

РОСТ НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Из всех глобальных проблем, волнующих человечество, вопрос роста народонаселения мира представляется одной из главных. Численность населения выражает суммарный результат всей экономической, социальной и культурной деятельности человека, составляющей его историю. Демография способна дать только количественные данные, не описывая закономерностей развития человечества. Восполнить этот пробел и постарался Сергей Петрович Капица, создав математическую модель мирового демографического процесса. Модель показывает, что скорость роста населения не зависит от внешних условий, объясняет причины происходящего сегодня резкого всплеска рождаемости ("демографического перехода") и предсказывает, что в ближайшем будущем население Земли престанет расти, остановившись на численности около 14 миллиардов человек.

Четырнадцатого февраля Сергею Петровичу исполнилось 70 лет. Редакция журнала поздравляет своего автора с юбилеем и желает ему долгих лет плодотворной работы.

Доктор физико-математических наук С. Капица (Институт физических проблем РАН).

История всегда описывала прошлое как цепь событий и процессов, в которых нас прежде всего интересовало, что именно происходило, качественная сторона дела, а количественные характеристики имели второстепенное значение. Так было, в первую очередь, потому, что накопление фактов и понятий должно предшествовать их количественным характеристикам. Однако они рано или поздно должны проникнуть в историю, и не в качестве иллюстрации того или иного события, а как способ более глубокого понимания исторического процесса. Для этого необходимо начать рассматривать историю как процесс развития системы.

В последние десятилетия этот, так называемый системный, подход получил большое распространение. Его развили сначала в физике для описания поведения систем из многих частиц, затем он пришел в химию и биологию, а в дальнейшем его стали использовать для исследования социальных и экономических явлений. Однако считалось, что для описания развития человечества он не годится, ибо только хорошо поняв механизм демографических процессов, можно их объяснить, измерить характеристики и уже от частного переходить к общему.

Но именно для человечества в целом такой подход оказался малопродуктивным. Непонятно было, что надлежало измерять, четкие количественные данные отсутствовали. Уже в экономике возникли принципиальные трудности в количественном сравнении разнородных понятий, как, например, труд и товар, сырье и информация, а в истории хорошо прослеживается только ход времени в прошлом.

Однако есть один параметр, который столь же универсален, как время, и применим ко всем эпохам - численность населения. В жизни мы обращаемся к нему очень часто. Приехав в другой город, мы интересуемся, сколько в нем жителей, а собравшись в незнакомую страну, мы непременно узнаем, каково ее население. В 30-х годах на планете проживало два миллиарда людей, сейчас же нас почти шесть миллиардов. А вот численность населения в историческом прошлом мы запоминаем редко. Так, в 1700 году людей на Земле было в десять раз меньше, чем сегодня, а сколько их жило тогда в России, вряд ли кто с ходу ответит, хотя годы царствования Петра I знают почти все.

Но как раз численность населения тесно связана со всей экономической, социальной и культурной деятельностью человечества, составляющей его историю. Таким образом, количественные данные демографии дают универсальный ключ к пониманию прошлого. Они позволяют найти ответ, пусть и ограниченный, на ясно поставленный вопрос о механизме развития человечества в целом.

В мире, где каждую секунду рождается 21 и умирает 18 человек, население Земли ежедневно увеличивается на двести пятьдесят тысяч человек, и этот прирост практически весь приходится на развивающиеся страны. Темп роста настолько велик - он приближается к девяноста миллионам в год, - что его стали рассматривать как демографический взрыв, способный потрясти планету. Именно непрерывное увеличение населения мира требует все возрастающего производства пищи и энергии, потребления минеральных ресурсов и приводит ко все увеличивающемуся давлению на биосферу планеты. Образ безудержного роста населения, если его наивно экстраполировать в будущее, приводит к тревожным прогнозам и даже апокалиптическим сценариям для глобального будущего человечества. Однако ясно, что определить развитие в предвидимом будущем - а именно это и представляет наибольший интерес - можно только правильно описав прошлое человечества.

В настоящее время человечество переживает так называемый демографический переход. Это явление состоит в резком возрастании скорости прироста населения, затем столь же стремительном его уменьшении и в стабилизации численности. Демографический переход сопровождается ростом производительных сил, перемещением значительных масс населения из сел в города и резким изменением возрастного состава населения. В современном взаимосвязанном и взаимозависимом мире он завершится менее чем через сто лет и пройдет гораздо быстрее, чем в Европе, где аналогичный процесс начался в конце XVIII века. Теперь же переход охватывает большую часть населения Земли, он уже закончился в так называемых развитых странах и теперь идет только в странах развивающихся.

НАСЕЛЕНИЕ МИРА КАК СИСТЕМА

Рассматривать население мира как систему, как единый замкнутый объект, который достаточно характеризовать числом людей в данный момент, долгое время считалось невозможным. Многие демографы видели в человечестве только сумму населения всех стран, не имеющую смысла объективной динамической характеристики.

Ключевое понятие для системы - взаимодействие. Но именно современный мир, с его миграционными потоками, транспортными, информационными и торговыми связями, объединяющими всех в одно целое, можно рассматривать как взаимодействующую систему. Такой подход справедлив и по отношению к прошлому: даже когда людей жило гораздо меньше и мир в значительной степени был разделен, отдельные регионы все равно медленно, но верно взаимодействовали, оставаясь системой.

Применяя понятие системы, необходимо определить, какие процессы и с какой скоростью в ней происходят. Так, возникновение этносов и разделение диалектов и языков происходит в своем масштабе времени. Больше время заняло разделение человечества на расы, а образование глобальной демографической системы происходит еще дольше. Наконец, процессы биологической эволюции, определяемые нашей генетической природой человека, идут медленнее всего. Есть основания утверждать, что за миллион лет человек биологически мало изменился, а основное развитие и самоорганизация человечества происходили в социальной и технологической сфере.

Местом обитания человечества служат практически все удобные для этого части Земли. По своей численности мы опередили всех сравнимых с нами по размерам и питанию животных на пять порядков (кроме, пожалуй, только домашних животных, количество которых поддерживается искусственно). Человечество давно создало собственную окружающую среду и отделилось от остальной биосферы. Но теперь, когда деятельность человека приобрела глобальный масштаб, со всей остротой встал вопрос о его влиянии на природу. Именно поэтому очень важно понять, какими факторами определяется рост числа людей на планете.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОСТА НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМЛИ

Создание модели состоит не в подгонке формул к тем или иным численным данным, а в поиске математических образов, которые выражают поведение системы и соответствуют поставленной задаче. Этот процесс последовательного построения модели лучше всего развит в теоретической физике, которая описывает действительность в виде решения систем определенных уравнений (см. "Наука и жизнь" №№ 2, 3, 1997 г.).

Сама возможность применять методы теоретической физики для построения демографической модели, способной дорасти до статуса теории, кажется далеко не очевидной, скорее даже невероятной. Тем не менее для населения Земли, когда взаимодействует множество различных факторов и обстоятельств, такой подход вполне осуществим именно в силу сложности системы. Случайные отклонения в пространстве и во времени будут усредняться, и станут видны главные закономерности, от которых объективно зависит динамика роста населения мира.

Население мира в момент времени T мы будем характеризовать числом людей N . Процесс роста рассмотрим на значительном интервале времени - очень большом числе поколений, чтобы не вводить в расчет ни продолжительность жизни человека, ни распределение людей по возрасту и полу. При таких условиях можно предположить, что рост населения происходит самоподобно (или, как еще говорят, - автомодельно), то есть по одному и тому же закону при

разных масштабах времени и числе людей. А это означает, что относительная скорость роста числа людей на планете постоянна и ее можно описать не экспонентой, лежащей в основе стольких моделей, а только степенным законом.

Насколько неприменим экспоненциальный рост, видно из следующего примера. Предположим, что человечество в прошлом удваивалось за те же 40 лет, что и сегодня. Оценим, когда такой процесс мог начаться. Для этого выразим численность населения мира как степень двух: $5,7 \cdot 10^9 = 2^{32}$. Тогда 32 поколения, или $40 \cdot 32 = 1280$ лет назад, в VII веке, за двести лет до крещения Руси, все мы могли произойти от Адама и Евы! Даже если увеличить время удвоения в десять раз, этот момент отодвинется к началу неолита, когда в действительности жило около 10 миллионов людей.

Есть, однако, формула, которая с удивительной точностью описывает рост населения Земли в течение сотен и даже многих тысяч лет и имеющая необходимый - степенной - вид:

$$N = \frac{C}{T_1 - T} = \frac{200 \times 10^9}{2025 - T}$$

Это выражение было получено путем обработки данных за много веков рядом исследователей (Маккендрик, Форстер, Хорнер), которые видели в нем только эмпирическую зависимость, глубокого смысла не имеющую. Эту же формулу независимо от них получил и автор данной статьи, но он рассматривал ее как физически и математически содержательное описание процесса самоподобного развития. Оно происходит по гиперболическому закону эволюции, называемому режимом с обострением. Такие явления характерны именно для "взрывного" поведения систем и были подробно изучены в современных исследованиях по нелинейной динамике.

Тем не менее такие формулы принципиально ограничены областью применимости. Во-первых, из формулы следует, что население мира будет стремиться к бесконечности по мере приближения к 2025 году, заставляя некоторых считать его датой наступления Судного дня, апокалиптическим следствием демографического взрыва. Во-вторых, столь же абсурдный результат получается и для далекого прошлого, поскольку при сотворении Вселенной 20 миллиардов лет тому назад должны были присутствовать десять человек, несомненно обсуждавших все величие происходящего. Таким образом, это решение ограничено как в будущем, так и в прошлом, и справедливо поставить вопрос о границах его применимости.

Фактор, который не был учтен, есть время, характеризующее жизнь человека - его репродуктивную способность и продолжительность жизни. Этот фактор проявляется при прохождении через демографический переход - характерный для всех популяций процесс, хорошо видный как на примерах отдельных стран, так и всего мира.

Если ввести в модель характерное для жизни человека время t , исключаются особенности роста населения и в прошлом, и в настоящем. Процесс роста начинается в $T_0 = -4,4$ миллиона лет назад и продолжается за пределы критической даты T_1 в предвидимое будущее. Он выражается формулой

$$N = \frac{C}{T_1 - T} = \frac{200 \times 10^9}{2025 - T}$$

описывающей эпоху до демографического перехода и сам переход. Значение новых постоянных получается на основе сравнения современных демографических данных с расчетом:

$$C = 186 \cdot 10^9 \text{ лет}, T_1 = 2007 \text{ год}, t = 42 \text{ года}, K = C/t = 67000.$$

Эта формула переходит в исходное выражение (1) в прошлом, а все решения описывают рост человечества в течение трех эпох. В первой - эпохе *A*, длительностью 2,8 миллиона лет - происходит линейный рост, переходящий затем в гиперболический рост эпохи *B*, который завершается после 1965 года демографическим переходом. После демографического перехода прирост численности на протяжении жизни поколения становится сравнимым с самим населением мира. И численность начнет стремиться к асимптотически стабилизированному режиму эпохи *C*, то есть неуклонно приближается к пределу в 14 миллиардов. Это в 2,5 раза больше, чем в настоящее время.

Из-за введения характеристического времени критический год перелома T_1 сдвигается от 2025 года к 2007 году. Само же значение $t = 42$ годам неплохо отражает некоторую среднюю характеристику жизни человека, хотя оно получено из обработки демографических данных, а не взято из жизни.

Основная и единственная динамическая характеристика системы, определяющая ее развитие, - безразмерная константа $K = 67\,000$. Она служит внутренним масштабом численности группы людей и определяет коллективный характер того взаимодействия, которым описывается рост. Числами именно такого порядка определяются оптимальный размер города или городского района и численность устойчиво существующего природного вида.

Скорость роста за время t в эпоху *B* оказывается равной N^2/K^2 , где ясно виден смысл параметра K : он определяет скорость роста за поколение как результат попарного взаимодействия групп по K человек. Это простейшее нелинейное выражение описывает коллективные взаимоотношения, суммируя все процессы и элементарные взаимодействия, происходящие в обществе. Оно применимо только ко всему человечеству. Как хорошо известно из алгебры, квадрат суммы всегда больше суммы квадратов; именно поэтому суммировать факторы роста по отдельным регионам или странам нельзя.

Смысл закона состоит в том, что развитие самоускоряется, и каждый следующий шаг использует весь ранее накопленный человечеством опыт, играющий основную роль в этом процессе. Долгое детство человека, овладение речью, обучение, образование и воспитание в значительной мере определяют единственный, специфический для людей способ развития и самоорганизации. Можно думать, что не скорость размножения, а именно совокупный опыт, взаимодействие, распространение и передача из поколения в поколение знаний, обычаев и культуры качественно отличают эволюцию человечества и определяют скорость роста населения. Это взаимодействие следует рассматривать как внутреннее свойство динамической системы. Поэтому настало время раз и навсегда отказаться от представления социальных явлений в виде простой суммы элементарных причинно-следственных связей, которое в принципе не способно описать поведение сложных систем за длительные промежутки времени и на большом пространстве.

На основе представлений теории легко определить предел, к которому стремится численность человечества в обозримом будущем: 14 миллиардов человек, и время начала роста в эпоху A : 4,4 миллиона лет тому назад. Можно также оценить полное число людей, когда-либо живших на Земле: $P=2K^2\ln K=100$ миллиардов человек.

В этой оценке средняя продолжительность жизни человека считается равной $t/2 = 21$ году, как принято у демографов и антропологов, получивших для P значения от 80 до 150 миллиардов человек. Существенно, что вся картина роста лучше всего описывается в двойном логарифмическом масштабе. Это не только вопрос удобства, когда надо представить поведение величин, изменяющихся на десять порядков, здесь есть гораздо более глубокий смысл. В двойном логарифмическом масштабе все степенные законы - законы автомодельного развития - выглядят в виде прямых линий, показывая, что относительная скорость роста во все времена остается постоянной. Это позволяет по-новому взглянуть на темпы развития и периодизацию всей истории человечества.

СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ АНТРОПОЛОГИИ И ДЕМОГРАФИИ

Сравнение модели с данными палеоантропологии и палеодемографии даст возможность описать развитие человечества за гигантский период времени. Начальная эпоха линейного роста A начинается 4,4 миллиона лет тому назад и продолжается $Kt = 2,8$ миллиона лет. Так модель в общих чертах описывает первоначальный этап роста человечества, который может быть отождествлен с эпохой отделения гоминидов от гоминоидов, начавшейся 4,5 миллиона лет тому назад. К концу эпохи A появился *Homo habilis* ("человек умелый"), и его численность возросла до 100 тысяч человек.

Чтобы проверить расчеты, требовалось сравнить вычисленные значения с уже известными. Такими сведениями мог обладать знаменитый французский археолог и антрополог Ив Коппенс. Я пришел к нему в старое здание Коллеж де Франс на Рю д'Эколь в Латинском квартале Парижа и спросил:

- Профессор, сколько человек жило на Земле 1,6 миллиона лет тому назад?

- Сто тысяч, - мгновенно последовал ответ, который совершенно меня поразил, заставив подумать, что исследователь эту цифру рассчитал. Однако Коппенс тут же отверг это предположение, сказав, что он не теоретик, а полевой исследователь. И его оценка основана на том, что тогда в Африке было порядка тысячи стоянок, в которых жили большие - около ста человек каждая - семьи. Эта цифра закрепляла существенный момент в истории человечества, когда в нижнем палеолите появился "человек умелый".

Эпоха B гиперболического роста охватывает палеолит, неолит и исторический период. За этот важнейший отрезок времени длительностью 1,6 миллиона лет число людей еще раз выросло в K раз. Ко времени наступления демографического перехода, которое можно отнести к 1965 году, расчетное население Земли составило уже 3,5 миллиарда.

В течение каменного века человечество расселилось по всему земному шару. В то время плейстоцена сильно менялся климат, прошло до пяти оледенений, а уровень Мирового океана изменялся на сотню метров. Перекраивалась

география Земли, соединялись и вновь расходились материки и острова, человек занимал все новые территории. Его численность сначала медленно, но затем с нарастающей скоростью росла.

Из концепции модели следует, что, когда связи между отдельными группами населения и основной массой человечества прерывались надолго, в них происходило замедление развития. Антропологии хорошо известно, что изоляция малых групп приводит к замедлению их эволюции: даже сегодня можно найти сообщества, находящиеся на неолитической и даже палеолитической стадии развития. Зато в Евразийском пространстве, по которому кочевали племена и мигрировали народы, формировались этносы и языки, происходил систематический и неизменный рост. На определенном этапе взаимодействие шло по Степному пути, а позднее наибольшее значение приобрел Великий шелковый путь, соединяющий Китай, Европу и Индию. Начиная с античности по нему шли интенсивные межконтинентальные связи, распространялись мировые религии и новые технологии.

Данные о населении мира во всем диапазоне времен достаточно хорошо вписываются в предложенную модель, но по мере продвижения в прошлое точность оценки уменьшается. Так, уже для времени Рождества Христова палеодемографы дают для населения мира цифры от 100 до 250 миллионов человек, а из расчета следует ожидать около 100 миллионов.

Учитывая всю приближенность этих оценок, их следует считать вполне удовлетворительным и вплоть до самого начала появления человечества. Это тем более удивительно, что расчет подразумевает постоянство констант роста, которые определены на основании современных данных, но тем не менее применимы и к далекому прошлому. Значит, модель верно схватывает основные черты роста населения мира.

Поучительно будет сравнить модельные расчеты с прогнозами демографии на ближайшее будущее. Математическая модель указывает на асимптотический переход к пределу 14 миллиардов, причем 90% предельной численности - 12,5 миллиарда - следует ожидать к 2135 году. А по оптимальному сценарию ООН население Земли к этому сроку выйдет на постоянный предел 11 600 миллионов. Заметим, что за последние десятилетия прогнозы демографии неоднократно пересматривались в сторону повышения. В последнем исследовании рассчитанная численность человечества до 2100 года и сделанные оценки сблизились и, по существу, перекрываются.

ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД

Обратимся к явлению демографического перехода, как совершенно особому периоду, требующему отдельного рассмотрения. Продолжительность перехода составляет всего $2t = 84$ года, однако за это время, составляющее $1/50\,000$ всей истории, произойдет коренное изменение характера развития человечества. Это время переживет $1/10$ всех людей, когда-либо живших на Земле. Острота перехода в значительной мере обязана синхронизации процессов развития, тому сильному взаимодействию, которое наблюдается сегодня в мировой демографической системе.

Именно "ударный", обостренный характер перехода, со временем меньше средней продолжительности жизни в 70 лет, приводит к нарушению

выработанных за тысячелетия нашей истории ценностных и этических представлений. Сегодня в этом видят причину распада общества, растущую неустроенность жизни и причины столь характерного для нашего времени стресса.

При демографическом переходе коренным образом меняется соотношение между молодым и старшим поколениями. С точки зрения системного подхода и статистической физики переход напоминает фазовое превращение, которое следует связать с изменением распределения населения по возрасту.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕМПОВ РАЗВИТИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Из развитых представлений можно сделать еще один существенный вывод: масштаб исторического времени по мере роста человечества меняется. Так, история Древнего Египта охватывает три тысячелетия и завершилась 2700 лет тому назад. Упадок Римской империи продолжался 1,5 тысячи лет, в то время как нынешние империи создавались за века и распадаются за десятилетия. В этом изменении масштаба времени в сотни и тысячи раз прекрасно видна масштабная инвариантность исторического процесса, его автомодельность. В логарифмическом масштабе каждый следующий цикл короче предшествующего в $e = 2,72$ раза и ведет к увеличению численности во столько же раз. В каждый из $\ln K = 11$ периодов эпохи B жило по $2K^2 = 9$ миллиардов человек, тогда как продолжительность циклов изменялась от 1 миллиона до 42 лет.

На подобную периодичность крупных социально-технологических циклов в истории нового времени впервые обратил внимание Н. Д. Кондратьев в 1928 году, и с тех пор такие циклы связывают с его именем. Однако эта периодичность четко реализуется только в логарифмическом представлении развития и охватывает уже всю историю человечества. Растяжение времени хорошо видно по мере удаления от критической даты - 2007 года. Так, сто лет тому назад, в 1900 году, скорость прироста населения $DN/N = 1\%$ в год, 100 тысяч лет назад она составляла 0,001%. А в начале палеолита, 1,6 миллиона лет тому назад, заметный прирост - на 150 тысяч человек (сегодня столько прибавляется за полдня) - мог произойти только за миллион лет.

Именно в палеолите и началось то самоускоренное развитие, которое с тех пор продолжается неизменным образом в течение миллиона лет. К началу неолита, 10-12 тысяч лет назад, скорость роста была уже в 10 тысяч раз больше, чем в начале каменного века, а население мира составляло 10 - 15 миллионов. Неолитической революции как скачка в рамках модели нет, поскольку она описывает только усредненную картину развития, которое в среднем для человечества происходило достаточно плавно. Обратим внимание на то, что к этому времени успела прожить половина всех людей, когда-либо живших, а в логарифмическом масштабе прошла половина времени от T_0 до T_1 . Таким образом, в известном смысле прошлое человечества гораздо ближе, чем нам кажется. После 2007 года численность населения стабилизируется, и в будущем исторический ход времени может снова стать все более растянутым.

Интересно отметить, что недавно российский историк И. М. Дьяконов в обзоре "Пути истории. От древнейшего человека до наших дней" четко указал на экспоненциальное сокращение продолжительности исторических периодов по мере приближения к нашему времени. Мысли историка вполне отвечают нашей

модели, где эти же выводы просто облечены в другую - математическую - форму. На этом примере видно, насколько близко соприкасаются, даже пересекаются, видение традицион ного гуманитария и образы, принадлежащие точным наукам.

ВЛИЯНИЕ РЕСУРСОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РОСТ НАСЕЛЕНИЯ

Модель развития человечества предсказывает, что на предел роста населения не влияют внешние факторы - окружающая среда и наличие ресурсов. Определяют его только факторы внутренние, которые неизменно действуют на протяжении миллиона лет. Действительно, человечество в целом всегда располагало достаточными ресурсами, которые человек осваивал, расселяясь по Земле и увеличивая эффективность производства. Когда контакты прекращались, ресурсов и свободного пространства не оставалось, локальное развитие заканчивалось, но общий рост был неуклонным. Сегодня в развитых странах 3-4 процента населения могут прокормить всю страну. По утверждению экспертов Международной организации питания, в настоящее время на планете есть и в обозримом будущем останется достаточно резервов для пропитания 20-25 миллиардов человек. Это позволит человечеству спокойно миновать демографический переход, при котором население увеличится всего в 2,5 раза. Таким образом, предел роста численности следует искать не в глобальном недостатке ресурсов, а в закономерностях развития человечества, которые можно сформулировать как принцип демографического императива, как следствие присущего самому человечеству закона роста населения. Этот вывод требует глубокого всестороннего обсуждения и весьма существенен, поскольку с ним связана долговременная стратегия человечества.

Ресурсы, однако, распределены по планете крайне неравномерно. В перенаселенных городах и странах они уже исчерпаны или близки к исчерпанию. Аргентина, например, имеет площадь всего на 30% меньше, чем Индия - страна древнейшей цивилизации, население которой в 30 раз больше, и живет оно очень бедно. Зато Аргентина, современное развитие которой началось 200 лет назад, могла бы, как утверждают эксперты, прокормить весь мир.

Но в рамках рассматриваемого подхода разницы между развитыми и развивающимися странами нет. Все они в равной мере принадлежат одной системе человечества и просто находятся в разных стадиях демографического перехода. Более того, теперь, в первую очередь благодаря обмену информацией, развитие так называемых стран третьего мира идет вдвое быстрее, чем проходило в развитых странах, подобно тому, как младшие братья часто развиваются быстрее старшего, заимствуя его опыт.

В обозримом будущем после демографического перехода встанет вопрос о критериях развития человечества. Если в прошлом основой был количественный рост, то после стабилизации численности ею должно будет стать качество населения. Изменение возрастной структуры приведет к глубокой перестройке иерархии ценностей, большей нагрузке на здравоохранение, на системы социальной защиты и образования. Эти фундаментальные изменения ценностных установок общества, несомненно,

составят основную проблему в скором будущем, на новом этапе эволюции человечества.

УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗВИТИЯ

Устойчивость развития человечества в процессе роста и особенно во время переходного периода имеет исключительное значение с исторической и социальной точки зрения. Однако на первой стадии демографического перехода, как показывает расчет, устойчивость минимальна, и в этот момент происходит исторически внезапное появление молодого и активного поколения. Так было в Европе XIX века, где возникли демографические предпосылки для стремительного экономического роста и мощных волн эмиграции, которые привели к заселению Нового Света, Сибири и Австралии. Но они не смогли в достаточной мере стабилизировать процесс мирового развития и предотвратить кризис, приведший к мировым войнам.

В канун первой мировой войны Европа развивалась невиданными и непревзойденными темпами. Экономики Германии и России росли более чем на 10% в год. Расцвет науки и искусств того времени предопределил всю интеллектуальную жизнь XX века. Но "Belle Epoque", это прекрасное время расцвета Европы, оборвалось роковым выстрелом в Сараево.

Мировые войны привели к гибели около 100 миллионов человек - 5% населения мира. От "черной смерти" - страшной эпидемии чумы - в XIV веке вымирали целые страны. Но и тогда человечество всегда очень быстро восполняло потери и, что примечательно, возвращалось на прежнюю устойчивую траекторию роста.

В настоящее время, однако, возможная устойчивость роста может быть потеряна, так как демографический переход развивающихся стран идет в два раза быстрее, чем в Европе, и охватит в десять раз больше людей. Сравнивая динамику роста народонаселения Европы и Азии, можно увидеть, что Европа навсегда станет малочисленной окраиной, а центр развития в самое ближайшее время переместится в Азиатско-Тихоокеанский регион. Только учитывая скорость его развития, можно понять, в каком мире предстоит жить нашим внукам и правнукам. Неравномерное заселение территорий на границах государств и их экономическое неравенство тоже могут угрожать глобальной безопасности. Просторы Сибири, например, сейчас теряют население, в то время как северные провинции Китая стремительно заселяются. Через границу США и Мексики происходит постоянная миграция на север, и аналогичные процессы могут пойти с 200-миллионным населением Индонезии к северу от обширной Австралии, где живет всего 18 миллионов.

Стремительно нарастающие неравномерности развития могут стать причиной полной потери устойчивости роста и как следствие привести к вооруженным конфликтам. Предсказать ход событий нельзя в принципе, однако указать на их вероятность не только можно, но и нужно. Сегодня перед мировым сообществом стоит важная задача: сохранить мир в эпоху крутых перемен и не дать местным конфликтам разгореться в мировой военный пожар, подобный возникшим в Европе в начале и середине XX века. Без глобальной устойчивости невозможно решать никакие другие проблемы, какими бы значимыми они ни казались. Поэтому в их обсуждение, наряду с вопросами военной,

экономической и экологической безопасности, следует включать, причем далеко не на последнем месте, демографический фактор с учетом его количественных, качественных и этнических аспектов.

ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РОССИИ

Как уже говорилось, судьбу отдельно взятой страны рассматривать методами, развитыми для описания всего человечества, нельзя. Однако развитые представления позволяют рассматривать каждую отдельно взятую страну как часть целого. Это тем более было верно для Советского Союза и верно теперь для России (см. "Наука и жизнь" № 1, 1998 г.).

Благодаря размерам и многонациональному составу, разнообразию географических условий, исторических путей развития и замкнутой экономике, происходившие в Союзе региональные процессы во многом отображали, моделировали глобальные явления. В настоящее время в России завершается демографический переход; рост населения прекращается, его численность стабилизируется. Однако на этот вековой процесс накладываются события последних десяти лет, и в первую очередь - экономический кризис. Он привел к глубоким потрясениям и сказался на уменьшении средней продолжительности жизни, особенно у мужчин, которая стала меньше 60 лет.

С рождаемостью же, по мнению демографов, ничего столь катастрофического не происходит. Ее систематическое снижение вполне закономерно и характерно для всех современных развитых стран. Поэтому России предстоит и дальше жить в условиях низкой рождаемости, при которой важную роль стала играть миграция населения. Если до 1970 года происходила в основном эмиграция из России, то в настоящее время в страну ежегодно прибывает до 800 тысяч человек. Миграция прямо влияет на демографическую ситуацию в стране и способствует некоторой компенсации потерь.

Уменьшение числа молодых граждан потребует перехода к профессиональной армии и отказа от всеобщей воинской повинности - очень расточительной формы использования людских ресурсов. Россия столкнется с этой ситуацией к началу следующего века, и к этому времени реформа армии должна привести к новым принципам формирования вооруженных сил. Понижение доли неквалифицированного труда повысит требования к качеству образования, к раннему выбору профессиональной ориентации и создаст стимулы для творческого роста.

В некоторых регионах России и особенно в прилежащих странах Средней Азии продолжается рост населения, обремененный первой стадией демографического перехода. Он сопровождается характерными явлениями: притоком населения в города, растущей массой неприкаянной молодежи, дисбалансом в развитии страны и как следствие - возрастающей нестабильностью общества. Для России очень важно понять, что эти процессы носят фундаментальный характер и будут тянуться очень долго. С одной стороны, они связаны не только с мировыми, но и с внутренними, специфическими для нашей истории, обстоятельствами. Если с последними мы можем и должны справиться, то глобальные процессы находятся вне нашего влияния: для него нужна общемировая политическая воля, которой пока нет. С другой стороны, именно в судьбах нашей страны виден сложный характер происходящей в мире

демографической революции - уникального по своей динамике стремительного перехода, которым завершается миллион лет неустанного количественного роста человечества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Предложенная модель позволяет охватить громадный диапазон времени и круг явлений, в которые, по существу, входит вся история человечества. Она неприменима к отдельным регионам и странам, но показывает, что ход мирового развития влияет на каждую страну, каждую демографическую подсистему, как на часть целого. Модель дает только общее, макроскопическое описание явлений и не может претендовать на объяснение механизмов, приводящих к росту населения. Справедливость принципов моделирования следует видеть не только и не столько в том, насколько близко расчет совпадает с наблюдаемыми данными, сколько в справедливости основных предположений и в успешном применении методов нелинейной механики к анализу роста населения.

Теория установила рубеж, от которого следует отсчитывать время, и масштаб времени, который растягивается по мере удаления в прошлое, отвечая интуитивным представлениям антропологов и историков о периодизации развития и придавая им количественный смысл.

Анализ теоретического уравнения показывает, что рост населения всегда шел по квадратичному закону, а сейчас человечество проходит беспрецедентную смену парадигмы развития. Наступает конец чрезвычайно обширной эпохи, а время перехода, свидетелями и участниками которого мы стали, очень сильно сжато.

Модель парадоксально указывает, что на протяжении всей истории развитие человечества зависело не от внешних параметров, а от внутренних свойств системы. Это обстоятельство позволило аргументированно опровергнуть принцип Мальтуса, утверждавшего, что именно ресурсы определяют скорость и предел роста населения. Поэтому следует считать целесообразным развернуть междисциплинарные комплексные исследования демографических и связанных с ними проблем, в которых математическое моделирование должно участвовать вместе с другими методами.

Математические модели - не только средство для количественного описания явлений. В них следует видеть источник образов и аналогий, способных расширить круг представлений, к которым строгие понятия точных наук не могут быть применены. В первую очередь это относится к демографии, поскольку число людей как характеристика сообщества имеет четкий и универсальный смысл. Таким образом, в демографической проблеме следует видеть новый объект и для теоретических исследований физика и математика.

Если развитые выше представления помогут предложить некую общую для человечества перспективу развития, картину, пригодную для антропологии и демографии, социологии и истории, а медикам и политикам позволит увидеть предпосылки нынешнего переходного периода как источника стрессов для отдельного человека и критического состояния для всего мирового сообщества, автор будет считать опыт своего междисциплинарного исследования оправданным.

Литература

Капица С.П. **Феноменологическая теория роста населения Земли.** "Успехи физических наук", т. 166, № 1, 1996.

Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. **Мир будущего.** М.: Наука, 1997.

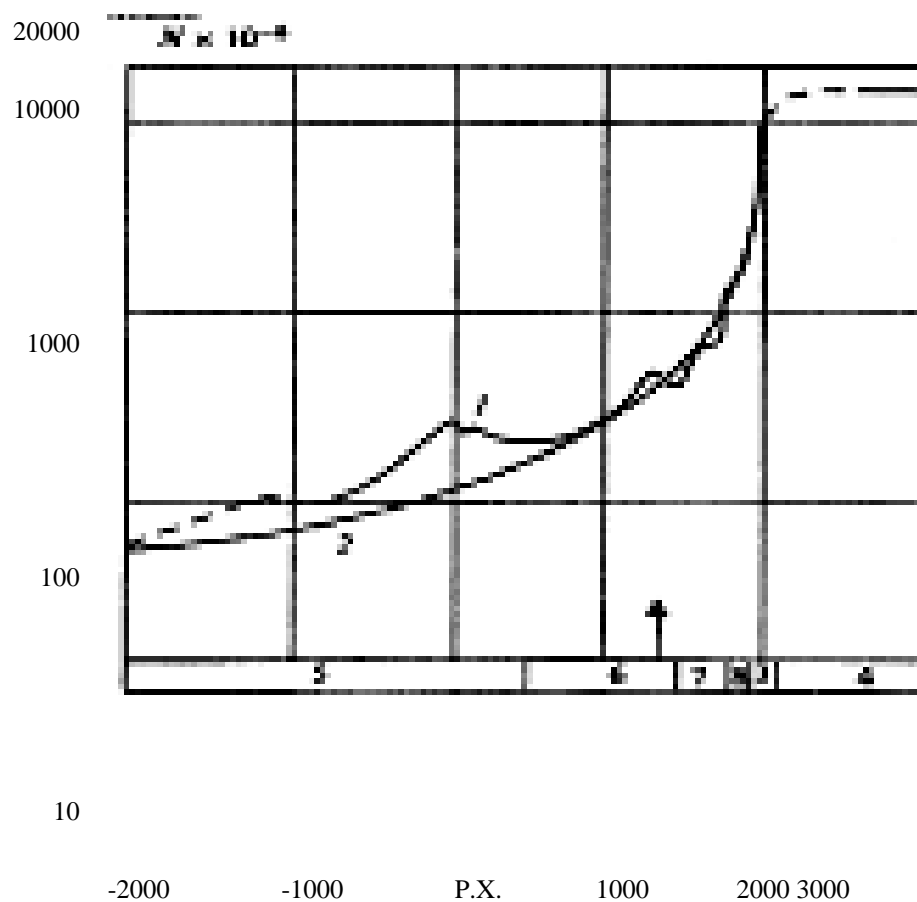
Кинг А. и Шнейдер А. **Первая глобальная революция.** М.: Прогресс, 1992.

Эпоха	Период	Дата годы	Число людей	Культурный период		^T лет	История, культура, технология
С	Т1	2175 2050 2007	13*10 ⁹ 10.5*10 ⁹ 7*10 ⁹	История	Стабили- зация населения Земли	125	Переход к перделу 14*10 ⁹ Изменение возрастного распреде- ления, Урбанизация
					Мировой демогра- фический переход	42 125	<u>Настоящее время</u> Компьютеры
В	11	1965 1840 1500	10 ⁹ 10 ⁸ 10 ⁷	История	Новейшая	340	Мировые войны, Электричество
	10	500н.э. 2000	10 ⁶ 10 ⁵		Новая история		Промышленная революция, Книгопечать
	9	до н.э. 9000 29000 80000			Средние века	1000	Географические открытия, Падение Рима
	8	0.22 млн 0.6 млн 1.6 млн.			Древний мир	2500	Рождество Христово, Греческая цивилизация, Индия, Китай, Будда
	7				Каменный век	7000	Междуречье, Египет, письменность города, одомашни- вание, сель. хоз
	6				Мезолит	20000	Керамика, бронза, микролиты
	5						

	4				Мустье	51000	Заселение Америки
	3				Ашель	$1.4 \cdot 10^5$	Номо sapiens, Речь, огонь
	2				Шелль	$3.8 \cdot 10^5$	Заселение Европы и Азии, рубила
	1				Олдувай	$1 \cdot 10^6$	Галичная культура, Чоппер, Номо pubilis
A	T0	4.4 млн. лет	(1)			$2.8 \cdot 10^6$	Отделение гоминидов от гоминоидов

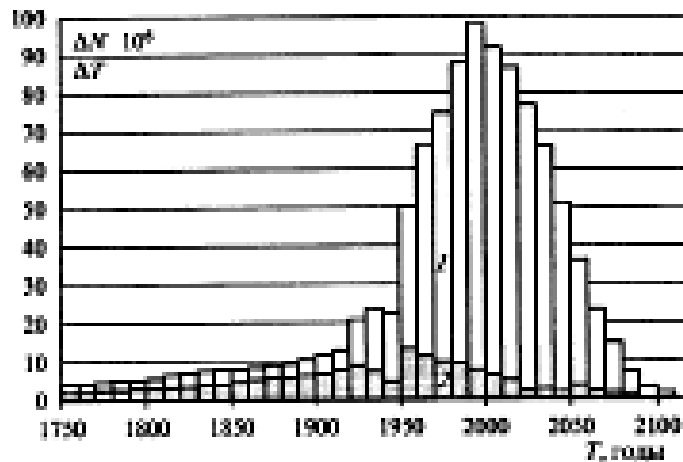
Развитие человечества в логарифмическом масштабе времени.

население

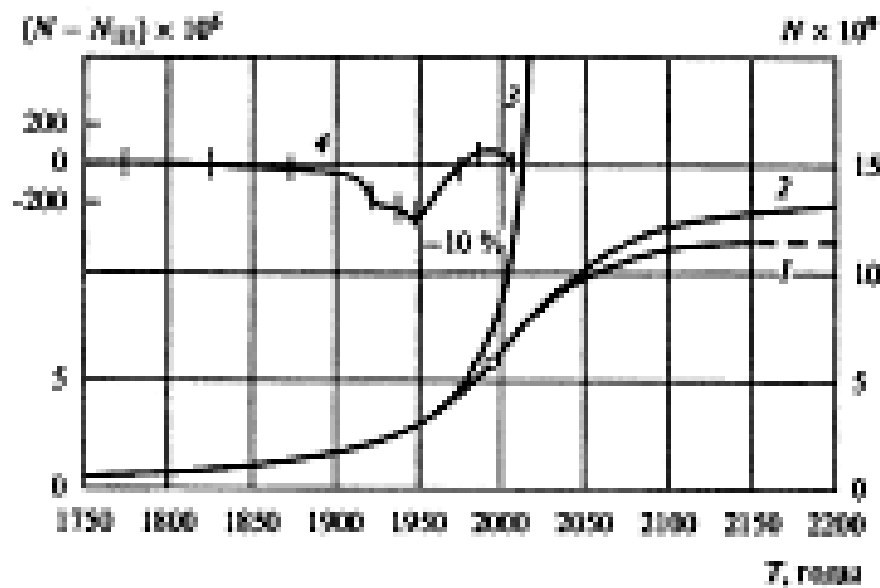


Так происходил рост населения мира согласно демографическим данным (1) и теоретической модели (2), начиная с 1600 года до новой эры (P. X.). Сейчас наблюдается резкое увеличение скорости роста населения - демографический

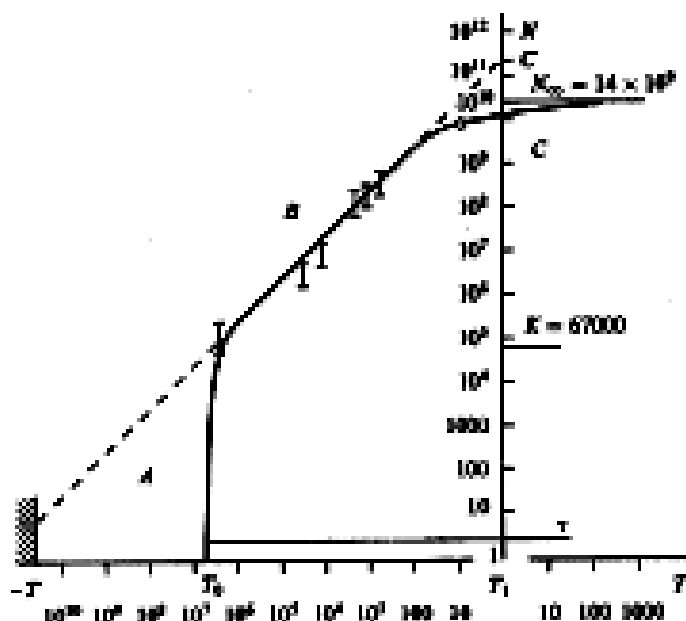
переход (3), а после 2000 года начнется стабилизация численности (4). На графике хорошо заметно, как сокращается длительность исторических периодов: 5 - древний мир, 6 - средние века, 7 и 8 - новая и новейшая история. Стрелка отмечает эпидемию чумы в XIV веке.



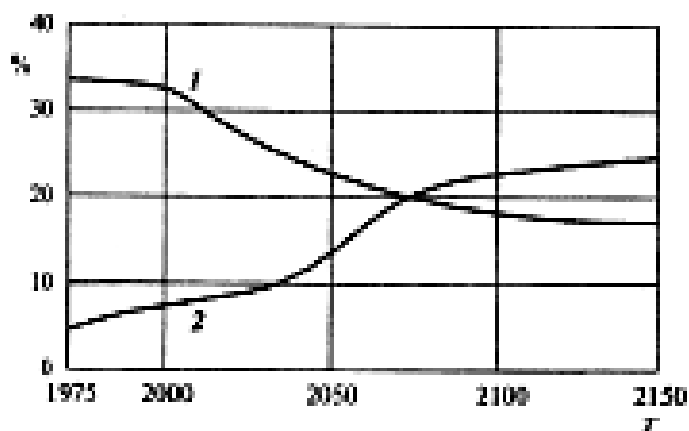
Прирост населения мира с 1750 по 2150 годы, осредненный по десятилетиям: 1 - развивающиеся страны, 2 - развитые страны. На 2000 год придется максимальная скорость роста, после чего произойдет демографический переход и прирост резко упадет почти до нуля - численность населения стабилизируется.



Разные сценарии развития человечества предсказывают характер роста населения по-разному: 1 - прогноз ООН, 2 - теоретическая модель, 3 - "взрывной" характер прироста, определяемый одной из ранних теорий (формула 1 в статье), 4 - отклонение модельных расчетов от измеренных демографами значений, увеличенное в 5 раз. Кругом обозначено настоящее время.



Рост населения мира от возникновения человека до предвидимого будущего, по данным демографов. Кривая роста отчетливо разбивается на три участка - А, В и С, на каждом из которых рост проходил по своему закону. При простом продолжении участка А в прошлое получается, что момент Большого взрыва и образование Вселенной наблюдало около 10 человек, что абсурдно. А его продолжение в будущее предсказывает, что население Земли должно расти неограниченно, наводя на мрачные мысли апокалиптического толка.



Демографы предсказывают, что после 2000 года возрастной состав населения мира начнет претерпевать кардинальные изменения. Число людей моложе 14 лет станет падать (1), а старше 65 лет - расти (2), и к концу будущего века наша планета сильно "постареет".