективную физическую закономерность и математически содержательное выражение.

Оно описывает рост населения как самоподобный процесс, развивающийся по гиперболической

траектории, поскольку функция роста (1) — однородная функция. Это свойство, открытое еще Эйлером, указывает на то, что в таких функциях нет характерного внутреннего масштаба. В частности, такой функцией является линейная функция. Однако экспоненциальный рост таким свойством уже не обладает, поскольку он определяется внутренним параметром экспоненциального времени T_e .

Однородные функции — линейная, или же гиперболическая, — описывают рост как самоподобный или автомодельный процесс, в котором во все моменты времени относительный рост неизменен. Только в выделенных точках особенностей, или сингулярностей, это самоподобие нарушается. В случае роста по гиперболе это происходит в далеком прошлом, когда население асимптотически приближается к нулю, либо в то критическое мгновение T_1 , при котором N обращается в бесконечность в момент обострения. В этой сингулярности, при которой функция (1) стремится к бесконечности, состоит главная привлекательность этой формулы, поскольку именно тогда и происходит коренное изменение в развитии системы, связанное с демографическим переходом от стремительного роста к стабильному населению мира.

Мой доклад о росте населения Земли на семинаре Сергея Павловича Курдюмова стал настоящим откровением для меня и для коллектива Института прикладной математики им. М. В. Келдыша. Действительно, в современной прикладной математике такие процессы с обострением, при которых одна или несколько моделируемых величин обращаются в бесконечность за конечный промежуток времени, представляют большой интерес. Поэтому Курдюмовым и его коллегами для проблематики режимов с обострением были созданы мощные математические методы, которые, в частности, служат и для обоснования представлений синергетики, развитой немецким физиком Хакеном. Это нашло отражение в обширных приложениях в теории взрывных процессов, ударных волн, в физике фазовых превращений, а также в описании неравновесных процессов развития систем в синергетике и химической кинетике. Эти понятия принадлежат физике сложных систем, и теперь они применяются к человечеству в целом, став основанием для новых количественных результатов и поучительных качественных аналогий.

Прежде чем мы обратимся к выводам, следующим из закона гиперболического роста, выясним смысл постоянной величины C , которая, как легко видеть, определяет население Земли за год до особенности. Таким образом, эта постоянная зависит от выбранной единицы времени, основанной на времени обращения Земли вокруг Солнца, которая никак не выражает природу человека. Однако, если в эту модель ввести собственную единицу времени, определяемую уже эффективной продолжительностью жизни человека, то это открывает путь к определению пределов применимости (1).

Это время $\tau = 45$ близко к среднему возрасту человека, и в рамках модели оно возникает как полуширина глобального демографического перехода (см. рис. 5). Тогда при построении модели время следует выражать в масштабе $\tau = 45$ лет, и вместо постоянной C целесообразно ввести константу $K = \sqrt{C/\tau} = 60000$. В отличие от постоянной C , имеющей размерность времени, K — это безразмерный большой параметр, число, которое определяет все соотношения, возникающие при построении модели роста. В дальнейшем мы увидим, что во всех выводах теории это число становится главной характеристикой той динамической системы, развитие которой мы рассматриваем.

Так, числом $K \sim 10^5$ определяется как начальная популяция *Ното* 1,6 млн лет тому назад, так и предел, к которому стремится население Земли, $\sim K^2 \approx 10$ млрд, а продолжительность развития человечества оказывается порядка $T_0 \approx K\tau \sim 3$ млн лет.

Величиной порядка K определяется масштаб такой самодостаточной группы людей, как университетский город, наукоград или часть мегаполиса. Москва при населении ~ 10 млн разделена на 100 административных округов по 100 тыс. в каждом. При анализе флуктуаций оказывается, что K определяет первичный масштаб корреляций в популяции и численность структур при самоорганизации человечества. Так, малочисленными народами принято считать народы с численностью менее 50 000 тысяч.

Главный секрет гиперболического, взрывного развития состоит в том, что скорость роста пропорциональна не первой степени численности населения, как при экспоненциальном росте, отражающем способность каждого человека к размножению, а второй степени — квадрату численности населения мира. Это существенное свойство, которое непосредственно следует из того, что рост человечества описывается гиперболическим законом. Следует подчеркнуть, что изменение показателя степени от единицы для экспоненциального роста к двойке для гиперболического закона роста — это не уточнение ранее принятой модели, а появление качественно новой закономерности в описании роста популяции (в нашем случае — всего человечества).

Секрет гиперболического, взрывного развития состоит в том, что скорость роста пропорциональна квадрату численности населения мира.

Пример процессов с обострением — атомная бомба, в которой в результате разветвленной цепной реакции происходит ядерный взрыв.

Настоящее исследование в значительной мере посвящено изучению всех последствий этого подхода, который указывает на то, что в основе роста человечества следует рассматривать коллективное взаимодействие всех людей на Земле. В частности, такое

взаимодействие аналогично взаимодействию Ван дер Ваальса в неидеальном газе, которое хорошо изучено в молекулярной физике, а также во многих других разделах физики. Процессы, зависящие от квадрата числа частиц, возникают при химических реакциях второго порядка в химической физике. Такие процессы могут быть описаны на примере разветвленных цепных реакций, асимптотически приводящих к квадратичной зависимости скорости реакции от времени, рассмотренной Г. Б. Манелисом. В качестве примера таких процессов с обострением приведем атомную бомбу, в которой в результате разветвленной цепной реакции происходит ядерный взрыв. Квадратичный рост населения нашей планеты указывает на аналогичный и гораздо более медленный, но не менее драматичный процесс, когда информация в результате цепной реакции умножается на каждом этапе роста, определяя тем самым нарастающие темпы развития во всем мире.

Такое взаимодействие можно представить как сумму всех парных взаимодействий, возникающих между N людьми. В таких системах с сильной связью частиц возникают коллективные степени свободы, определяющие структуры, зависящие в неравновесных условиях от времени. В итоге именно это приводит к квадратичной связи скорости роста с развитием системы, которое выражается исходным уравнением:

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

где время $dt = dT/\tau$ измерено в единицах $\tau = 45$ годам. В этом нелинейном дифференциальном уравнении роста развитие выражено через квадрат полного числа людей на Земле в данный момент времени, отнесенного к квадрату константы K^2 .

Таким образом, это фундаментальное уравнение роста лежит в основе всех развитых далее представлений о коллективном взаимодействии и следующих из этого выводов.

Экспоненциальный рост предполагает только индивидуальную способность человека к размножению, которая не зависит от остальных людей. Поэтому в невзаимодействующей популяции экспоненциальный рост не зависит от суммарного населения, и в принципе рост определяется временем удвоения. Однако согласно новому пониманию роста человечества рост происходит в результате *коллективного механизма* умножения нашей численности. Причины этого могут быть разными, однако мы увидим, как коллективный механизм делает их эффективными факторами роста в масштабе всего человечества.

Рост человечества происходит в результате коллективного механизма умножения нашей численности.

В основе приближенных асимптотических методов лежит учет различия процессов роста разного временного масштаба.

Модель самоподобного роста, выраженная формулой (1), имеет ограниченную область применения во времени в силу того, что это выражение асимптотическое. В математике под асимптотическим методом понимают возможность пренебречь процессами, не

оказывающими в первом приближении существенного влияния. Этот прием широко используется в физике, поскольку на основании качественных рассуждений часто можно оценить, какими процессами можно пренебречь, и таким образом построить приближенную теорию. Более того, в физике практически все теории имеют такой характер, и в этом состоит глубокое различие между физикой и математикой. Представьте себе такой диалог между физиком и математиком:

Физик: Раз $5 \times 5 = 25$ и $6 \times 6 = 36$, то, следовательно, $7 \times 7 = 47$!

Математик: Это совершенно неверно, так как можно строго доказать, что $7 \times 7 = 49$.

Физик: Наверное, это так. Но $7 \times 7 = 47$ почти верно, и для нашей задачи это уже годится.

Конечно, это карикатура, но в основе приближенных асимптотических методов, развитых для рассмотрения сложных систем в синергетике, лежит учет различия процессов роста разного временного масштаба. Применительно к человечеству это означает, что следует различать медленное глобальное развитие, сопоставимое с собственным масштабом времени прошлого, и быстрые процессы, связанные

с конкретными историческими событиями, происходящими в масштабе, соизмеримом с жизнью человека, с временем $\tau = 45$ годам. В исторических науках на это явление указывал Бродель:

Историки в последнее время стали выделять это различие в образах временных структур и связей. Первые относятся к долговременным, вторые — к кратковременным сущностям.

Подчеркнем, что вековой процесс роста *самоподобен*, иными словами, на всех стадиях такого автомодельного процесса его природа не меняется и относительная скорость роста остается неизменной при постоянной логарифмической скорости:

$$\frac{d \ln N}{d \ln T} = -1,$$

что видно на графике, построенном на двойной логарифмической сетке, адекватной рассматриваемой задаче (см. рис. 9). На этом графике хорошо видно, как происходит смена режимов самоподобного роста и как преодолевается особенность роста при прохождении полюса при $T_1 = 1995$ г. Вблизи другой особенности роста в прошлом окрестность полюса также выколота, когда в начале антропогенеза при $T_1 = 4,5$ млн лет линейный рост начался с одного человека. Таким образом, рост определяет системное развитие, где движущим фактором самоподобного — автомодельного — развития оказываются связи глобального сетевого информационного сообщества, охватывающие все человечество эффективным информационным полем.

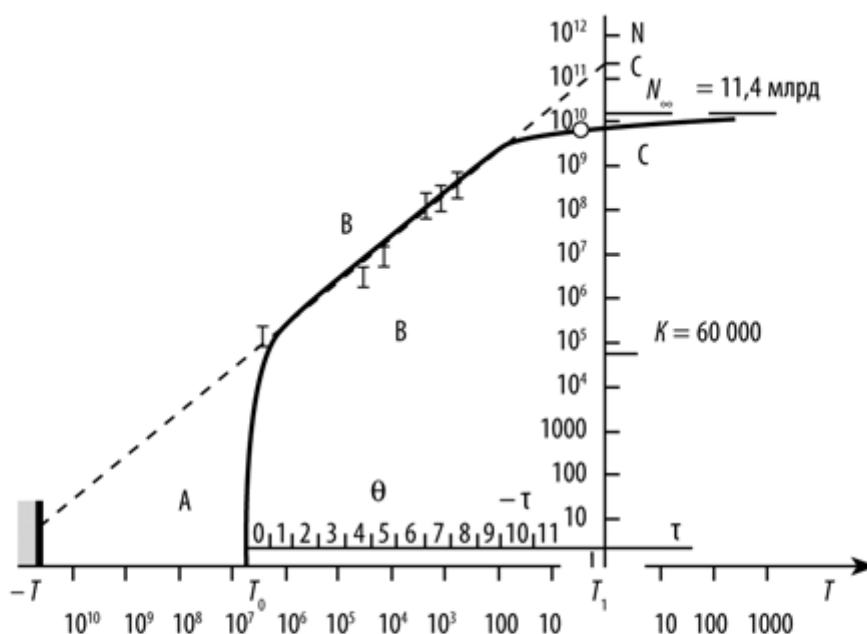


Рис. 9. Рост населения мира от возникновения человека до предвидимого будущего

График построен в двойном логарифмическом масштабе $\text{Lg } T — \text{Lg } N$, что отвечает динамике развития человечества. Демографические циклы, как $\theta = \ln t$, и окрестности вблизи T_0 и T_1 выколоты.

Автомодельность роста, или его самоподобие, представляет существенное понятие в динамике развития. В случае процессов, протекающих во времени, оно означает общую инвариантность характера движения. Поясним сказанное примерами, взятыми для наглядности из механики. Простейший и важный пример — это движение по инерции. Так, Галилеем было открыто, что свободное от воздействия сил материальное тело движется по инерции с постоянной скоростью. В этом случае можно сказать, что движение самоподобно, поскольку во все моменты времени движение происходит одинаковым образом и только приложением внешней силы это движение может быть изменено.

Такое самоподобное движение происходит и тогда, когда действует постоянная внешняя сила, например сила тяжести при падении тела или сила натяжения веревки, удерживающей камень при его

движении по кругу: такие движения тоже самоподобны. Однако если веревка внезапно оборвется, то камень полетит по инерции по прямой. На этом основан принцип действия пращи, когда один режим движения сменяется другим, тоже самоподобным, пока камень не ударится об стенку и внезапно не остановится. При этом важно иметь в виду, что указанные режимы реализуются в течение длительного времени, а их изменения могут происходить практически внезапно. По существу, подобные процессы наблюдаются при росте и развитии человечества, и потому такие примеры полезны как иллюстрация различных масштабов времени при развитии системы.

Характерное время изменений равно возрасту события, отсчитываемому от момента демографического перехода.

Учет различия в факторе времени и скорости относительного роста дает ключ к пониманию фундаментального характера информационного механизма развития человечества. Поэтому, обращаясь к понятиям физики и языку математики, важно привести эти представления в соответствие с образами и понятиями историков и экономистов, с тем чтобы в междисциплинарном опыте сотрудничества их видение соотносилось с представлениями, лежащими в основе модели. Именно это позволило по-новому понять многие количественные особенности глобальной истории человечества. В частности, таким путем можно определить мгновенное значение экспоненциального роста в прошлом. Расчет показывает, что это характерное время равно возрасту события, отсчитываемому от момента демографического перехода.

Анализ гиперболического роста человечества, связывающий рост численности человечества с его развитием, позволил предложить кооперативный механизм развития, когда мерой развития является квадрат численности населения мира. Эта интерпретация развития привела к центральному предположению, что коллективное взаимодействие определяется механизмом распространения и размножения обобщенной информации в масштабе человечества, задающим его самоподобное развитие. Поэтому происхождение и природу квадратичного закона роста человечества следует объяснять передачей и размножением информации. При этом нет необходимости обращаться к тому или иному конкретному механизму, который приводит к росту численности. Это вытекает из последовательного феноменологического анализа гиперболического роста населения нашей планеты.

Итак, опираясь на статистические принципы физики, впервые удалось в элементарных выражениях описать динамически развитие человечества более чем за миллион лет — от возникновения человека, одаренного сознанием, до наступления демографического перехода и далее — в предвидимое будущее. После сингулярности — расходимости при T_1 происходит падение скорости роста до нуля. За этим вскоре последует стабилизация населения мира до момента достижения значения $N_\infty = 2N_1 = 11,4$ млрд, что равно удвоенному населению в момент перехода. Этот сценарий развития соответствует тому, к которому из эмпирического опыта и интуитивных соображений пришли демографы (см. рис. 7).

Существенен вопрос об устойчивости гиперболического роста. Согласно синергетике, в результате нелинейной быстрые внутренние процессы стабилизируют медленное вековое гиперболическое развитие населения мира вплоть до демографической революции, когда рост уже может поспеть за развитием. Так конкретные исторические явления, имеющие локальный и даже хаотический характер, стабилизируют глобальное развитие. В рассматриваемой модели этим интуитивным представлениям придан физический смысл, когда быстрые короткопериодные процессы стабилизируют медленное вековое движение квадратичного роста по гиперболе. Это происходит и тогда, когда быстрые процессы, процессы истории, сами неустойчивы.

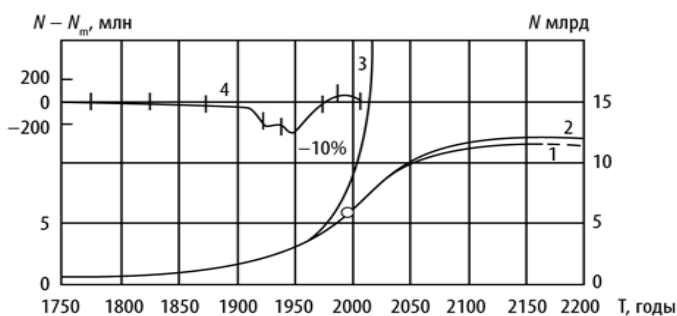


Рис. 7. Рост населения мира в течение демографической революции 1750–2200 гг.

1 — прогноз IASA; 2 — модель; 3 — взрывной уход на бесконечность (режим с обострением); 4 — разница между расчетом и населением мира, увеличенная в 5 раз, где видны суммарные потери при мировых войнах XX в., о — 1995 г. Продолжительность демографического перехода составляет $2t = 90$ лет.

Для пояснения сказанного обратимся к механическим аналогиям. Подобным образом происходит стабилизация оси волчка в пространстве от действия гироскопических сил при его быстром вращении. Эти же силы при возмущении положения оси волчка приводят к медленному прецессионному движению

вблизи положения динамического равновесия. Так же ведет себя маятник при быстрых колебаниях подвеса, стабилизирующих медленное движение самого маятника вблизи положения равновесия.

Хорошо известно, что умело закрученный плоский камень, брошенный под малым углом к поверхности пруда способен многократно отскакивать от воды, совершая прыжки на большое расстояние. В этом явлении мы видим, как быстрое вращение камня стабилизирует его в пространстве, несмотря на удары о поверхность воды. С другой стороны, мы видим, как в этих условиях преобразуется движение камня по инерции и образуется устойчивая периодическая серия укорачивающихся скачков, пока движение не затухнет и камень не утонет. В этой механической модели можно усмотреть поучительные аналогии с предложенной моделью развития населения Земли, когда внутренние процессы приводят к возникновению периодических циклов, которые определяют развитие и устойчивость этого процесса. Поэтому подобные примеры, взятые из механики, помогают понять развитие такой сложной системы, как человечество, в результате которого население Земли в среднем устойчиво следует по статистически детерминированному пути автомодельного, самоподобного роста, управляемого внутренней динамикой роста, сцепленного с развитием благодаря разуму.

Таким образом, рост и развитие человечества обязаны сознанию человека, его культуре и развитой системе передачи знаний как вертикально — из поколения в поколение, так и горизонтально — в пространстве нашей планеты, которое управляет этим глобальным процессом, каким бы ни был конкретный механизм роста. Поэтому, если разум выделяет человека среди всех других сопоставимых с нами видов животных, то именно в появлении разума следует искать ответ на эту загадку эволюции человека.

Его предлагают последние исследования, проведенные методами молекулярной биологии. Они показали, что, по-видимому, критическим событием стала мутация одного или двух генов HAR1 F, которые определяют организацию мозга на 5–9-й неделе развития эмбриона. Об этих исследованиях рассказывает руководитель международного проекта Кэтрин Поллард в статье «Что нас делает людьми?», опубликованной в журнале «В мире науки».

Рост численности человечества определяется внутренними процессами его развития.

В настоящее время есть все основания считать, что такое внезапное точечное изменение в геноме наших далеких предков, произошедшее 7–5 млн лет тому назад, могло привести к качественному скачку в организации мозга. Это

стало причиной развития социального сознания и культуры, приведшие к необычайному численному росту человечества. Вследствие этой мутации после длительной эпохи антропогенеза появились речь и язык, а человек овладел огнем и каменными орудиями. С тех пор биологическая природа человека изменилась мало, несмотря на стремительный процесс нашего социального развития. Поэтому понимание последнего столь значимо сегодня, когда выяснилось, что именно нелинейная динамика роста населения человечества, основанная на информационном коллективном механизме роста и подчиняющаяся собственным внутренним силам, определяет не только наше взрывное развитие, но и его предел.

Таким образом, на основе такого феноменологического подхода впервые удалось предложить теорию роста и количественно описать важнейшие явления развития человечества, как взаимодействующего сообщества. Это привело к понятию феноменологического принципа *демографического императива*, гласящего, что рост определяется внутренними процессами развития человечества, в отличие от популяционного принципа Мальтуса, согласно которому рост населения ограничен внешними ресурсами.

Это очень существенный вывод, имеющий далеко идущие последствия при определении путей развития человечества, когда не количественный рост, а его качественное развитие становится центральным фактором нашей социальной эволюции. Более того, отсюда вытекает существенный политический вывод: борьба за ресурсы больше не может рассматриваться как главная цель развития.

Борьба за ресурсы больше не может рассматриваться как главная цель.

Современный исторический опыт ряда развитых стран, в первую очередь севера Европы и Японии, указывает на справедливость этого заключения. Таким образом, рост, пропорциональный квадрату числа людей, не определяется развитием независимых единиц или даже групп людей и зависит только от коллективного взаимодействия всего человечества. Более того, в рамках такого подхода рост рассматривается как нелокальное поведение всего человечества, эволюционирующего как целое, как суперорганизм. Это можно описать понятием антропосферы, а система распространяющихся и развивающихся знаний осуществляется посредством того, что И. П. Павлов назвал второй сигнальной системой.

Эта концепция, выдвинутая Павловым еще в 1932 г., рассматривает как присущую только человеку систему условно-рефлекторных связей, которая определяет принципиальное различие в работе головного мозга животных и человека. Вторая сигнальная система формируется в высших отделах центральной нервной системы, работает на основе первой сигнальной системы и активизируется при воздействии в первую очередь речевых раздражителей. Если мозг животного отвечает лишь на непосредственные зрительные, звуковые и другие раздражения или их следы, когда возникающие ощущения составляют образ действительности, то человек обладает помимо того способностью обобщать словом бесчисленные сигналы первой сигнальной системы. При этом слово, по выражению Павлова, становится сигналом сигналов при переходе от слов к языку. Таким образом, первая и вторая сигнальные системы — различные уровни единой высшей нервной деятельности, когда в природе человека вторая сигнальная система играет ведущую роль. Анализ и синтез, осуществляемые корой больших полушарий головного мозга, благодаря наличию второй сигнальной системы связаны уже не только с отдельными конкретными раздражителями, но и их обобщениями, представленными в словах и понятиях.

Способность к обобщенному отражению явлений и предметов обеспечила человеку неограниченные возможности ориентации в окружающем мире и в конечном итоге позволила создать науку. Формирование второй сигнальной системы происходит только под влиянием общения человека с другими людьми, т. е. определяется воспитанием и образованием, полученным в обществе. Для полноценного развития личности необходимо своевременное и правильное развитие обеих сигнальных систем. Это созвучно и представлениям В. И. Вернадского о ноосфере и нашло свое выражение в концепциях современного общества знаний, развитых во Всемирном докладе ЮНЕСКО.

В заключение заметим, что в прошлом связь между Западом и Востоком на Евразийском суперконтиненте осуществлялась торговыми путями, из которых важнейшим был Великий шелковый путь. По этой разветвленной сети не только перемещались товары и пряности, но распространялись знания, идеи и религиозные представления. В частности, из Индии через Хайберский проход пришел буддизм и двинулся на запад к Калмыкии, а на восток, северным путем, — в Монголию, Китай и Японию. Другая сеть караванных путей связывала страны и культуры Африки с Европой. В далеком прошлом шли эти процессы обмена и диффузии, в которых значительную роль играли переселения народов, происходившие и под влиянием изменений климата. Так развивалось информационное единство человечества, на что указывают и взаимовлияние культур и языков мира.

Демографическая революция

Для понимания развития человечества рассмотрим в первую очередь пределы области режима самоподобного роста, ограниченного двумя главными особенностями. Во-первых, в далеком прошлом рост оказывается слишком медленным. Поэтому, чтобы исключить эту особенность роста из рассмотрения, когда время делается бесконечно долгим, а население все медленнее стремится к нулю, следует предположить, что в эпоху антропогенеза минимальная скорость роста не может быть меньше появления одного гоминида за характерное время. Этого простого предположения достаточно для того, чтобы ввести минимальную скорость роста и описывать процессы антропогенеза как линейный рост популяции людей, одаренных разумом. Даже такая наивная гипотеза оказывается результативной и приводит к разумной оценке длительности той далекой от нас эпохи. Более того, выясняется, что можно принять микроскопическое время, равное $t = 45$ годам, одинаковым как в прошлом, так и в настоящем времени, что указывает на постоянство этой константы, определяемой природой человека от его появления вплоть до времени демографического перехода.

Демографический переход состоит в смене режима роста режимом стабилизации населения.

При рассмотрении критической эпохи 2000 г. в пике демографического взрыва и самой эпохи демографического перехода скорость роста должна быть ограничена сверху естественным пределом удвоения за время порядка $t = 45$ лет

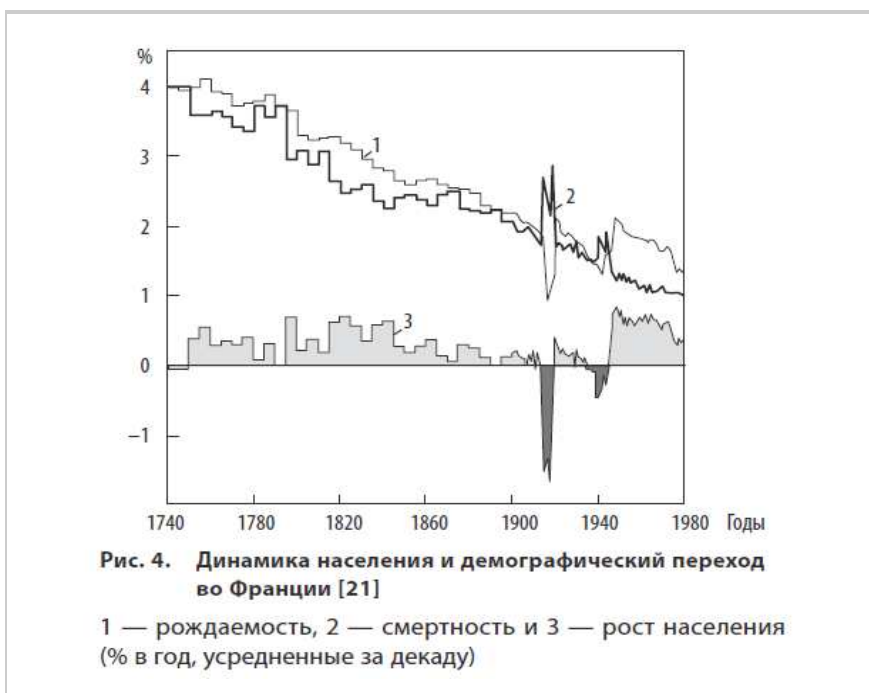
как длительности эффективной репродуктивной жизни человека. Ввиду невозможности дальнейшего продолжения самоподобного роста во время демографического взрыва в режиме с обострением рост завершается демографическим переходом при резком изменении всего хода нашего развития. Таким образом, демографический переход состоит в смене режима роста режимом стабилизации населения.

Это важнейшее явление в развитии населения страны впервые было открыто и сформулировано французским демографом Адольфом Ландри применительно к населению Франции:

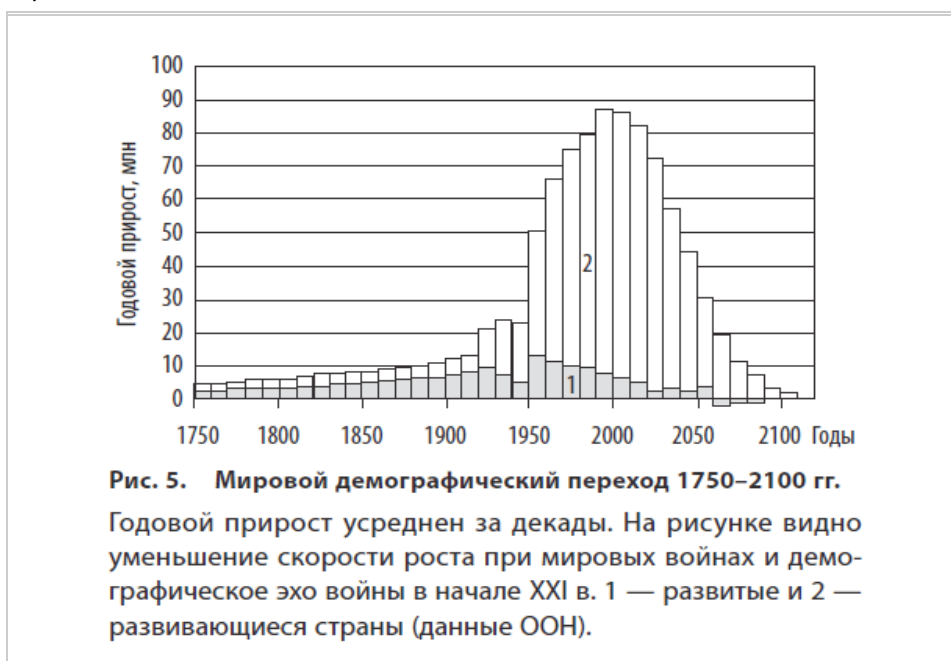
В XVIII в. Франция пережила не только свою великую политическую революцию, которая совершилась в 1789 г., но и демографическую революцию. Политическая революция отмечена такими яркими событиями, как штурм Бастилии или уничтожение привилегий; в течение нескольких лет многое не только изменилось и сменило существующий порядок.

Но ничего столь же сенсационного, что отметило бы наступление другой революции, не произошло. Ее развитие было незаметным и относительно медленным. Тем не менее она в не меньшей степени

является революцией, поскольку тогда, когда происходит изменение режима, революция и происходит. Это верно в демографии, как и любой другой области. Внезапность изменений не является обязательной. Действительно, говоря о демографической революции, при которой происходит смена неограниченного воспроизводства на ограниченное, есть все основания придерживаться данного определения без каких-либо добавлений.



Для населения мира переход показан на рис. 5, а для отдельных стран — на рис. 6. Если демографы исследовали этот феномен в масштабе страны и определяли его как переход, то мы обратимся к переходу как глобальному событию и, согласно определению Ландри, как к глобальной демографической революции.



На этих рисунках видно, что суммарный глобальный демографический переход происходит практически одновременно во всем мире, несмотря на разницу в истории и экономике стран, из которых состоит человечество. Действительно, переход в так называемых развитых странах протекает медленнее и только на 50 лет опережает переход для всего населения Земли. Эта синхронность и эффективное сужение перехода, несомненно, являются мощным свидетельством глобальной системности процессов роста народонаселения на Земле, обострившихся в эпоху демографической революции. Это дает новое объяснение и понимание процессу глобализации, который так теперь привлекает внимание современников, потому что происходит за время порядка т.

Однако человечество в масштабе своего векового и самоподобного развития в целом всегда было глобальной системой.

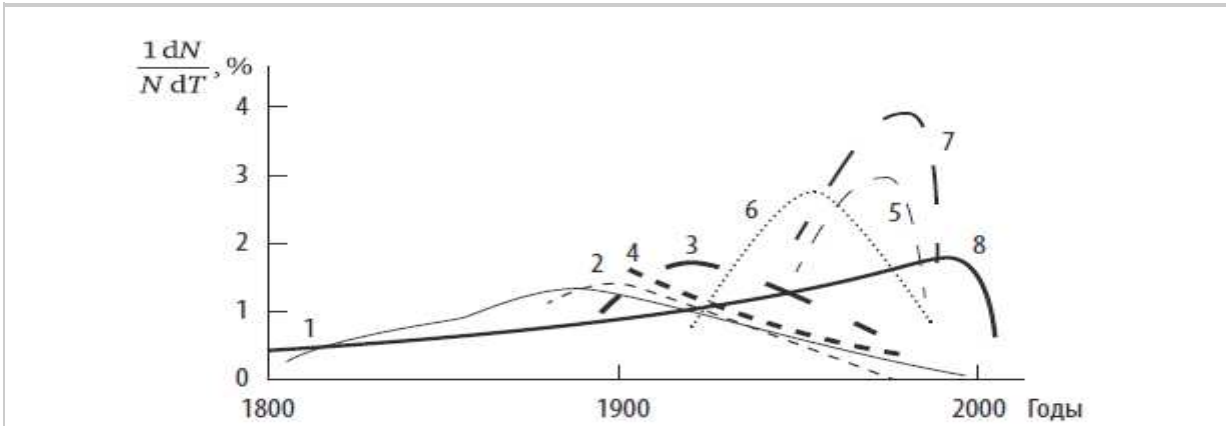


Рис. 6. Демографический переход в разных странах

Графики сглажены и рост дан в процентах в год. 1 — Швеция, 2 — Германия, 3 — СССР, 4 — США, 5 — Маврикий, 6 — Шри-Ланка, 7 — Коста-Рика и 8 — мир в целом. На этом графике видно формирование глобального перехода. Если переход в Швеции и во Франции занял 160 лет, то чем позднее он начинается, тем острее протекает.

Таким образом, речь идет о новом подходе к пониманию всего хода глобальной истории человечества, неизменного в течение 1,6 млн лет — от возникновения человечества до современного кризиса в его развитии. До самого демографического перехода этот рост был динамически самоподобным и протекал так, что относительная — логарифмическая скорость роста была постоянной и тем самым характеризовала усредненное развитие всей популяции людей — всего человечества. Результатом этого развития стала демографическая революция, при которой произошли резкое изменение всего векового развития человечества и его взрыв в наше время.

Демографическая революция и переход к постоянному населению нашей планеты, несомненно, самое крупное за всю историю потрясение в развитии человечества. При этом изменения коснутся всех сторон нашей жизни, а мы волей случая стали свидетелями этого величайшего переворота. Поэтому всесторонний анализ должен быть в центре внимания всех людей, и никакие события — ни эпидемии или войны, ни даже изменения климата — несоизмеримы с теми, которые ныне разворачиваются. Эти события отвечают современным представлениям о роли разума и сознания человека, которые лежат в основе теории роста, как модели коллективного поведения системы народонаселения Земли.

Демографическая революция и переход к постоянному населению, несомненно, самое крупное за всю историю потрясение в развитии человечества.

В итоге приведенное выше описание глобальной истории человечества позволяет разбить ее на три эпохи. Первая эпоха **A** — это эпоха антропогенеза длительностью 4–5 млн лет. Она привела к появлению исходной популяции *Номо* с численностью порядка ста тысяч. В результате начинается эпоха **B** — взрывного развития по гиперболической траектории и благодаря квадратичному росту достигается предел $\sim K^2$, а человечество в это время расселяется по всей Земле. Затем, после демографической революции и стремительного наступления эпохи **C**, следует ожидать быстрого перехода к стабилизации населения нашей планеты.

Для каждой из этих эпох рост описывается асимптотически: линейное в начале, гиперболическое в течение эпохи **B** и постоянное при выходе из демографического перехода. При завершении демографической революции население Земли достигнет ~ 11 млрд, после чего следует ожидать стабилизации населения нашей планеты. Естественно, что это глобальное расписание нашего прошлого только в общих чертах описывает рост человечества, которое тем не менее при минимальном числе констант в модели, дает вполне приемлемую картину нашего роста и развития.

Однако важно отметить, что в представленной картине не отражены процессы, связанные с динамикой расселения людей, ресурсов и всего, что связано с экономикой, с системой жизнеобеспечения человека. Их отсутствие в данной модели требует пояснения, поскольку многие авторы именно эти факторы считали основными, определяющими рост и развитие человечества. Но если мы обратимся к динамике роста человечества, то увидим, что экономика, по существу, является производной от роста и