

ДИСКРЕТНЫЕ МОДЕЛИ РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

DOI 10.17223/20710410/16/11

УДК 577.95

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИСТОРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В. А. Воробьев, Ю. В. Березовская

*Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия***E-mail:** vva100@atnet.ru

Для математического моделирования исторических процессов предлагаются и применяются каузальные модели (К-модели), адекватные свойствам исторических процессов. Рассмотрены базовые процессы истории: демографический процесс и этногенез. Дан обзор истории Западной Европы и её экстраполяция в ближайшее будущее.

Ключевые слова: *каузальная сеть, каузальная модель, математическое моделирование исторических процессов.*

1. Пролог математической истории

Исторические процессы характеризуются дискретными качественными и количественными параметрами. История — результат взаимодействия большого числа людей и других объектов техносферы и биосферы. Все они претерпевают скачкообразные изменения своих состояний, интенсивность которых зависит от численности этих объектов. Эта взаимосвязь и взаимопереход количества и качества давно замечена философами и усложняет математическое моделирование исторических процессов.

Математизация истории началась с моделей демографических процессов [1–3] и продолжилась в трудах синергетиков [4–7]. Естественным путём математизации истории является мобилизация сохранившихся статистических данных и использование достижений математической статистики. Более абстрактным является написание, исследование и решение подходящих дифференциальных уравнений для исторических процессов — путь, который так успешно использовала физика, теория биологических популяций [8] и труды Римского клуба [9]. На этом пути получены следующие результаты [1–3]:

- 1) Объяснён мировой демографический процесс ограничивающим действием *экологического барьера* на экспоненциальный рост населения Земли.
- 2) Открыта *экологическая пауза* конца XX века — отставание роста населения Земли от роста ёмкости техносферы — экологической ниши человечества.
- 3) Обнаружены причины снижения рождаемости по мере индустриального развития — *информационного барьера* — как следствия наложения возраста обучения на фертильный возраст женщин и повышенные нормы потребления в современном обществе.
- 4) Сделан *прогноз* будущего развития демографической ситуации на планете — рост населения Земли в середине XXI века останавливается и происходит его дальнейшее вымирание.

Пусть t — время, а T — дата от Рождества Христова (РХ). Зависимость ёмкости P (человек) экологической ниши человечества (техносферы) и численности N (человек) населения Земли от времени t описывается следующими уравнениями:

$$\text{уравнение роста населения по Мальтусу (1798)} \quad dN/dt = N/\tau(t); \quad (1)$$

$$\text{экологический барьер (2003 [1])} \quad N = k \cdot P, k \leq 1; \quad (2)$$

$$\text{уравнение роста (2003 [1]) ниши (техносферы)} \quad dP/dt = NP/C; \quad (3)$$

$$\text{экологическое уравнение роста населения} \quad dN/dt = kNP/C. \quad (4)$$

Характерное время $\tau(t)$ (время увеличения численности населения в e раз) стремительно уменьшалось во всём мире в XIX и XX веках. Напротив, одновременное увеличение величины $\tau(t)$ в развитых странах — это *демографический переход*, т. е. снижение темпов роста населения.

Из уравнений (1)–(4) непосредственно следует:

$$\text{уравнение Капицы для населения Земли (1999 [5])} \quad dN/dt = N^2/C; \quad (5)$$

$$\text{формула фон Фёрстера для населения Земли (1960)} \quad N = C/(T_0 - T); \quad (6)$$

$$\text{уравнение годового прироста ниши (2007 [6])} \quad \Delta P = C/(T_0 - T)^2. \quad (7)$$

Параметры уравнения (6) можно найти из данных С. П. Капицы [4, 5], построив линейный тренд функции $1/N$ с помощью системы Excel, например. Получается, что $C \cong 197,005$ млрд человеколет, а $T_0 \cong 2025$ год. Смысл величины C не раскрывается. Уравнение (2) говорит о том, что население, превышающее величину P , не может выжить и обречено на вымирание.

Демографические данные показывают, что уравнения (1)–(7) адекватны только в эпоху *экологического дефицита (экодефицита)* — с момента полного заселения экологической ниши где-то около 30 тыс. лет назад [4, 5] и до ≈ 1975 г. Избыток M населения должен был удаляться или даже не родиться из-за плохого состояния здоровья голодающих женщин. Уравнение гибели потенциальных и реальных людей от экодефицита имеет вид

$$dM/dt = N/\tau(t) - N^2/C. \quad (8)$$

Рис. 1 показывает, что ёмкость экологической ниши человечества растёт медленнее населения только до 70-х годов XX века. С этого времени действие экологического барьера прекращается.

За момент выхода из экодефицита примем дату $T_{\pi} = 1975$ г. Из тех же уравнений нетрудно получить, что в момент T_{π} характерное время роста $\tau = \tau_{\pi} = T_0 - T_{\pi}$. Минимальное наблюдаемое время удвоения равно $\tau_{\text{удв}} \cong 19$ лет, а $\tau(t) = 1,44 \cdot \tau_{\text{удв}} \cong 27$ лет. Население Земли 1975 г. $\cong 4$ млрд. Следовательно, в момент выхода из экологического дефицита время удвоения населения Земли составляло $\tau_{\text{удв}} \cong 35$ лет, что близко к действительности.

После 1975 г. наступила *экологическая пауза (экопауза)* [1–3], когда рост населения, согласно мальтузианскому уравнению (1), стал медленнее роста ёмкости экологической ниши, заданного уравнением (3). В экопаузе исторические явления уже не могут объясняться экологическим дефицитом. Они являются следствием *социального взаимодействия* людей и человеческих качеств, сформированных под давлением экологического барьера. Экопауза выявила *системный кризис* человечества [3], который проявляется прежде всего как *экологический кризис*. Особую тревогу вызывает чрезмерное снижение рождаемости в развитых странах, которое принято называть *демографическим переходом* (рис. 2).

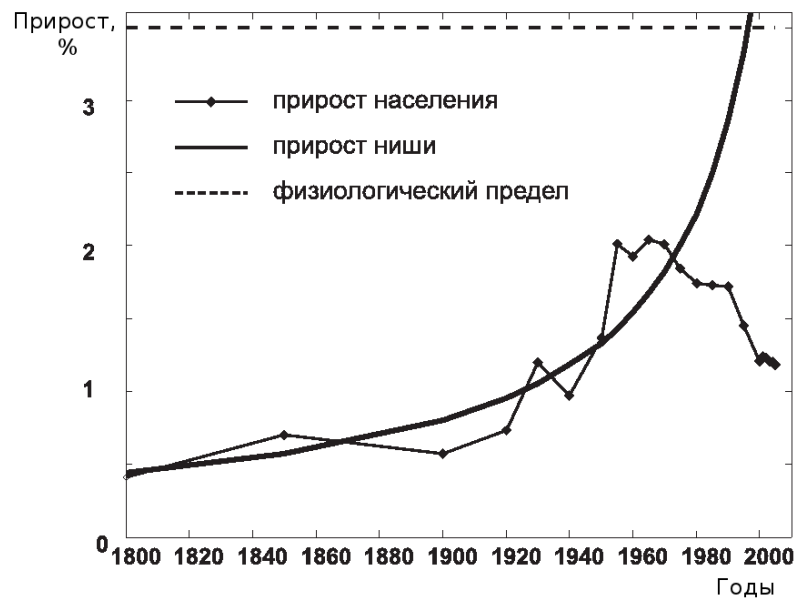


Рис. 1. Конец эпохи экодефицита и начало экологической паузы

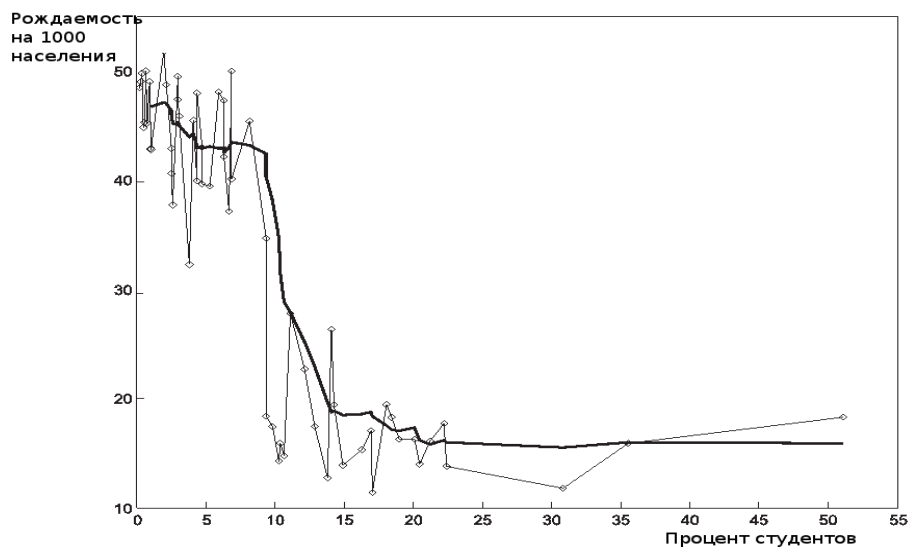


Рис. 2. Зависимость рождаемости от процента студентов. Мировая статистика 1960–1970 г. и её сглаживание

Причина демографического перехода — *информационный барьер*, состоящий в следующем. Демографические данные и социальная статистика [7, 10] выявили [3] явную связь между ростом образования и снижением рождаемости (рис. 2). Аналогичные результаты получены в [6]. Снижение рождаемости можно объяснить тем, что возраст профессионального становления в сложном современном обществе перекрывает репродуктивный возраст женщин. Наиболее образованная молодёжь — студенчество — является *референтной группой* для всей остальной молодёжи. Ценности и стиль жизни студенчества становятся образцом для всех остальных молодых людей, а из этого стиля выбираются наиболее доступные для большинства женщин гедонизм и отказ от

рождения детей. Это явление, грозящее демографической катастрофой всем развитым странам мира, и есть информационный барьер человечества. Действие информационного барьера ярко демонстрируют демографические процессы в странах т. н. *золотого миллиарда*. Если угодно, золотой миллиард вымирает от избытка.

Экстраполяция статистики прироста населения из [5, 7, 10] на ближайшие столетия позволила прогнозировать динамику роста населения Земли [3] и обнаружить, что с середины XX века проявляется тенденция к снижению темпов роста населения. В линейном приближении примерно к 2050 г. рост населения прекратится на уровне $\cong 8 - 9$ млрд, а далее начнётся вымирание человечества (рис. 3).

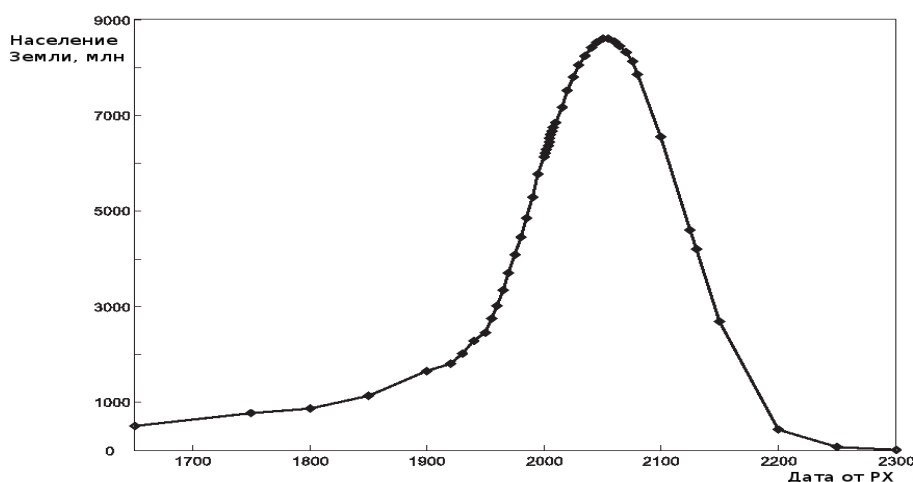


Рис. 3. Импульс населения технической цивилизации

До каких пределов будет происходить это вымирание, предсказать трудно. Можно полагать, что оно остановится на уровне начала индустриальной эпохи, т. е. не более 1 млрд человек, когда изменятся и ценности, и образ жизни человечества. Индустриальная и постиндустриальная эпохи, начавшиеся в конце XVIII — начале XIX века и сопровождавшиеся демографическим взрывом XX века, продлятся до 2200 г. При этом следующее XXII столетие будет ознаменовано стремительным снижением численности людей, и неизвестно, как это отразится на их психике и социальном поведении.

Если допустить, что уравнение (3) роста экологической ниши будет действовать и в эпоху, пусть даже при уменьшении населения, то к концу XXI века получится совершенно нереальная для Земли ёмкость ниши в 400 млрд человек [3]. Получив этот результат, авторы [3] пришли к выводу, что это возможно, только если вся промышленная деятельность человечества будет вынесена в космос. Однако данные о развитии энергетики говорят о замедлении темпов её роста вместе с экономическим развитием. Более того, по разведанным запасам углеводородов прогнозируется снижение добычи энергоносителей (рис. 4), а атомная энергетика отвергается как экологически опасная.

Но главное возражение против математических моделей и прогнозов состоит в том, что мотивация людей никак не отражается в наших уравнениях. Феноменологические модели недостаточны для понимания и адекватного описания исторических процессов. Они не учитывают социального поведения людей. История человечества — это продукт совместной деятельности множества конкурирующих людей и в эпоху экодефицита, и в экологической паузе, и в преддверии близкой экологической катастрофы.



Рис. 4. Развитие мировой энергетики

2. Каузальное моделирование социальных систем

Итак, необходимо моделировать историю как продукт совместного действия множества объектов: людей, животных, биоты, экологических мест, технологий, идей и т. д. и т. п. Поведение каждого такого объекта в социуме можно представить вероятностным автоматом, переходы которого из состояния в состояние недетерминированы и неоднозначны. Это позволяет моделировать «свободу воли» людей и неопределённость поведения природных объектов. Кроме того, наши автоматы изменяют своё состояние не столько сами по себе, сколько под действием других элементов всей этой сложной системы. Взаимодействие состоит в том, что состояния «воздействующих» автоматов влияют на «изменяемые» автоматы и переводят их в новые состояния. Способ передачи воздействий и структура связей между автоматами не рассматриваются. Вместо этого принята *гипотеза сильного перемешивания* [8].

Метод каузального моделирования социальных процессов строго описан в [11, 12].

Пусть $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ — упорядоченное множество имён состояний, в которых могут находиться взаимодействующие *автоматы* — элементы сложной системы: особи в популяции живых существ, устройства в технических системах, люди, организации, фирмы и т. д. Далее будем называть эту систему *популяцией автоматов*. Каждому состоянию $q_i \in Q$ сопоставлено действительное число m_i — *маркер состояния*, задающий число автоматов, находящихся в i -м состоянии. *Внешнее состояние* (окружающая среда) изображается звёздочкой «*», и ему соответствует неопределённый маркер. Общее число автоматов в популяции, не считая внешнего состояния, $N = \sum_{i=1}^m m_i$. Множество маркеров m_i , упорядоченное вместе с Q , образует *вектор-состояние* M_t системы в момент времени t . Появление действительных чисел здесь и далее оправдано тем, что количество автоматов (целое число) может быть задано в любых единицах: штуках (целое число), дюжинах, тысячах, миллиардах и т. д. Но тогда целое число «штук» будет задаваться десятичной дробью от тысяч или миллиардов, что и моделируется действительным числом.

Далее, как принято в математических формулах, упоминание имени состояния обозначает и само это состояние, и количество автоматов, находящихся в этом состоянии. Так, буква P есть имя физической величины «вес» и, одновременно, количество килограмм (тонн, грамм, пудов) веса. Заметим, что поведение системы не зависит от единиц измерения. Следовательно, модель системы должна быть *масштабируемой*.

Каузальная модель (К-модель) — это упорядоченное множество D переходов $q_i \rightarrow q_j$ автоматов из состояния q_i в состояние q_j под действием других автоматов, находящихся в состоянии q_k . Воздействующие состояния есть причины переходов, а новые состояния — следствия переходов. Отсюда и вытекает название метода моделирования — каузальное, т. е. *причинно-следственное*.

Пусть $d_i \in D$ — переход, тогда $\bullet d_i$ — изменяемые входные состояния, необходимые для его исполнения, $d_i^\bullet$ — выходные состояния, возникающие в результате перехода d_i . Выражение $\bullet d_i \rightarrow d_i^\bullet$ задаёт все переходы из $\bullet d_i$ в $d_i^\bullet$ под действием $\bullet d_i$. В частности, если множества $\bullet d_i$ и $d_i^\bullet$ содержат по два состояния, то такой переход называется *простым*. Например, переход $q_k, q_i \rightarrow q_k, q_j$ меняет q_i на q_j , а состояние q_k только воздействует, но сохраняется. Используемые виды простых переходов перечислены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Различные виды простых переходов

1	Простой	$q_k, q_i \rightarrow q_k, q_j$	Состояние q_k переводит q_i в q_j
2	Удаляющий	$q_k, q_i \rightarrow q_j$	Состояния q_k, q_i удаляются и порождают q_j
3	Сохраняющий	$q_k, q_i \rightarrow q_i, q_k, q_j$	Состояния q_k, q_i сохраняются и порождают q_j
4	Остаточный	$q_k, q_i \rightarrow q_k, q_l$	Реализует переход $q_i \rightarrow q_l$ для тех автоматов, которые не выполнили его в переходах типа 1, 2, 3
5	Ингибиторный	$\hat{q}_k, q_i \rightarrow q_j$	$\hat{q}_k$ означает отсутствие ингибитора — состояния q_k , мешающего переходу $q_i \rightarrow q_j$

В общем случае на входе и выходе перехода может быть по несколько автоматов в одном и том же состоянии. Зададим функции $In : Q \times D \rightarrow \{k_{ji}\}$ и $Out : D \times Q \rightarrow \{k_{ij}\}$, где k_{ji}, k_{ij} — действительные числа, указывающие для каждого перехода d_i число k_{ji} возбуждающих и число k_{ij} порождаемых автоматов. Функции In и Out задаются матрицами, строкам которых соответствуют имена состояний, столбцам — имена переходов, а элементы — числа k_{ji} и k_{ij} .

Пусть In_i — i -й столбец матрицы In , тогда переход d_i будет готов к срабатыванию тогда и только тогда, когда $M_t \geq In_i$. В каждом такте моделирования срабатывают не все готовые переходы d_i , а некоторое их число $R_i = p_i P_i(M_t(\bullet d_i))$. Здесь коэффициент p_i задаётся «руками» или извлекается из наблюдений, обычно это вероятность; $M_t(\bullet d_i)$ — маркировка входа в переход d_i ; $P_i(M_t(\bullet d_i))$ — функция, зависящая от типа перехода. *Интенсивность* R_i — это число автоматов, изменивших состояние за один такт модельного времени. Множество интенсивностей R_i , упорядоченное вместе с D , есть *вектор интенсивностей* переходов R .

Функция $P_i(M_t(\bullet d_i))$ зависит от типа перехода d_i . Основные типы переходов — *линейные* и *нелинейные*. Линейные переходы соответствуют *дальнодействию* в системе, когда все всех «видят» и могут взаимодействовать. Нелинейные переходы соответствуют *близкодействию*: *раствор* — равномерному распределению автоматов по всей

системе мощности N (как молекулы в растворе) и *смесь* — собранию взаимодействующих автоматов в одном месте (как птичий базар). Поскольку линейные и нелинейные переходы возможны для всех пяти видов простого перехода, то получается 15 типов только простых переходов. Кроме того, в качестве действующих могут использоваться задержанные на τ тактов значения $M_{t-\tau}(\bullet d_i)$. Итак, в общем случае описание перехода — это выражение вида

$$\bullet d_i \rightarrow d_i^\bullet, p_i, \text{ тип перехода, задержки } \bullet d_i.$$

Для простых переходов вида $q_k, q_i \rightarrow q_k, q_j$ примем более простую запись

$$q_k : q_j > q_i, p_i, \text{ тип перехода, задержка } m_k, \text{ задержка } m_j.$$

Для линейного перехода $P_i = \min\{M_t(\bullet d_i)\}$, для простого перехода в растворе $P_i = m_k m_j / N$, в смеси — $P_i = m_k m_j / (m_k + m_j)$.

Разность матриц $Out - In = D$ называется *девиатором*. В [12] показано, что динамика популяции автоматов задаётся системой дифференциальных уравнений (9) с нормировкой (10):

$$dM/dt = D \cdot R; \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n m_{it} = N_t, \quad (10)$$

где $\cdot$ — матричное умножение; m_{it} — маркировка i -го состояния; N_t — общее число автоматов в момент времени t .

Для моделирования популяции следует задать начальную маркировку M_0 и побеспокоиться о единой размерности для состояний. Состояния, как было постулировано ранее, качественно различны, и их маркировки имеют разную размерность. Для согласования размерностей каждому автомату в состоянии q_i должен соответствовать один автомат в любом качественно ином состоянии q_j . Для этого следует соответствующим образом подбирать единицы измерения. Так, в следующих далее демографических и экологических моделях исторического процесса за единицу измерения принят один *человек*, а ему соответствует одно *место* проживания в экологической нише или *техносфере*, одно *трудовое* усилие для создания места проживания, одно *дитё* и т. д.

Ниже используется программа «Популяция», которая моделирует поведение системы по правилам срабатывания простых переходов в К-модели. На рис. 5 показан интерфейс программы при моделировании демографического взрыва согласно уравнению (5) С. П. Капицы [5].

Графическое представление К-моделей будем называть каузальными сетями (К-сетями). *К-сеть* — двудольный граф, подобный сети Петри [12]. Функционирование К-модели эквивалентно численному решению системы дифференциальных уравнений динамики средних. Поэтому они даже не выписываются. Впрочем, их тоже можно получить. К-модель тем точнее, чем меньше такт моделирования (интегрирования). Однако достаточно малый такт можно далее не уменьшать, так как это не меняет поведение модели. Таким образом, и в отношении единиц времени К-модель *масштабируема*.

Следует особо отметить, что состояние автомата в популяции соответствует не конкретному объекту, а некоторому поведению. Например, один человек может в разное время вести себя по-разному, т. е. иметь разные состояния: родитель, творец, потребитель и т. д.

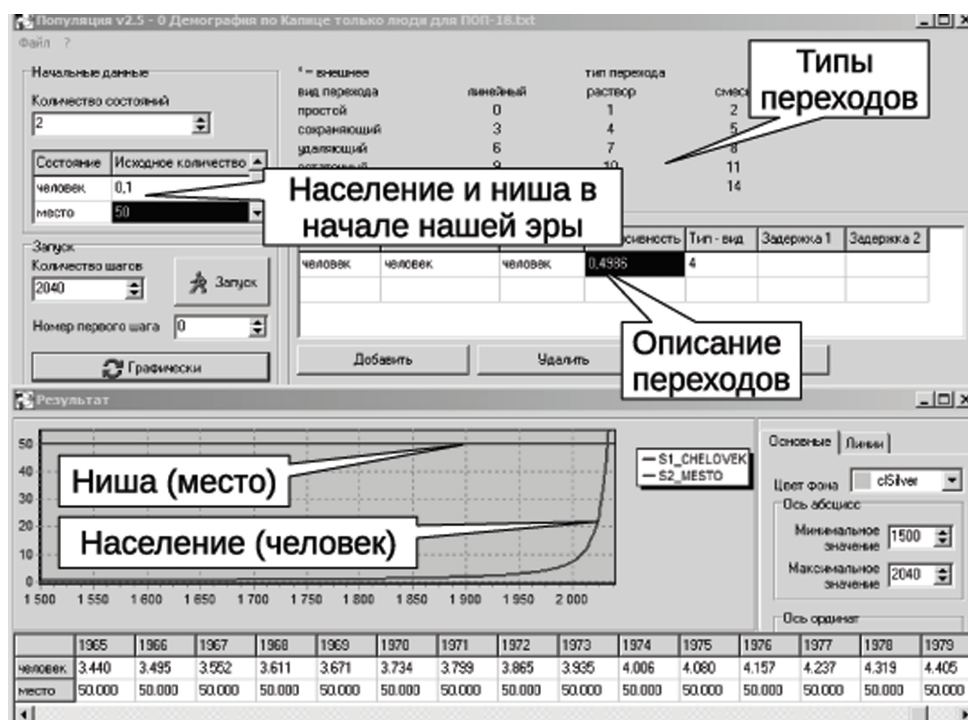


Рис. 5. Интерфейс программы ПОПУЛЯЦИЯ, демографический процесс с 1500 по 2040 г. и демографический взрыв индустриальной эпохи

3. К-модель демографического взрыва

Феноменологические уравнения фон Фёрстера (4) и Капицы (5) достаточно точно моделируют взрывной демографический процесс, но ничего не объясняют. Уравнения (4) и (5), в отличие от мальтузианского уравнения (1), парадоксальны, поскольку противоречат физиологии. Попытки Капицы и его последователей дать объяснение полученному результату следует признать неудачными. Каузальное моделирование по определению невозможно, если исследователь не укажет причинно-следственные связи между состояниями и событиями в системе. Поэтому мы вынуждены с самого начала принять хоть какую-то объяснительную гипотезу относительно этих связей. Таковая напрашивается исходя из экологических уравнений (2)–(4), выведенных в [1–3]. Делитель $C = 197,005$ млрд человеколет [челет] в уравнении С. П. Капицы — не что иное, как экологическая ёмкость биоты Земли, в которой растворены все люди и животные. Следовательно, их близкодействующие взаимодействия можно рассматривать как множество нелинейных переходов в растворе. И размерности всех величин в дальнейшем привязаны к величине C : [челет] или [человек] по смыслу переходов.

Результат К-моделирования по Капице представлен на рис. 5. К-модель содержит один переход и по-прежнему ничего не объясняет. И здесь тоже есть странность — ёмкость экологической ниши (место) получилась равной 50 млрд челет. При такой ёмкости К-модель достаточно точно отражает демографический процесс вплоть до начала эпохи в 1975 г.

4. К-модели роста населения Земли в эпоху экодефицита

Роль биоты в К-модели на рис. 5 сведена к «растворителю» (М), в который погружены люди (Ч) и техносфера (М). Для моделирования функций биоты требуется осознать эмпирический смысл величин P и C , используемых в уравнениях (3)–(7) без

особых пояснений. Исходя из размерности C [челет], ясно, что ёмкость экологической ниши P — это количество человек, которое может обеспечить техносфера без дополнительных трудовых усилий. Ёмкость P измеряется в единицах [чел], а C — труд (Т), необходимый человеку, чтобы исчерпать всю биоту (Б) и превратить её в техносферу — место (М) проживания и пропитания человека. Ясно, что всю биоту исчерпать нельзя в силу законов экологии. В норме масса продуцентов должна составлять около 98 % массы биоты, а общая масса консументов и редуцентов должна быть около 2 % массы биоты. Тогда продуценты могут без ущерба прокормить и консументов, и редуцентов. Человек, как вид, является консументом и редуцентом одновременно, и мы вправе ожидать, что в эпоху экодефицита число экологических мест (М) и соответственно людей (Ч) существенно не превысит 2 % от мощности биоты. И действительно, $C \cong 200$ млрд челет, а годовой биологический ущерб от человечества в конце экодефицита составляет $N_{1975} \cong 4$ млрд челет, т. е. $\cong 2\%$. После 1975 г. деятельность человечества становится антиэкологичной и ведёт к экологической катастрофе, а уравнения (3)–(7) постепенно теряют свою адекватность. К моменту «обострения» в 2025 г. К-модель и уравнения (3)–(7) вообще теряют эмпирический смысл.

Моделировать демографический процесс будем по-прежнему с 0-го года н. э. Начальные условия: $Ч_0 = 0,1$ млрд; $М_0 = 0,1$ млрд; $Б_0 = 196,805$; $Т_0 = 0$. Здесь появляется новое, чисто человеческое состояние моделирующих автоматов — труд (Т), которое дало название К-модели. Отсюда следует, что $C = Ч_0 + Б_0 + М_0 + Т_0 = 197,005$ млрд челет.

К-модель на рис. 6 и сеть на рис. 7 предполагает, что трудозатраты человечества (Т) пропорциональны и числу людей (Ч), и числу мест (М), причём и люди, и места растворены в биоте мощности C (переход 1). Это относится и к числу вновь созданных мест, и к числу выживших людей, причём численность мест проживания людей не убывает ни от труда, ни от размножения (тип переходов d_1 и d_3 сохраняющий — 4). Размножение людей пропорционально и количеству мест, и количеству людей, растворённых во всём множестве автоматов. А вот приложение труда к биоте, происходящее в том же растворе, приводит к превращению и этих трудозатрат, и обработанной биоты в место техносферы (тип перехода d_2 линейный удаляющий — 6). Задержка на 23 года для размножения людей подобрана так, чтобы обеспечить хорошее совпадение с известными данными палеодемографии и демографии. Совпадение получилось очень точное.

К-сеть демографического процесса и её матричное представление изображены на рис. 7. В вершинах-переходах записаны интенсивности, т. е. среднее число переходов за единицу времени, равную одному году. В вершинах-позициях записаны переменные маркеры, т. е. число автоматов, находящихся в соответствующем состоянии. Справа на рис. 7 показаны матрицы **In**, **Out**, **D** и вектор-столбец **R** матричного описания К-сети.

Выполняя матричное умножение, согласно (9), можно получить дифференциальные уравнения для К-модели с нормировкой (10). Для всей области адекватного поведения К-модели $T < B$, т. е. $\min\{T, B\} = T$, вследствие чего дифференциальные уравнения имеют вид

$$\begin{aligned} dЧ/dt &= Ч \cdot М/C, \\ dМ/dt &= Т, \\ dB/dt &= -Т, \\ dТ/dt &= Ч \cdot М/C - Т, \\ Ч + М + Б + Т &= C = 197,005. \end{aligned}$$

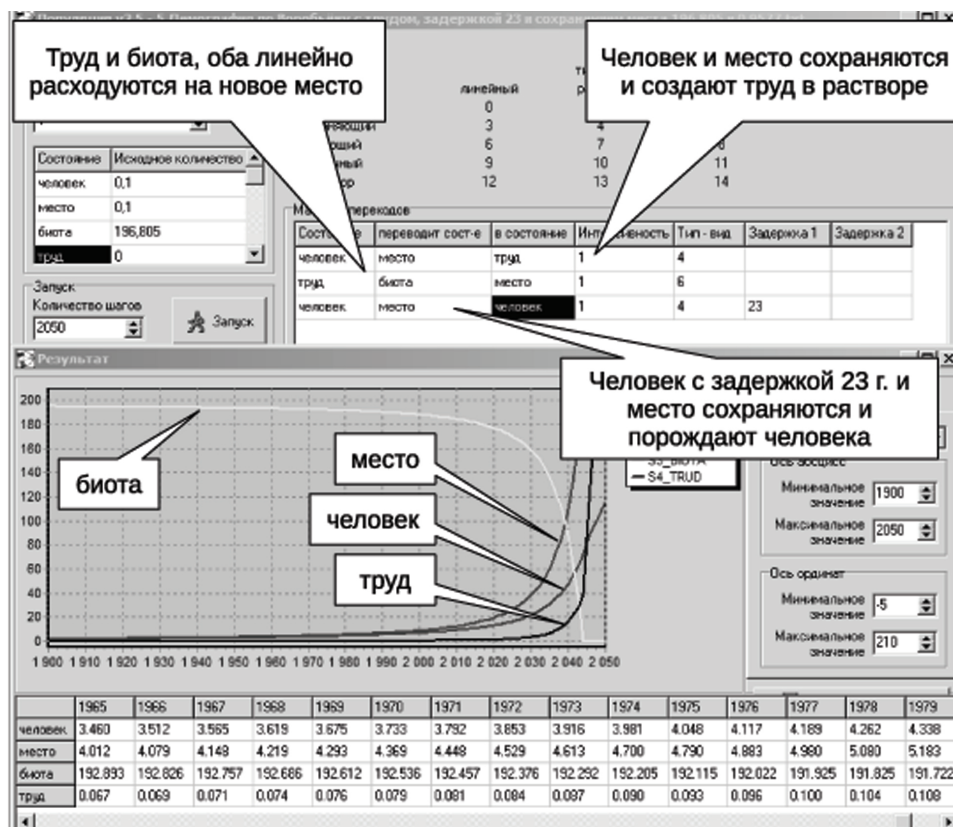


Рис. 6. Демографический процесс перехода в экопаузу. Трудовая К-модель

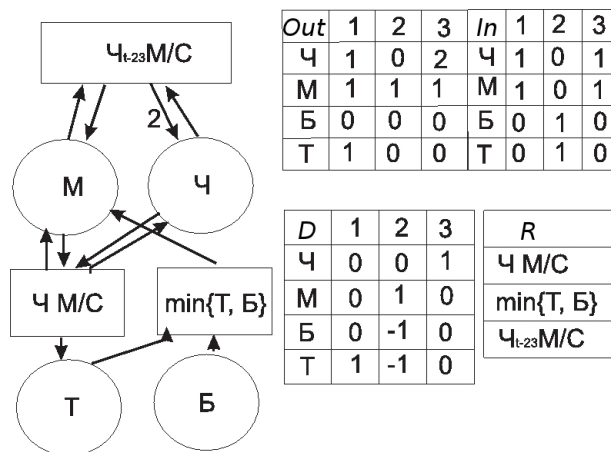


Рис. 7. К-сеть и матричное представление демографического процесса в биосфере

Впрочем, имеющаяся программа реализации К-моделей позволяет обойтись без составления и решения этих уравнений. Результаты моделирования приведены на рис. 6 для 1900–2050 г., что позволяет увидеть процесс потери адекватности К-модели.

Обратим внимание, что и эта К-модель не лишена странностей. Интенсивность рождения нового человека пропорциональна численности людей (Ч) с коэффициентом 1. Эта странность может быть объяснена тем, что делитель C в формулах (3)–(5) приравнен к ёмкости биоты. Для моделирования это допустимо, но на самом деле это не так. Ёмкость биоты должна оцениваться отдельно. Более того, нами построено

множество К-моделей демографического взрыва и экологической катастрофы, которые абстрагируются от каких-то аспектов реального демографического процесса: труда, задержек, смертности и т. п., но при этом учитывают иные аспекты реальности. Подробно рассматривать эти модели нет смысла в силу ограничения их адекватности 1975 годом, когда кончается экодефицит и начинается эконопауза.

На рис. 8 показана К-модель демографического процесса в Эдеме — раю, где можно не трудиться. Дети (Д) заселяют готовое множество мест $M = 0,25C = 50$ млрд челет для пар родителей (Ч) в техносфере. Заселение Эдема происходит без наращивания техносферы. Демографический взрыв обеспечивается близкодействием и нелинейностью рождения детей в растворе М. К-модель показывает, что такой сценарий полностью исчерпывает техницированную биоту к 2030 г. Эта модель не отражает действительный демографический процесс, но показывает, что гиперболический рост населения возможен и в Эдеме.

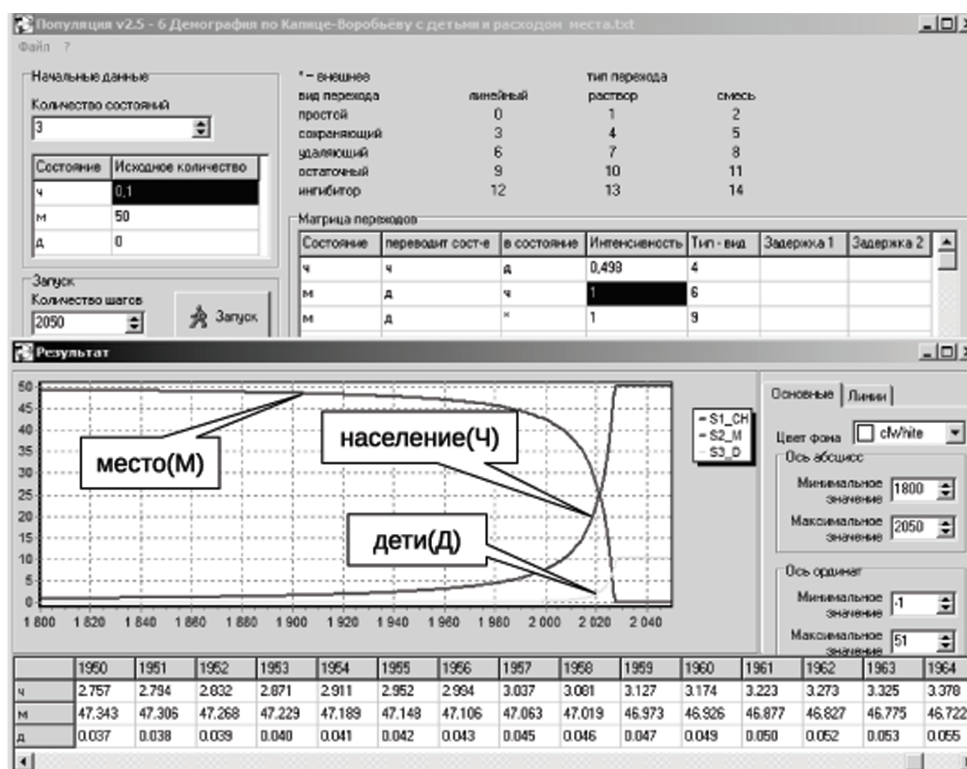


Рис. 8. Эдем. Готовая ниша заселяется людьми без труда. Дети, не нашедшие места, вымирают

5. К-модель демографического кризиса в эконопаузе

С началом экологической паузы К-модели демографического взрыва постепенно теряют и адекватность, и эмпирический смысл, поскольку модельный рост населения в них ничем не ограничивается. Для того чтобы получить более адекватный результат, подобный тому, что показан на рис. 3, следует моделировать рост населения с учетом господствующей в обществе мотивации репродуктивного поведения. Разумеется, здесь тоже действуют общеизвестные естественные факторы: рождение детей (Д) из внешнего состояния (*); элиминация детей, не нашедших места, во внешнюю среду (*); смертность всех людей с освобождением места (М); рост ёмкости экологической ниши (М) в результате творческих усилий людей-творцов (Т). В индустриальном и постиндустриальном обществе добавляются ещё два фактора, замещающих репродуктивное

поведение: во-первых, обучение молодёжи и появление творцов (Т), во-вторых, появление избыточного места (М) и потребителей (П). Будем полагать, что творчество и потребление исключают размножение, но не исключают смертность. Основанием для такого суждения служат демографические данные, показанные на рис. 2 и 3. Ясно, что каждый человек может попеременно выполнять все три функции: репродуктивную, творческую и потребительскую, поэтому соответствующие численности Ч, Т и П относятся к людям, которые заняты данной функцией в текущий момент времени.

Демографическая статистика позволяет задать вполне правдоподобные коэффициенты рождаемости и смертности людей. Естественная рождаемость — 47,7 детей на 1000 человек населения. В нашей К-модели вся смертность сводится к детской смертности, а выжившие дети, став взрослыми людьми, живут до 77 лет, творцы — до 71 года. Это упрощение не слишком искажает результат. Средняя продолжительность жизни соответствует реальной. Неизвестными остаются только коэффициенты появления творческих людей и потребителей. Эти коэффициенты приходится подбирать, добиваясь наилучшего ретроспективного соответствия модельной численности населения и известных демографических данных. Вообще, проблема подбора неизвестных коэффициентов модели является отдельной задачей оптимального синтеза К-модели.

Варьируя коэффициенты К-модели, ответственные за появление творцов и потребителей, можно получить различные значения максимального населения Земли и сроки его достижения. Ближайшая к наблюдаемому [7, 10] мировому демографическому процессу К-модель с 1800 по 2500 г. показана на рис. 9.

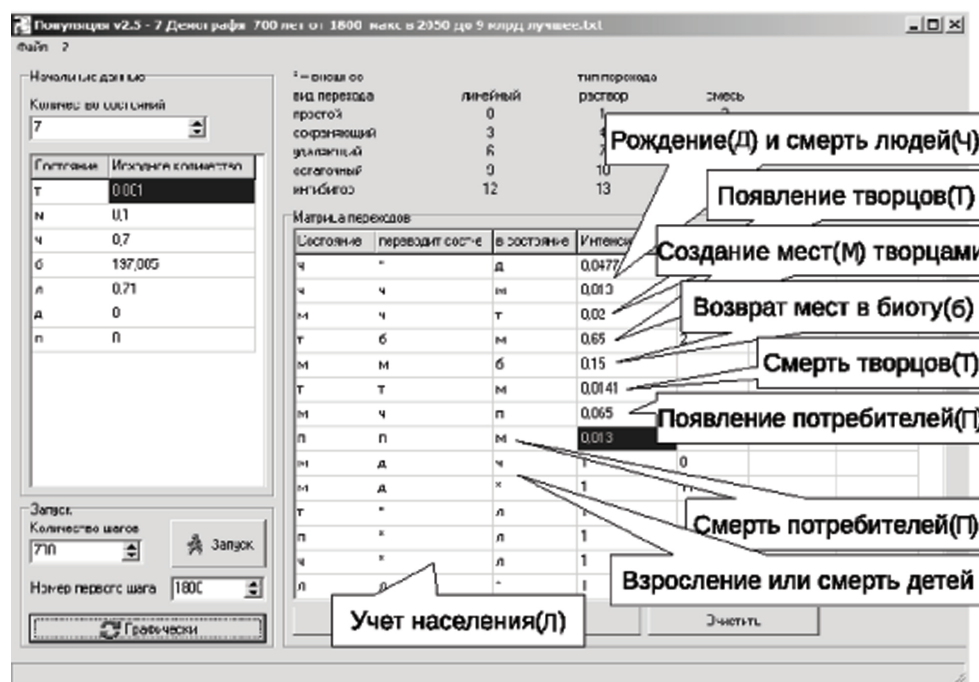


Рис. 9. К-модель демографического кризиса эпохи модерна с 1800 по 2500 г. с потерей адекватности в экологической паузе после 1975 г.

Результаты К-моделирования, представленные на рис. 10, показали, что если репродуктивное поведение людей не изменится, постиндустриальная цивилизация вымрет.

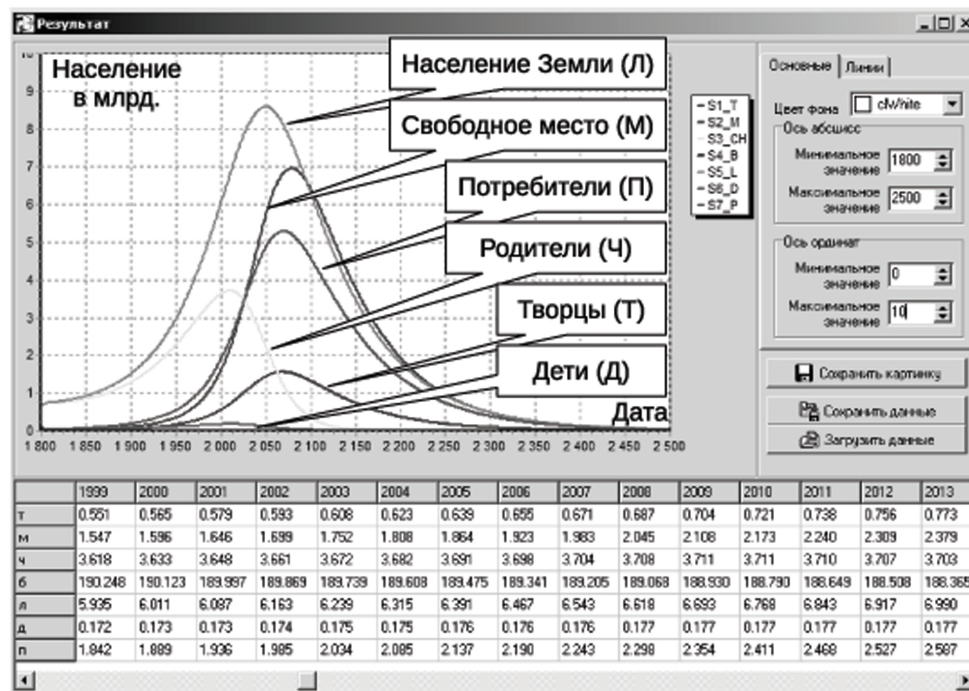


Рис. 10. Демографический процесс эпохи модерна и постмодерна с 1800 по 2500 г. В строке Л дана модельная численность населения Земли, очень хорошо совпадающая с данными всемирного банка [7] и статистическим прогнозом (рис. 3)

6. К-модель этногенеза

Демографический процесс отражает человеческий способ приспособления к природной среде — расширение своей экологической ниши, т. е. техносферы.

Этногенез — продукт внутривидовой конкуренции за экологическую нишу. Ближайшей популяционной моделью такой конкуренции является модель «хищник — жертва».

Подробное описание этногенеза дано в работах Л. Н. Гумилёва [13]. Согласно Гумилёву, в социальной жизни происходит конкуренция трёх *социотипов* человека: *пассионариев* (*пасси*), *гармоничников* (*гарми*) и *суббиологичных* субъектов (*субби*). При этом пасси (П) вытесняют субби (С) как непосредственными притеснениями и убийствами, так и организацией военных и криминальных затей, где субби — расходный материал. Гарми (Г), в свою очередь, вытесняют пасси, как неудобных и асоциальных субъектов, плохих семьянинов и наиболее жертвенных воинов и диссидентов. И, наконец, субби живут за счёт сердобольных гарми, а зачастую просто грабят и убивают своих кормильцев.

Пасси стремятся к «иррациональным» ценностям духа — истине, красоте, справедливости, чести, социальному лидерству. При этом они тормозят (подавляют) свои биологические инстинкты вплоть до *жертвенности*. Это, в конечном счёте, и позволяет человечеству расширять свою экологическую нишу, творить техносферу. Гарми не против рационального труда, но они не приходят в противоречие с биологическими позывами души и тела. Субби живут только ради удовлетворения плотских биологических потребностей: еды, секса, сна, агрессии, лидирующих позиций в сообществе. Для этого субби извлекают из гарми *избыточность* (И) — те материальные блага, которые

гарми могут пожертвовать или лишиться насильственно без очевидного ущерба для своей численности. А поскольку избыточность создают пасси, то такое положение дел сохраняется, пока есть эти самые пасси. Как только пасси практически уничтожены, эксплуатация гармоничного сообщества со стороны субби приобретает хищнический характер, что и приводит к обскурации, депопуляции и гибели этноса.

У этих трёх социотипов различно и экологическое поведение. Пасси обеспечивают рост техносферы, гарми — хранители техносферы, а субби — её разрушители. Если пасси и гарми оставляют потомкам благоустроенное место жительства (М), то субби оставляют после себя даже не биоту, а пустыню, которая постепенно возвращается в биоту.

Л. Н. Гумилёв считает гарми основным социотипом человека, появление пасси он объясняет генетическим процессом мутации непонятного (космического?) происхождения, а субби — исчезновением гена пассионарности. Эта теория похожа на объяснение альтруизма и эгоизма сочетанием рецессивного гена альтруизма с доминантным геном эгоизма подобно известной теории пола как сочетания X и Y хромосом. Однако всё не так просто. Л. Н. Гумилёв полагает, что пасси, гарми и субби — это типы социального поведения, которые определяются не только наследственными признаками, но и *индукцией* социальных установок людей. В нашей модели, представленной на рис. 11, пасси, гарми и субби являются таковыми от рождения, по наследству от родителей. Индукция, пассионарная или субпассионарная, не моделируется.

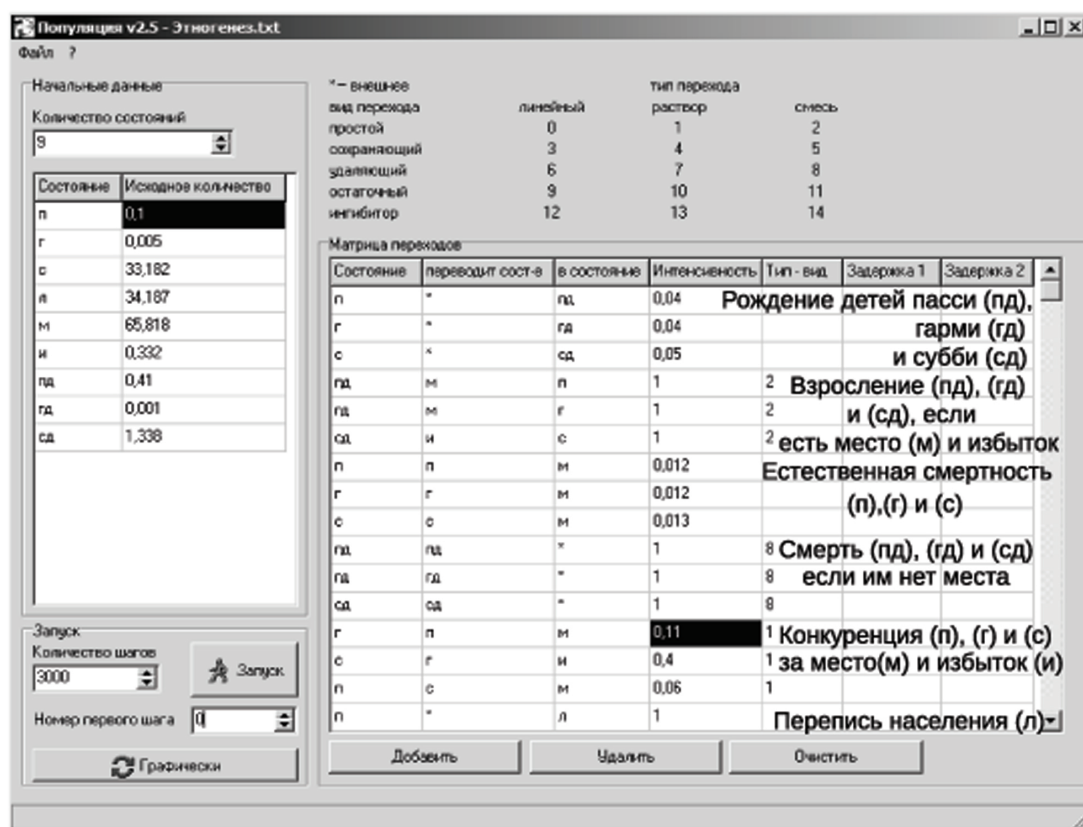


Рис. 11. К-модель этногенеза как конкуренции пасси (П), гарми (Г) и субби (С)

Как и в модели «хищник — жертва», в модели этногенеза наблюдается чередование фаз с разными доминантами поведения. На рис. 12 можно видеть *волны* преобладания

пасси, гарми и субби. В фазах *подъёма* и *акме* этнос формирует и активно распространяет свою культуру, религию и стереотипы поведения, расширяет свою территорию, воюет с соперниками. Этому соответствует пассионарная доминанта поведения людей. В фазах *надлома* и *инерции* происходит переход к универсальной светской государственности (собственно в этом и состоит надлом) и расцвет цивилизации, поскольку растёт исполнительская дисциплина и основное внимание окрепшее государство уделяет благоустройству жизни. *Инерция* — это эпоха гармоничной доминанты поведения. Наконец, в фазах *обскурации* и *депопуляции* полностью исчезают пасси, затем вымирают гарми, а субби, оставшиеся без контроля от пасси и покровительства от гарми, быстро разрушают свой кормящий ландшафт и инфраструктуру техносферы. В результате субби-доминанта приводит к разрушению цивилизации, исчезновению этноса, депопуляции и *реликтовому* состоянию, т. е. к равновесию с окружающей средой, как это обычно бывает в биологической популяции. Такой этнос обычно становится жертвой *нашествия варваров* [14].

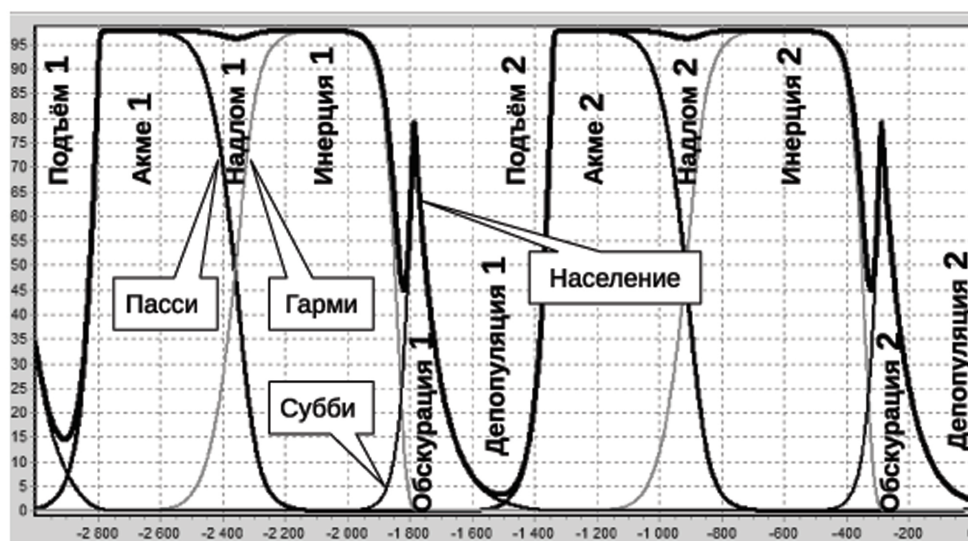


Рис. 12. Два классических цикла этногенеза в Древнем Египте

На рис. 12 показаны два классических цикла этногенеза на территории Египта. Для того чтобы читатель мог увидеть фазы этногенеза содержательно, в табл. 2 приводятся знаковые события истории Древнего Египта за период 3000–0 г. до н.э. При этом коэффициенты строк 13, 14 и 15 в графе «интенсивность», ответственные за конкуренцию, подобраны так, что совпадение основных решающих исторических событий с фазами этногенеза просто удивительное. Кроме того, видно, что длительной фазы реликта в Древнем Египте не было. Остатки пасси и нашествие пассионарных варваров (по Тойнби [14]) восстановили пассионарность населения Египта. В отсутствие гарми пасси стали быстро размножаться, эксплуатировать, истреблять и расходовать субби в новых войнах. При этом и характер исторических событий стал не таким, как в Древнем и Среднем Царствах. После римской аннексии Египта самостоятельный этногенез там прекратился.

На рис. 13 эти же волны этногенеза наложены на историю Западной Европы от основания Рима до Европейского Союза. В данном случае известно, что второй цикл европейского этногенеза происходит с другим расовым и этническим составом населения Европы в результате вторжения варваров с Севера. Древний Рим — это италийские средиземноморской расы, а Северная Европа — скандинавы, франки и германцы

Т а б л и ц а 2

Хронология Древнего Египта. Знаковые события

Годы до н. э.	Этапы	Основные события
3000–2700	Подъём , 300 л.	3000 Объединение Египта. Древнее царство
2700–2400	Акме , 300 л. Власть религии	2700–2400 Джосер, Хеопс и др. Пирамиды 2640 Имхотеп. Первые своды наставлений 2575 Снофру. Новая техника строительства пирамид
2400–2150	Надлом , 250 л. Политический кризис	2465 Реформы. Усиление власти на местах 2325 Усиление власти номархов 2200 Плавильное дело, использование бронзы 2155 Распад Древнего царства 2154 Начало первого переходного периода в Египте
2150–1800	Инерция , 350 л. Империя. Борьба за расширение и укрепление империи	2040 Среднее царство. Объединение Египта 2000 Планиметрия и пространственные отношения 1962 Хети написал поучения Аменемхета I 1926 Появилась История Синухета 1890–1800 Первые математические папирусы 1878 Сенусерт III. Расширение границ Египта 1841 Аменемхет III. Регулирование уровня воды
1800–1700	Обскурация , 100 л.	1785 Распад Среднего царства
1700–1551	Депопуляция , 150 л.	1650 Начало второго переходного периода в Египте
1551–1300	Подъём , 251 л. Восстановление империи и начало её нового расширения. Кризис религии. Победа старого культа и укрепление государства	1551 Яхмос I. Победа над гиксосами, XVIII династия 1505 Тутмос I. Начало экспансии Египта 1500 Составлен «папирус Эберса» 1490 Хатшепсут. Государственный переворот 1461 Тутмос III. Экспансия Египта 1403 Тутмос IV. Мир с государством Митанни 1361 Аменхотеп IV. Культ Эхнатона и новая столица 1347 Тутанхамон. Отмена культа Эхнатона. Перенос столицы в Мемфис
1300–1100	Акме , 200 л. Экспансия Египта. Политические интриги	1286 Рамсес II. Битва при Кадеше 1270 Рамсес II и Хаттусили III. Соглашение о Сирии 1184 Рамсес III. Разгром ливийцев и народов моря 1153 Убийство фараона Рамсеса III
1100–900	Надлом , 200 л.	1070 Начало третьего переходного периода в Египте 945 Шешонк I основал XXII династию
900–350	Инерция , 550 л. Внешние вторжения и борьба за сохранение единой империи	728 Пианхи. Начало правления нубийской династии 681 Асархаддон. Экспансия Персии в Египет 664 Псамметих I. Объединение Египта 589 Борьба за Палестину 404 Амиртей изгнал персов 380 Неферит II. Последняя самостоятельная династия
350–200	Обскурация , 150 л. Недееспособность	343 Артаксеркс III. Завоевание Египта персами 332 Александр Македонский. Александрия
200–000	Депопуляция , 200 л.	47 Частично гибнет Александрийская библиотека 30 Клеопатра. Аннексия Египта Римом

центрально- и североевропейских рас. Основные события истории Западной Европы хорошо известны и наложены прямо на волны европейских этногенезов. Совпадение и здесь очень точное.

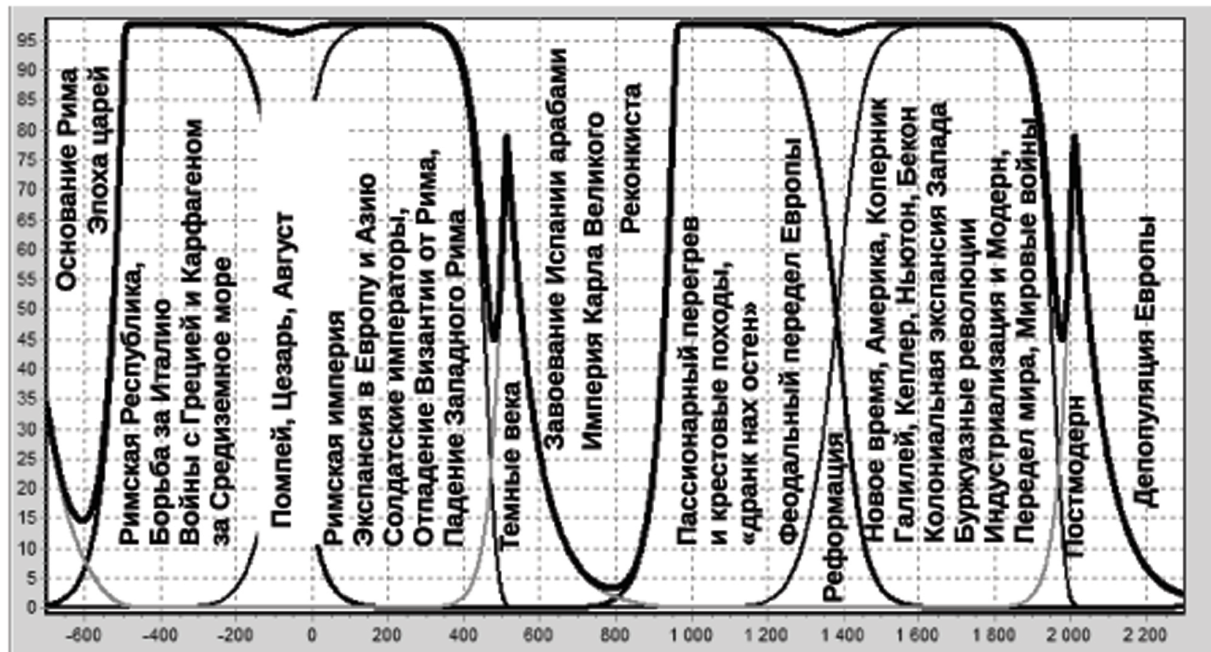


Рис. 13. Этногенез в Западной Европе от Рима до Европейского Союза. Та же последовательность этапов этногенеза, что и в Египте (рис. 12)

Та же кривая, наложенная на хронологию христианской России, тоже даёт точное совпадение событий с фазами этногенеза. Результат показан на рис. 14. В данном случае этнический состав населения также изменился по сравнению со славянами первого тысячелетия нашей эры. Произошла метисация славян, убежавших от печенегов и половцев, с угрофинскими и тюркскими народами Севера России и Поволжья, что и породило великорусский суперэтнос — москвитов, поморов, волгарей и т. д.

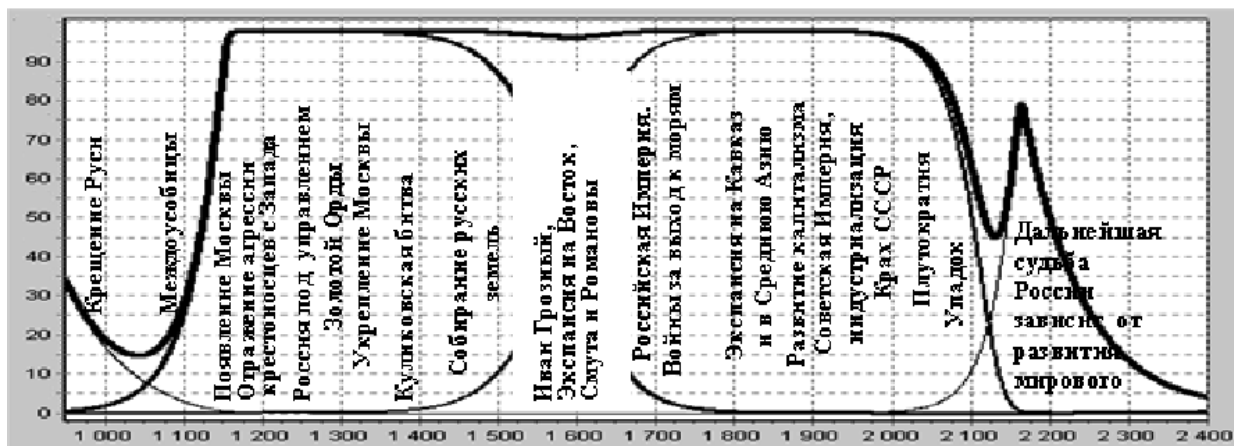


Рис. 14. Этногенез христианской России с 950 по 2400 г.

Рис. 14 очевидно противоречит мнению Л. Н. Гумилёва и А. Тойнби о том, что русский этногенез начался в XIV веке одновременно с Польшей и Турцией. Дело в том,

что яркие события в этногенезе происходят с интервалом приблизительно в 350 лет, при смене фазы этногенеза. Поэтому сдвиг начала этногенеза на этот срок также даёт правдоподобную картину. Если верить Гумилёву, то следует считать за начало фазы подъёма в России 1250 г. — сразу после татаро-монгольского нашествия. Акме — от Куликовской битвы до Отечественной войны 1812 г., надлом начинается выступлением декабристов в 1825 г. и заканчивается распадом СССР и 2000 годом. Эта картина российского этногенеза по Л. Н. Гумилёву показана на рис. 15.



Рис. 15. Этногенез в России по Л. Н. Гумилёву с 1250 по 2700 г.

Какая из моделей адекватна? Модель на рис. 14 хорошо согласуется с представлениями многих представителей Русской Православной Церкви (РПЦ), с предшествующими результатами, с наблюдениями Н. Я. Данилевского [15], да и с современным состоянием дел в России. Надлом превращает Этнос в Цивилизацию и Империю, после чего следует внешняя колониальная экспансия, что мы и видим на рис. 14. В современной России мы наблюдаем депопуляцию, связанную либо с обскурацией, либо с мировым кризисом цивилизации. Модель Гумилёва тоже хорошо описывает события последних веков.

К сожалению, исторического материала, позволяющего сделать выбор между моделями РПЦ и Гумилёва, у авторов пока нет. Необходимо хорошее описание истории России за 1500 лет до крещения Руси. Тогда можно было бы увидеть два цикла этногенеза (как в Египте и Европе) и верифицировать К-модель. Кроме того, судя по результатам моделирования демографического кризиса в эконопаузе, представленные модели этногенеза теряют адекватность уже в XXI веке. История человечества приобретает новый характер и новый смысл.

Обратим внимание, что максимальная численность населения везде равна 100. Дело в том, что наша К-модель не учитывает расширения техносферы, а её ёмкость — это число мест (М). В силу теоремы масштабируемости [12] можно взять любой масштаб для задания начального состояния и подобрать необходимую численность населения. В данном случае выбран такой масштаб, что число людей с разными типами пове-

дения совпадает с процентом этих людей. Адекватная каузальная модель этногенеза с расширением техносферы не является предметом данной работы. Важен принципиальный качественный результат.

Ещё одна деталь К-модели этногенеза — депопуляция этноса почти до нулевой численности. В реальности пассионарное и гармоничное население не вымирает, а *замещается* или *отпадает* от этноса подобно отпадению христиан от язычников, Византии от Рима, великороссов от Киевской Руси, староверов от несториан и т. д. *Раскол этнического поля*, бегство из этноса (территориальное и/или социальное) сохраняет пассионарный генофонд для последующего *пассионарного толчка* на периферии этноса.

7. Результат исследования

Итак, разработан удобный метод быстрого получения и проверки математических моделей исторического процесса — К-моделирование. Построенные модели исходят из предположения о благополучном развитии земной цивилизации без катастроф и мировых войн. Пока получены только предварительные результаты математического моделирования истории. К сожалению, эти результаты не могут порадовать читателей оптимистическими прогнозами. Человечество вступило в эпоху глобального кризиса. Этот кризис сильнее всего затрагивает продвинутые технические цивилизации — Запад и Россию, но за ними неизбежно последуют и развивающиеся страны. Из исторических наблюдений, математических и каузальных моделей демографии и этногенеза вытекают следующие предварительные выводы.

1. Современное человечество прошло три крупных этапа антропогенеза: 1) эпоха расселения по планете Земля [5]; 2) эпоха экологического дефицита и этногенеза, как результата конкуренции людей за экологическую нишу на Земле [13]; 3) эпоха экологической паузы и мирового экологического кризиса [1–3]. Экопауза завершается в XXI веке, после чего начинается вымирание постиндустриальной цивилизации и, возможно, замена современного *homo sapiens* новым видом разумных людей.

2. Репродуктивное поведение человека, как биологического вида, мотивируется сексуальной потребностью. Появление потомства при этом является не целью, а побочным результатом сексуальности. Если репродуктивное поведение людей не изменится, постиндустриальная потребительская цивилизация вымрет. Возможно, что это обусловлено не только социокультурными, но и генетическими факторами, сформированными в эпоху экологического дефицита. Современные люди вымирают в условиях экологической паузы, экологического кризиса и изобилия.

3. Исторический процесс в эпоху экодефицита детерминирован, в основном, этногенезом — объединением людей, родственных генетически, психологически и социокультурно, в борьбе за экологическую нишу на Земле [13].

4. Конкуренция происходит не только между этносами, но и внутри этносов, как минимум, между тремя генотипами людей: пасси, гарми и субби. Ближайшей математической моделью этой конкуренции является модель «хищник — жертва».

5. Основные исторические повороты происходят при смене этапов этногенеза, когда меняется доминанта социального поведения. С небольшими вариациями коэффициентов это наблюдается на моделях этногенеза и в Египте, и в Европе, и в России, и в Древней Греции, и в Византии. Это, очевидно, общая закономерность этногенеза.

6. Хорошее совпадение волн этногенеза в Египте, Западной Европе, России, Древней Греции и Византии (это одна и та же кривая) говорит о том, что этногенез практически не зависит от климата, расы, культуры, календарного времени и уровня техно-

логии. Это значит, что этногенез, скорее всего, не социокультурное и не экономическое, а природное явление, связанное с генетикой человека как биологического вида.

7. Для появления носителей пассионарной и иной генетики нет необходимости в каком-то космическом вмешательстве. Волны этногенеза возникают, как и в модели «хищник — жертва», из-за нелинейности процессов конкуренции людей.

8. Исторический процесс объективен, закономерен и практически не зависит от желаний и идей отдельных людей или социальных групп. Никакие социальные, просветительские или воспитательные меры не могут изменить ход истории. Люди могут предлагать самые разумные и прогрессивные идеи или социальные институты, но тщетно. Всякая идея будет продуктивна тогда и только тогда, когда для её восприятия и реализации появится достаточное число генетически подходящих людей — пассии, гарми или даже субби. И в этом трагедия гениев и пророков.

9. На волне *подъёма* и *акме* доминирует самая жёсткая религиозная социокультурная установка, которая невыносима для возрастающей массы гарми, а потом и субби. В результате происходит *надлом*: смута, гражданская война или революция, смягчение нравов в пользу витальных инстинктов гарми и субби, установление социального равновесия и законности, а точнее — безразличия к высшим сакральным ценностям. Этот результат развития пассионарной культуры есть, собственно, *цивилизация*, как и утверждал О. Шпенглер [16].

10. В своём развитии цивилизация становится всё более агрессивной по отношению к культуре, породившей эту цивилизацию. Это приводит к *обскурации* — разгулу субби, отрицанию и осмеянию пассионарной *классической культуры*, её вытеснению массовой *поп-культурой*. После этого этнос, потерявший пассионарность, базовые ценности и мотивы для продуктивной деятельности, гибнет. Начинается *депопуляция*, беспокоящая деятелей культуры — так называемых *интеллектуалов*.

11. Интеллектуалы не знают ни фундаментальных законов истории, ни математики. Поэтому они не в состоянии понять происходящие процессы и горячо обсуждают разные *благоглупости* (Салтыков-Щедрин), окончательно разлагающие гибнущий этнос.

12. Теория этногенеза по Л. Н. Гумилёву в целом выдержала проверку математическим моделированием. Качественная картина этногенеза хорошо подтверждается. Однако если сменить некоторые коэффициенты в К-модели, можно получать различные сценарии этногенеза с пролонгированной фазой реликта, с различными длительностями волн этногенеза, с равновесными реликтовыми состояниями даже без тех или иных социотипов человека. Всё это, впрочем, получается так же, как и на более простой модели «хищник — жертва».

13. Живая и богатая событиями История получается в узком коридоре параметров, в которые человечество попадает не так уж часто. Недаром Н. Я. Данилевский [15], О. Шпенглер [16] и А. Тойнби [14] насчитывают в истории едва ли два десятка заметных культур и цивилизаций.

Заключение

Жизненно необходимо математическое и компьютерное моделирование исторических процессов современности. Численные результаты демографии и исторической статистики не дают полного понимания мотивов людей и, следовательно, самой истории. Для получения моделей, достаточно точных для научного исторического прогнозирования, метод К-моделирования должен быть развит и реализован полностью.

Но что особенно важно, так это понимание социального поведения людей, их мотивов и деяний. Именно мотивы и деяния легли в основу дискретных К-моделей, представленных выше: рождение детей и их вымирание от недостаточной производительности техносферы, творчество и аскеза творцов, потребительство и гедонизм, как основа снижения рождаемости и творческой активности, одичание брошенного ландшафта. Всё это лежит в основе К-моделей и демографического процесса, и этногенеза. Выяснение и описание гуманитарных мотивов— дело профессиональных психологов, антропологов и историков. А вычисления и прогнозы обеспечиваются математической историей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев В. А., Воробьева Т. В. Экологический императив и демографический процесс // Вестник Поморского университета. Сер. Естественные и точные науки. 2003. № 1(3) С. 122–131.
2. Воробьев В. А., Воробьева Т. В. Демографический парадокс, экология и религия // Свеча-2003: Наука и Религия: сб. научных и методических работ по религиоведению и культурологии / под ред. Е. И. Аринина. Архангельск: Поморский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 2003.
3. Воробьев В. А., Воробьева Т. В. Экологическая пауза — системный кризис человечества // Исследования в области глобального катастрофизма / под ред. В. К. Журавлёва. Вып. 1. Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2006. С. 69–109.
4. Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. 2-е изд. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 288 с.
5. Капица С. П. Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. Очерк теории роста Человечества. М.: Международная программа образования, 1999. 240 с.
6. Малков А. С., Коротяев А. В., Халтурина Д. А. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования // Новое в синергетике, новые проблемы, новое поколение / под ред. Г. Г. Малинецкого. М.: Наука, 2007. С. 148–186.
7. Народонаселение стран мира. Справочник / под ред. Б. Ц. Урланиса. 2-е изд. М.: Статистика, 1978.
8. Базыкин А. Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 368 с.
9. Форестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука, 1978. 314 с.
10. Страны и регионы. Статистический справочник Всемирного банка: пер. с англ. М.: Весь мир, 1999–2005.
11. Воробьев В. А. Метод моделирования популяции автоматов // Современные достижения в науке и образовании: математика и информатика. Материалы междунар. научн.-практич. конф. Архангельск, 1–5 февраля 2010. С. 16–22.
12. Воробьев В. А., Березовская Ю. В. Популяции взаимодействующих автоматов // Прикладная дискретная математика. 2011. № 4. С. 89–104.
13. Гумилев Л. Н. Этносфера: история людей и история природы. М.: АСТ, 2004. 575 с.
14. Тойнби А. Дж. Постигание истории. <http://www.hrono.ru/index.php>
15. Данилевский Н. Я. Россия и Европа. Взгляд на культурные и политические отношения Славянского мира к Германо-Романскому. СПб.: ГЛАГОЛЬ, СПбГУ, 1995. 501 с. <http://www.booksite.ru/fulltext/yev/rop/ada/nil/index.htm>
16. Шпенглер О. Закат Европы. Новосибирск: Наука, 1993. 592 с.