

УДК 911.3
А. Д. Шоркин

Модель динамики населения мира

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени
В. И. Вернадского», г. Симферополь
e-mail:alexshorkin@mail.ru

Аннотация. Модель построена на математической основе разностного уравнения. Управляющий параметр уравнения рассчитан в соответствии с данными статистик мирового населения после 1962 года. Полученная величина управляющего параметра (3,21) коррелирует с константами Файгенбаума, Неппера и Эйлера-Маскерони. Впервые показано, что временные промежутки между последовательностью ключевых («базовых») интерационных значений численности населения мира с глубокой древности и до наших дней являются функциями управляющего параметра. Базовая цепь полученных интерационных значений охватывает всю историческую динамику популяций гоминид и *Homo sapiens*, согласуется с большей частью имеющихся демографических данных и антропологических оценок. В отличие от ранее предложенных формул, модель предусматривает периоды спада (а не только роста) населения мира. Суть демографических переходов состоит в переходе с одного аттрактора развития – на другой, и сопровождается катастрофическим спадом численности мирового населения. Реконструированы переходы прошлых лет: времён мустье, мезолита и первых веков новой эры. Согласно модели, в середине 40-х годов XXI века демографические процессы достигнут очередной точки бифуркации, после которой развитие будет происходить (как и в случаях переходов прошлых лет) не по «верхнему» аттрактору, сценарии которого тщательно исследованы экспертами, а по «нижнему». Через 25-30 лет прогнозируемое экспертами ООН постепенное замедление роста населения планеты резко, сменится его быстрым и длительным падением, в результате которого население планеты сократится более чем на четверть, с 8,7 миллиардов человек до 6,4. Скорость спада, согласно модели, также является функцией управляющего параметра. Предложенная модель в практике применения допускает её достройку и адаптацию к эмпирическим фактам.

Ключевые слова: демографический переход, аттрактор, бифуркация, управляющий параметр, базовая цепь интерационных значений.

Введение: особенности модели

Особенностью предлагаемой модели от ранее предложенных расчётных формул N (например, Г. Форстером, С. Хорнером, С.П. Капицей, А.В. Коротаевым, А.С. Малковым, Д.А. Халтуриной и другими авторами) является то, что в ней предусмотрен учёт наблюдаемых и описываемых демографами многочисленных фактов процессов убыли (а не только роста) населения планеты. Другая, возможно, ещё более важная, особенность состоит в том, что она не даёт завершённой картины динамики N , а предлагает простые

инструменты, пользуясь которыми антропологи и демографы могут её детализировать и даже кое-где по-своему переделывать – с учётом вновь открываемых эмпирических данных, оценок и гипотез. Данная модель не жёсткая, а гибкая, она способна быть податливой в руках того, кто её применяет. Твёрдыми и неизменными остаются только параметры порядка модели, правила того, что с ней можно делать, а что – нет.

Использованные методы и материалы построения модели

Для её построения, во-первых, была использована ныне широко применяемая биологами модель П.Ф. Ферхюльста. Как известно, он, в отличие от Мальтуса, ввёл в уравнение компоненту, учитывающую соперничество за обладание ресурсами (число конкурентных столкновений между членами популяции), которая тормозит рост популяции, превращает экспоненту – в логистическую кривую, в сигмоиду. После построения её вариаций, кривых Пирла-Рида (1928), идею конкуренции используют только имплицитно, и уравнение Ферхюльста обычно записывают в виде:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right), \quad (1)$$

где: N – численность популяции; r – удельная внутренняя скорость её роста, равная отношению индексов рождаемости и смертности, и называемая также репродуктивным потенциалом популяции; K – предел увеличения численности популяции (трактуемый также как ёмкость среды или ресурсов).

Областью применения данной модели нам служила динамика N после 1962 года, со времени максимального относительного прироста N (что является условием её использования). Ежегодные статистические данные за последние полвека несравненно надёжнее, чем для любого периода в прошлом, что делает расчёты точнее. Задача состояла в том, чтобы определить K – максимальное значение N , а также тот параметр порядка (обозначим его α), который управлял бы уравнением таким образом, чтобы расчётные ежегодные значения N и его процентного роста, начиная с 1963 года, соответствовали данным статистики [3, 4, 5, 6]. Для этой цели дифференциальное уравнение (1) нами было модифицировано в разностное уравнение вида:

$$N_{i+1} = N_i \left(1 + 0,01\alpha \left(1 - \frac{N_i}{K} \right) \right), \quad (2)$$

Поиск значений α и K осуществлялся методом проб и ошибок, расчёты сотен значений N_i для каждого из вариантов сочетания α и K производились на калькуляторе. Весьма трудоёмкий, в отсутствие компьютерной программы, анализ более десятка рассмотренных вариантов в итоге позволил получить релевантные значения: $\alpha = 3,21$ и $K = 10,1$ миллиарда.

При данных найденных значениях α и K , согласно формуле (2), например, численность населения в 1964 году в 1,0219106 раза больше, чем в 1963 году (то есть, его прирост составил 2,19 %). Согласно статистическим данным, население планеты в 1963 году составляло 3,206 млрд, а, значит, расчетное значение для

1964 года – 3,276 миллиарда. Далее по этой же формуле мы получили значения N_{i+1} для всех последующих лет, подставляя в неё именно расчетные значения N_i . Отклонения полученных таким путём ежегодных значений N (вплоть до настоящего времени) от статистических данных колеблются от 0,1 до 1%. Реальная и расчётная динамика замедления темпов роста населения представлена следующим графиком на рис. 1

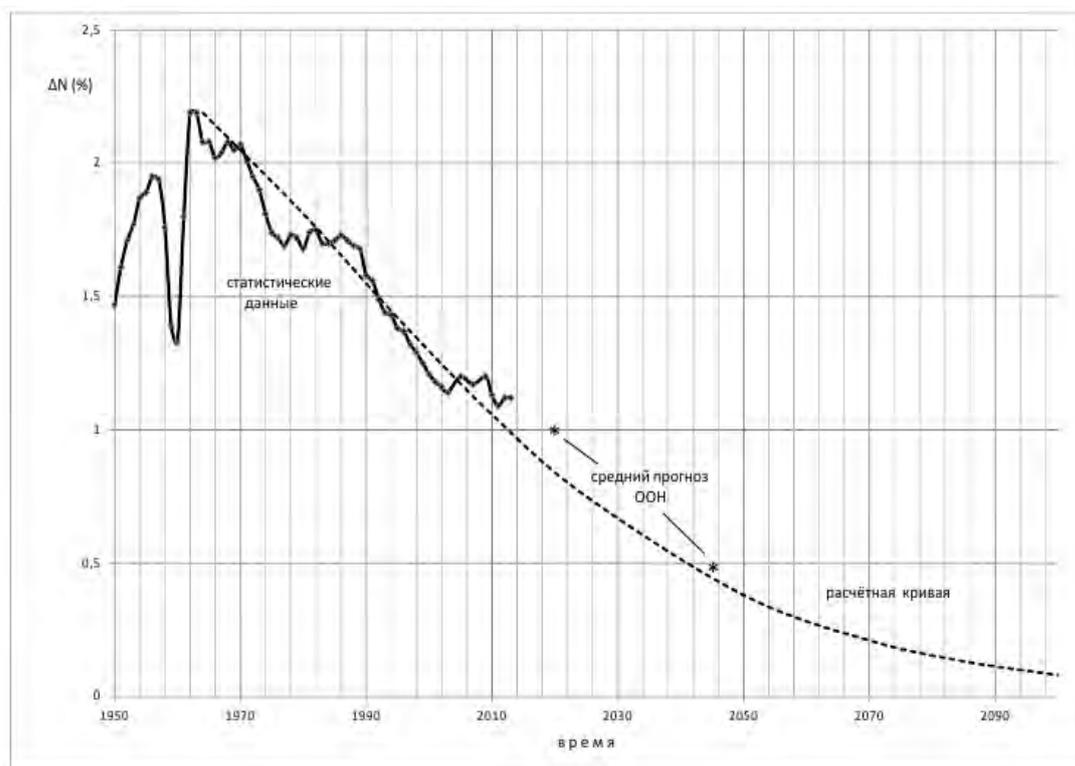


Рис.1. Динамика замедления темпов роста N

На первом этапе построения нашей модели удалось, таким образом, опираясь на статистические данные последних пятидесяти лет, осуществить прогноз, который близок к среднему прогнозному варианту экспертов ООН. Модельный расчёт численности людей прогнозирует достижение восьми миллиардов к концу 20-х годов этого века, девяти – в начале 50-х годов, десяти – к концу 20-х годов ХХII века, а затем N постепенно стабилизируется на уровне 10,1 миллиардов.

Новизна модели: возможность спада численности мирового населения

Но пока наша модель не дала ничего нового. Её новизна становится очевидной в том случае, когда, пользуясь введённым и найденным параметром порядка $\alpha = 3,21$, мы отследим последовательность итерационных значений N функции, обобщающей уравнение (2):

$$N_{i+1} = \alpha N_i (1 - N_i), \quad (3)$$

Это, на первый взгляд, простое логистическое разностное уравнение, в котором последовательность итераций переменной нормирована на отрезок условных значений от 0 до 1 ($N \in [0; 1]$), хорошо изучено и широко применяется как в естественных, так и общественных науках (разумеется, тогда переменная N – это не обязательно численность населения). Его плодотворность в описании сложных динамических (нелинейных) систем основана на том, что при увеличении параметра порядка α можно получить разительно отличные варианты поведения описываемых объектов: от устремлённости траектории состояния системы к единственному значению – к нескольким значениям (двум, четырём, восьми...) и даже вообще к их хаотической неопределённости [7, С. 81-90; 8, С. 87-91; 9, С. 82-97]. При $\alpha = 3,21$ по достижению некоторого значения N (что нетрудно проверить: взять любое значение N_i , большее, чем 0, но меньшее, чем 1, подсчитать N_{i+1} , перейти от него к N_{i+2} и т.д.) кривая разветвляется (рис. 2).

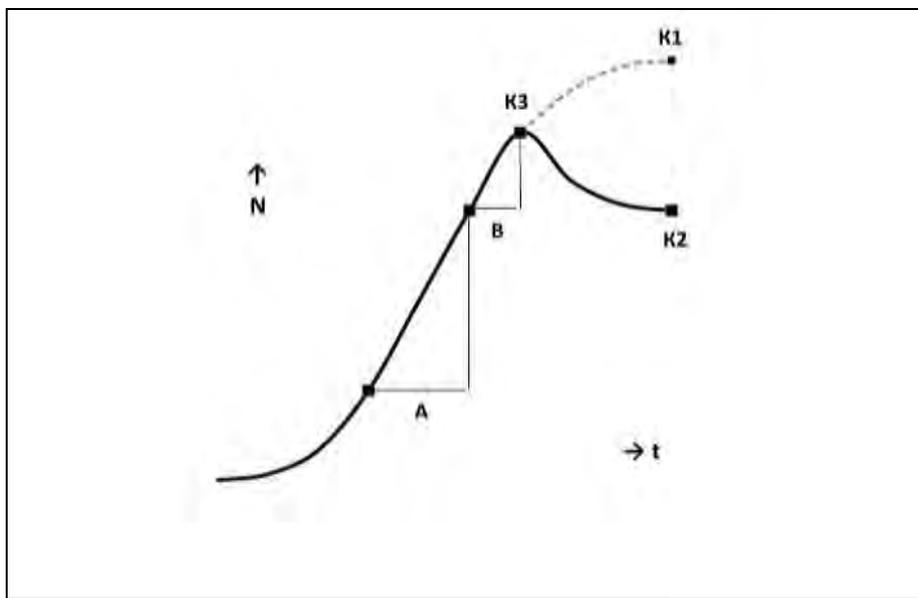


Рис.2. Схема динамики N в зоне бифуркации

В нашем случае верхний аттрактор достигает максимума K_1 (то есть, как мы уже выяснили на первом этапе построения модели, 10,1 миллиардов человек) при $N = 0,802222$. При попытке взять следующее за точкой 0,802222 итерационное N_{i+1} значение мы попадаем в точку K_2 – в зону нижнего аттрактора, равную 0,5093045. Выше K_1 кривая не поднимается, но все значения N нижнего аттрактора только повторяют значения, ранее пройденные до точки бифуркации (ветвления) K_3 . В этой точке кривая динамики раздваивается. Значение K_3 , согласно уравнению, 0,688475. Из пропорций нетрудно видеть, что (при нормировании 10,1 млрд на 0,802222) $K_2 = 6,412$ млрд и $K_3 = 8,668$ млрд

Значения N систематически контролируются управляющим параметром α . Например, в этой зоне:

$$\begin{aligned} K_3 &= (\alpha - 1) / \alpha; \\ K_1 + K_2 &= (\alpha + 1) / \alpha; \\ K_1 + K_2 + K_3 &= 2. \end{aligned}$$

Чтобы получить точное значение K_1 , знаменатель расчёта K_3 нужно уменьшить на $1/(\alpha-1)$, значение K_1 близко к $\alpha/4$.

В какой именно из двух аттракторов будет реально втянута динамика N по достижению точки бифуркации, из уравнения понять нельзя. Но то, что они оба возможны – математически бесспорно. Причём динамика в нижнем аттракторе носит катастрофический характер, сопряжена с 26 % убылью населения, ранее имевшегося в точке K_3 . Численность населения планеты может сократиться на два с четвертью миллиарда человек. Важно, что из уравнения (2) нами уже получены нужные здесь расчетные данные для определения даты точки бифуркации K_3 : в 2042 население достигнет 8,649 млрд., в 2043 – 8,689. Иными словами, с середины 40-х годов XXI века возможен кардинальный слом привычной динамики: вместо роста N в половину процента в это время и медленного последующего снижения роста до нуля (рис. 1) – резкое падение ΔN в область отрицательных значений ($-0,5\%$) и длительный период убыли населения до K_2 .

В сравнении с нашим модельным уравнением (3) модель Ферхюльста предпочтительна простотой корректного описания верхнего аттрактора, но, увы, вовсе «не замечает» аттрактора нисходящего.

Новизна модели: базовая цепь интерационных значений, их привязка ко времени

Модификация уравнения (1) введением управляющего параметра α в уравнение (2) также преследовала цель расширить область его применения в виде (3) на весь временной диапазон динамики N , начиная с отдалённого прошлого. Уравнения (1) и (2) описывают только будущее, а не прошлые состояния.

Принципиальная сложность, которую пришлось преодолеть, состоит в том, что разностные уравнения способны установить последующее значение переменной от предшествующего её значения (то есть, – интерационные значения), но каким временным промежутком они разделены – здесь вопрос или тривиальный, или бессмысленный. Время в них вообще не фигурирует, поэтому при применении таких уравнений, темпоральные скачки между дискретными состояниями (интерациями) *подразумевают* строго одинаковыми – скажем, годовыми или сезонными.

Такая стратегия, математический смысл которой состоит в том, что $N_{t+1}=f(N_t)$, с 50-х годов прошлого века успешно применяется биологами и экологами. Например, австралиец В. Е. Рикер сформулировал надёжные рекомендации оптимизации рыбных промыслов. Она действительно эффективна для исследования популяций, но только для тех, в которых смены поколений происходят синхронно – рыб, насекомых и т.д. Ю. Одум называет такую синхронность «дискретностью», и справедливо считает, что разностные уравнения являются хорошим способом описания «популяций видов с дискретными поколениями» [10, С. 36].

Но человечество к таким видам не относится, смены поколений людей происходят не дискретными скачками, а являются непрерывным процессом. Мы, в итоге, не можем подразумевать ни тривиальности вопроса о темпоральных интервалах между интерационными значениями, ни полагать его бессмысленным. Так как управляющий параметр α оказался вполне эффективным для описания

динамики N после 1963 года, то почему бы не предположить, что он также управляет продолжительностью временных отрезков между иными интерационными значениями N ?

Подтверждение и разработку этой новой, насколько нам известно, гипотезы нужно начать с анализа динамики N в зоне бифуркации (рис. 2). Значение N , равное K_2 (0,5093045 или 6,412 млрд) повторяется дважды: до и после точки бифуркации. Согласно данным статистики, такая численность населения была достигнута в 2004 году. Именно как можно ближе к этой точке нам и нужно подойти, двигаясь интерационными скачками из прошлого. Начиная с 0,000002 (то есть 25 тысяч человек), по цепочке последующих интерационных значений, после десятого шага мы добрались до 0,198111 (2,494 млрд) и, последним скачком, до 0,50999 (6,420 млрд) Такая точность «подскока» для наших целей и уровня достоверности статистических данных вполне достаточна. Полученную последовательность назовём *базовой цепью интерационных значений численности мирового населения* (табл. 1).

Эти значения и нужно привязать ко времени.

Таблица 1.

Базовая цепь интерационных значений численности мирового населения

№	$N[0; 1]$	N (чел.)	время
1	0,000002	25 тыс.	
2	0,0000063	78 тыс.	
3	0,00002	252 тыс.	
4	0,00065	818 тыс.	
5	0,0002	2,518 млн.	
6	0,0006418	8,08 млн.	
7	0,0020587	25,96 млн.	
8	0,006595	83,03 млн.	
9	0,021029	264,7 млн.	
10	0,066084	832 млн.	1772
11	0,198111	2,494 млрд.	1949
12 (K_2)	0,50999	6,420 млрд.	2004
K_3	0,688475	8,668 млрд.	2042

Временная продолжительность последнего скачка, которым было достигнуто K_2 (двенадцатое в нашей цепочке значение), является в нашей модели универсальной демографической константой. Обозначим её символом A (рис. 2). Эта постоянная совместно с параметром α управляет временным лагом других скачков. Значение A будем оценивать, исходя из статистических данных: 2004 год минус 1948 год (когда численность населения приближалось к 2,5 миллиардам), итого 56 лет. Так как статистика даётся на начало года, значение A меньше. Оно нами было уточнено с учётом временного промежутка B между K_2 и K_3 , близкого к 38 годам. Учитывая, что K_3 имеет значение 0,688475 и что $K_3 \approx A/B$, расчётное значение A составляет 55,2 года.

Для идеальной динамики, без фактов убыли N в прошедшей истории, продолжительность каждого итерационного шага составляет $\alpha^n \times A$. Продолжительность последнего скачка, от 1949 к 2004 равна $\alpha^0 \times A$, – 55,2 года. Длина предыдущего шага – $\alpha^1 \times A$, то есть, 177,19 лет, и значение № 10 попадает на 1772 год (1949 минус 177). От значения № 9 к последующему, динамика добралась за $\alpha^2 \times A$, то есть за 568,79 года, и его, как будто бы, следует датировать 1203 годом.

Однако такая идеальная динамика, согласно эмпирическим данным, экспертным оценкам демографов и антропологов, в жизни то и дело (в том числе и в промежутке между XIII и XVIII веками) нарушалась весьма существенным образом. Полезные оценки и сведения о причинах существенных колебаний народонаселения регионов приводят также историки. Например, [11, С. 9-50; 12, С. 72-75; 13, С. 106-158; 14, С. 75-120]. Наша расчётная кривая, представленная на рис. 3, адаптирована к большинству из существующих демографических оценок, часть из которых представлена серыми точками и пунктирными линиями.

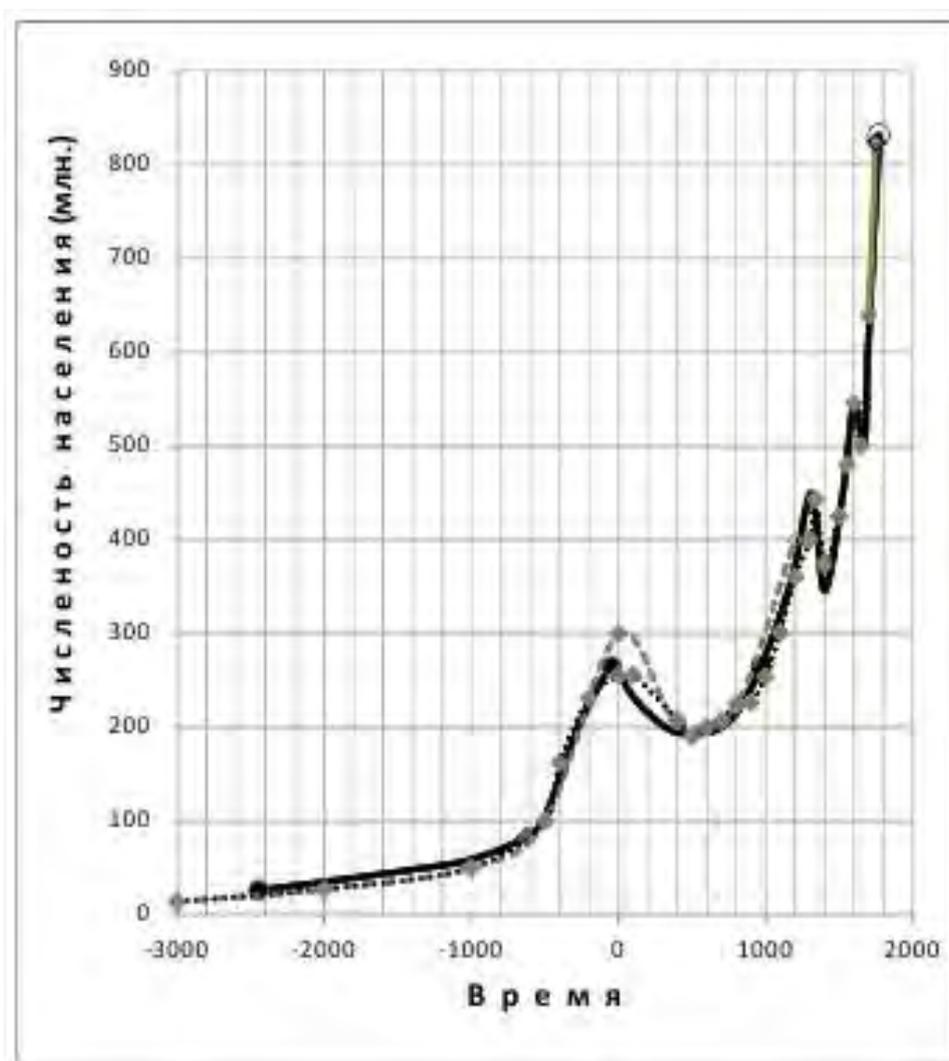


Рис.3. Моделирование демографического перехода первого тысячелетия н.э.

Время спада и восстановления N в XIV-XVI веках, между 1312 и 1544 годами рассчитаем как $(\alpha+1) \times A$, то есть, 232,4 года, что соответствует демографическим оценкам. Значит, временной промежуток между 9 и 10 интерационными значениями составляет не $\alpha^2 \times A$, а $\alpha^2 \times A + (\alpha+1) \times A$, то есть 801 год. Численность населения, равную 265 млн (точка №9) следует датировать, таким образом, не 1203, а 971 годом (1772 минус 801).

Через 1025 лет, в 54 году до новой эры данное значение $N=265$ млн повторяется. Мы попадаем в эту точку, взяв коэффициент временного шага от 1772 года, равный α^3 . Коэффициент перехода между +971 и -54 годами равен $\alpha^2(\alpha-1) - (\alpha+1)$.

Подобную подстройку модели под эмпирические данные ошибочно негативно оценивать как «подгонку»: привязку параметров к опытным данным математики считают нормальной процедурой «идентификации модели».

Регуляция времени переходов ко всем иным интерационным точкам базовой цепи также осуществлена посредством параметра управления α с учётом антропологических и демографических оценок. Реальная динамика, содержащая периоды убыли мирового населения, привязывает значения базовой цепи ко времени следующими функциями управляющего параметра (табл. 2).

Таблица 2.

Привязка ко времени значений базовой цепи управляющим параметром

N (чел.)	время	темпоральный коэффициент как $f(\alpha)$	
1	2	3	
8,668 млрд.	2042		
		$\alpha^{-1}(\alpha-1)$	
6,420 млрд.	2004		
		α^0	
2,494 млрд.	1949		
		α^1	
832 млн.	1772		α^3
		$\alpha^2+(\alpha+1)$	
265 млн.	971	$\alpha^2(\alpha-1) - (\alpha+1)$	
265 млн.	- 54		
		α^2	
83 млн.	- 623		
		α^3	
26 млн.	- 2 449		
		α^3	
8,1 млн.	- 4274		
		α^4	
2,52 млн.	- 10,135 тыс.		
		$\alpha^3(\alpha^2-1)$	
2,52 млн.	- 27,112 тыс.		α^6
		$2\alpha^5$	

Продолжение таблицы 2

1	2	3
818 тыс.	- 64,738 тыс.	$\alpha^5(\alpha-2)$
818 тыс.	- 87,502 тыс.	
		α^7
244 тыс.	- 281 тыс.	α^8
76 тыс.	- 903 тыс.	
		α^9
25 тыс.	- 2,9 млн.	

Результаты и обсуждение: модельные реконструкции антропологических переходов

Одна из реконструкций, имеющая хорошее согласие с эмпирическими данными, была представлена на рисунке 3. Далее приведём (в качестве более дискуссионных вариантов модельных реконструкций) динамику N этапа перехода к производящему хозяйству (рис. 4), а также более раннего периода становления Homo sapiens sapiens (рис. 5)

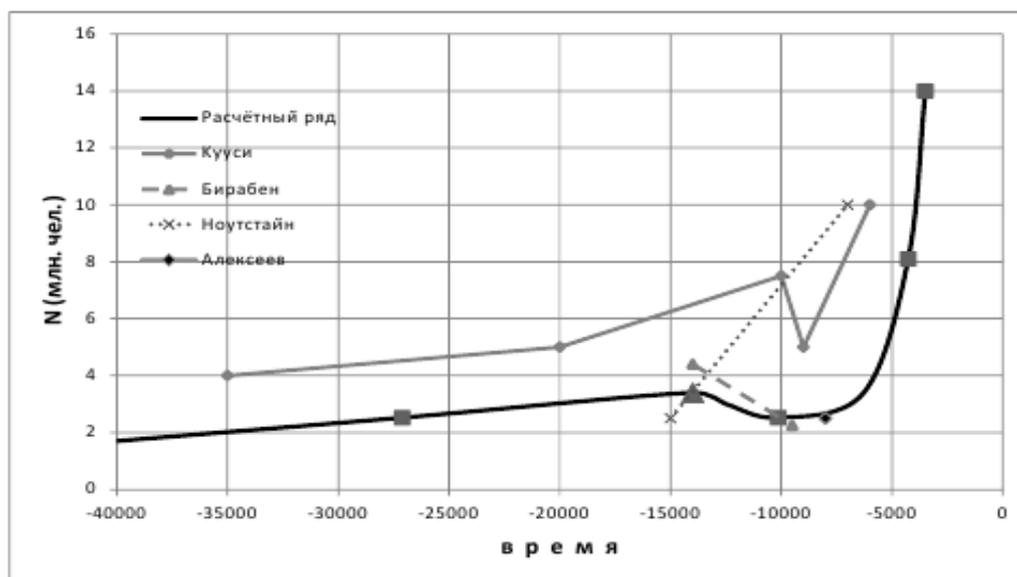


Рис. 4. Реконструкция динамики N на этапе перехода к производящему хозяйству

Временной интервал между датировками интерационных значений (они на графике обозначены квадратами) $-10,135$ тыс. лет и $-27,112$ тыс. лет меньше $\alpha^5 \times A$ на величину $\alpha^3 \times A$, то есть на один процент. Точка бифуркации этого мезолитического демографического перехода (она обозначена треугольником), который предваряет неолитическую революцию, в модели датирована $14,092$ тыс. лет до н.э. с $3,410$ млн населения планеты. Только к VI тысячелетию этот уровень вновь достигается – после

продолжительного и мощного падения численности населения до двух с половиной миллионов человек. И только потом – «демографический взрыв».

В более ранние времена отстояние во времени точек $-27,112$ тыс. лет и $-87,14$ тыс. лет составляет $\alpha^6 \times A$. Между ними – точка бифуркации (её координаты: $N=1,1$ млн и $t=70,145$ тыс. лет) и демографический переход позднего мустье.

Таким образом, и значения N в базовой цепи интераций, и их датировка являются функциями управляющего параметра α . Возможно, его значение (равное, напомним, $3,21$) характеризует понятие «биотического потенциала» человечества, операциональная трактовка которого до сих пор оставалась неясной.

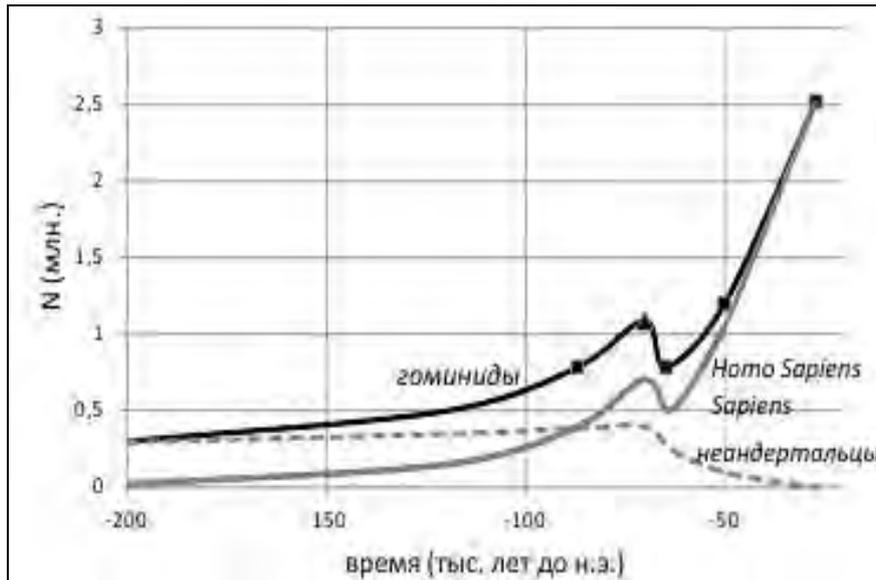


Рис.5. Возможный модельный вариант динамики становления Homo sapiens sapiens

Общий результат: характер динамики N в демографических переходах

Общая расчётная картина динамики населения мира с учётом сделанных (не всегда обязательных, открытых для критики и уточнений) допущений и реконструкций может быть представлена в следующем виде.

Она состоит из трёх главных сигмоид, соответствующих добротным описанным демографам типам воспроизводства населения, которые связаны с перестройкой типов рождаемости и смертности. Графически наглядны циклы генезиса вида Homo sapiens, его последующего становления и расселения по всей планете. Следующий цикл начинается неолитической революцией и завершается осевым временем. Последний из циклов начинается в середине первого тысячелетия новой эры, включает в себя два меньших цикла, приходящиеся на Ренессанс и на период научно-технической революции, и завершается к середине XXI века.

Формы всех сигмоид как аттракторов динамики N искажены: у них «оборваны» поздние, завершающие части, где N могли бы стабилизироваться на максимумах значений. После точек бифуркаций во всех случаях наблюдаются демографические спады, после которых динамика втягивается в новый аттрактор.

Кроме того, плавность логист может быть разорвана «всплесками» и «провалами» с неперменным, однако, возвращением к прерванной динамике.

Современный демографический переход вовсе не является беспрецедентным и самым крупным изменением в жизни человечества, как это зачастую представляют исследователи (например, С.П. Капица). События столь же грандиозного масштаба уже прежде случались в истории не менее трёх раз. Плодотворная концепция «демографического перехода» обобщена Фрэнком Ноутстайном и его последователями до картины глобальной динамики народонаселения, в которой «фазы» демографического перехода соответствуют типам воспроизводства населения. Но именно между этими «фазами» и происходили переходы в прошлом.

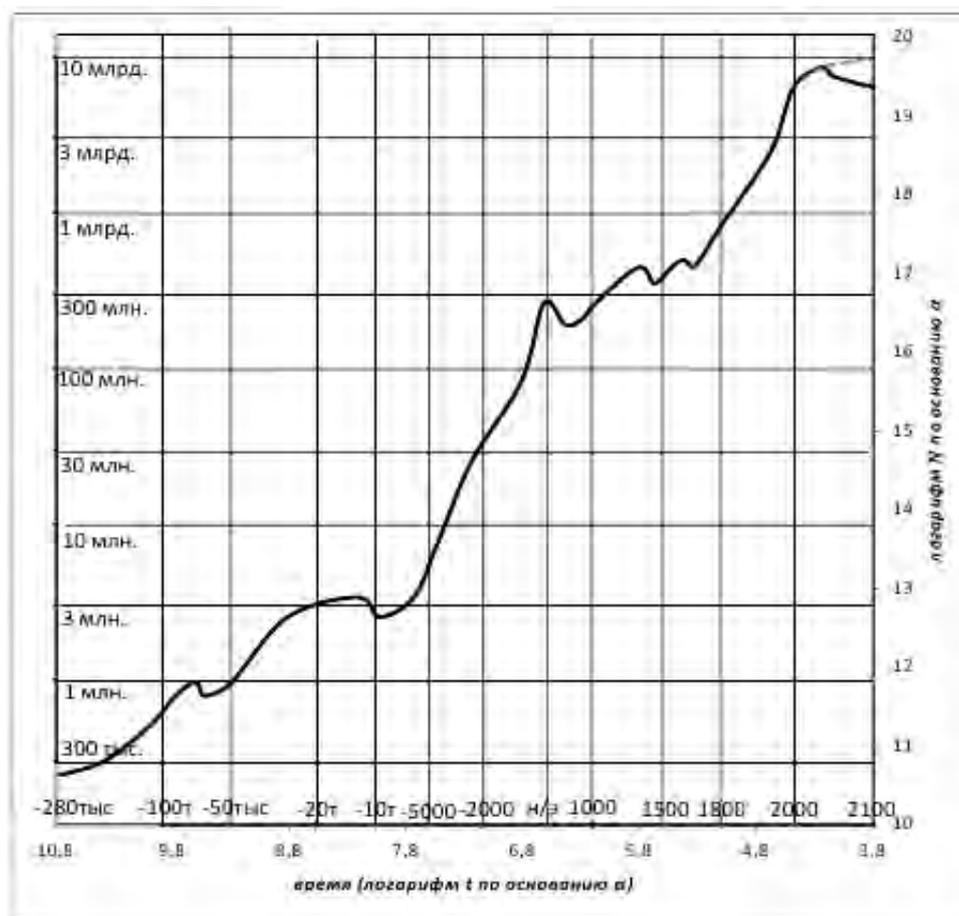


Рис.6. Динамика населения мира

Заслуженную популярность после А. Ландри приобрело понятие «демографическая революция». К сожалению, оно, как правило, трактуется только как «демографический взрыв». Но наряду с резким ростом N в аномальной динамике перехода также наблюдается ситуация (по удачному выражению Ф. Броделя) «демографической перегрузки» с предваряющим последующий взрыв демографическим спадом.

В нашей модели, таким образом, суть демографического перехода состоит в том, что по достижению ситуации демографической перегрузки (точки бифуркации K_3) условно гладкая кривая роста N ломается, население на протяжении длительного периода начинает систематически убывать. Достигнув «дна» (K_2) и потеряв больше четверти населения, N вновь начинает расти, выйдя на новый аттрактор развития.

Пользуясь представленными выше данными модели, нетрудно рассчитать темпы роста и спада N на протяжении всей истории.

Немного сложнее оценить время, за которое происходит спад N от точки бифуркации до «дна» (от K_3 до K_2). Оно также является функцией управляющего параметра и рассчитывается в модели как $\alpha^n \times B$ (см. рис. 2), где n принимает одно из трёх значений: $-1, 0, +1$. Демографический переход новой эры, в сравнении с предшествующими переходами, отличен более щадящим, менее резким темпом спада ($n=+1$). Выбор n определяется эмпирическими данными, и зависит от того, вследствие нехватки каких именно ресурсов – природных, социальных или гуманитарных – сложилась ситуация демографической перегрузки.

Во всей прошлой истории демографические переходы и возмущающие аттракторы «всплески» N никогда после бифуркаций не происходили по сценарию верхнего аттрактора. Ресурсный «потолок» K_1 при наличии, казалось бы, релевантных ему технологий оставался недостижимым. Причина этого состоит в том, что при вовлечении в использование до 86 % ёмкости среды (K_3/K_1) конкуренция между людьми резко обостряется. Происходит быстрое, «триггерное» (Никольсон) переключение динамики N в режим ещё меньшей доступности искомым ресурсов – только на уровне 63,5 % (K_2/K_1). Доступность и номенклатура природных ресурсов непосредственно зависят не только от технических возможностей, но также, и не менее сильно, от уровня социального и гуманитарного развития. Ныне, до применения ожесточённых мер конкуренции, длительного тренда сокращения мирового валового продукта и начала спада населения планеты осталось чуть больше четверти века.

Результаты наблюдений математического свойства

Первая группа результатов

Соотношение K_1 и K_2 близко к «золотому сечению», $\alpha/2 \approx \varphi$, где α – управляющий параметр модели, а φ – число Фибоначчи, равное 1,618.

Значение модельного управляющего параметра ($\alpha=3,21$) связано с известными константами: числом Неппера ($e=2,71828\dots$), параметром Файгенбаума ($\delta=4,6692\dots$) и постоянной Эйлера-Маскерони ($\gamma=0,5772\dots$):

$$\alpha^\gamma \geq \delta - e$$

$$\alpha^\gamma \leq \alpha^{e/\gamma}$$

$$\delta \approx \alpha^2/\alpha - 1$$

Приведенные соотношения выполняются с точностью до 0,01. Отметим также, что $K_1 \approx \alpha \times \pi 10^9$.

Известная в теории одномерных отображений константа d (2,5029...), характеризующая диапазоны между K_1 и K_2 , посредством параметра α выражается неравенствами:

$$d \geq \alpha^2/\alpha + 1 - 0,01(\alpha^2 - 1)$$

$$d \leq \alpha^2 / \alpha - 0,3e$$

Роль данных констант в моделировании динамики народонаселения может быть прояснена математической разработкой динамики как совокупности периодических (колебательных) процессов. Например, график гамма-функции на области действительных чисел (нормирование логарифмической производной которой вводит значение γ) имеет подходящие для моделирования демографических переходов формы кривой.

Вторая группа результатов

Временные интервалы между точками переходов характерны ритмикой Файгенбаума. Так как привязка значений N ко времени происходит под управлением параметра α , а константу δ мы ранее выразили через α , справедливо ожидать, что время отстояния ключевых точек (по крайней мере, некоторых переходов) друг от друга систематически сокращается в δ раз.

Первая из таких последовательностей точек, разделяемых во времени, сокращающимся с каждым новым шагом в 4,6692 раза, составлена датами: 8,1 тыс. лет до н. э. (дно спада), бифуркация 54 года до н. э., 1672 год (дно спада) и 2042 год (грядущая бифуркация). Той же закономерности подчинена иная последовательность: 54 год до н.э., 1312, 1605 и 1672 годы – три бифуркационные точки и дно спада второй половины XVII века. Третья из последовательностей составлена временными промежутками, разделяющими 2157 год, 9 тыс. до н. э. и 61 тыс. до н.э. – зоны дна спадов.

Ритмикой Файгенбаума также характерна ещё одна странная, но интересная для дальнейшего развития нашей модели последовательность: 71167 год до н.э., 13066 год до н. э., 623 год до н. э. и 2042 год. Третья из дат (кстати, из базовой интеракционной цепи) нелепо вклинилась в этот ряд предположенных бифуркационных точек. Но она приходится на начальный период «осевого времени». Несостоявшаяся бифуркация, назовём её так, была преодолена мощнейшим технологическим прорывом к рациональности от господства мифологического мышления, и так была отложена на шесть столетий.

Третья группа результатов

Значения N в точках бифуркаций (K_3) образуют управляемую последовательность и определяются следующими коэффициентами (табл. 3):

Таблица 3.

Управляемая последовательность N в точках бифуркации

Т (время точек бифуркаций)	$N (K_3)$	k
+2042	8,668 млрд.	$\alpha^0 10^0$
+1605	540 млн.	$\alpha^{1-\gamma} 10^1$
+1312	442 млн.	$\alpha^\gamma 10^1$
-54	270 млн.	$\alpha^1 10^1$
-623	83 млн.	$\alpha^2 10^1$
-14 тыс.	3,37 млн.	$\alpha^{-2\gamma} 10^4$
-70,5 тыс.	1,05 млн.	$\alpha^{1-2\gamma} 10^4$

Этими же коэффициентами управляются последовательности значений K_1 и K_2 .

Четвертая группа результатов

На графике динамики населения мира (рис.6) очевидны шесть циклов, формы которых подобны и схематически представлены на рисунке 2. Современный цикл, начавшийся с середины первого тысячелетия, включает в себя два меньших цикла. Модельный расчёт прироста N в последнем цикле – 6,23 млрд (6,42 млрд в середине XXII века минус 190 млн к началу VI века). В каждом из инкорпорированных циклов прирост N оказался в $4\alpha^2$ раз меньше, то есть равным 151 млн человек.

Соответственно, для трёх остальных циклов прошлого коэффициенты прироста населения составили α^3 , α^7 и α^8 . 188,3 млн. человек прибавилось за период с 10 тыс. до н.э. по VI век н.э. Рост N за период с 65 по 10 тысячелетия составил 1,774 млн. человек. Прирост N в цикле генезиса – 553 тысячи людей современного типа, которые добавились примерно к трёмстам тысячам неандертальцев.

Прирост населения в циклах, таким образом, подчинён управляющему параметру.

Пятая группа результатов

Для определения фрактального измерения D кривой N ограничим число её подобных элементов (N') четырьмя – ибо два цикла (XIV века и, тем более, XVII) всё же остались незавершёнными. Считая коэффициент подобия равным α , рассчитаем $D = \log_{\alpha} N'$. Фрактальное измерение кривой населения мира равно 1,1886555.

Практические выводы: правила работы с моделью

Настоящая модель отвечает на вопрос, *как* менялась численность людей в истории, но не отвечает на вопрос, *почему* это происходило. Строго говоря, она описывает лишь кинематику народонаселения, а не его динамику, которая в дополнение к кинематике раскрывает движущие силы происходящих изменений. Чуть ли не единственным исключением является наше предположение о ресурсных ограничениях, блокирующих сценарии «верхних» аттракторов. Насколько полезными окажутся найденные модельные кинематические представления – судить специалистам, исследующим собственно динамику народонаселения: демографам, антропологам, историкам, социологам.

Численные значения N определены только в отдельных, пусть важных, но всё же немногих точках, между которыми кривая просто угадывается. Как тёмные промежутки между огнями посадочной полосы. Произвол заполнения интервалов между точками твёрдо ограничен двумя требованиями. Первое, обычное в построении графиков, состоит в минимизации градиента N : кривая должна быть максимально плавной, гладкой. Второе же заключается в признании приоритета вновь обнаруженных эмпирических данных. Иными словами, кривая «пришпилена» к плоскости листа в отдельных точках, между которыми её можно сдвигать в соответствии с обоснованностью демографических оценок. Сомнительно, чтобы мы сколько-нибудь существенно изменили картину последних двух тысячелетий. Но по отношению к более давним временам на этом

пути, несомненно, нас ждёт много сюрпризов; не исключено даже, что могут быть обнаружены пока скрытые от нас демографические переходы.

Надёжность координат «прикреплённых» точек – базовой цепи интераций, точек зон переходов – также не является абсолютной. Мы приводили их значения иногда с точностью до года или до тысячи человек лишь для того, чтобы подчеркнуть расчётный характер полученных координат: мы их именно *вычислили* (ориентируясь, конечно, на эмпирические данные). Реальный доверительный интервал модельных значений тем шире, чем дальше они отстоят от нас во времени. Пессимизм некоторых исследователей (например, Ф. Броделя), полагающих, что даже сегодня численность населения мира определима лишь с 10% погрешностью, представляется чрезмерным [15]. Скорее, судя по недавним дискуссиям о дате достижения семимиллиардного рубежа, она ближе к 1%. Но когда, например, мы утверждаем, что численность N достигла миллиона человек примерно 72 тысячи лет назад или 3,4 миллиона 16 тысяч лет назад, то осторожность введения и учёта 10% доверительного интервала более чем уместна. Значения N интерационных точек существенной корректировке не подлежат (разве что на 1%). Корректировать (в случаях решительного расхождения с моделью экспертных оценок) можно время достижения интерационных значений N – темпоральные коэффициенты, но, опять-таки, рассчитав новые значения коэффициентов как функции управляющего параметра модели.

Кривые модели не являются одномерными траекториями, их фрактальное измерение, большее единицы, как бы слегка размывает линию по плоскости. Аттракторы модели в прямом смысле этого слова неодолимо «притягивают» к себе скачущие и вьющиеся вокруг них значения, непоседливые и своевольные. На значения N , «сидящие» на аттракторах, целесообразно полагаться, прежде всего, стратегически. Но отклонения отдельных конкретных значений от вычисленных – не аномальны, а, напротив, нормальны. Ситуативные, как в XVII веке, отклонения могут быть очень мощными и устойчивыми, но в итоге аттрактор возвращает кривую на свой тренд. Сходным образом и ещё с большим размахом развивались события в XIV веке. Гипотезы и сценарии реконструкций демографических событий, основанные на новых эмпирических данных и экспертных оценках, таким образом, целесообразно сопрягать с аттракторами данной модели.

При исследовании какого-либо конкретного участка динамики удобнее графики без логарифмического масштаба, подобные вариантам реконструкций, приведенным на рисунках 3, 4 и 5. Совокупность расчётных интерационных точек базовой цепи в случае необходимости можно дополнить промежуточными между ними значениями, взятыми из построенных графиков. На укомплектованный таким способом модельный материал и накладывается экспертная оценка. После чего можно провести нужную идентификацию модели, её подстройку.

Разные экспертные мнения, не исключено, могут привести к разным вариантам модельной реконструкции. Однако решительно несовместимые с модельными представлениями гипотезы, полагаю, имеют немного шансов для верификации и принятия.

Разнообразие реконструкций и эвристические возможности модели, скорее всего, с наибольшей очевидностью проявятся в исследованиях древнейшего периода динамики. Например, гипотеза «бутылочного горла», предложенная

генетиками, в случае её подтверждения антропологическими данными заставит даже дополнить понятие демографического перехода иногда работающим механизмом непрерывного падения K_2 на всё более низкие уровни. Каким образом управляющий параметр α такой механизм включает и выключает?

Словом, предложенная модель открыта попыткам её дополнений и уточнений, но также создаёт достаточно устойчивую общую картину описания динамики населения мира, базу для сопоставления демографических оценок. В связи с чем, выразим надежду, она и сможет оказаться полезной.

Литература

1. Капица С.П. Рост населения Земли и будущее цивилизации [Текст] / С.П. Капица : Общественные науки и современность, №3, 2003. – М.: Наука, - С. 128-146.
2. Коротаев А.В. Законы истории. Математическое моделирование исторических макропроцессов. Демография, экономика, войны [Текст] / [А.В. Коротаев, А.С. Малков, Д.А. Халтурина]; отв. ред. Н.Н. Крадин. - М.: КомКнига, 2005. - 344 с.
3. Базы данных ООН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://data.un.org>.
4. UN Population Division. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/esa/population>
5. Отдел народонаселения ООН, департамент по экономическим и социальным вопросам. World Population Prospects: the 2010 Revision. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>
6. База данных ЮНЕСКО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.uis.unesco.org
7. Ахромеева Т.С. Структуры и хаос в нелинейных средах. [Текст] / Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий, А.А. Самарский - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 488 с.
8. Майнцер Клаус Сложносистемное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез. [Текст] : [пер. с англ.] / Клаус Майнцер ; под ред. и с пред. Г.Г. Малинецкого. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. - 464 с.
9. Глейк Дж. Хаос: Создание новой науки [Текст] / Дж. Глейк ; пер. с англ. М. Нахимсона, Е. Барашковой. - СПб.: Амфора, 2001. - 398 с.
10. Одум Ю. Экология [Текст] : В 2-х т. [пер. с англ.] / Ю. Одум - М.: Мир, 1986. ; Т.2. - 376 с.
11. Монтанари М. Голод и изобилие. История питания в Европе [Текст] : [пер. с итал.] - СПб., ALEXANDRIA, 2009. - 279 с.
12. Дьяконов И.М. Пути истории: от древнейшего человека до наших дней. [Текст] / И.М. Дьяконов - Изд. 2-е, испр. -М.: КомКнига, 2007. - 384 с.
13. Васильев Л.С. История Востока. [Текст] / Л.С. Васильев - М.: Высшая школа, 1994. ; Т.1. - 495 с.
14. Камерон Р. Краткая экономическая история мира. От палеолита до наших дней [Текст] ; [пер. с англ.] / Р. Камерон - М.: «Российская политическая энциклопедия» (РОССПЭН), 2001. - 544 с.

15. Бродель Ф. Население мира: цифры, которые приходится выдумывать Материальная цивилизация, экономика и капитализм XV–XVIII вв. [Текст] : Структуры повседневности: возможное и невозможное / Ф. Бродель ; пер. с фр. Л.Е. Куббеля. - М.: Прогресс, 1986. ; Т.1. - 624 с.

A. D. Shorkin

***A.D. The Model of the World's Population
Dynamics***

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Taurida Academy,
Simferopol, Russian Federation
e-mail:alexshorkin@mail.ru

Abstract. The model is built on the differential equation basis. The governing parameter is calculated in concordance with the statistics data of the world's population after 1962. The derived quantity of the governing parameter (3, 21) correlates to Feigenbaum's, Napier's and the Euler–Mascheroni's constants. It is indicated for the first time that from the high antiquity till these days the distances between the sequence of basic world's population size interative values are the governing parameter functions. The basic chain of the derived interative values embraces the historical dynamics of the hominid and Homo sapiens population and conforms to the major part of demographic data and anthropological estimations that we have. This model foresees the periods of decay (not only increase) of the world's population in contrast to the forms early suggested. The essence of the demographic transition is on the transition from the one progress attractor to another which is accompanied by catastrophic increase in world's population size. Transitions of the previous ages have been reconstructed: the moustier period, the mesolithic period and the first centuries of the new era. According to the model in the medium forties of XXI century demographical processes reach the regular bifurcation point after which the development will take place (like in cases of previous transitions) not on the «upper» attractor which scripts are thoroughly inquired, but on the «lower» one. In 25-20 years the gradual slowdown of the planet's population which is prognosed by the U.N.O. experts will be replaced with a long fall that results in the world's population decrease on more than a quarter, from 8.7 billion people to 6.4. According to the model, the pace of increase is also the function of the governing parameter. The introduced model assumes its completion and further adoption to the empirical facts.

Keywords: demographical transition, attractor, bifurcation, governing parameter, basic chain of interation values

Reference

1. Kapica S.P. Rost naselenija Zemli i budushhee civilizacii [Tekst] / S.P. Kapica : Obshhestvennye nauki i sovremennost', №3, 2003. – М.: Nauka, - S. 128-146.
2. Korotaev A.V. Zakony istorii. Matematicheskoe modelirovanie istoricheskikh makroprocessov. Demografija, jekonomika, vojny [Tekst] / [A.V. Korotaev, A.S. Malkov, D.A. Halturina]; otv. red. N.N. Kradin. - М.: KomKniga, 2005. - 344 s.

3. Bazy dannyh OON. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://data.un.org>.
4. UN Population Division. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.un.org/esa/population>
5. Otdel narodonaselenija OON, departament po jekonomicheskim i social'nym voprosam. World Population Prospects: the 2010 Revision. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://esa.un.org/un pd/wpp/index.htm>
6. Baza dannyh JuNESKO. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: www.uis.unesco.org
7. Ahromeeva T.S. Struktury i haos v nelinejnyh sredah. [Tekst] / T.S. Ahromeeva, S.P. Kurdjumov, G.G. Malineckij, A.A. Samarskij - M.: FIZMATLIT, 2007. - 488 s.
8. Majncer Klaus Slozhnosistemnoe myshlenie: Materija, razum, chelovechestvo. Novyj sintez. [Tekst] : [per. s angl.] / Klaus Majncer ; pod red. i s pred. G.G. Malineckogo. - M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2009. - 464 s.
9. Glejk Dzh. Haos: Sozdanie novoj nauki [Tekst] / Dzh. Glejk ; per. s angl. M. Nahimsona, E. Barashkovej. - SPb.: Amfora, 2001. - 398 s.
10. Odum Ju. Jekologija [Tekst] : V 2-h t. [per. s angl.] / Ju. Odum - M.: Mir, 1986. ; T.2. - 376 s.
11. Montanari M. Golod i izobilie. Istorija pitanija v Evrope [Tekst] : [per. s ital.] - SPb., ALEXANDRIA, 2009. - 279 s.
12. D'jakonov I.M. Puti istorii: ot drevnejshogo cheloveka do nashih dnei. [Tekst] / I.M. D'jakonov - Izd. 2-e, ispr. - M.: KomKniga, 2007. - 384 s.
13. Vasil'ev L.S. Istorija Vostoka. [Tekst] / L.S. Vasil'ev - M.: Vysshaja shkola, 1994. ; T.1. - 495 s.
14. Kameron R. Kratkaja jekonomicheskaja istorija mira. Ot paleolita do nashih dnei [Tekst] ; [per. s angl.] / R. Kameron - M.: «Rossijskaja politicheskaja jenciklopedija» (ROSSPJEN), 2001. - 544 s.
15. Brodel' F. Naselenie mira: cifry, kotorye prihoditsja vydumyvat' Material'naja civilizacija, jekonomika i kapitalizm XV–XVIII vv. [Tekst] : Struktury povsednevnosti: vozmozhnoe i nevozmozhnoe / F. Brodel' ; per. s fr. L.E. Kubbelja. - M.: Progress, 1986. ; T.1. - 624 s.

Поступила в редакцию 13.07.2015 г.