Законы роста популяции человека

The Centre for Ecodynamics

Москва 123290, Россия

http://www.ecodynamics.narod.ru/

Received May 2007

Аннотация

Наблюдаемый рост популяции человека на Земле может быть объяснён количественно, если принять во внимание улучшение качества жизни, что связано с созданием искусственного окружения, которое может быть оценено как общественное богатство, созидаемое человеком. С палеолитических времён одежда, жилища и топливо стали такими же необходимостями для человека, как и пища. Популяция человека развивается совместно с развитием общественной производственной системы.

Содержание

1 Введение

В основу этой публикации положены два маленьких раздела из книги *Принципы физики в теории экономического роста* (Pokrovski, 1999). Эти разделы содержат совершенно оригинальный подход к описанию роста популяции человека с древнейших времен до наших дней, хотя сама разработка была инспирирована известной работой Кремера (Kremer, 1993). Публикуя этот расширенный и комментированный перевод, я надеюсь, что подход может быть интересен и сейчас, особенно в связи с недавним оживлённым обсуждением проблемы роста популяции человека (Капица 1996; Подлазов, 2001; Цирель, 2003; Шишков, 2005; Коротаев и др. 2005, Молчанов, 2006).

2 Эмпирические факты о популяции человека

Открытие и изучение останков древнего человека позволяет утверждать, что человек появился в Африке около трёх миллионов лет назад, и с того отдалённого времени распространился почти по всей территории Земли. Предполагаемая история спотыкающегося движения человека через морские проливы и горные хребты во времени от двух миллионов до пятисот тысяч лет назад была проанализирована и воспроизведена с помощью компьютерной модели (Mithen and Reed, 2002). Оценки численности популяции N на Земле собраны в Таблице 1, которая полностью воспроизведена из предшествующей работы (Pokrovski, 1999), и показаны на Рис. 1, сделанным для настоящей публикации. Быстрый рост происходил в некоторые моменты истории, обозначаемые как культурная революция (около 10^6 лет назад), агрокультурная революция (около 10^4 лет назад) и промышленная революция, которая началась в 17 - 18 веках. В течение последних четырёх тысяч лет население Земли увеличилось от 30 миллионов до почти 7 миллиардов. Как видно на Рис. 1, рост численности человечества в течение четырёх тысячелетий описывается (Horner, 1975) простой эмпирической формулой

$$N(T) = \frac{2 \cdot 10^{11}}{2025 - T}, \tag{1}$$

где T есть год нашего летоисчисления.

Table 1 Characteristic parameters for human population

	N, 10^6 man	$b-d$, $year^{-1}$	$N/\bar{N}$	$\bar{N}$, 10^6 man	$a^* = r/\bar{N}$, $man^{-1}\cdot year^{-1}$	W/N, $\$/man$
10^5 B.C.	0.03			0.03	10^{-6}	1
8000 B.C.	10	0.0006	0.978	10.2	2.71×10^{-9}	10
1000 A.D.	280	0.0004	0.986	284	9.75×10^{-9}	20
1650	516	0.003	0.892	579	4.79×10^{-11}	50
1850	1,171	0.007	0.747	1,567	1.77×10^{-11}	100
1900	1,668	0.007	0.747	2,232	1.24×10^{-11}	200
1920	1,968	0.008	0.711	2,767	1.10×10^{-11}	250
1960	3,308	0.019	0.314	10,530	2.63×10^{-12}	2500
1990	5,268	0.0166	0.401	13,146	2.11×10^{-12}	11000
1995	5,721	0.0151	0.454	12,577	2.2×10^{-12}	14000
2000	6,168	0.014	0.495	12,471	2.22×10^{-12}	18000
2010	7,049	0.012	0.567	12,437	2.23×10^{-12}	30000
2020	7,919	0.0105	0.621	12,753	2.17×10^{-12}	50000

The second and third columns give estimates of total population and rate of population growth due to Carr-Saunders (1936), Clark (1968) and Durand (1977). The projections of these quantities for 2000 - 2020 years are taken from World Population Projections (1992).

Можно предположить, что огромный рост популяции человека связан с особыми чертами популяции человека по сравнению с другими биологическими популяциями, населяющими Землю. Действительно, в отличие от других популяций, человек не только преобразует свою среду обитания соответственно своим удобствам, но и научился использовать природные источники энергии для своих целей. Человек создал общественную производственную систему, которая созидает и поддерживает искусственную среду обитания человека.

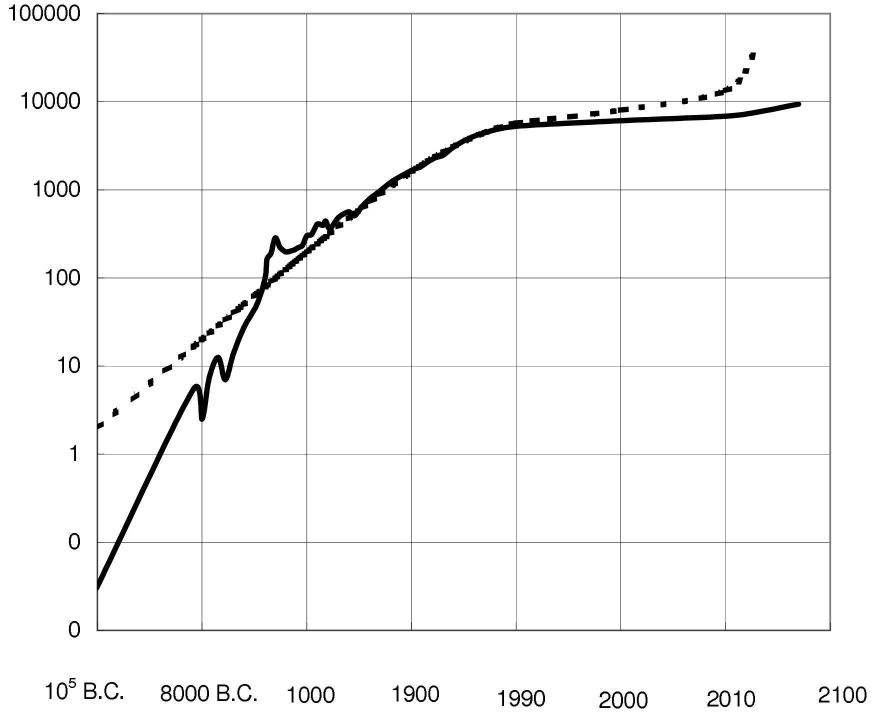

Figure 1 Growth of World population

Численность населения Земли в миллионах человек. Сплошная линия изображает средние значения между наибольшими и наименьшими оценками, найденными на http://www.census.gov/ipc/www/worldhis.html. Пунктирная линия нарисована по соотношению (1).

---

3 Ограниченый рост популяции человека

3.1 *Балансовое уравнение*

Чтобы описать изменение численности популяции человека, как, впрочем, и любой другой биологической популяции, можно начать (Lotka, 1925; Volterra, 1931; Murray, 1989) с простого балансового уравнения

$$\frac{dN}{dt} = (b - d)N, \tag{2}$$

где b и d коэффициенты рождаемости и смертности, соответственно.

Уравнение (2) универсально и применимо к любой биологической популяции. Однако коэффициенты b и d определяются обстоятельствами жизни особей популяции. Так, эти коэффициенты могут зависеть от численности той же самой популяции N или же от некоторых других переменных и мы должны решать от каких характеристики среды обитания зависит скорость роста популяции $b - d$.

3.2 *Закон Мальтуса – экспоненциальный рост*

В простейшем случае, можно предположить, что скорость роста популяции постоянна

$$b - d = r.$$

Тогда, уравнение (2) имеет решение

$$N(t) = N(0) \exp\ rt. \tag{3}$$

В применении к популяции человека этот закон был рассмотрен Мальтусом (Maltus, 1798). Он также нашел, что, если рост популяции не ограничен, то численность популяции удваивается каждые 25 лет[1], что определяет скорость роста

$$r \approx 0.0277\, year^{-1}, \tag{4}$$

так что $1/r \approx 36.1$ год есть время, за которое численность популяции возрастает в $e \approx 2.72$ раз. Постоянная Мальтуса определяет некоторый

[1] Malthus (1798) пишет в шестой главе: "It has been universally remarked that all new colonies settled in healthy countries, where there was plenty of room and food, have constantly increased with astonishing rapidity in their population. Some of the colonies from ancient Greece, in no very long period, more than equalled their parent states in numbers and strength. And not to dwell on remote instances, the European settlements in the new world bear ample testimony to the truth of a remark, which, indeed, has never, that I know of, been doubted. A plenty of rich land, to be had for little or nothing, is so powerful a cause of population as to overcome all other obstacles. ... The consequence of these favourable circumstances united was a rapidity of increase probably without parallel in history. Throughout all the northern colonies, the population was found to double itself in twenty-five years. ... In New Jersey the period of doubling appeared to be twenty-two years; and in Rhode island still less. In the back settlements, where the inhabitants applied themselves solely to. agriculture, and luxury was not known, they were found to double their own number in fifteen years, a most extraordinary instance of increase. Along the sea coast, which would naturally be first inhabited, the period of doubling was about thirty-five years; and in some of the maritime towns, the population was absolutely at a stand."

временной масштаб, значение которого, возможно, нуждается в уточнении. Значение величины близко к 42 годам – значению постоянной введённой С.П. Капицей (1996). Этот масштаб также близок ко времени жизни одного поколения.

В применении к популяции человека закон (3) может быть верен для некоторых популяций в некоторые периоды времени, но не описывает наблюдаемый рост популяции человека за всю его историю. Прдположение о постоянстве скорости роста неверно, и мы должны рассмотреть факторы, влияющие на скорость роста.

3.3 *Ограниченный рост – логистическая кривая*

Во многих случаях рост популяции ограничен некоторыми факторами (пища, жилища, болезни и т. д.), так что существует некоторое предельное постоянное значение численности $\bar{N}$. Для описания этого случая можно воспользоваться известным уравнением Ферхюльста (Verhulst, 1838; см. также, например, Murray, 1989), которое имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = r\left(1 - \frac{N}{\bar{N}}\right)N, \tag{5}$$

где r есть внутренняя, биологическая скорость роста популяции - постоянная Мальтуса. В этом случае коэффициент рождаемости-смертности не постоянен и имеет вид

$$b - d = r\left(1 - \frac{N}{\bar{N}}\right). \tag{6}$$

Уравнение (5) имеет стационарную точку $\bar{N}$, которая устойчива, поскольку $\dfrac{dN}{dt} < 0$ при $N > \bar{N}$ и $\dfrac{dN}{dt} > 0$ при $N < \bar{N}$. Явное решение уравнения (5) может быть легко найдено, если записать это уравнение в виде

$$\frac{dN}{N} - \frac{dN}{N - \bar{N}} = r\ dt.$$

Интегрирование этого соотношения определяет решение – уравнение логистической кривой

$$N(t) = \frac{\bar{N}\ N(0)\exp\ rt}{\bar{N} - N(0) + N(0)\exp\ rt}. \tag{7}$$

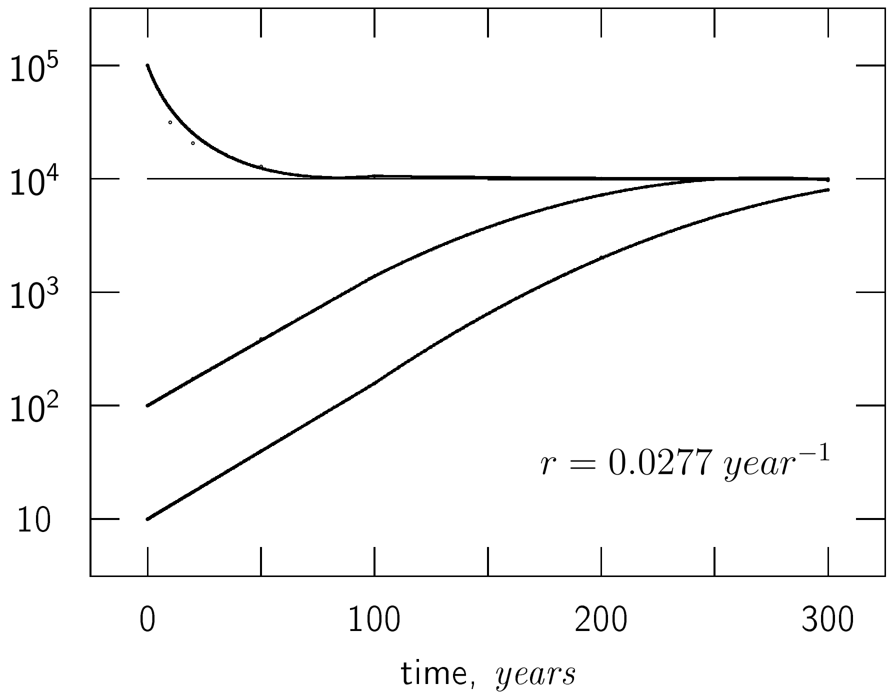

Figure 2 Эволюция численности популяции по уравнению (5)
Траектории эволюции приближаются к линии $N = \bar{N}$ сверху при $N > \bar{N}$ или снизу при $N < \bar{N}$. Вычислены при $r = 0.0277\ year^{-1}$, $\bar{N} = 10^4$, и различных начальных значениях $N(0)$.

Решение верно как для $N(0) < \bar{N}$ так и для $N(0) > \bar{N}$. При любом начальном значении траектории приближаются к асимптотической линии $N = \bar{N}$, как показано на рис. 2.

При постоянном значении $\bar{N}$ коэффициент рождаемости-смертности зависит от численности популяции, а уравнение (5) оказывается нелинейным. Эта нелинейность связывается обычно с эффектом подавления роста из-за взаимной конкуренции особей популяции. В этом случае можно также ввести коэффициент взаимного влияния особей или самоотравления a соотношением

$$\bar{N} = \frac{r}{a}. \tag{8}$$

Можно предположить, что уравнение (5) может быть использовано для описания роста популяции человека. Тогда, соотношение (6) позволяет при известном значении постоянной Мальтуса оценить эмпирические значения возможного значения численности $\bar{N}$, которые приведены в Таблице 1. Возможные значения возрастают монотонно вместе с ростом численности популяции и имеют в настоящее время значение

$$\bar{N} \approx 1.25 \times 10^{10}. \tag{9}$$

Соответствующие значения коэффициента взаимного влияния особей уменьшаются от своего естественного (на самой ранем этапе эволюции человека) значения

$$a \approx 10^{-6}\, man^{-1} \cdot year^{-1} \tag{10}$$

на несколько порядков.

Возникает чувство, что существует нечто, что увеличивает возможную численность популяции, и это нечто может быть качество жизни индивидуума. Человек живёт в окружении, которое частично создано самим человеком: одежда, здания, машины, транспортные средства, сети снабжения и коммуникации, домашние приспособления и так далее не являются естественными образованиями. Вода, тепло и пища поступают в жилища. Всё это моно определить как искусственную среду обитания, которая есть важный атрибут человеческого существования и должна быть включена в рассмотрение. Все искусственные предметы вокруг нас имеют специальную форму и приспособлены для использования человеком в специальных целях. Формы вещей не случайны. Эта означает, что человек привносит некоторую организацию (сложность) в окружающую среду - организацию полезную для человека. Эту организацию (сложность) можно также определить как общественное (национальное) богатство, которое есть результат функционирования общественной производственной системы. Рост популяции человека должен рассматриваться как результат одновременного роста общественного богатства, увеличивающего возможное значение численности популяции $\bar{N}$.

3.4 *Меняющийся предел роста*

Обращаясь теперь непосредственно к формулировке уравнения для описания роста численности человека, заметим, что население Земли составлено из множества независимо развивающихся популяций (Сови, 1973), что особенно верно для начальной стадии развития человечества[2], и потому любое уравнение, описывающее рост популяции, должно быть ковариантно по отношению к произвольным разбиениям численности, то есть, применимо как к отдельным независимым популяциям, так и к совокупности популяций. Например, если $N = N_1 + N_2$, то уравнения роста как для N, так и для N_1, N_2 должны иметь одинаковую форму. Уравнение (5) с постоянным значением $\bar{N}$ не удовлетворяет этому требованию, и, следовательно, не годится для описанию роста численности человека, что, впрочем, обсуждалось в предыдущем разделе. Из этих же соображений не годятся и нелинейные уравнения, записанные Капицей (1996) и Подлазовым (2001).

Уравнение (5) может служить удобным исходном пунктом в нашем поиске и позволяет удобно интерпретировать динамику развития. Согласно этому уравнению рост численности популяции не превышает возможное значение численности $\bar{N}$, которое меняется по своему собственному закону независимо от численности популяции. Возможное значение численности популяции $\bar{N}(t)$ определяется достигнутым уровнем технологического и организационного развития, которое позволяет человеку иметь удобства в получении пищи, устройстве жилища, защите от болезней и другие преимущества. Количественной мерой достигнутого уровня жизни может служить суммарная величина богатства, приходящегося на

[2] С.П. Капица (1996) утверждает противоположное, например, на стр. 65: "... взаимосвязанность и взаимозависимость современного мира, обусловленные транспортными и информационными потоками, объединяют всех в единое целое и дают неоспоримые возможности рассматривать сегодня мир как глобальную систему. ... И в далеком прошлом, когда людей было мало, а мир в значительной степени был разделен, его популяции медленно, но верно взаимодействовали". На это можно возразить, что для сложных систем, которыми являются популяции, даже взаимодействие в некоторых отношениях не означает, что в популяциях не могут протекать независимые процессы, которыми являются, по-видимому, демографические процессы. Во всяком случае, закон композиции совокупности зависимых или независимых популяций должен бы быть обсужден. Судя по некоторым отзывам (Цирель, 2003; Шишков, 2005), концепция С.П. Капицы представляется, в лучшем случае, малообоснованной.

одного человека W/N, и мы предполагаем, что существует функция

$$\bar{N} = N f\left(\frac{W}{N}\right). \tag{11}$$

Можно допустить, что величина W/N, в какой-то мере эквивалентна фактору называемому технологией, который использовался в ряде работ (Кремер, 1996; Подлазов, 2001), однако в отличие от количественой оценки общественного богатства, вопрос о количественной оценке уровня технологии находится лишь в стадии обсуждения (Stephan, 1996). Общественное богатство включает все достижения популяции, как материальные, так и нематериальные, и оценивается в стоимостных единицах; современные значения для всех стран приводятся в статистических сборниках. Значение интересующей нас величины для США, например, приблизительно равно 40 тысяч долларов на человека, но много меньше для большинства стран мира. Оценить национальное богатство в древние времена затруднительно. Чему равна, например, стоимость в современных ценах примитивного жилища, нескольких звериных шкур, примитивных инструментов и примитивных кухонных принадлежностей? В Таблице 1 я привожу возможные оценки, но очень бы хотел, чтобы меня поправили. Однако различие на несколько порядков не кажется невероятным.

Возможное значение численности $\bar{N}$ увеличивается с увеличением общественного богатства W. В древние времена скорость роста общественного богатства была очень мала и значение численности населения N было близко к значению возможной численности $\bar{N}$ как видно по Таблице 1. Отношение $N/\bar{N}$ было близко к единице в рание годы эволюции популяции, и отклонение этой величины от единицы может быть связано линейно с общественным богатсвом на одного человека

$$\frac{N}{\bar{N}(W/N)} \approx 1 - h\,\frac{W}{N}, \quad h\,\frac{W}{N} \ll 1 \tag{12}$$

где h есть коэффициент влияния общественного богатства на скорость роста популяции. Можно обратиться к данным в Таблице 1, чтобы получить грубую оценку коэффициента влияния

$$h \approx 0.002\, man \cdot dollar^{-1}.$$

Возможное значение численности популяции $\bar{N}(t)$ увеличивается монотонно при увеличении общественного богатства, однако коэффициент рождаемости-смертности может проявлять немонотонную зависимость. Обнаружилось, что коэффициент рождаемости-смертности как популяции человека в целом, так и населения отдельных стран проходит точку максимума, в чём можно убедиться, взглянув, например, на рис. 3 статьи С.П. Капицы (1997, стр. 67). Это событие определяется как демографический переход, которому можно дать объяснение с точки зрения рассматриваемых представлений.

3.5 *Опыт описания демографического перехода*

Для более детального описания рассмотрим отдельно коэффициенты рождаемости и смертности, каждый из которых по предположению зависит от благосостояния, которое в простейшем случае характеризуется одной величиной[3] – общественным богатством на одного человека W/N, то есть, будем считать, от одного безразмерного аргумента

$$x = h\,\frac{W}{N}. \tag{13}$$

Полагаем, что с увеличением благосостояния, как коэффициент рождаемости, так и коэффициент смертности монотонно убывают от некоторой величины, условно принимаемой равной коэффициенту Мальтуса, до некоторого положительного предела, что простейшим образом можно аппроксимировать функциями

$$b = r\left(1 - \frac{\gamma x}{1+\beta x}\right), \quad \frac{\gamma}{\beta} < 1 \tag{14}$$

$$d = r\left(1 - \frac{x}{1+\alpha x}\right), \quad \alpha > 1 \tag{15}$$

[3] Для описания особенностей роста популяции Коротаев и др. (2005) использовали две переменные: величину, которая по смыслу почти совпадает со скоростью роста благосостояния W/N, и *грамотность*, как фактор, влияющий на уменьшение рождаемости. Однако, грамотность может рассматриваться как составная часть общественного богатства и выделение этой части, без рассмотрения других, представляется искусственным. Возможно, по-видимому, указать некоторые другие составляющие общественного богатства, влияющие на уменьшение или увеличение рождаемости. Однако, столь детальное рассмотрение неуместно при нашем грубом описании, и мы ограничиваемся рассмотрением влияния одной характеристики – благосостояния, то есть величины совокупного накопленного общественного богатства (материального и нематериального, что включает грамотность) на одного человека.

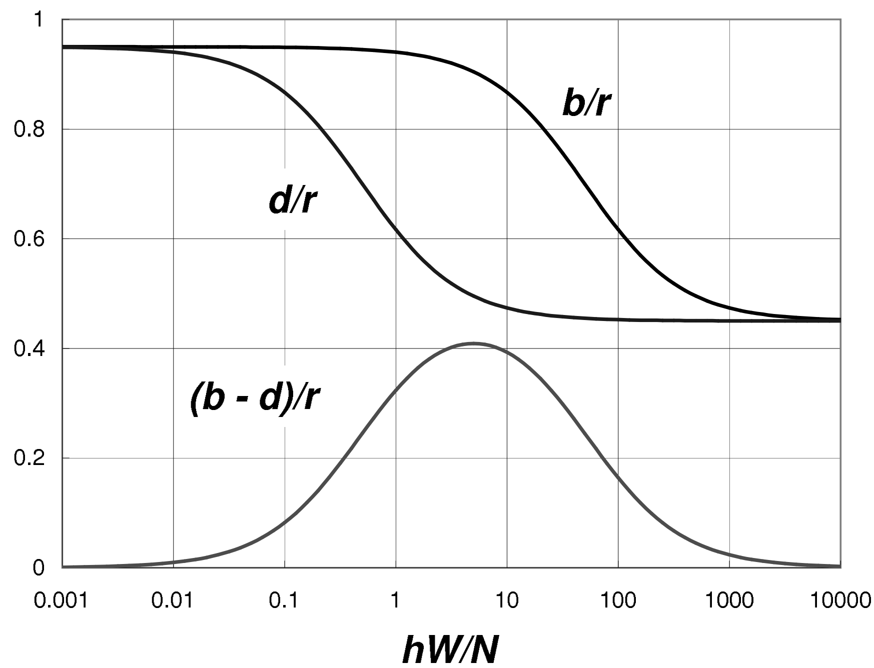

Figure 3 Демографический переход

Кривые представляют зависимости (14), (15) и (18) при значениях параметров: $\alpha = 2$, $\beta = 0.02$ и $\gamma = 0.01$.

Мы полагаем, что скорость приближения к пределу может быть различной у двух коэффициентов, причём уменьшение коэффициента рождаемости значительно запаздывает по сравнению с уменьшением коэффициента смертности, что определяет

$$\gamma \ll 1. \tag{16}$$

Мы предполагаем также, что при $x \to \infty$ численность населения стабилизируется, то есть становится постоянной, так что пределы должны быть одинаковы и потому

$$\beta = \alpha\gamma. \tag{17}$$

Конечно, возможен вариант, при котором скорость роста популяции остаётся конечной и равной $(b - d)_\infty$ при $x \to \infty$.

Выше записанные требования определяют выражение для коэффициента рождаемости-смертности

$$b - d = r\left(\frac{x}{1+\alpha x} - \frac{\gamma x}{1+\alpha\gamma x}\right), \tag{18}$$

первый член разложения которого

$$b - d \approx rx \tag{19}$$

совпадает с выражением для коэффициента рождаемости-смертности по (6), (12) и (13).

При сформулированных условиях уравнение (18) обладает максимумом в точке, которая определяется как точка демографического перехода. До точки демографического перехода коэффициент рождаемости-смертности возрастает, а после точки демографического перехода падает. Ситуация иллюстрируется на рис. 3. Реальные зависимости могут оказаться более сложными: рост популяции может сопровождаться не одним, как в рассмотренном примере, а несколькими демографическими переходами, которые могли происходить в более ранние периоды развития человечества.

Чтобы получить условие демографического перехода в других терминах, найдём условие экстремума коэффициента рождаемости-смертности

$$b - d = r\left(1 - \frac{N}{\bar{N}}\right), \tag{20}$$

рассматривая как фактическую, так и возможную численности популяции человека, N и $\bar{N}$, как функции времени. Экстремальное значение этой функции определяет условие демографического перехода как условие равенства скоростей роста функций N и $\bar{N}$

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dt} = \frac{1}{\bar{N}}\frac{d\bar{N}}{dt}. \tag{21}$$

До точки демографического перехода фактическая численность населения тесно следует за убегающим пределом. После точки демографического перехода скорость возрастания численности оказывается меньше скорости возрастания предела.

3.6 *Описание катастрофических событий*

Численность популяции человека в развитии, как правило, всегда меньше возможного значения, которое определяется текущим благосостоянием

$$N < \bar{N}\left(\frac{W}{N}\right). \tag{22}$$

Но что произойдёт, если случится катастрофа и внезапно все системы жизнеобеспечения исчезнут? Благосостояние исчезает, $W = 0$, и новое значение возможной численности падает до некоторого уровня, который может оказаться меньше или даже много меньше чем текущее значение численности

$$N \gg \bar{N}\,(0)\,. \tag{23}$$

При малых временах уравнение (7) определяет изменение численности популяции в виде линейного закона

$$N(t) = N(0)\left[1 + \left(1 - \frac{N(0)}{\bar{N}(0)}\right)\,rt\right]. \tag{24}$$

При выполнении условия (23) закон уменьшения численности может быть записан в виде

$$N = N(0)\left(1 - r\frac{N(0)}{\bar{N}(0)}\,t\right). \tag{25}$$

Это – закон уменьшения численности популяции в случае мировой катастрофы. Этот закон может быть также приложим к случаям, когда элементы накопленного общественного богатства внезапно исчезают, например, к случаю осаждённого города. По какому закону вымирало население блокадного Ленинграда?

4 Рост популяции и использование сторонних источников энергии

Учёт влияния национального богатства на скорость роста популяции человека позволяет описать динамику развития человечества вместе с возможными спадами и демографическими переходами. Закон роста популяции (2) при простейшей аппроксимации коэффициента рождаемости-смертности (17) записывается в виде

$$\frac{dN}{dt} = r\left(\frac{x}{1+\alpha x} - \frac{\gamma x}{1+\alpha\gamma x}\right)N, \quad x = h\,\frac{W}{N}, \tag{26}$$

где r есть внутренняя, биологическая скорость роста популяции – постоянная Мальтуса.

Наверное, не может быть возражений против общей идеи благотворного влияния богатства на процветание человечества. Человек строит жилища, в которые поступает тепло и вода, производит одежду и пищу. Человек живёт в искусственно созданном окружении – в окружении, которое человек сам сконструировал по своим потребностям. Всё это, в том числе и нематериальные ценности (системы знаний, организационные конструкции, этические правила, произведения искусства, ...), представляет общественное богатство, которое может быть учтено в единицах стоимости и обозначено символом W. Изменение общественного богатства определяется простым балансовым уравнением

$$\frac{dW}{dt} = Y - cN - \mu W, \tag{27}$$

что представляет разницу между результатом продуктивной деятельности членов общества за некоторую единицу времени (валовым внутренним продуктом) Y и исчезновением общественного продукта за этот же период времени, как в результате непосредственного потребления cN, так и из-за старения или износа μW. Величина μ есть коэффициент амортизации, принимаемый для простоты единым для всех компонент общественного богатства.

Соотношения (26) и (27) описывают взаимозависимость роста популяции и экономического развития. Скорость роста популяции изменяется с увеличением богатства, но рост богатства определяется участием человека в экономическом процессе как производителя и потребителя. Принимая во внимание, что в производстве участвует не всё население, а только его экономически активная часть, что составляет около половины всей численности, мы можем записать

$$Y = \frac{1}{2}\,B\,N. \tag{28}$$

Величина B есть та самая производительность труда, возрастание которой определяет смену одной общественной формации другой, более совершенной. Возрастание производительности труда невозможно понять без учёта явления, сопровождающего развитие производства, – привлечение сторонних источников энергии (домашние животные, ветер, вода, уголь, нефть, ...) для выполнения хозяйственных работ, что замещает усилия человека в производстве. Эффект замещения полностью описывает наблюдаемую динамику производства (Pokrovski, 2003). Из полученных результатов следует, что влияние замещения на производительность труда можно описать с помощью простого уравнения

$$\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} = \frac{(1-\bar{\lambda})\,(\nu+\mu)}{\bar{\lambda}}\,B, \quad \nu = \frac{1}{N}\frac{dN}{dt}. \tag{29}$$

В этом уравнении, кроме уже знакомого коэффициента амортизации μ, присутствует безразмерная величина $\bar{\lambda}$, которая характеризует вводимую в производство технологию. Если $\bar{\lambda} = 1$, изменений в технологии не происходит, производительность труда постоянна, и все приращение продукта связано только с увеличением численности работающих. Человеческие усилия есть, конечно, главная движущая сила, но, при условии $\bar{\lambda} < 1$ усилия работающих частично замещаются работой машин, движимых сторонними источниками энергии, в результате чего производительность труда увеличивается. Это общее описание влияния научного и технологического прогресса, которое естественным образом вписывается в картину развития человечества.

5 Заключение

По-видимому, невозможно объяснить рост численности человечества, не ссылаясь на общественную производственную систему – способ приспособления человека к условиям существования. Действительно, обосновывая свои модели, Кремер (1993), Подлазов (2001), Коротаев и др. (2005) обращаются к тем или иным характеристикам производственной системы – это общая черта цитированных работ и представленной в этой публикации теории. Можно проследить сходство и в некоторых деталях: величины, с помощью которых формулируют свои уравнения Коротаев и др. (2005), имеют аналоги в настоящей работе. Учёт взаимовлияния производственной системы и демографических процессов приводит к уравнениям

(26) - (29), которые представляют простейшую систему уравнений эволюции человечества. Чтобы выяснить какие уточнения необходимы для более аккуратного описания, следует, по-видимому, обратиться к хорошо документированной динамике развития отдельных народов.

6 Литература

Barlow, R. (1994), Population growth and economic growth: Some more correlation, *Population and Development Review*, vol. 20 (1), pp. 153-165.

Carr-Saunders, A.M. (1936), *World Population: Past Growth and Present Trends*, Oxford University Press, London.

Clark C. (1968), *Population Growth and Land Use*, Macmillan, London *etc.*

Durand, J.D. (1977), Historical estimates of World population: An evaluation, *Population and Development Review*, vol. 3 (3), pp. 253-269.

Gilland, B. (1995), World population, economic growth, and energy demand, 1990-2100: A review of projections', *Population and Development Review*, vol. 21 (3), pp. 507-539.

Horner von S.J. Population explosion and interstellar expansion // J. British Interplanet. Soc. 1975. Vol.28. P. 691

Kremer M. 1993. Population growth and technological change: One million B.C. to 1990. The Quarterly Journal of Economics 108: 681-716.

Lotka A.J. (1925), *Elements of Physical Biology*, Williams and Wilkins, Baltimore.

Malthus, T. Robert (1798). An Essay on the Principle of Population. As it affects the future improvement of society with remarks on the speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and other writers.

Mithen, Steven and Melissa Reed. (2002), Stepping out: a computer simulation of hominid dispersal from Africa, *Journal of Human Evolution*, vol. 43, pp. 433-462.

Murray, J.D. (1989), *Mathematical Biology*, Springer-Verlag, Berlin *etc.*

Pokrovski V.N. Physical Principles in the Theory of Economic Growth. Ashgate, Aldershot, 1999.

Pokrovski, V.N. (2003), Energy in the theory of production. Energy - The International Journal. Vol. 28 No 8, pp. 769-788.

Stephan, P.E. (1996), 'The economics of science', *Journal of Economic Literature*, vol.34 (3), pp. 1199-1235.

Verhulst, P.F. (1838), 'Notice sur la loi que la population suit Dans son accroissement', *Corr. Math. Et Phys.*, vol. 10, pp. 113 - 121.

Volterra, V. (1931), *Lesons sur la mathematique de la lutte pour la Vie*, Marcel Brelot, Paris.

World Population Projections, 1992 - 93 Edition (1992), John Hopkins University Press for the World Bank, Baltimore and London.

Капица С. П. Феноменологическая теория роста населения Земли. Успехи физических наук, том 166(1), стр. 63 - 80 (1996).

Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. (A.V.Korotaev, A.S.Malkov, D.A.Khalturina) 2005. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования (Mathematical model of population growth, economics, technology and education Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science).

А.В. Молчанов, Развитие теории С.П. Капицы. Гипотеза сети сознания. Санкт-Петербург, 2006. Http://avmol51.narod.ru/index.html#s1

Подлазов А.В. (A.V.Podlazov). (2001) Основное уравнение теоретической демографии и модель глобального демографического перехода (Master Equation of the Theoretical Demography and a Model of the Global Demographic Transition Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science) ИПМ им. М.В.Келдыша РАН

Сови А. Общая теория населения. М.: Прогресс, 1977.

С.В. Цирель (2003), О феноменологической теории роста населения Земли С.П. Капицы. Демоскор Weekly, № 139 - 140, 15 - 31 декабря 2003. Http://www.demoscope.ru/weekly/2003/0139/analit02.php

Ю.В. Шишков (2005), Демографические похождения физика // Общественные науки и современность. 2005. № 2. С. 156-161. Текст можно найти на Http://www.avmol51.narod.ru/Shishkov/d.htm