



МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭВОЛЮЦИИ МИР-СИСТЕМЫ

Е. С. Куркина, Е. Д. Куретова

«Демографические приливы и отливы есть символ жизни минувших времен... В сравнении с этими фундаментальными реальностями все (или почти все) может показаться второстепенным...»

Фернан Бродель

В работе проводится математическое моделирование эволюции человеческого общества с использованием синергетического подхода. Предложены новые математические модели, описывающие динамику главных интегральных показателей развития Мир-Системы, таких как общая численность населения и уровень развития технологий. Модели отражают основные закономерности пространственно-временного развития общества, они демонстрируют устойчивый гиперболический рост численности населения и циклический характер динамики. Модели позволяют проводить глубокий анализ исторических событий и делать некоторые прогнозы дальнейшего развития общества.

Ключевые слова: Математическое моделирование, эволюция человеческого общества, режим с обострением, циклическая динамика, нелинейное уравнение теплопроводности, обыкновенные дифференциальные уравнения.

Введение

В работе с использованием синергетического подхода рассмотрена глобальная эволюция человеческого общества, или Мир-Системы. Изучение глобального развития общества лежит в русле универсального системного видения природы и общества, которое сложилось в 60-х годах XX века и вылилось в формирование мощного междисциплинарного движения – синергетики, или теории сложных систем. Синергетика – это наука, которая, опираясь на результаты математического

моделирования, исследует закономерности эволюции и самоорганизации в открытых нелинейных системах. Ее становление и развитие связано с именами Тьюринга, И. Пригожина, Г. Хакена, С.П. Курдюмова и других ученых.

Как и у всех сложных систем, поведение Мир-Системы слабо предсказуемо, а *законы эволюции общества носят характер тенденций или принципов*, то есть они выполняются с достаточно большой вероятностью, но не всегда. Тем не менее, анализ эволюции общества с позиции теории сложных систем является очень полезным и позволяет дать объективную оценку поворотного момента истории, в котором мы сейчас находимся, и наметить наиболее вероятные пути дальнейшего развития. Построение и использование математических моделей, выявление с их помощью закономерностей развития придает объективность проводимым исследованиям и помогает глубоко проникнуть в суть проблемы, выявить механизмы того или иного исторического явления и вывести следствия.

В работе предложены новые математические модели, описывающие эволюцию общества. Модели разрабатывались с учетом анализа уже существующих моделей. Новые модели описывают такие объективные закономерности развития человеческого общества, как рост основных показателей в режиме с обострением и циклический характер эволюции.

1. Эволюция человеческого общества как сложной системы

1.1. Параметры порядка Мир-Системы. С развитием синергетики стало понятно, что для исследования эволюции мирового сообщества необходим системный подход, предполагающий рассмотрение всего человечества как *единой самоорганизующейся и саморазвивающейся сложной системы*, и изучение факторов, влияющих на ход эволюции в целом и связанных со структурными трансформациями всего общества [1]. Несмотря на то, что исторические события представляют собой хитросплетение экономических, политических и социальных процессов, осложненных влиянием множества случайных факторов, системный подход позволяет исследовать глобальные исторические процессы, выявить объективные законы развития и определить поворотные точки истории. И *математическое моделирование*, как инструмент познания, теоретического объяснения и научного прогнозирования, играет здесь существенную роль. Для создания математических моделей эволюции Мир-Системы необходимо определить так называемые *параметры порядка* глобального исторического развития общества – главные медленно меняющиеся переменные, характеризующие этот процесс, к которым подстраиваются все другие переменные.

Человеческое общество совершило грандиозную эволюцию, создав свою собственную развивающуюся антропогенную среду с социоэкономической и культурной надстройками. Считается, что общество первобытных людей сформировалось в Африке примерно 1.5 млн лет тому назад, а затем расселилось по всей планете. Древний человек был частью экосистемы и отличался от других стайных хищников разве что умением добывать огонь и использовать примитивные орудия труда. Качественный скачок произошел в эпоху неолита, начало которого относят к XI тысячелетию до н.э., когда древний человек из охотника и собирателя превратился в скотовода и земледельца, и начал вести оседлый образ жизни. Эти изменения в

человеческом сообществе имели настолько глобальные последствия, что были названы историками *неолитической революцией*. В неолите начинается формирование Мир-Системы. К концу I тыс. до н.э. сложился целый пояс культур, основанных на сельском хозяйстве и находящихся на сходном уровне сложности, который включал в себя основную часть населения мира [1]. Составлявшие ее народы, несмотря на кажущуюся разобщенность и независимость развития в те времена, взаимодействовали друг с другом, перенимая друг у друга новшества, знания, умения и технологии. Именно накопление информации, ее приумножение от поколения к поколению и распространение по всей территории обитания человека связало человечество воедино и стало основой его эволюции [5–6]. За это время намного возросла численность народонаселения, и качественно изменился характер взаимодействий людей с природой и между собой. В процессе своего развития общество объединялось в специфические структуры для осуществления совместной деятельности и выживания. Каждой социально-экономической эпохе соответствовали свои структуры расселения и производства. Усложнение Мир-Системы происходило и по линии взаимоотношений между отдельными людьми, поселениями и, впоследствии, государствами, и по линии создания новых технологий, и по линии культуры. В целом многократно увеличилось число связей, усложнились различные взаимодействия и взаимоотношения внутри человеческого сообщества, возросла эффективность взаимодействия с природой, намного усложнилась архитектура социально-экономического устройства общества. Степень развития общества проявляется, прежде всего, в *уровне развития технологий P*. Под уровнем развития технологий понимают не только основные технологии жизнеобеспечения, но и уровень социально-экономической организации общества, уровень развития медицины, культуры, науки. Уровень развития человеческого общества можно также характеризовать *общей численностью людей N*. N и P – это два главных параметра порядка развития человеческой цивилизации. Они взаимосвязаны между собой: чем выше уровень развития технологий P , тем больше емкость социально-экономической среды (экологической ниши) и больше людей N может существовать; в свою очередь, чем больше N , тем выше вероятность появления новых, более эффективных технологий, создающих более широкие условия проживания и способных в конечном итоге сохранить большее количество жизней. Таким образом, существует *положительная обратная связь между общей численностью людей N и уровнем развития технологий P* . Связь между численностью людей и уровнем развития производства отмечали многие исследователи, начиная с Т. Мальтуса (С. Кузнец, М. Кремер, А.В. Подлазов, А.В. Коротчаев и др. [8]). Некоторые ученые отдавали первенство технологическому фактору (М. Кремер), некоторые – демографическому (С.П. Капица).

1.2. Гиперболический рост населения. Благодаря положительной обратной связи между P и N , наблюдался необычный для биологических популяций рост общей численности людей. В 1960 г. группа фон Форстера собрала и обработала исторические данные и исследовала рост населения Земли на протяжении нескольких тысячелетий. Оказалось, что общая численность людей росла по гиперболическому закону. Уточненная Хорнером формула имеет вид

$$N(t) = \frac{C}{t_1 - t}, \quad (1)$$

где t – время в годах от начала нашей эры, C и t_1 – подобранные константы: $t_1 = 2025$ год – момент обострения, или точка сингулярности Форстера, $C = 200$ млрд [человек×годы] – константа Форстера.

Функция (1) описывает развитие в режиме с обострением, при котором численность населения и ее скорость роста все время нарастают, и N уходит в бесконечность при стремлении t к t_1 . График роста функции $N(t)$ изображен на рис. 1. Как видно из рисунка, развитие в режиме с обострением можно условно разделить на три стадии: квазистационарную стадию 1, или стадию медленного роста, когда прирост функции заметен только на очень больших промежутках времени; стадию быстрого роста 2; стадию взрывного развития 3. То есть эволюция в таком режиме идет с ускорением, длится лишь конечное время и всегда заканчивается взрывом. Вблизи точки сингулярности система переживает сильнейший кризис, сопровождающийся качественными изменениями внутри системы. Кризис может закончиться либо крахом системы (гибелью), либо переходом к новому циклу развития обновленной системы.

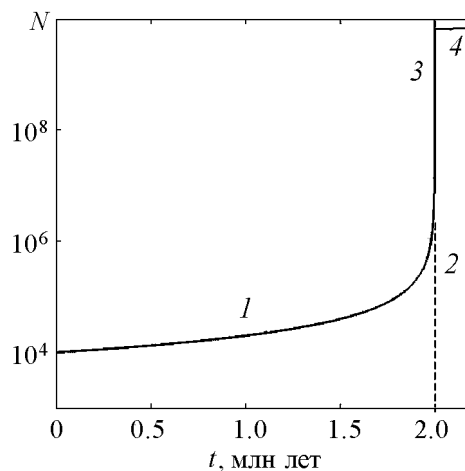


Рис. 1. Режим с обострением

Закон гиперболического роста (1) как основной тренд действовал на протяжении всей истории человечества, по некоторым оценкам более миллиона лет, вплоть до 70-х годов прошлого века [2–4]. На квазистационарной стадии развития прирост населения был крайне мал, «спрятан» за большими флуктуациями и заметен только на больших промежутках времени. Переход к ускоренному росту произошел в эпоху неолита. В последние двести лет наблюдалось особенно резкое увеличение численности населения Земли, которое было охарактеризовано как демографический взрыв. Сейчас численность населения Земли составляет более 7 млрд. Однако это примерно в два раза меньше того, что могло бы быть, если бы закон (1) продолжал действовать. Реальные данные начали отставать от функции (1), начиная с 70-х годов XX века. В настоящее время наблюдается резкое снижение темпов роста населения с тенденцией к стабилизации численности (стадия 4 на рис. 1) – то, что получило название глобального демографического перехода. Демографический переход – это вторая глобальная революция в истории человечества, сопровождающаяся качественными структурными трансформациями общества [3].

Закон гиперболического роста (1) как основной тренд действовал на протяжении всей истории человечества, по некоторым оценкам более миллиона лет, вплоть до 70-х годов прошлого века [2–4]. На квазистационарной стадии развития прирост населения был крайне мал, «спрятан» за большими флуктуациями и заметен только на больших промежутках времени. Переход к ускоренному росту произошел в эпоху неолита. В последние двести лет наблюдалось особенно резкое увеличение численности населения Земли, которое было охарактеризовано как демографический взрыв. Сейчас численность населения Земли составляет более 7 млрд. Однако это примерно в два раза меньше того, что могло бы быть, если бы закон (1) продолжал действовать. Реальные данные начали отставать от функции (1), начиная с 70-х годов XX века. В настоящее время наблюдается резкое снижение темпов роста населения с тенденцией к стабилизации численности (стадия 4 на рис. 1) – то, что получило название глобального демографического перехода. Демографический переход – это вторая глобальная революция в истории человечества, сопровождающаяся качественными структурными трансформациями общества [3].

1.3. Исторические и социально-экономические циклы. Изучение эволюции общества обнаруживает существование различных исторических циклов. Наиболее известными являются вековые циклы, продолжающиеся примерно 200–300 лет, и длинные цивилизационные волны, длительность которых составляет несколько тысяч лет [4]. Циклическое развитие является одной из важнейших базовых черт динамики всех сложных систем. Переживая периоды расцвета и бурного развития, система затем с неизбежностью впадает в кризисы. Выход из кризиса происходит благодаря появлению и распространению инноваций – новых лидеров эволюции, которые дают системе новый толчок к развитию.

Ученые давно обнаружили и стали изучать *демографические циклы*. Впервые колебания численности населения описал Т. Мальтус в конце XVIII века. Он объяснил их тем, что темпы роста населения всегда опережают темпы роста производства продуктов питания, что приводит к нехватке последних и отражается в росте цен и ренты. В результате реальная заработная плата падает, и уменьшается уровень потребления среди бедных слоев населения. Уменьшение потребления, в свою очередь, влечет замедление роста населения, затем его приостановку, и даже сокращение до уровня, определяемого средствами существования. Продуктов жизнеобеспечения теперь становится достаточно, заработная плата начинает возрастать, потребление увеличивается, население снова начинает расти, и процесс повторяется [5]. Идеи Мальтуса впоследствии были развиты историками (Дж. Голдстоун, С.А. Нефедов и др.) и экономистами (Рикардо, Абелем и др.). Ф. Бродель утверждал, что «демографические приливы и отливы» являются первостепенной фундаментальной реальностью. Он заметил, что они имеют глобальный характер, и демографические циклы Востока (Китай, Индия) синфазны циклам Запада.

С развитием капитализма кризисы перенаселенности и связанные с ними циклы исчезли, но возникли другие циклы, определяемые периодическими кризисами перепроизводства, величиной инвестиций, инфляции и др. Причины возникновения этих кризисов начали изучать Д. Юм, Д. Рикардо, К. Маркс и др. В прошлом столетии были открыты экономические циклы Китчина (2–4 года), Жюгляра (7–11 лет), Кузнеца (16–25 лет), Н.Д. Кондратьева (40–60 лет).

Глобальные длинные волны исторического развития общества исследовали И.М. Дьяконов, Ф. Бродель, С.П. Капица, П.В. Турчин и др. Разные ученые по-разному выделяют главные эпохи развития Мир-Системы, но все они отмечают ускорение течения исторического времени и сокращение длительности исторических эпох [2, 6, 7]. Дьяконов вводит 8 фаз исторического развития, начиная с появления Homo sapiens [6]. Он замечает, что длительность циклов сокращается по закону геометрической прогрессии и имеет точку сгущения, впоследствии получившую название *сингулярности Дьяконова*. Ю.В. Яковец, используя понятие социально-экономической формации, данное К. Марксом, делит эволюцию общества на 9 этапов [7]. Каждый новый этап эволюции – это следующая ступень сложности организации человеческого общества. С.П. Капица, как и многие историки, выделяет 11 глобальных исторических циклов [2]. Предельная точка сгущения циклов, по Капице, приходится, примерно как и у Дьяконова, на 2022 г. и совпадает с точностью до допустимой погрешности с точкой сингулярности Форстера.

Многие ученые считают, что смена глобальных исторических эпох имеет инновационную природу и происходит, когда начинают распространяться новые социально-экономические технологии, стандарты или культурные образцы, качественно влияющие на эволюцию и переводящие Мир-Систему на другой, более высокий уровень развития.

Большинство теорий, описывающих те или иные циклы, делают упор на анализе изменений некоторых макропоказателей и оставляют за рамками пространственный фактор развития. Однако переход на новую ступень развития происходит не одновременно во всех регионах Мир-Системы, а занимает длительное время и сопровождается возникновением *волн развития*. Инновации, влияющие на ход эволюции, зарождаются в одном или нескольких местах, а затем распространяются в

другие районы за счет *диффузии нововведений* [8]. Диффузия инноваций играет существенную роль в цикле, определяя его длительность.

Кроме того, развитие человеческой цивилизации сопровождается *усилением процессов концентрации* людей и продуктов их деятельности в отдельных центральных местах, и, как следствие этого, происходит *увеличение степени пространственной неоднородности*, рост территориальных асимметрий и диспропорций [9]. В целом можно утверждать, что с развитием происходит *сокращение внутрисистемных пространственных и временных масштабов*.

Таким образом, математические модели эволюции Мир-Системы должны не только описывать общий тренд развития в режиме с обострением, но и отражать пространственно-временную циклическую динамику, сопровождающуюся сжатием пространственно-временных масштабов.

2. Макроскопические модели социально-экономической эволюции общества

Для описания и анализа глобальной эволюции общества, основных трендов развития и больших исторических циклов большинство ученых используют макроскопические модели, основанные на системах обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). В качестве главных переменных, характеризующих динамику развития Мир-Системы, как было уже сказано, обычно берутся N и P – общая численность людей и уровень развития технологий. В некоторых моделях используются и другие переменные, например, имеющиеся в наличии ресурсы R , общая площадь посевных площадей S , уровень грамотности населения L и т.д. Весомый вклад в развитие математического моделирования исторических макропроцессов внесли С.П. Капица, М. Кремер, П.В. Турчин, С.А. Нефедов, А.В. Коротаев, Л.Е. Гринин и др. Обзор, разработку и глубокий анализ компактных моделей эволюции общества и исторических процессов можно найти в сериях сборников и в альманахах, выпускаемых издательством URSS: «История и Математика», «Эволюция» и др.

2.1. Модели Капицы и Кремера. Примером глубокого исследования глобальных исторических процессов с позиции синергетики может служить математическая теория, разработанная С.П. Капицей [2, 3]. Он впервые применил системный подход в демографии и показал, что общая численность населения Земли N есть ведущая медленная переменная, определяющая динамику мирового сообщества в целом. Тем самым он провозгласил *принцип демографического императива*: именно рост народонаселения Земли обуславливает характер социальных, экономических и геополитических процессов, происходящих в глобальной системе человечества. Его теория хорошо известна и цитируется многими учеными. Кратко остановимся на ней.

Уравнение С.П. Капицы, описывающее изменение во времени полного числа людей N , имеет вид

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

где время t выражено в годах от начала нашей эры, а τ и K – две системные константы, подобранные эмпирическим путем. Константа $\tau = 45$ – это некоторая средняя

временная характеристика системы, описывающая эффективное время жизни одного поколения. Константа роста $K = 67000$ – это основная безразмерная динамическая характеристика системы. Она соответствует эффективному размеру группы, в которой проявляются коллективные признаки сообщества людей.

Решение уравнения (2) определяется формулой (1), описывающей гиперболический рост населения. Закон роста (2) является парадоксальным с точки зрения биологических законов размножения популяций и требует объяснения. Причину квадратичной зависимости (2) С.П. Капица видит в том, что человечество представляет собой единую информационную систему, в которой происходят парные взаимодействия по обмену информацией, и скорость роста отдельных частей существенно зависит от размера всей системы.

Важным результатом теории С.П. Капицы является также вывод о сжатии масштабов исторического времени, которое с неизбежностью вытекает из гиперболического закона роста и выражается в ускорении темпов прироста населения. Из-за связи демографических и социально-экономических процессов темп развития, ощущаемый по динамике изменений, все время возрастает, и социально-экономическое развитие общества ускоряется.

Существенным аспектом математической теории С.П. Капицы является обнаруженная связь общей численности людей с уровнем развития цивилизации и с периодизацией исторического времени.

Другим важным результатом его теории является объяснение снижения скорости роста общей численности населения планеты с тенденцией к ее стабилизации, что составляет сущность происходящего ныне демографического перехода. По мнению С.П. Капицы, демографический переход связан не с ограничением ресурсов на Земле, как полагал Томас Мальтус и некоторые другие ученые, а с *системным ограничением скорости роста*, выражаемым константой τ , опосредованно учитывающей долгий период взросления и обучения человека, растянувшийся сейчас на 25–30 лет [7]. Переход начинается за τ лет до критического времени t_1 , когда приращение населения мира за время τ становится больше самого населения. Расширенная модель, описывающая демографический переход, имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = \frac{C}{(t_0 - t)^2 + \tau^2}. \quad (3)$$

С помощью этой модели С.П. Капица получил оценку общей численности людей в 100 млрд человек, когда-либо живших на Земле, и рассчитал предел, к которому стремится численность человечества после завершения демографического перехода: $N_\infty = \pi K^2 \approx 11$ млрд. Однако уравнение (3) не является автономным, а следовательно, здесь теряется вся оригинальность и привлекательность системного подхода, развиваемого автором.

Аналогичную модель предлагает М. Кремер. В отличие от Капицы, он провозглашает технологический императив и выписывает динамическое уравнение для абсолютной скорости технологического роста. Оно эквивалентно уравнению Капицы, однако в нем по-другому расставлены смысловые акценты. В его модели по гиперболическому закону растет некоторая равновесная численность, согласованная с уровнем технологического развития (см. в [4]).

2.2. Компактная макромоделю эволюции Мир-Системы. Развивая идеи Кремера и Капицы, А.В. Коротаев с соавторами [4] приходит к модели, описывающей и гиперболический рост населения, и технологическое развитие в режиме с обострением, и демографический переход. В основе этой модели лежит система трех уравнений относительно численности населения N и двух интегральных показателей, вобравших в себя все социально-экономическое, технологическое и культурное развитие общества

$$\begin{aligned}\frac{dN}{dt} &= aSN(1 - L), \\ \frac{dS}{dt} &= bNL, \\ \frac{dL}{dt} &= cSL(1 - L).\end{aligned}\tag{4}$$

Здесь S – это «избыточный» продукт, производимый на одного человека при данном уровне технологий, L – доля грамотного населения; a , b , c – константы. При этом мировой ВВП (G) вычисляется по формуле: $G = mN + SN$, где m – минимально необходимый продукт на одного человека.

Введение избыточного продукта дает возможность более глубоко объяснить и эффект мальтузианской ловушки (подстраивание численности людей к объему производимой продукции, впервые описанное Т. Мальтусом), и появление новых технологий. Рост грамотности ведет к ускорению темпов технологического развития и является главным фактором снижения рождаемости, а значит, и демографического перехода. Однако после завершения демографического перехода модель (4) дает экспоненциальный рост избыточного продукта на душу населения, что не имеет реальной интерпретации. Кроме того, поскольку на протяжении почти всей истории подавляющая часть населения была безграмотной, то выбор переменной L в качестве параметра порядка глобального исторического развития является, с нашей точки зрения, сомнительным.

2.3. Макроскопическая модель циклической эволюции Мир-Системы. Рассмотренные выше макроскопические модели, как и многие другие, хотя и описывают основной тренд развития Мир-Системы в режиме с обострением, но не допускают существования демографических и технологических циклов. Поэтому целью настоящей работы явилась *разработка новой макроскопической модели эволюции общества*, описывающей:

- рост в режиме с обострением как численности населения, так и некоторого интегрального экономического показателя;
- демографический переход, завершающий развитие в режиме с обострением;
- наличие циклов вокруг основного тренда.

Модель состоит из трех ОДУ. Первое уравнение описывает динамику общей численности населения N , второе – объем экологической ниши (неиспользованных доступных ресурсов), который зависит от уровня развития технологий. Его мы будем измерять в количестве людей – T , которых можно обеспечить на уровне некоторого среднего потребления. Третье уравнение задает динамику изменения некоторого условного параметра I , который назовем индексом инноваций. Он может принимать

как положительные, так и отрицательные значения. Модель имеет вид

$$\begin{aligned}\frac{dN}{dt} &= a_1 N(p_1 T - bNT)(1 + d_1 I), \\ \frac{dT}{dt} &= a_2 T(p_2 N - bNT)(1 - d_2 I), \\ \frac{dI}{dt} &= c(T - N)/N,\end{aligned}\tag{5}$$

где все параметры – положительные. Переменные N и T измеряются в штуках, I – безразмерная переменная, время t измеряется в годах. Начальные данные соответствуют начальной численности древних людей: $N_0 = 10^5$, $T_0 > N_0$ (ниша не заполнена), $I_0 = 0$.

Рассмотрим уравнения (5) подробнее. Как видно из первого уравнения, рост населения пропорционален имеющемуся населению и зависит от технологий. В первой скобке член $p_1 T$ описывает расширение экологической ниши за счет повышения уровня технологий, а второй член описывает наблюдаемую в истории тенденцию к снижению рождаемости при высоком уровне потребления. Последний множитель характеризует увеличение скорости прироста населения при положительном индексе инноваций, когда имеются ресурсы для роста населения (ниша не заполнена).

Второе уравнение имеет аналогичный вид. Последняя скобка описывает увеличение темпов роста объема экологической ниши при избыточном населении, когда появляется спрос на новые ресурсы и начинают возникать новые технологии. И, наоборот, темпы роста объема экологической ниши падают, когда она не заполнена; нет спроса на инновации. Третье уравнение описывает динамику роста индекса инноваций в зависимости от относительной разницы между объемом экологической ниши и общей численностью.

Параметры модели подобраны так, чтобы модель описывала количественно главные характеристики Мир-Системы: гиперболический рост населения в соответствии с формулой (1), как основной тренд, который происходит за время более миллиона лет; демографический переход к стабилизации на уровне средних прогнозов; наличие четырех сокращающихся главных циклов вокруг гиперболического тренда.

Система (5) имеет единственное устойчивое стационарное состояние, лежащее в фазовой плоскости первых двух уравнений, к которой приближаются траектории. Стационарное состояние описывает численность населения планеты после завершения демографического перехода. На рис. 2, а представлены результаты расчетов системы ОДУ (5), а на рис. 2, б показаны колебания индекса инноваций ($I = w$) и относительной разницы между переменными N и T для набора параметров: $a_1 = 5.6 \times 10^{-13}$, $a_2 = 0.2a_1$, $p_1 = 12.5$, $p_2 = 18.75$, $c = 10^{-4}$, $b = 1.39 \times 10^{-13}$, $d_1 = 0.5$, $d_2 = 1.5$. Видно, что население N растет в режиме с обострением от 10^5 до 10^{10} за время примерно 1.5 млн лет и стабилизируется на уровне $N \approx 9 \times 10^9$, что соответствует демографическим данным и средним прогнозам ООН. Кроме того, модель демонстрирует циклическую динамику вокруг основного тренда и описывает демографический переход. Причем, как видно из рис. 2, б, демографические циклы сдвинуты по отношению к технологическим циклам.

Считается, что наиболее глубокие и всеобъемлющие последствия для общества имели три так называемые производственные революции – аграрная или нео-

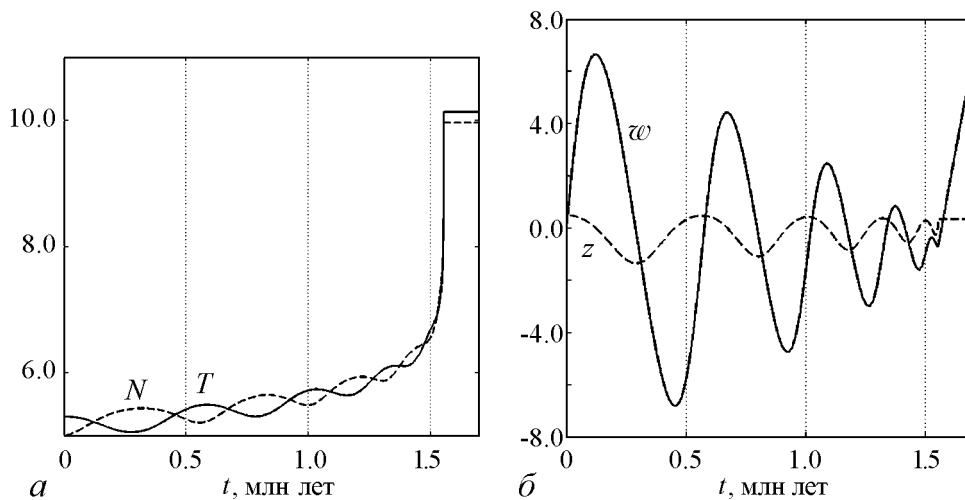


Рис. 2. Циклическая динамика развития Мир-Системы, демографические и технологические циклы

литическая, индустриальная и научно-техническая, результатом которых стало существенное расширение экологической ниши для человечества [10]. Три производственные революции разделяют развитие мировых производительных сил на четыре главных этапа – охотничье-собирательский, аграрно-ремесленный, промышленный и научно-информационный.

Модель (5) также отражает наличие четырех циклов и качественно описывает механизмы и характер глобальных демографических и технологических этапов развития. Быстрый рост населения приводит к заполнению экологической ниши, перенаселенности и кризису. В поисках выхода из кризиса появляются новые технологии, ведущие к увеличению объема ниши. Расширение ниши открывает новые возможности для роста населения, и цикл начинается снова. Длительность демографических циклов в модели сокращается с течением времени, и по мере приближения к точке сингулярности они исчезают совсем. После завершения демографического перехода объем ниши стабилизируется на уровне, обеспечивающем проживание достаточно большого числа людей, превышающего стационарный уровень.

3. Модели пространственно-временной эволюции

3.1. Модель эволюции Курдюмова. Несмотря на многие интересные выводы, полученные при использовании систем ОДУ, из анализа исторических процессов ускользает фактор пространственного развития общества, фактор взаимодействия и конкуренции различных структур, диффузии нововведений и др. Минимальная математическая модель, способная дать описание процессов эволюции, должна быть пространственно-распределенной, содержать диффузионный член, описывать процессы формирования, развития и гибели макроскопических структур. Такой моделью является нелинейное уравнение теплопроводности с объемным источником

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(\chi_0 u^\sigma \text{grad } u) + q_0 u^\beta, \quad t > 0, \quad (6)$$

где функция $u(r, t)$ (r – координата, а t – время) описывает усредненное распределение плотности людских или экономических ресурсов; $\chi_0, q_0 > 0, \sigma > 0, \beta > \sigma + 1$ – параметры модели.

Свойства решений уравнения (6) хорошо изучены [11]. В 70-х годах прошлого века уравнение (6) стало интенсивно исследоваться в связи с применением к описанию термоядерного горения плазмы. Тогда было показано, что при $\beta \geq \sigma + 1$ процессы горения идут в режиме с обострением в виде отдельных локализованных структур. Впоследствии это уравнение стало широко использоваться для описания взрывных процессов разной природы. С.П. Курдюмов впервые предложил применить нелинейное уравнение теплопроводности (6) для моделирования эволюции человеческого сообщества. В работе [12] впервые были подобраны параметры модели (6) и изучены основные тенденции пространственно-временного развития глобальной демографической системы. С помощью модели Курдюмова в работах [13–17] было продолжено исследование основных этапов исторического развития Мир-Системы, выявлены объективные законы эволюции человеческого общества и даны прогнозы будущего развития. Ясно, что модель не претендует на описание конкретных исторических эпох, конкретных событий и географии Земли. *Она описывает некоторые главные законы пространственно-временного развития человеческой цивилизации.*

3.2. Распределенная модель циклической эволюции. В работе [17] был сделан следующий шаг в математическом моделировании динамики развития общества. Параметры уравнения (6) β и σ были подобраны так, чтобы результаты расчетов удовлетворяли не только качественным, но и некоторым главным количественным характеристикам развития Мир-Системы: интеграл по пространству, имеющий смысл общей численности населения,

$$N(t) = \int u(M, t) dM, \quad (7)$$

должен расти в соответствии с демографическими данными, то есть удовлетворять гиперболическому закону роста (1); эволюция системы должна иметь циклический характер, причем длительность циклов и численность населения в каждую эпоху должны совпадать с периодизацией, предложенной С.П. Капицей [2].

В результате исследований было показано, что параметры σ и β должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$0 < \sigma < 1, \quad \beta = \frac{\sigma + 5}{3}. \quad (8)$$

Следует отметить, что одним из основных принципов эволюции любой сложной системы является то, что развитие происходит *дискретно, скачками*. В периоды кризиса в системе происходят качественные изменения; говоря языком экономики, в ней зарождаются крупнейшие *инновации*, благодаря которым происходит качественный *эволюционный скачок*, переход к началу нового цикла развития. Для получения такого циклического характера эволюции в рассматриваемой модели коэффициенту χ_0 придавался кусочно-постоянный характер, тогда как коэффициент q_0 фиксировался. Более подробно этот вопрос освещен в работе [17]. Увеличение коэффициента диффузии χ_0 в уравнении (6) означает возрастание скорости диффузионных процессов

и может быть проинтерпретировано как наблюдаемое в истории усиление скорости обмена информацией, технологическими и культурными достижениями, ресурсами и др. Были подобраны следующие значения параметров:

$$\begin{aligned} \sigma = 0.4, \quad \beta = 1.8; \quad q_0 = 2.3484 \times 10^{-10}, \\ \{\chi_0\} = (3.86208, 5.79312, 10.29888, 15.44832, 24.88896, 37.97712, \\ 54.06912, 70.80480, 84.96576, 88.82784, 90.75888, 94.83552). \end{aligned} \quad (9)$$

Эта модель позволила исследовать основные законы пространственно-временного развития Мир-Системы и изучить механизмы формирования циклов. Однако для получения циклической динамики надо было вручную в определенные моменты изменять значения χ_0 . В настоящей работе предлагается модель циклической эволюции с автоматическим выбором параметра, в которой устранен этот недостаток.

Метод автоматического выбора параметра был определен благодаря следующим исследованиям. Обработка полученной последовательности значений χ_0 (9) показала, что она хорошо описывается функцией X_0

$$X_0(t) = \frac{\tilde{\chi}_0}{(t_1 - t)^\alpha}, \quad (10)$$

где $\tilde{\chi}_0 = 2933.3$, $\alpha = 0.464795$ – подобранные параметры, а $t_1 \approx 1.602027 \times 10^6$ – момент обострения. Поясним, что во всех расчетах за начальный момент времени $t = 0$ бралось значение 1600 тыс. лет до н.э., с которого начинается периодизация Капицы. Поэтому момент обострения соответствует приблизительно 2027 г., что хорошо согласуется с точками сингулярности Форстера и Капицы. На рис. 3 приведены графики функции (10) в линейной и двойной логарифмической шкале, и точками отмечены табличные значения коэффициента χ_0 . Мы видим, что коэффициент диффузии изменяется по гиперболическому закону и действительно хорошо ложится на график функции X_0 .

Однако формулу (10) непосредственно использовать в модели нельзя, поскольку для формирования циклов необходимо скачкообразное изменение параметра. Поэтому предлагается определить χ_0 как кусочно-постоянную функцию, аппроксимирующую зависимость (10). Исходя из того, что переход на новый виток развития происходит, когда численность населения примерно утраивается, найдем последовательность значений χ_0 . Она получается следующим образом: каждый раз, когда значение интеграла $N(t)$ (7) в очередной раз увеличивается в k раз (в данном случае

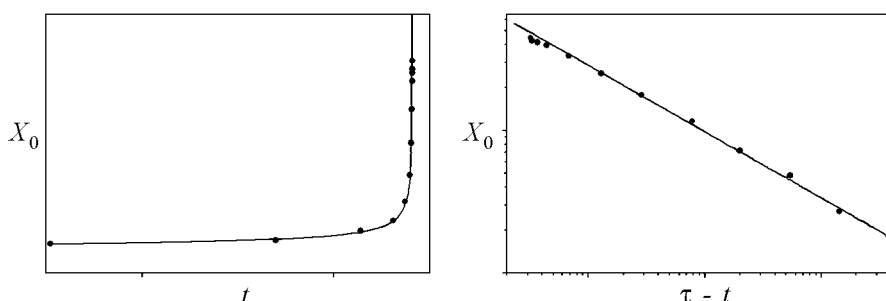


Рис. 3. График функции $X_0(t)$ в линейной шкале (слева) и двойной логарифмической шкале (справа)

$k \approx 3.44$), параметр χ_0 приобретает новое значение, вычисляемое по формуле (10) как значение функции $X(t)$

$$\begin{aligned} \chi_0(t) &= X_0(t_i) \quad \text{при } t_i \leq t < t_{i+1}, \quad i = 0, 1, 2, \dots \\ N(t_0) &= 6.8 \times 10^5, \quad t_0 = 0, \quad t_{i+1} = t \quad N(t)/N(t_i) = k. \end{aligned} \quad (11)$$

С учетом вышеприведенных результатов, модель циклической пространственно-временной эволюции можно сформулировать следующим образом.

Рассматривается краевая задача для уравнения (6) с параметрами (9), (11) на отрезке достаточно большой длины, согласованной с размерами земного шара. На концах отрезка ставятся периодические условия. В начальный момент времени $t = 0$ задается финитное распределение плотности с одним максимумом $u(r, 0) = u_0(r) \leq \leq M < \infty$, имитирующее начальное распределение первобытных людей в Африке общей численностью порядка 10^5 . Задача решается на густой равномерной сетке с использованием неявной разностной схемы для уравнения теплопроводности со вторым порядком аппроксимации. Шаг по времени уменьшается в соответствии с ростом решения в режиме с обострением. На каждом шаге по времени рассчитывается интеграл (7) и проверяется условие изменения коэффициента χ_0 .

Для интерпретации результатов расчетов важно сделать следующее пояснение. На протяжении всей истории вплоть до второй половины XX века центр развития цивилизации с передовыми технологиями приходился на густонаселенные районы. И, наоборот, отсталые в своем развитии районы коррелировали с низкой плотностью населения. Поэтому будем считать, что единая Мир-Система в *виртуальном пространстве* представляет собой симметричную унимодальную структуру с максимумом плотности распределения в центре структуры и постепенно уменьшающейся плотностью по мере удаления от центра к периферии. Сравнительный анализ роста плотности в центре структуры и на ее периферии, изучение изменения полуширины распределения плотности с развитием в совокупности со свойствами динамики развития в режиме с обострением позволяют сделать вывод об основных законах пространственно-временного развития Мир-Системы.

Траекторию эволюции системы удобно представлять на фазовой плоскости $(\varphi(t), N(t))$, где $\varphi(t)$ – это полуширина распределения плотности, а $N(t)$ – интеграл (7) – общая численность населения. На рис. 4 изображен полученный в расчетах фазовый портрет рассматриваемой модели с автоматическим выбором параметра χ_0 . На этом рисунке также приведен фазовый портрет модели с ручным изменением параметра (отмечен пунктирной линией). Мы видим, что обе модели демонстрируют циклический характер эволюции, одинаковую структуру и длительность циклов. Траектории, соответствующие разным моделям, лишь немного сдвинуты относительно друг друга, что означает, что они дают немного разную оценку полуширины пространственного распределения Мир-Системы.

Кратко опишем сценарий развития отдельно взятого исторического цикла, который был отражен в расчетах. Условно цикл можно разделить на две стадии. На первой стадии в системе преобладают диффузионные и центробежные процессы. Она соответствует состоянию Мир-Системы после кризиса, когда приходят в упадок развитые цивилизации, составляющие центр системы. Население начинает пе-

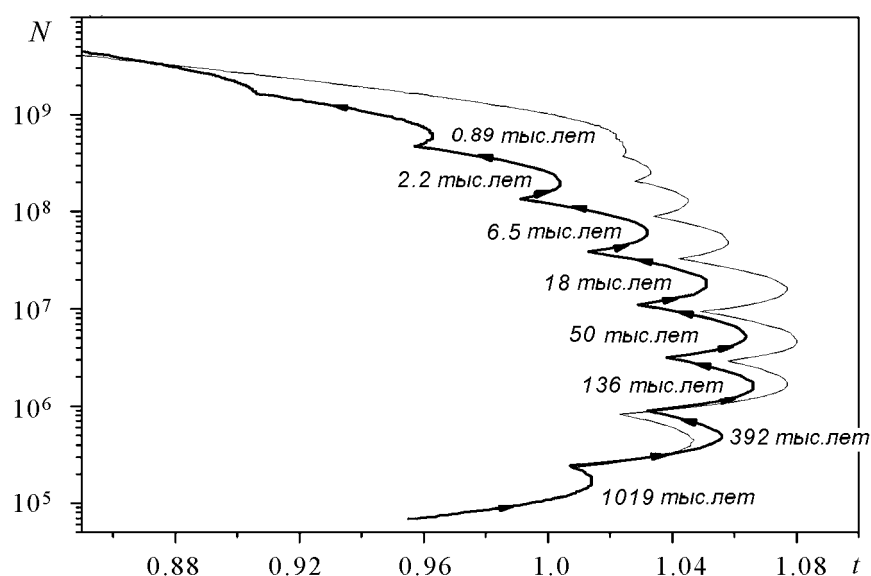


Рис. 4. Фазовые портреты моделей эволюции Мир-Системы: с автоматическим выбором параметра (жирная линия) и ручным (тонкая линия)

реселяться из центра на периферию в поисках новых мест работы, более благоприятных мест проживания. Это переселение сопровождается распространением от центральных мест по территории новых технологий, образцов нового социального устройства. Благодаря этому, кризис постепенно преодолевается, открываются новые возможности для роста и развития. Мир-Система переходит ко второй стадии развития, когда закрепившиеся инновации способствуют ее процветанию и приводят к ускоренному росту численности населения. Постепенно происходит все большая концентрация населения в центре, где начинается интенсивное развитие технологий, экономики, и так далее; это, в свою очередь, влечет за собой все большую потребность в новых товарах, услугах, все большую конкуренцию зарождающихся новых технологий. Теперь в динамике системы преобладают центростремительные процессы, происходит все более быстрый рост в центре и отставание, постепенное «выпадение из развития» периферийных областей. Усиливается неравномерность развития; идет процесс все большего расслоения населения по уровню развития. Начинаются кризисы перенаселенности в центральных местах, которые могут сопровождаться бунтами или войнами. Начинается поиск выхода из кризиса. Именно в это время рождаются глобальные инновации – образцы качественно новых технологий, новой социально-экономической организации общества, способных перевести Мир-Систему на другой, более высокий уровень развития. Происходит качественный эволюционный скачок, переход к началу нового исторического цикла.

В расчетах этот сценарий отражен следующим образом. На первой стадии структура «растекается» по пространству; в центре плотность перестает расти, а на периферии она, наоборот, растет быстрее. На фазовом портрете это соответствует движению траектории в сторону увеличения полуширины. Затем расширение структуры прекращается, и траектория на фазовом портрете совершает поворот. Это соответствует началу второй стадии исторического цикла. Развитая стадия режима с

обострением сопровождается сокращением полуширины и быстрым ростом амплитуды в центре структуры. Затем в Мир-Системе происходит некий качественный скачок в развитии, что отражено при помощи скачкообразного изменения параметра, и траектория начинает новый виток на фазовом портрете.

Заметим, что фазовый портрет имеет иерархическую структуру. Все исторические циклы ложатся на глобальный цикл: сначала происходит смещение петель вправо, то есть идет глобальное растекание, затем начинается рост интеграла, сопровождающийся общим уменьшением полуширины, то есть общей тенденцией к концентрации, сжатию пространственных масштабов. Это имеет следующую историческую интерпретацию. В истории человечества выделяют *четыре основных этапа расселения*: пионерский, экстенсивный, интенсивный и постинтенсивный, а также *две глобальные революции*: *неолитическую революцию* и *демографический переход* [17]. Глобальное растекание соответствует так называемому пионерскому типу расселения людей, характерному для эпохи «охотников и собирателей». На этом этапе в динамике господствует тенденция к постоянному расселению, перемещению людей, которое вызвано истощением природных ресурсов в данной местности. На рис. 1 это квазистационарная стадия развития. *Неолитическая революция* является поворотным событием в истории человечества, когда древний человек превращается в скотовода и земледельца и начинает вести оседлый образ жизни, что соответствует началу *экстенсивного* этапа расселения. Для этого периода характерно формирование структур (княжеств, городов, государств, империй и т.д.) на разных пространственных масштабах, образование устойчивых системных взаимосвязей. В модели происходит переход от квазистационарной стадии развития к стадии быстрого роста (см. рис. 1). На фазовом портрете происходит постепенное глобальное сокращение полуширины области распределения и опережающий рост плотности в центральной части. *Интенсивный* период расселения – это завершающий этап эволюции вплоть до демографического перехода. В целом он сопровождается быстрым сокращением пространственных и временных масштабов и сильной неустойчивостью. Усиливается неравномерность пространственного распределения, происходит все большее скопление людей в городах. На рис. 1 он соответствует стадии взрывного развития. На фазовом портрете происходит все большее сжатие циклов и по времени, и по пространству (см. рис. 4), они практически сливаются в ходе общего взрывного роста. Это означает, что все меньшее количество стран и людей принимают участие в общей эволюции, наблюдается «выпадение» отдельных племен и народов из развития. В настоящий момент времени, как показывает модель, происходит *вторая глобальная революция* в истории человечества, связанная с завершением развития в режиме с обострением. Индикатором ее является демографический переход. Начинается постинтенсивный этап расселения. Период исторических циклов достигает своего минимума, равного 40–45 годам и определяемого системной константой τ – временем поколения (см. модель Капицы), и на этом стабилизируется. Исторические циклы, по-видимому, сливаются с глобальными экономическими циклами Кондратьева. Более подробный анализ эволюции общества с точки зрения развития режима с обострением проводится в работах [13–17]. В [16] исследована последняя завершающая стадия развития в режиме с обострением, предшествующая демографическому переходу, выявлены процессы, непосредственно влияющие на демографический переход, и обрисованы контуры будущей цивилизации.

Предложенная модель объясняет многие особенности развития Мир-Системы и дает адекватную интерпретацию наблюдаемым глобальным историческим событиям. В частности, она демонстрирует устойчивый гиперболический рост общего интеграла (7), несмотря на наличие циклов и различных флуктуаций [12, 17]. Модель отражает сокращение длительности циклов со временем по закону геометрической прогрессии, что является прямым следствием развития в режиме с обострением, сжатие пространственных масштабов, объясняет усиление неустойчивости и неравномерности развития Мир-Системы со временем.

3.3. Двухкомпонентная модель. Как уже было сказано выше, главной движущей силой развития человеческой цивилизации является положительная обратная связь между уровнем развития технологий и общей численностью людей. Поэтому представляет интерес создание пространственно-распределенной модели, описывающей циклическое развитие этих двух параметров порядка на фоне общего гиперболического тренда, и исследование их взаимного влияния друг на друга.

В настоящей работе предлагается двухкомпонентная модель эволюции общества, в основе которой лежит система двух нелинейных уравнений теплопроводности вида (6), связанных между собой через объемный источник. Первое уравнение описывает изменение усредненной плотности населения $n(x, t)$ (где x – координата, а t – время), второе – усредненной плотности экономических ресурсов $p(x, t)$. Модель имеет вид

$$\begin{aligned}\frac{\partial n}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\chi_1 n^{\sigma_1} \frac{\partial n}{\partial x} \right) + q_1 n^{\beta_1} p^{\beta_2}, \\ \frac{\partial p}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\chi_2 p^{\sigma_2} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + q_2 n^{\gamma_1} p^{\gamma_2}.\end{aligned}\tag{12}$$

Системы такого вида изучались ранее (см. например [11], [18]). В этих работах были исследованы условия существования различных типов режимов с обострением, условия возникновения явления локализации тепла в пространстве, условия образования простых и сложных структур и др.

Для системы уравнений (12) рассматривается краевая задача на отрезке достаточно большой длины $[-L \leq x \leq L]$, согласованной с размерами земного шара. Область считается однородной, коэффициенты χ_1, χ_2, q_1, q_2 не зависят от пространственной координаты. На концах отрезка задаются периодические условия. Процесс инициируется заданием начальных финитных распределений плотностей, имеющих один максимум в середине отрезка: $n(x, 0) = n_0(x) \leq M_1 < \infty, p(x, 0) = p_0(x) \leq M_2 < \infty$.

Значения параметров модели подбирались так, чтобы обеспечить, во-первых, гиперболический рост интегралов (13), имеющих смысл общей численности населения и общего экономического потенциала, и, во-вторых, пространственно-временную циклическую динамику решения.

$$N(t) = \int n(x, t) dx, \quad P(t) = \int p(x, t) dx.\tag{13}$$

Считалось, что коэффициент диффузии χ_1 в первом уравнении изменяется скачками и представляет собой кусочно-постоянную функцию, а коэффициент χ_2

имеет постоянное значение. Кроме того, учитывалось, что скорость роста населения опережает скорость роста капитала. Стартовыми значениями параметров послужил набор параметров в предыдущей однокомпонентной модели. Проводя многочисленные расчеты и варьируя параметры в допустимых диапазонах, мы получили, что наиболее адекватная историческая динамика имеет место при следующих значениях:

$$\sigma_1 = 0.4, \beta_1 = 1.2, \beta_2 = 0.6; \sigma_2 = 0.28, \gamma_1 = 1.36, \gamma_2 = 0.4;$$

$$q_1 = q_2 = 5.3161 \times 10^{-10}, \chi_2 = 5.9806; \{\chi_1\} = (5.9806, 17.9418, 61.4675, 179.4184).$$

Как и в случае одного уравнения (6), краевая задача для двухкомпонентной системы (12) решалась тем же самым разностным методом со вторым порядком аппроксимации и переменным шагом по времени, согласованным с ростом решения в режиме с обострением. Значения интегралов $N(t)$ и $P(t)$ вычислялись на каждом шаге с помощью формулы трапеций.

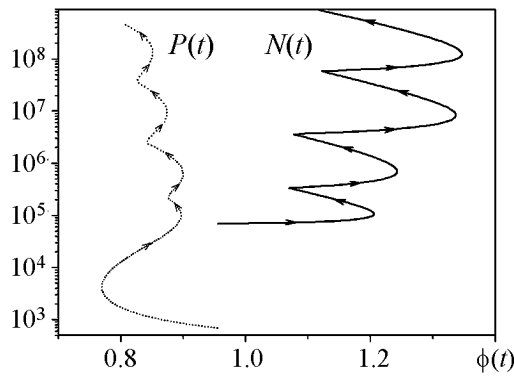


Рис. 5. Фазовая плоскость системы (12)

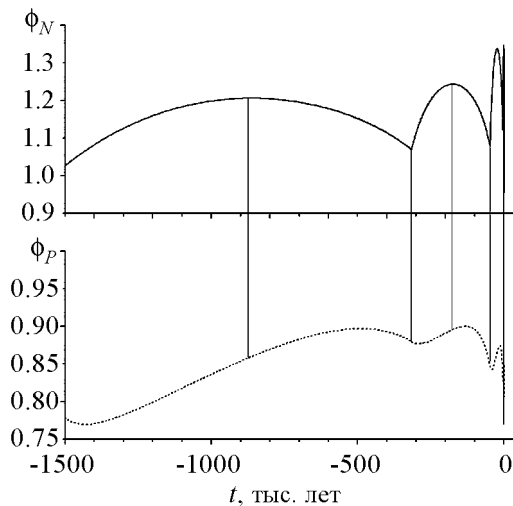


Рис. 6. Зависимости значений полуширины плотности распределения населения ϕ_N и экономических ресурсов ϕ_P от времени

Решение системы (12) представлено на рис. 5 в виде траекторий на фазовой плоскости. Сплошная линия отвечает интегралу $N(t)$, пунктирная линия – интегралу $P(t)$, $\phi(t)$ – полуширина получаемых профилей. Из рисунка видно, что эволюция происходит циклами. Переход на новый виток эволюции осуществляется путем скачкообразного изменения коэффициента χ_1 . Колебания уровня экономического потенциала сдвинуты по фазе относительно колебаний численности населения. Это хорошо видно на графиках функций, характеризующих полуширину распределений, представленных на рис. 6.

Представленная в модели циклическая динамика адекватно описывает демографические циклы разного уровня (и глобальные, и локальные), которые имели место на протяжении всей истории [5]. Демографические циклы состоят из двух главных стадий: стадии подъема и бурного роста населения, сопровождающегося увеличением плотности населения в центральных местах, и стадии растекания, когда преобладают диффузионные процессы и плотность населения падает. В начале каждого витка, в кризисные моменты развития, идет усиление центробежных процессов, часто

сопровождающихся войнами, захватом новых земель, миграцией населения. На фазовом портрете этот этап соответствует движению «демографической» траектории вправо; полуширина структуры увеличивается. В поисках выхода из кризиса происходит создание новых технологий, инноваций, их распространение (диффузия нововведений); это соответствует стадии растекания по пространству «технологической» структуры. В результате открываются новые возможности для роста населения, и демографический цикл переходит ко второй стадии. Быстрый рост численности $N(t)$ приводит к перенаселению в центральных местах, нехватке жизнеобеспечивающих ресурсов, резкому сокращению потребления и, в конечном итоге, к кризису. Преодолевая кризис, Система переходит на новый виток развития.

Демографические данные говорят о том, что, несмотря на многочисленные внешние и внутренние воздействия – стихийные бедствия, войны, пандемии, и т.д., приводящие к большой убыли населения, – человечество быстро восстанавливалось и демонстрировало устойчивый гиперболический рост на протяжении всей истории своего существования. Расчеты по предложенной модели показали также, что, несмотря на циклическую динамику системы, оба интегральных показателя $N(t)$ и $P(t)$ демонстрируют устойчивый рост в режиме с обострением, причем рост общей численности населения количественно соответствует демографическим данным (см. рис. 7).

Таким образом, предложенная модель описывает развитие в режиме с обострением как численности населения, так и обобщенного экономического показателя, циклический характер их динамики, и отражает взаимосвязь между этими важнейшими показателями эволюции Мир-Системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №11-01-00887, и РГНФ, проект № 11-23-01005/Vel.

Библиографический список

1. *Гринин Л.Е., Кортаев А.В.* Социальная макроэволюция: генезис и трансформации Мир-Системы. М.: ЛИБРОКОМ/URSS, 2009. 568 с.
2. *Капица С.П.* Очерки теории роста человечества. Демографическая революция и информационное общество. М.: ЗАО ММБВ, 2008.
3. *Капица С.П.* Демографическая революция, глобальная безопасность и будущее человечества //Будущее России в зеркале синергетики. М.: КомКнига, 2006. С. 238.

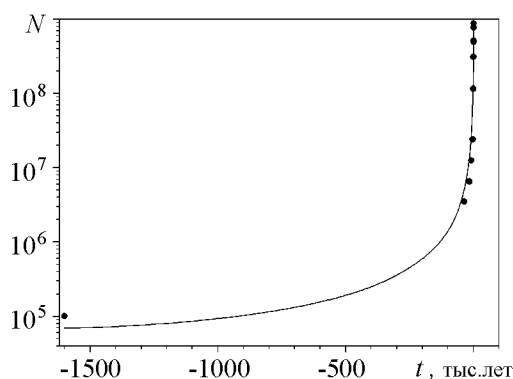


Рис. 7. Рост общей численности населения: сплошная линия – результат расчетов, точки – демографические данные

4. *Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А.* Законы истории. Математическое моделирование исторических макропроцессов. Демография, экономика, войны. М.: КомКнига, 2005.
5. *Нефедов С.А.* Факторный анализ исторического процесса // История и математика. Концептуальное пространство и направления поиска. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 63.
6. *Дьяконов И.М.* Пути истории. От древнейшего человека до наших дней. М.: Восточная литература, 1994.
7. *Яковец Ю.В.* Циклы. Кризисы. Прогнозы. М., 1999.
8. *Акаев А.А.* Основы современной теории инновационно-технологического развития экономики и управления инновационным процессом // Анализ и моделирование глобальной динамики. М., 2010. С.17.
9. *Родман Б.Б.* Территориальные ареалы и сети. Смоленск: Ойкумена, 1999.
10. *Гринин Л.Е., Коротаев А.В.* Модель экономического и демографического развития Мир-Системы Арцруни-Комлоса и теория производственных революций//Анализ и моделиров. глобальной динамики. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. С. 143.
11. Режимы с обострением: Эволюция идеи / Под ред. Г.Г. Малинецкого. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
12. *Белавин В.А., Капица С.П., Курдюмов С.П.* Математическая модель демографических процессов с учетом пространственного распределения//Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1998. Т. 38, № 6. С. 885.
13. *Белавин В.А., Князева Е.Н., Куркина Е.С.* Математическое моделирование глобальной динамики мирового сообщества // Нелинейность в современном естествознании. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. С. 384.
14. *Князева Е.Н., Куркина Е.С.* Пути истории и образы будущего человечества: Синергетика глобальных процессов в истории // Философия и Культура. 2008. № 10. С. 28; № 11. С.31.
15. *Князева Е.Н., Куркина Е.С.* Глобальная динамика мирового сообщества //Историческая психология и социология истории. 2009. № 1. С.129.
16. *Куркина Е.С.* Математическое моделирование глобальной эволюции мирового сообщества. Демографический взрыв и коллапс цивилизации //История и математика. Анализ и моделирование глобальной динамики. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. С. 2307.
17. *Kuretova E.D., Kurkina E.S.* Modeling general laws of spatial-temporal evolution grows and historical cycles //Computational Mathematics and Modeling, Springer, New York, 2010. Vol. 21, № 2. P. 70.
18. *Курдюмов С.П., Куркина Е.С., Тельковская О.В.* Режимы с обострением в двухкомпонентных средах // Математическое моделирование. 1989. Т.1, № 1. С. 34.

*МГУ имени М.В. Ломоносова
РХТУ имени Д.И. Менделеева*

*Поступила в редакцию 14.10.2013
После доработки 7.11.2013*

MATHEMATICAL MODELS OF THE WORLD-SYSTEM EVOLUTION

E. S. Kurkina, E. D. Kuretova

We propose new mathematical models of the evolution of the human society based on the synergistic approach. They describe the dynamics of the indicators of the major integral development of the World-System such as the total population and the level of the technological development. Our models capture the basic laws of the space and temporal development of the society. They indicate the hyperbolic growth of the population that agrees with the demographical data and the cyclic dynamics. The models help to analyze historical events and to make some predictions from the further development of the society.

Keywords: mathematical modeling, evolution of human society, cyclic dynamics, nonlinear heat equation, blow-up regimes, ordinary differential equation.

Куркина Елена Сергеевна – родилась в Москве (1956). Окончила физический факультет МГУ (1979) и аспирантуру факультета ВМК МГУ (1982). Защитила кандидатскую диссертацию (1982) на тему «Нестационарные диссипативные структуры в средах с источником» и докторскую диссертацию (2005) на тему «Математическое моделирование пространственно-временных структур в системах типа реакция–диффузия». С 1982 года работает на факультете вычислительной математики и кибернетики МГУ, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель группы и темы НИР, профессор РХТУ имени Д.И. Менделеева, член редколлегии журнала «Сложные системы». Область научных интересов: математическое моделирование, режимы с обострением, сложные системы, автоколебания, пространственные структуры и другие явления самоорганизации в нелинейных системах типа реакция–диффузия. Автор более 140 научных статей по математическому моделированию пространственно-временных структур, возникающих в различных физико-химических и социально-экономических системах. Автор монографии «Автоколебания, структуры и волны в химических системах. Методы математического моделирования» (М.: РХТУ имени Д.И. Менделеева, 2012. 220 с.). В основу монографии положен разработанный курс лекций для студентов РХТУ. Награждена Почетной грамотой Министерства образования и науки «За большой личный вклад в развитие отечественной науки и многолетний добросовестный труд» (2011).



119992 Москва, Ленинские горы, ГСП-2
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
E-mail: e.kurkina@rambler.ru; elena.kurkina@cs.msu.su

Куретова Екатерина Дмитриевна – родилась в 1975 году, окончила факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова (1997) и аспирантуру этого факультета, защитила кандидатскую диссертацию на тему «Математическое моделирование реакции окисления монооксида углерода в слое зернистого катализатора» (2001). Работает на факультете ВМК МГУ в должности младшего научного сотрудника, была исполнителем нескольких грантов РФФИ. Автор 23 научных работ. Область научных интересов – нелинейное уравнение теплопроводности с объемным источником, режимы с обострением, математическое моделирование явлений самоорганизации в системах разной природы типа реакция–диффузия.



119992 Москва, Ленинские горы, ГСП-2
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
E-mail: ekaterina.kuretova@gmail.com