

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

Ю.Н. Сергеев¹, В.П. Кулеш^{2*}, В.В. Дмитриев²

¹Российская экологическая академия, Москва, Россия;

²Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: vpkulesh@gmail.com

Статья поступила в редакцию 23.09.2020; принята к печати 28.11.2020

Концепция демографического перехода Ф.У. Ноутстейна и прогнозы роста численности населения, выполненные на ее основе, сомнительны, порождают излишний социальный оптимизм и препятствуют принятию мер по ограничению рождаемости, сбережению природных ресурсов и борьбе с загрязнением окружающей среды. Цивилизационный кризис, предсказанный Ю. Одумом, авторами глобальных моделей и биосферной концепции развития, по-видимому, неизбежен. Время упущено. Численные эксперименты на модели «Мир-2 MathCad» показали возможность циклического развития цивилизации. Циклы вызываются недостатком пищевых ресурсов и загрязнением природной среды. Их количество определяется запасом невозобновляемых ресурсов. В сценарии спонтанного развития цивилизации демографический переход состоит из 13 фаз. При регулируемом ее развитии количество фаз снижается до 7. При этом переход к стационарному развитию цивилизации осуществляется путем использования логистической модели роста численности населения.

Ключевые слова: демографическая революция, системный анализ, гипотеза Одума, модель «Мир 2», логистический рост.

A NEW CONCEPT OF DEMOGRAPHIC TRANSITION

Y.N. Sergeyev¹, V.P. Kulesh^{2*}, V.V. Dmitriev²

¹Russian Ecological Academy, Moscow, Russia;

²Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

* Email: vpkulesh@gmail.com

The concept of demographic transition suggested by F.W. Notestein and the forecasts of population growth based on it are dubious, generate superfluous social optimism, and impede taking birth control measures. The civilizational crisis, predicted by E. Odum and other authors of global models and concepts of the development of the biosphere is unavoidable. Time has been lost. Numerical experiments using the model «World-2 MathCad» have shown the possibility of a cyclical development of the civilization. These cycles are caused by the deficiency of food resources and the pollution of the environment. The number of the cycles is determined by the amount of non-renewable resources. In the scenario of the spontaneous development of civilization, the demographic transition consists of 13 phases. When the development is regulated, the number of phases decreases to seven. In this case, the transition to the steady development of civilization occurs according to the logistic model of population growth.

Keywords: demographic transition, civilization, cyclical development model, population, logistic growth.

1. Введение. Историческая справка

«Демографическим переходом» (ДП) называют процесс коренных демографических трансформаций в истории человечества, выражающихся в последовательном изменении показателей рождаемости, смертности, естественного прироста и, как следствие, численности населения и приводящих к смене типов его воспроизводства по мере социально-экономического развития цивилизации.

Влияние социально-экономических факторов на традиционную для сельской цивилизации мотивацию воспроизводства населения впервые отметил французский демограф А. Ландри в 1914 году. Эту

метаморфозу он назвал «*демографической революцией*» и рассмотрел в монографии «*La révolution démographique*» [36].

Термин «ДП» был предложен известным американским демографом Ф.У. Ноутстейном [40]. Им же была разработана детальная версия перехода, которая в 1953 году была представлена в докладе «*Economic problems of population change*» на международной конференции по экономике сельского хозяйства¹.

Теория (или концепция?) ДП, в формулировке Ф.У. Ноутстейна, приобрела ранг главной объясняющей

¹ F.Y. Notestein. Economic problems of population change. www.prelim2009.filmbulletin.org/readings/04-Population/Notestein.pdf

теории современной демографии. Она широко используется при создании демографических прогнозов экспертами Организаций Объединенных Наций², излагается в учебниках для средней школы, например в [16].

Во второй половине XX века в ряде экономически развитых стран Европы и Северной Америки начали происходить существенные демографические изменения, не свойственные большинству государств Мира. Естественный прирост численности населения в этих странах замедлился, а затем практически прекратился. Дефицит трудовых ресурсов стал пополняться за счет мигрантов. Эти особенности развития легли в основу дополнений к теории Ф.У. Ноутстейна. Были предложены теории второго и третьего ДП [5, 29, 44].

В теории второго ДП появилась *пятая стадия перехода*, отсутствовавшая в основной теории. Главной особенностью этой стадии является снижение рождаемости ниже уровня, обеспечивающего *простое воспроизводство населения*, из-за отсутствия мотивации иметь детей.

Д. Ван де Каа [44] выделяет четыре основных черты пятой стадии, это переходы 1) от «золотого века» брака к его закату, то есть широкое распространение юридически неоформленных форм совместной жизни и альтернативных форм семьи; 2) от детоцентристской модели семьи к индивидуалистически ориентированной «зрелой» паре партнеров с одним ребенком; 3) от превентивной контрацепции, предназначенной для предотвращения рождений ранних детей, к сознательному планированию рождения каждого ребенка; 4) от унифицированной модели к плюралистическим моделям семьи.

Третий демографический переход – это особая стадия развития *государства*, в которой определяющее влияние на численность и состав его населения, а также на его социально-экономическое развитие оказывает миграция. Предпосылки для иммиграции создает низкая рождаемость в принимающих странах, население которых не воспроизводится [5].

Теории второго и третьего демографических переходов – это «пристройки» к зданию теории демографического перехода Ф.У. Ноутстейна. Они «изолированы» от первоначальной теории и отражают процессы, свойственные отдельным регионам или странам, а не Миру в целом. Сказывается отсутствие общего «фундамента» теорий.

В статье [25] на основании анализа результатов моделирования глобальной социально-экономической системы [31, 37] высказывается сомнение в завершенности теории ДП Ф.У. Ноутстейна в ее первоначальном «девственном» виде и *говорится о возможном дополнении ее пятой и последующими стадиями демографического перехода*.

² www.un.org/en/development/desa/publications/world-population-prospects-2015-revision.html.

Выдающийся отечественный демограф А.Г. Вишневецкий обращает внимание на то, что «*теория демографической революции не интегрировала в достаточной степени современные представления о функционировании сложных систем, их способности к самоорганизации и гомеостатическому саморегулированию. Только тогда, когда это будет сделано, теория сможет избавиться от свойственной ей “пессимистической эсхатологии”, а ее объяснительный потенциал будет до конца реализован*» [4, с. 3].

2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является рассмотрение теории ДП Ф.У. Ноутстейна с позиций системного анализа – «сведения воедино тех осколков действительности, на которые ее разбила наука в целях анализа, развиваясь на пути все большей специализации» (Л. Берталланфи [33]) и формулировка новой концепции ДП на основе вербальной модели развития цивилизации Ю. Одума [42, с. 648 русского перевода] и дедуктивного пути познания.

Решаемые проблемы

На основе алгоритма глобальной модели «Мир-2» [31], повторно реализованной с новыми начальными условиями на языке автоматического программирования «MathCad», показано, что цивилизацию ожидает серия глубоких социально-экономических и экологических кризисов, за которыми последует восстановление и переход мировой социально-экономической системы на стационарный режим [43].

В соответствии с этим теория ДП должна быть пересмотрена таким образом, чтобы численность населения Земли не превышала допустимого порога возмущения биосферы.

Еще одной решаемой проблемой является создание алгоритма, обеспечивающего управляемый, безболезненный для человечества ДП *в пределы хозяйственной емкости биосферы* после первой же осцилляции компонент мировой социально-экономической системы.

3. Материалы и методы исследования

3.1. Фазы демографического перехода теории Ф.У. Ноутстейна

Фазы ДП связывают с кратковременными, по историческим масштабам, преобразованиями социально-экономического уклада жизни и менталитета населения при переходе от традиционной сельской цивилизации к урбанизированному обществу. Индикаторами фаз ДП являются рождаемость, смертность и прирост численности населения.

Рождаемость – это сложная биосоциальная функция многих переменных. Главнейшими из них являются:

половой состав репродуктивной группы населения; мужская и женская фертильность; качество жизни населения, включающее его материальную и духовную составляющие. Большое значение имеют степень уверенности людей в завтрашнем дне и доступность средств контрацепции.

Зададимся вопросом об экономической целесообразности деторождения в сельских и городских семьях.

Известно, что дети сельских жителей обычно трудятся вместе с родителями и приносят в семью доход, являясь тем самым ее экономическим подспорьем. В городских условиях возможности детей внести свой вклад в благосостояние семьи ограничены, и они являются ее дополнительной нагрузкой. Поэтому при прочих равных условиях рождаемость в городах обычно меньше, чем в сельской местности.

В развитых в экономическом отношении государствах эмансипация женщин, их стремление овладеть престижной профессией и сделать карьеру не способствует повышенной рождаемости, часто вопреки инстинкту сохранения вида. В развивающихся странах в соответствии с многовековой традицией главной функцией большинства женщин остается рождение и воспитание детей.

Все мировые религии, особенно ислам, приветствуют деторождение и большие семьи. В развитых в экономическом отношении странах с достаточно высоким уровнем образования граждан уровень набожности населения обычно низок, и религиозные традиции не соблюдаются.

Перечисленные истины далеко не исчерпывают причины и следствия экономической целесообразности деторождения. О. Галор [34] исследовал различные механизмы, рассматриваемые в качестве возможных триггеров демографического перехода, и оценил их эмпирическое значение для понимания перехода от «примитивной стабильности» к росту численности населения. Он считает, что «демографический переход позволил странам преобразовать большую часть выгод от накопления факторов производства и технического прогресса в рост дохода на душу населения. Это повысило производительность труда и процесс роста по трем каналам. Во-первых, снижение прироста населения привело к размыванию растущих запасов капитала и инфраструктуры, увеличив количество ресурсов на душу населения. Во-вторых, снижение рождаемости позволило перераспределить ресурсы от количества детей к их качеству, увеличив формирование человеческого капитала и производительность труда. В-третьих, снижение рождаемости повлияло на возрастное распределение населения, временно увеличив долю рабочей силы в населении и, таким образом, механически повысив производительность на душу населения» [34].

Смертность населения также является функцией многих эндогенных и экзогенных переменных. Для нее существует объективная статистика не только дат смерти и возраста ушедших из жизни, но также *причин и факторов смертности*. В монографии [30] приводятся данные о распределении по причинам смерти и факторам смертности 56 млн человек во всем мире в 1975 году. На долю эндогенного, возрастного фактора смертности – естественного старения – приходится только 20,7% смертей. Главнейшими экзогенными факторами смертности являются: голод и недоедания (23,4%), уровень медицинского обслуживания (17,5%) и состояние окружающей среды (6,4%). На долю остальных многочисленных факторов, без учета старения, приходится лишь 32% смертей.

О. Галор считает, что гипотеза безопасности по старости была предложена в качестве *дополнительного механизма*, обеспечивающего начала демографического перехода. Эта гипотеза предполагает, что в отсутствие рынков капитала, которые допускают межвременное кредитование и заимствование, дети служат активом, позволяющим родителям переводить свой доход для обеспечения старости. Следовательно, создание рынков капитала в процессе развития уменьшило мотивацию к воспитанию детей, способствуя демографическому переходу.

О. Галор полагает, что «хотя поддержка по старости является вероятным элементом, который может повлиять на уровень фертильности, в контексте демографического перехода она представляется незначительной силой. Во-первых, поскольку в природе есть лишь редкие примеры потомков, которые поддерживают своих родителей в старости, оказывается, что поддержка в старости не может быть основной мотивацией для воспитания детей. Во-вторых, учреждения, поддерживающие людей в старости, были сформированы задолго до демографического перехода» [34].

В теории ДП выделяются 4 фазы, различающиеся показателями рождаемости, смертности, прироста численности и ожидаемой продолжительности жизни населения.

Первая фаза – «примитивная стабильность численности населения». Она характеризуется высокими коэффициентами рождаемости ($b \rightarrow \max$) и смертности ($d \rightarrow \max$), практически стабильным коэффициентом прироста численности населения ($\varepsilon = b - d \approx \text{const.}$), экстремально низкой модальной продолжительностью жизни ($L \rightarrow \min$) и очень медленно возрастающей численностью населения ($P \cong \text{const.}$).

Комментарий. Это единственная в ДП фаза, свойственная одновременно Миру в целом. Ее существование подтверждается эволюцией модальной продолжительности жизни, определяемой по захоронениям [30], и

оценками изменчивости численности населения Земли [12, 13, 23]. Первая фаза ДП – это время, когда человечество потребляло только возобновляемые природные ресурсы, а биосфера обладала свойством устойчивости, то есть способностью компенсировать любые возмущения, вызванные хозяйственной деятельностью человека.

Вторая фаза. Ей свойственно быстрое снижение смертности ($d \rightarrow \min$), но еще инерционно высокая рождаемость ($b \gg d$). Следствием этого является существенное увеличение коэффициента прироста численности ($\epsilon \rightarrow \max$) и лавинообразный рост самой численности населения ($P \rightarrow \max$).

Комментарий. В соответствии с законом падения природно-ресурсного потенциала и законом соответствия между уровнем развития производительных сил и природно-ресурсным потенциалом [22] начало второй фазы ДП следует ассоциировать с началом индустриальной эпохи в Англии. Это вторая половина XVIII века – время изобретения и использования в промышленности тепловой машины Ньюкомена и паровой машины Уатта, применения каменного угля в черной металлургии. Время окончания 2-й и начала 3-й фазы в Мире определяется по изменению типа связи между ϵ и P – по смене положительной корреляции на отрицательную (табл. 1). Формально, это максимум траектории коэффициента прироста ($d\epsilon/dt = 0$), который приходится на 70-е годы XX века. Очевидно, что первая и вторая фазы ДП, выделенные на основании анализа статистики населения прошедших лет, правильно описывают происходившие демографические процессы.

Третья фаза. В трактовке Ф.У. Ноутстейна социально-экономические преобразования в мире приведут к снижению рождаемости при стабильно низкой смертности. Прирост численности населения будет постепенно сни-

жаться ($\epsilon \rightarrow \min$) и в конце фазы достигнет нуля ($\epsilon = 0$). Такая точка зрения основана на концепции рационализма – философско-мировоззренческой установке, согласно которой истинными основаниями бытия, познания, развития и поведения людей являются принципы разумной целесообразности (Гуманитарная энциклопедия. Концепции рационализма). Предполагается гомеостатическое регулирование воспроизводства населения, при котором уровень рождаемости определяется уровнем смертности ($b = d$). Такой тип воспроизводства считается основным, а отклонения от него – временными, переходными. По мере развития ДП согласованность режимов воспроизводства, нарушенная особенностями демографического и социально-экономического развития государств, восстанавливается ($b \rightarrow d$). Переходный, промежуточный тип воспроизводства ($b > d$) – («демографический взрыв») нивелируется на весьма высоком уровне ($P \cong \max$) и сменяется основным типом – «современной стабильностью численности населения» ($\epsilon = 0$).

Четвертая фаза. Низкие рождаемость ($b \rightarrow \min$) и смертность ($d \rightarrow \min$) обуславливают практически неизменную экстремально высокую численность населения в будущем ($P \cong \max \approx \text{const}$).

3.2. Гипотезы, прогнозы и теории, сопутствующие концепции ДП Ф.У. Ноутстейна

Концепция рационализма широко используется в долгосрочных демографических прогнозах. В качестве примера приведем прогноз на период после 2000 года, подготовленный в 1974 году экспертами ООН для Всемирной конференции по народонаселению в Бухаресте (табл. 2).

Табл. 1

Временная изменчивость численности (P , млрд человек) и коэффициента прироста численности (ϵ) населения Мира

Границы интервалов (г.)	1650	1830	1930	1960	1975	1987	2000	2012	2016
P	0,5	1	2	3	4	5	6	7	7,3
Средины интервалов (г.)	1740	1880	1945	1968	1981	1993	2006	2014	
$\epsilon \cdot 10^2$	0,37	0,65	1,33	1,91	1,75	1,40	1,27	1,25	

Табл. 2

Перспективные оценки роста численности населения (млн чел.) по Араб-оглы [1]

Годы	1970	2000	2050	2100	2125
Весь мир	3621	6407	11081	12257	12276
Развитые страны	1084	1368	1563	1570	1567
Развивающиеся страны	2537	5039	9518	10687	10709

«В основу расчетов, согласно “среднему” варианту, были положены следующие *предположения* (курсив наш) относительно предстоящих тенденций в демографических процессах: 1) на протяжении следующего столетия ожидается снижение рождаемости до уровня простого замещения поколений»; 2) одновременно будут происходить снижение смертности и повышение средней продолжительности жизни, пока она не достигнет 78,8 лет для обоих полов; 3) как снижение коэффициента рождаемости до 1, так и повышение средней продолжительности жизни в различных географических областях произойдет в разные сроки; 4) снижение рождаемости будет происходить не равномерно, а по логарифмической кривой, соответствующей “обратному логистическому типу экстраполяции”; 5) влияние международной миграции на численность и распределение населения не принимались во внимание» [1]. Но такие *предположения* свойственны не прогнозной оценке численности «стабильного» населения, а некоторому модельному сценарию. Такая же оценка возможной численности населения сделана экспертами ООН по «низшему» (7,5 млрд) и «высшему» (35 млрд) вариантам расче-

тов. Вот как оценивают эксперты свою работу: «Принимая во внимание наши весьма слабые представления о будущем, подобные цифры представляют лишь упражнения в области арифметики. ...Можно сделать другие многочисленные расчеты, которые приведут к другим результатам, и все они будут в той же степени абстрактными и сомнительными» (цитируется по [1]). По последним оценкам экспертов ООН (рис. 1) население Земли стабилизируется на уровне 10,9 млрд к 2100 году³.

Между тем, в работах Н. Форстера [32] и С. Хорнера [35] показано, что численность населения планеты, по крайней мере, с начала неолита, изменялась по *гиперболическому закону с выходом в 2026 и 2025 годах на сингулярность* (бесконечно большую численность населения). Эрудированные пессимисты ассоциируют сингулярность Н. Форстера с концом света, который должен наступить 13 декабря 2026 года.

И.М. Дьяконов [10] впервые обратил внимание на то, что в историческом процессе, протекающем в неолите и нашей эре, отчетливо выделяются фазы,

³ www.un.org/en/development/desa/publications/world-population-prospects-2015-revision.htm

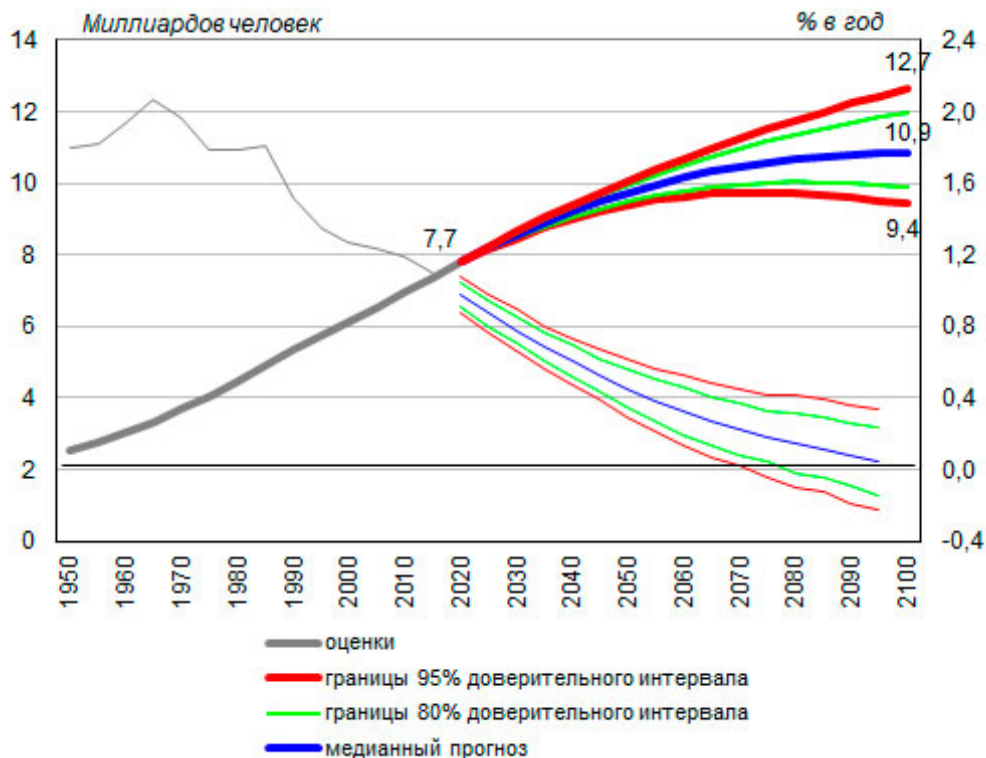


Рис. 1. Численность населения мира (миллиарды человек на середину года) и среднегодовые темпы прироста (% в год по пятилетиям) по оценкам и вероятностным прогнозам ООН, 1950–2100 годы*

* Здесь и далее: 1950–2020 годы – оценки на основе имеющейся информации, 2020–2100 годы – результаты перспективных расчетов ООН пересмотра 2019 года.

http://www.demoscope.ru/weekly/2019/0821/img/b_graf01.jpg

продолжительность которых сокращается по закону прогрессии. Он пишет: «Нет сомнения, что исторический процесс являет признаки закономерного экспоненциального ускорения. От появления *Homo sapiens* до конца первой фазы прошло не менее 30 тысяч лет, II фаза длилась около 7 тысяч лет, III фаза – около 2000 тысяч лет, IV фаза – около 1,5 тысячи лет, V фаза – около тысячи лет, VI фаза – около 300 лет, VII фаза – не многим более 100 лет, продолжительность VIII фазы пока определить невозможно. Нанесенные на график, эти фазы складываются в экспоненциальное развитие, которое предполагает, в конце концов, переход к вертикальной линии или, вернее, к точке, так называемой сингулярности. По экспоненциальному же графику развиваются научно-технические достижения человечества, а также, как упомянуто, численность населения» [10].

Таким образом, И.М. Дьяконов считает, что время в «традиционном» естествознании и время в истории не тождественны.

Заметим, что пересмотр точки зрения на течение времени в науке уже имел место. В естественных науках обычно используется «абсолютное» астрономическое время, которое воспринимается как внешний фактор. Такое понимание времени принято, например, в механике И. Ньютона. В общей теории относительности А. Эйнштейна течение времени уже зависит от состояния Вселенной, от ускорения расходящихся галактик (закон Э. Хаббла) и поля тяготения в системе гравитирующих тел. С общей теорией относительности связано релятивистское замедление времени. Это кинематический эффект, заключающийся в том, что в движущемся теле все физические процессы происходят медленнее, чем следовало бы для неподвижного тела по отсчетам времени в неподвижной системе отсчета. По-видимому, нечто похожее происходит и с историческим временем, но здесь причинно-следственная связь другая. *Историческое время сжимается и определяется спецификой состояний (фаз), в которые последовательно вступает социосфера.*

И.В. Владимиров [7] и ряд других авторов считают, что происходящее в XX–XXI веках ускорение геополитических и социально-экономических процессов влечет за собой сокращение характерной 1200-летней продолжительности процесса этногенеза (см. Гумилев [8]). В частности, И.В. Владимиров пишет: *«Напряженность жизни старит этнос и суперэтнос преждевременно (как и человека). Это значит, что при крайнем напряжении своего бытия суперэтнос может прожить весь цикл своего этногенеза как бы экстерном, то есть уместить его в несколько поколений».* В соответствии с этой посылкой события новейшей истории Императорской России, СССР и Российской Федерации автор рассматривает как фазы этногенеза Евразийского суперэтноса: реформы

Александра II – начало пассионарного толчка; реформы Столыпина – Первая мировая война, революции 1917 года, Гражданская война, образование СССР – фаза подъема; коллективизация сельского хозяйства, индустриализация страны, репрессии 1930-х годов и Великая Отечественная война – акматическая фаза; восстановление разрушенного войной народного хозяйства и «оттепель 1960-х годов» – фаза надлома; «эпоха застоя» – инерциальная фаза; «перестройка», распад СССР и «лихолетье 1990-х годов» – эпоха обскурации или этнического распада.

Формальным обоснованием «среднего» варианта оценки численности «стабильного» населения может служить «Феноменологическая теория роста численности населения Земли», предложенная С.П. Капицей [12, 13]. В основе этой теории лежит дифференциальное уравнение первого порядка для численности населения, имеющее аналитическое решение. Поскольку в этой модели рост численности населения зависит только от размера популяции и двух параметров уравнения и не зависит от внешних условий и ресурсов, возникло желание признать существующей некую особенность человечества, изначально присущую разуму и отличающую его от остального животного мира. Эта особенность – *биологическая редукция, то есть обратное развитие биологической системы в сторону ее упрощения.* Так был провозглашен «демографический императив» – признание главной и самостоятельной роли демографии в истории становления человеческого общества.

Модель С.П. Капицы представляет собой удачную аппроксимацию имеющихся эмпирических данных о численности населения в прошедшее время и не раскрывает причинно-следственных связей, определяющих ее рост и стабилизацию в перспективе. *«Выход из этой ситуации может быть только один – необходимо найти золотую середину. Степень упрощения системы должна быть ровно такой, чтобы количество включенных факторов было с одной стороны минимально необходимым для описания наблюдаемых эмпирических закономерностей, а с другой стороны – достаточным для того, чтобы входящие в модель зависимости предполагали четкую и понятную, согласующуюся с повседневной логикой интерпретацию»* [15].

Феноменологической теории роста численности населения Земли, утверждающей, что *«численность населения выражает суммарный результат всей экономической, социальной и культурной деятельности, составляющей историю человечества»*, противоречит исследованию Д. Рудмана «О распределении вероятностей долгосрочных изменений темпов роста мировой экономики: взгляд со стороны» [41]. Автор ставит своей целью проверку распространенного взгляда на перспективы развития мировой экономики в XXI столетии, заключающейся в том, что рост

экономики будет приближаться к 2,5% в год или медленнее. *Поскольку ожидается, что рост населения замедлится или остановится к 2100 году, и все больше стран приближаются к технологическому рубежу, экономический рост также должен замедлиться, что согласуется с теорией С.П. Капицы.*

Для того чтобы подтвердить или опровергнуть эту точку зрения, Д. Рудман моделирует валовой мировой продукт (GWP), наблюдаемый с 10000 лет до н. э., с целью оценить базовое распределение изменений темпов роста в зависимости от уровня GWP. Для эконометрической строгости он рассматривает ряд GWP как примерный путь в стохастической диффузии, спецификация которой является новой, но коренится в неоклассической теории роста. В результате такой оценки большинство наблюдений попадают между 40-м и 60-м перцентилями прогнозируемых распределений. (Заметим, что перцентиль – это мера, в которой процентное значение общих значений равно этой мере или меньше ее. Например, 90% значений данных находятся ниже 90-го перцентиля, а 10% значений данных находятся ниже 10-го перцентиля.) *Таким образом, доказываем, что взрыв GWP практически неизбежен и произойдет, в среднем, в 2047 году, что противоречит теории С.П. Капицы.*

А.В. Молчанов [21] рассматривает эволюцию социосферы на основе построенной им «теории сети сознания». Он обобщил результаты исследований Н. Форстера, С. Хорнера, И.М. Дьяконова, С.П. Капицы и собственной теории. Результаты обобщения А.В. Молчанов сформулировал следующим образом: *«Отсчет исторического времени ведется от момента начала неолита – согласно теории 9100 лет до н. э. (± 250 лет). Знаменатель прогрессии равен 1/2. Длительность первого исторического периода равна половине времени от начала неолита до сингулярности Дьякова: $(2022 + 9100)/2 = 5560$ лет. Каждый последующий период в два раза короче предыдущего, а численность населения Земли в момент его завершения удваивается. Всего периодов восемь, и ход всемирной истории можно рассматривать как последовательность из восьми шагов по оси времени, в которой каждый последующий шаг в два раза короче предыдущего». Шаги по времени, имеющие место после выхода системы на стационарный режим с максимальной численностью населения, относятся, по мнению А. В. Молчанова, к эре формирования нового вида человека *Post Homo sapiens*.*

А.Г. Вишневский [6] полагает, что оптимальный способ сохранить в будущем стабильный уровень жизни всего населения планеты в условиях текущего антропогенного разрушения окружающей среды и неизбежного истощения невозобновляемых ресурсов – это постепенный возврат к численности населения Земли, которое было в середине XX века (около

2,5 млрд человек). В связи с этим он считает положительной тенденцию снижения рождаемости ниже уровня воспроизводства поколений: *«...на какое-то, довольно долгое время все человечество должно перейти к рождаемости, которая будет ниже уровня простого замещения поколений»* [6]. Это лучше, чем обвальное сокращение населения мира вследствие нищеты, голода, войн и конфликтов за ресурсы.

Рассмотренные гипотезы, прогнозы и теории, сопутствующие концепции Ф.У. Ноутстейна, не исчерпывают их перечень. В последующих разделах статьи будут рассмотрены:

- 1) биосферная концепция устойчивого развития цивилизации К.Я. Кондратьева [14];
- 2) гипотеза Ю. Одума о возможности циклического развития Мировой социально-экономической системы и спонтанного или управляемого перехода ее функционирования на стационарный режим [42, с. 648 русского перевода];
- 3) глобальные модели развития цивилизации Дж. Форрестера [31]; Д.Л. и Д.Х. Медоузов [37]; М. Месаровича и Е. Пестеля [38];
- 4) модификации глобальных моделей В.А. Егорова и соавт. [11]; В.М. и И.В. Матросовых [17]; К.В. Матросовой [18]; С.А. Махова [19];
- 5) модификации глобальной модели «Мир-2» Ю.Н. Сергеева и В.П. Кулеша [26, 43].

3.3. Логистическая модель роста численности популяции

График коэффициента прироста численности населения после достижения максимума в 1971 году представляет собой монотонно-убывающую функцию $\varepsilon = \varepsilon(P)$ (табл. 1), стремящуюся, в соответствии с концепцией ДП, к нулю. В первом приближении эту функцию можно представить в виде линейной зависимости $\varepsilon = \alpha - \gamma P$, где $\alpha, \gamma > 0$.

Воспользуемся известной в демэкологии логистической моделью роста численности популяции [24]:

$$dP/dt = (\alpha - \gamma P)P. \quad (1)$$

Уравнение (1) имеет аналитическое решение:

$$P(t) = \frac{\alpha P_0 e^{\alpha t}}{\alpha + \gamma P_0 (e^{\alpha t} - 1)}, \quad (2)$$

где P_0 – численность популяции в начальный момент времени t_0 ; e – основание натурального логарифма.

Стационарные состояния уравнения (1) определяются из условия $dP/dt = 0$. Одно из этих состояний соответствует нулевой численности популяции, а другие – корню уравнения $\varepsilon(P) = 0$, который имеет вид $P = \alpha/\gamma$. При $t \rightarrow \infty$ численность популяции $P(t)$ асимптотически стремится к $P_{max} = \alpha/\gamma$, предельно возможной численности. Очевидно, что, присваивая параметрам α, γ различные численные значения, можно получить множество нетриви-

альных стационарных состояний P_{max} и логистических кривых, отвечающих уравнению (1). Для того чтобы воспользоваться логистической моделью, P_{max} должна быть известна из наблюдений или определена независимым способом.

3.4. Предельная численность населения устойчивой биосферы

Оценку максимальной численности населения Земли, которую может постоянно поддерживать окружающая среда, проведем на основании выводов «Биосферной концепции устойчивого развития цивилизации» [14]. Концепция основана на теории естественной биологической регуляции. Считается, что биосфера обладает свойством устойчивости, то есть способностью компенсировать любые возмущения, вызванные хозяйственной деятельностью человека, до тех пор, пока потребление человеком продукции биоты не достигнет 1%. Остальные 99% продукции биоты затрачиваются на стабилизацию среды обитания. К.Я. Кондратьев оценивает допустимую хозяйственную емкость биосферы величиной 1 ТВт и считает, что **порог устойчивости биосферы был преодолен еще в начале XX столетия**. Заметим, что численность населения планеты в это время оценивается в 1,6–2 млрд человек. К.Я. Кондратьев пишет: «Человечество в настоящее время потребляет порядка 6–8% первичной продукции биоты непосредственно в антропогенном “канале” и еще 30–32% – косвенным путем, используя для этого мощность в 10 ТВт, получаемую на 90% за счет ископаемого топлива». И далее: «Если бы человечество вернулось в пределы хозяйственной емкости биосферы, то экологические проблемы исчезли бы автоматически, прекратились бы антропогенные изменения окружающей среды» [14].

Критическая численность населения Земли может быть оценена исходя из величины первичной продукции биосферы, применения закона 10% Линдемана–Одума к трофической цепи "первичные продуценты → травоядные консументы → люди" и определения нормы питания населения.

Существует несколько оценок величины первичной продукции биосферы [23, 42]. Воспользуемся последними данными Р. Дивюнью, достаточно близкими к оценке Ю. Одума. Примем, что первичная продукция биосферы равна 83×10^9 т сухой массы в год. Из них 53×10^9 т приходится на долю биомов суши и 30×10^9 т – на долю океанов (взято из [23]). Согласно закону Линдемана–Одума, на выходе звена трофической цепи остается только 10% энергии, поступающей на его вход. Остальные 90% рассеиваются в окружающую среду в процессах экологического метаболизма. Первичная продукция, равная 53×10^9 т сухого вещества в год, эквивалентна $2,385 \times 10^{17}$ ккал/год. Таким образом, однопроцентный порог возмущения биосферы составляет $2,385 \times 10^{15}$ ккал/год.

С учетом возрастной и трудовой дифференциации населения в начале XX века в качестве средней нормы пи-

тания человека примем 3800 ккал/сутки. Критическая численность населения, которую может постоянно поддерживать биосфера, определяется как частное от деления однопроцентного уровня ее первичной продукции на среднюю норму питания человека. Оказалось, что **численность населения, соответствующая допустимой хозяйственной емкости биосферы, составляет 1,73 млрд человек [43]**.

3.5. Глобальные модели «Мир-2» и «Мир-3» – альтернатива «Концепции рационализма»

В 1971 году вышла в свет монография Дж. Форрестера [31], посвященная описанию первой модели развития цивилизации «Мир-2». Проницательный исследователь природы и общества Дж. Форрестер включил в свою модель «Мир-2» все принципиально важные, основные компоненты Мировой системы. Талантливая простота модели и, в то же время, ее способность отображать, воспроизводить и замещать объект исследования не остались без внимания. Именно поэтому модель «Мир-2» послужила основой для многих последующих работ по глобальному моделированию, в том числе и нашей работы.

Модель «Мир-2» представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений пятого порядка для основных переменных: P – численности населения Земли, K – капитала (основных фондов мировой экономики), X – доли сельскохозяйственного капитала, R – невозобновляемых природных ресурсов, Z – загрязнения планеты. Система уравнений дополнена алгебраическими соотношениями для вспомогательных переменных. Связь между основными и вспомогательными переменными устанавливается с помощью 22 таблично заданных зависимостей. Моделирование сводится к решению задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Задача решалась численным методом Рунге–Кутты на временном интервале 1900–2100 годов. При этом имеющаяся информация о динамике изучаемых переменных в период 1900–1970 годов использовалась для идентификации параметров модели. Прогноз развития системы осуществлялся на период 1971–2100 годов.

Расчеты, выполненные на модели «Мир-2», показали, что при сохранении современных тенденций развития мировой экономики вслед за бурным расцветом цивилизации в конце XX – начале XXI века должна последовать катастрофа, связанная с истощением запасов пищевых и невозобновляемых природных ресурсов, а также загрязнением окружающей среды.

В поисках способа избежать катастрофы Дж. Форрестер выдвинул идею перехода к «глобальному равновесию» (нулевому росту переменных). Моделирование показало, что такой переход на промежутке времени 1900–2100 годов возможен при введении, начиная с

1970 года, следующих ограничений: скорость потребления невозобновляемых ресурсов должна быть уменьшена в 4 раза по сравнению с 1970 годом; генерация загрязнений должна быть уменьшена в 2 раза; инвестиции в экономику должны быть уменьшены на 50%; производство пищевых продуктов – уменьшено на 20%; рождаемость населения – уменьшена на 30%. *Нереальность выполнения таких ограничений очевидна.*

Апокалиптические пророчества вызвали широкую дискуссию в печати. Критики модели «Мир-2», отмечавшие упрощенное описание структуры Мировой системы и отсутствие возможности воздействия общества на ее развитие, побудили Римский клуб продолжить финансирование исследований по глобальному моделированию. D.L. Meadows и D.H. Meadows получили заказ на разработку модели «Мир-3» (Пределы роста [37]).

Модель «Мир-3» содержит 12 основных дифференциальных уравнений первого порядка для компонент Мировой системы, 16 вспомогательных дифференциальных уравнений, предназначенных для организации процедур сглаживания и запаздывания некоторых социально-экономических характеристик, а также ряда алгебраических выражений и таблично заданных функций. Компонентами модели являются: 4 возрастные группы населения; капитал промышленных и сервисных предприятий; площадь потенциально пригодных для обработки земель; урбанизированная площадь; разрушенная почвенной эрозией площадь; загрязнение природной среды; невозобновляемые природные ресурсы.

Усложнение структуры модели «Мир-3» принципиально не повлияло на результаты моделирования. Расчеты показали, что во второй половине XXI века произойдут демографическая, экономическая и экологическая катастрофы, вызванные быстрым ростом численности населения, недостатком продуктов питания, загрязнением окружающей среды и недостатком невозобновляемых природных ресурсов. Предотвратить гибель цивилизации, то есть достигнуть «глобального равновесия», согласно модели «Мир-3», можно только путем незамедлительного (то есть в начале 70-х годов XX столетия) введения следующего комплекса мер: 1) рождаемость должна обеспечивать лишь простое воспроизводство населения, а его численность должна быть стабилизирована на уровне 1945 года (приблизительно 2,6 млрд человек); 2) индустриальное развитие должно быть стабилизировано на уровне 1980 года; 3) потребление ресурсов на душу населения Земли не должно превышать 1/8 от уровня 1970 года; 4) время жизни основных производственных фондов должно быть увеличено в 1,5 раза; 5) удельная генерация загрязнений должна быть уменьшена до 1/4 по сравнению с уровнем 1970 года. *Понятно, что эти условия невыполнимы.*

Критические замечания в адрес моделей «Мир-2» и «Мир-3» чаще всего сводились к тому, что они не учитывают региональной дифференциации компонент Мировой социально-экономической системы. Поэтому дальнейшее развитие глобального моделирования в Западном Мире шло по пути усложнения моделей. Осуществлялся переход от точечных (пространственно-однородных) моделей к блочным моделям с пространственной структурой.

Вера в возможность наиболее адекватного отражения объекта изучения, свойственная исследователям этого направления, привела к появлению модельных «монстров», затрудняющих понимание принципов функционирования Мировой системы и к сокращению временного интервала моделирования.

Примером системы-«монстра» может служить модель «Стратегия выживания» [38]. В ней рассматривается взаимодействие 10 регионов Мира. Каждый регион описывается системой субмоделей: экономики, демографии, энергетики и т. д.

В кратком обзоре докладов Римскому клубу отмечается: «Если компьютерная модель Медоуза основывалась примерно на тысяче математических уравнений, то модель Месаровича–Пестеля содержала их более двухсот тысяч»⁴.

Основным результатом модели «Стратегия выживания» является вывод, что цивилизации угрожает не глобальная катастрофа в середине XXI века, а серия региональных катастроф, наступающих в различных регионах разновременно и по разным причинам. Авторы «Глобального доклада президенту США о перспективах на 2000 г.» дают такую оценку этой модели: «Ее структура чрезвычайно сложна. Настолько, что требуются недели, если не месяцы, чтобы понять ее, либо принять на веру... Сделать выводы из анализа модели “Стратегия выживания” затруднительно... Очень трудно сказать, какие выводы были заранее вмонтированы в модель, а какие получены в результате ее реализации» (цит. по [9]).

Очевидно, что в модели «Стратегия выживания» нарушен один из основных принципов системного анализа, состоящий в том, что при моделировании сложных систем следует учитывать не все, а только наиболее существенные компоненты и связи системы оригинала [2].

3.6. Модификации глобальных моделей «Мир-2» и «Мир-3»

В СССР и Российской Федерации опубликован ряд работ, посвященных поиску алгоритмов, выводящих глобальные модели на стационарный режим (в состоянии глобального равновесия). Авторы этих работ не строили новые модели, а занимались модификацией моделей «Мир-2» и «Мир-3» [11, 17–19, 26, 43].

⁴ www.ihst.ru/~biosphere/Mag_3/gvishiani.htm

В основу большинства этих исследований была положена идея перераспределения капитала Мировой экономики в пользу промышленного восстановления израсходованных невозобновляемых природных ресурсов и промышленной регенерации загрязнений. Примечательно, что во всех модельных сценариях удалось предотвратить катастрофу цивилизации в XXI веке. Но при этом основные фонды предприятий, создаваемых для восстановления ресурсов и борьбы с загрязнениями, должны ежегодно возрастать, становясь в XXI веке сравнимыми со стоимостью фондов всех традиционных отраслей производства. «Соответственно и работа людей по предотвращению экономического кризиса должна стать сравнимой с работой, выполняемой во всех остальных областях деятельности» [11, с. 140].

Заметим, что *восстановление израсходованных природных ресурсов в определенном смысле эквивалентно увеличению их первоначальных запасов*. Увлеченные идеей восстановления ресурсов, авторы исследований не обратили внимания на это принципиально важное положение. Оно послужило нам стимулом для проверки справедливости начальных условий, принятых при решении задачи Коши в модели «Мир-2» [26].

Таким образом, создание моделей «Мир-2», «Мир-3» и их модификаций дало возможность изменить точку зрения на схему демографического перехода. *Вербальное представление Ф.У. Нутстейна о влиянии только внутренних, социально-демографических факторов на рождаемость и смертность населения сменилось на системный анализ развития мировой социально-экономической системы. Стала понятной сомнительность третьего и четвертого этапов «классической» теории ДП и прогнозов численности населения, построенных на их основе.*

Так возникает **конфликт мировоззрений**, выражающийся в понимании места человечества в окружающем мире, его роли в позитивном развитии или дегенерации цивилизации в настоящем и будущем.

3.7. Явление цикличности в популяционной экологии

Колебание численностей особей встречается в популяциях многих высокоорганизованных животных и птиц, обладающих сложным и длительным циклами развития, выраженным групповым поведением и взаимопомощью [24, 42]. Численность организмов вначале растет по логистической кривой, а затем испытывает затухающее колебание относительно некоторого положения равновесия, соответствующего максимальной численности, которую может постоянно поддерживать окружающая среда. Колебания численности возникают в случае, когда питательные вещества и другие, необходимые для жизни факторы были накоплены еще до того, как начался логистиче-

ский рост популяции. Организмам временно хватает ресурсов для того, чтобы «перескочить» через предельную численность, которую может поддерживать окружающая среда, но потом наступает «разочарование» [42].

Но причины, вызывающие осцилляции численности популяций животных, свойственны и человечеству. Ставшая возможной благодаря развитию производительных сил общества добыча углеводородного топлива и других невозобновляемых ресурсов сегодня обеспечивает рост материальных благ населения и, тем самым, его численности выше предельной, которую может постоянно поддерживать устойчивая биосфера.

3.8. Энергия первична, а человечество — вторично

Химическая энергия живого вещества образуется из световой энергии в процессе фотосинтеза, движется по трофической сети до человека, усваивается им и выводится в окружающую среду в процессах экологического метаболизма. Именно энергия пищи обеспечивает жизнедеятельность человечества на всех этапах его развития. И она ограничена продукционной способностью биосферы. Эта важная особенность жизни учитывается в моделях «Мир-2» и «Мир-3». В качестве энергетических компонент в них по отдельности рассматриваются энергия пищи и невозобновляемые ресурсы – потенциальная энергия индустрии.

Еще одно замечание касается реализованной в модификациях моделей «Мир-2» и «Мир-3» идеи восстановления невозобновляемых природных ресурсов. Авторы этой идеи «забыли», что ресурсы включают в себя не только вещественную, но и энергетическую составляющую. При этом для получения вторсырья тоже затрачивается энергия.

Невозобновляемые топливные ресурсы включают в себя:

- 1) углеводородное топливо, содержащее химическую энергию, образовавшуюся в процессах фотосинтеза и ассимиляции пищи консументами в прошедшие геологические эпохи;
- 2) ядерное топливо, представляющее собой «пепел» давно сгоревших звезд, когда «легкие» атомы, соударяясь друг с другом, образовали атомы урана;
- 3) водородное топливо, старейшее из видов горючего, представляющее собой «пепел» Большого взрыва (теория Г.А. Гамова).

В соответствии с одной из формулировок второго начала термодинамики процессы, связанные с превращением энергии, могут происходить самопроизвольно только при условии, что энергия переходит из концентрированной формы в рассеянную. Ископаемое топливо обладает низкой энтропией, а содержащаяся в нем

энергия – высоким «качеством», поскольку она пригодна для совершения работы. Горение топлива представляет собой самопроизвольный процесс, в ходе которого происходит рассеяние энергии (увеличение энтропии) и понижение ее «качества». В соответствии с законом фундаментальной асимметрии природы переход из низкокачественной энергии в высококачественную невозможен. Поэтому невозможно восстановление ископаемых топливных ресурсов. Задача цивилизации – научиться экономно распоряжаться «высококачественной» энергией или, что то же самое, снижать уровень производства энтропии.

Поэтому нельзя согласиться с мнением С.П. Капицы, который полагал: *«Именно численность населения единственным образом выражает состояние человечества в любой момент со времени его появления. Как раз численность населения выражает суммарный результат всей экономической, социальной и культурной деятельности, составляющей историю человечества. Все остальное, что характеризует людей: расовый и национальный состав, плотность распределения на Земле, концентрация в городах, развитие производительных сил и наличие ресурсов, распределение доходов, состояние культуры и образования, множество других характеристик – подчинены главной переменной – общей численности населения планеты»* [13, с. 16–17].

Таким образом, *«концепция рационализма» и «демографический императив» – эти никак не связанные с окружающими человека социально-экономической и природной средами понятия представляют собой своеобразные «вещи в себе» («вещи сами по себе») философского учения И. Канта.*

3.9. Мировые запасы традиционного ископаемого топлива

Одна из наиболее авторитетных оценок извлекаемых запасов подвижной нефти, горючего газа и каменного угля была дана Всемирной энергетической конференцией, состоявшейся в 1980 году [28]. Если принять теплотворность нефти равной 44 МДж/кг, газа – 40,8 МДж/м³, угля – 29,4 МДж/кг, то запасы нефти оцениваются как $R_{1980}^{нефть} = 1,5 \times 10^{22}$ Дж; запасы газа как $R_{1980}^{газ} = 1,1 \times 10^{22}$ Дж; запасы угля как $R_{1980}^{уголь} = 21 \times 10^{22}$ Дж. В 1970 году при скорости потребления (Дж/год) нефти $0,95 \times 10^{20}$, газа $0,35 \times 10^{22}$ Дж/год, угля $0,6 \times 10^2$ их запасов хватило бы на 184, 343, 3500 лет соответственно. Если предположить, что газ будет потребляться с прежней скоростью и заменит нефть после того, как ее запасы будут исчерпаны, то подвижные углеводороды иссякнут через 227 лет. Если предположить, что уголь заменит нефть и газ после того, как их запасы будут исчерпаны, а суммарная скорость потребления углеводородов останется прежней, то все традиционное ископаемое топливо иссякнет через 1034 года.

Для перехода к относительным единицам, принятым при задании начального условия для переменной R в модели «Мир-2», воспользуемся пропорцией:

$$R_0/(R_0^*) = \tau_0/(\tau_0^*), \quad (3)$$

Здесь: $R_0 = 9 \times 10^{11}$ ресурсных единиц (РЕ) – начальное условие для невозобновляемых ресурсов в модели «Мир-2»; R_0^* – то же при оценке запасов по [24]; $\tau_0 = 250$ лет – период исчерпания невозобновляемых ресурсов в модели «Мир-2». Решая пропорцию (3) относительно R_0^* при $\tau_0^* = 227$ лет, получим $R_0^* = 11,1 \times 10^{11}$ РЕ. Заметим, что эта оценка, соответствующая запасам нефти + газа близка к принятой в модели «Мир-2». Из пропорции (3) при $\tau_0^* = 1034$ год находим: $R_0^* = 37,2 \times 10^{11}$ РЕ. Таким образом, с учетом запасов каменного угля начальное условие для R в модели «Мир-2» было занижено в 4 раза [26].

4. Результаты исследования и обсуждение

4.1. Вербальная модель развития цивилизации Ю. Одум и дедуктивный путь познания

Общепризнанный мэтр экологии Ю. Одум был первым, кто еще в 1971 году предупредил о возможности и опасности циклического развития цивилизации. *«У человека, по-видимому, имеются две основные возможности. Первая состоит в том, чтобы допустить неограниченный рост населения, который будет продолжаться до тех пор, пока плотность не превысит известные пределы (пища, ресурсы, пространство, загрязнение и т. п.). После этого большинству людей придется погибнуть или влачить очень жалкое существование до тех пор, пока не снизится плотность (или не повысится порог, если это окажется возможным). Если в этот момент не ввести контроль, могут возникнуть дополнительные взрывы численности. Другая возможность – признать, что на самом деле эта гибель вызвана перенаселением. Если человек примет на себя ответственность, появится возможность заранее предсказать пределы, принять меры по регулированию численности (контроль рождаемости, ограничение земле- и водопользования, охрана и возобновление ресурсов, снижение экономических «стимулов роста» и т. д.) с тем, чтобы плотность осталась заметно ниже критической»* [42, с. 648, перевод на русский].

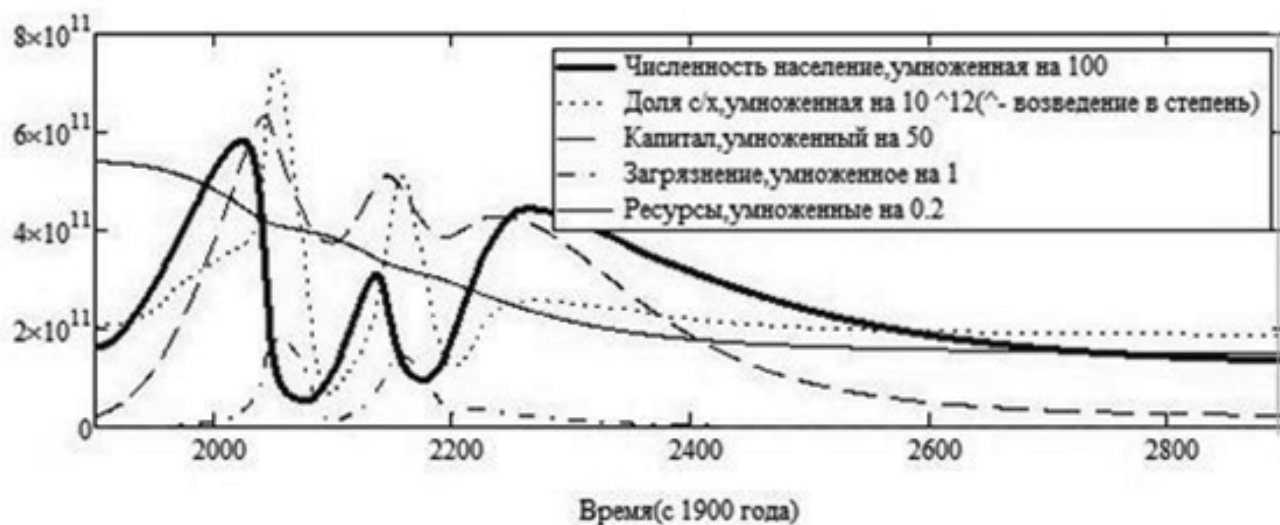
Вербальную модель развития цивилизации Ю. Одума следует рассматривать как априорную посылку, своего рода «рисунок» будущего человечества. В дедуктивном пути познания такой «рисунок» обозначен как образ структуры реального мира. Облеченный в математическую форму образ структуры называется априорной моделью системы. Эта модель, обладая логической структурой, по существу является постула-

том будущей теории системы. Она используется для выдвижения ряда гипотез, которые могут быть проверены по имеющимся экспериментальным данным. Чем большее количество гипотез подтверждается результатами моделирования, тем с большим основанием априорную модель системы можно рассматривать в качестве теории системы. В этом проявляется положительная обратная связь между создаваемой теорией и сложившимся в сознании исследователя образом структуры реального мира. Если гипотезы не оправдываются, срабатывает отрицательная обратная связь, вынуждающая исследователя вводить коррективы в образ структуры реального мира или полностью пересматривать его. Обеспеченное надежной экспериментальной проверкой теоретическое утверждение переходит в категорию теоретического закона.

В первом приближении в качестве гипотез, применяющихся для проверки «образа структуры реального мира Ю. Одума», могут быть использованы исторически установленные циклы этногенеза, в которых имели место значительные колебания численности населения [8].

В.В. Меншуткин [20], по-видимому, первым подтвердил на математической модели точку зрения Ю. Одума о возможности циклического развития цивилизации. Для моделирования использовался математический аппарат *вероятностных конечных автоматов*. Он показал, что при высоких уровнях пассионарного напряжения и научно-технического прогресса численность населения быстро достигает предельного уровня, за которым наступает ее падение. Этот цикл повторяется несколько раз. Циклический процесс В.В. Меншуткин связывает с «территориальными переделами между этническими популяциями», свойственными этногенезу по Л.Н. Гумилеву [8]. Продолжительность этногенеза от фазы подъема до мемориальной (реликтовой) фазы составляет около 1200 лет, «после чего повторяется картина, имевшая место до этнической катастрофы» [8].

В статье [27] с помощью модели «Мир-2 MathCad» показано, что *осцилляция компонент мировой социально-экономической системы коррелирует с короткими по историческим масштабам фазами этногенеза, обнаруженными Л.Н. Гумилевым при изучении*



Фазы этногенеза					
Подъем	Акматическая	Надлом	Инерциальная	Обскурация	Регенерация
Мемориальная					

Рис. 2. Временная изменчивость компонент глобальной социально-экологической системы и фазы этногенеза глобального гиперэтноса

исторических материалов. Дается оценка возможности формирования глобальной гиперэтнической системы в постиндустриальную эпоху, характеризующуюся развитием транснациональных корпораций и общего рынка, деградацией природных ландшафтов, развитием глобальных информационных технологий и транспортных коммуникаций, массовыми миграциями населения, унификацией образования и языкового общения на англоязычной основе, навязыванием массовой культуры взамен классической и национальной. Эти процессы повышают вероятность формирования единой ментальности человечества на ее основе – единой гиперэтнической системы. Доказывается, что наиболее вероятным претендентом на роль центра формирования гиперэтнуса является суперпозиция Североамериканского и Западноевропейского суперэтносов.

На основании гипотезы о том, что становление гиперэтнуса происходит уже сегодня в процессе глобализации, определены временные интервалы прохождения фаз глобального этногенеза – фаз подъема (1900–1990 годы), акматической (1990–2022), надлома (2022–2077), инерциальной (2077–2135), обскурации (2135–2172), регенерации (2172–2265), мемориальной (2265–2800 годы). По данным моделирования для каждой из фаз приводятся оценки временной изменчивости численности населения, капитала мировой экономики, доли сельскохозяйственного капитала, загрязнения природной среды и запасов невозобновляемых природных ресурсов (рис. 2).

Косвенным подтверждением «образа структуры реального мира Ю. Одума» является произошедшее в «развитых государствах» Западной Европы, раньше других стран вошедших во вторую стадию ДП, падение рождаемости ниже уровня простого воспроизводства населения.

Прямое подтверждение «образа структуры реального мира Ю. Одума» с учетом обнаруженного И.М. Дьяконовым сжатия исторического времени, по видимому, произойдет в ближайшие два десятилетия, в начале фазы надлома гиперэтнуса.

4.2. Модель «Мир-2 MathCad»

Примечательно, что точку зрения Ю. Одума можно подтвердить с помощью математической модели развития цивилизации, основанной на численном решении системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Для этого воспользуемся алгоритмом модели «Мир-2», повторно реализованным на языке автоматического программирования MathCad. Будем в дальнейшем называть эту модификацию «Мир-2 MathCad». В статьях [26, 43] обсуждаются результаты реализации сценариев развития цивилизации на модели «Мир-2 MathCad» при $R_0^* = 9 \times 10^{11}$ или $13,5 \times 10^{11}$, или 27×10^{11} , или 36×10^{11}

ресурсных единиц (РЕ). Во всех сценариях начальное условие для остальных переменных приняты такими же, как в модели «Мир-2».

Результаты моделирования (рис. 2) свидетельствуют о том, что при расширении ресурсно-энергетического потенциала в глобальной социально-экономической системе возникают осцилляции всех компонент. Осцилляций образуется тем больше, чем больше запасы доступных для эксплуатации природных ресурсов. При увеличении запасов до $R_0^* = 13,5 \times 10^{11}$ РЕ возникают две осцилляции; до 27×10^{11} – три осцилляции, до 36×10^{11} – четыре осцилляции.

Характерной особенностью временной изменчивости осцилляции загрязнения окружающей среды и доли сельскохозяйственного капитала является сокращение количества их колебаний на единицу по сравнению с количеством колебаний численности населения.

В пределах одного отдельно взятого цикла загрязнение окружающей среды и доля сельскохозяйственного капитала, наряду с энергией, ограничивают рост численности населения. Но дефицит сельскохозяйственной продукции и загрязнение окружающей среды не определяют количество осцилляций численности. Их количество определяют первоначальные запасы невозобновляемых топливных ресурсов.

Невозобновляемые ресурсы являются ограничителями роста численности населения во всех осцилляциях, кроме завершающей. В ней рост численности населения ограничивает дефицит сельскохозяйственной продукции и загрязнение окружающей среды. Эти факторы постоянно действуют на всех временных интервалах падения численности населения.

В каждом из сценариев вслед за заключительной осцилляцией наступает этап стабилизации численности населения. В сценарии с $R_0^* = 27 \times 10^{11}$ РЕ это происходит через 609 лет. Численность населения стабилизируется на уровне 1,3 млрд человек [26].

В статье [39] мы нашли независимое подтверждение опубликованных нами ранее результатов модельных исследований [26], показавших возможность циклического развития Мировой социально-экологической системы. Оказалось, что на основе классической модели Вольтерра-Лотка «хищник-жертва» с внутривидовой конкуренцией среди жертв можно получить нетривиальный вывод о циклическом развитии цивилизации и последующем выходе ее на стационарный режим. Авторы статьи отождествляют виды сообщества организмов с имущественной структурой человеческого общества («богачами» и «обывателями»). Рождаемость и смертность групп населения зависит от распределения продукции, которую создают «простые люди», а распределяет «элита». Авторы статьи показывают, что чрезмерная эксплуатация ресурсов и избыточное расслоение населения по доходам неза-

висимо одно от другого приводят к серии катастроф цивилизации и открытым текстом говорят о необходимости выравнивания доходов населения и сокращения темпов расходования ресурсов.

5. Новая концепция демографического перехода

5.1. Предпосылки

Выделение фаз ДП проведем на основе наиболее вероятного сценария развития цивилизации с начальным запасом топливных ресурсов $R = 27 \times 10^{11}$ РЕ (рис. 2). При этом, следуя Ф.У. Ноутстейну, в качестве индикатора этапов будем использовать коэффициент прироста численности населения.

Уравнение демографического сектора модели «Мир-2» записывается в виде:

$$\frac{dP}{dt} = B - D, \quad (4)$$

где в соответствии с потоковой диаграммой [31], $B = b(R, K, X, Z)P$; $D = d(R, K, X, Z)P$.

Здесь B и D – скорости рождения и смертности населения. Но $B - D = E$, где E – скорость прироста численности населения. Очевидно, что $E = \varepsilon(R, K, X, Z)P$, и уравнение (4) можно представить в виде

$$\frac{1}{P} \frac{dP}{dt} = \varepsilon(R, K, X, Z). \quad (5)$$

Напомним, что в результате решения систем уравнений модели «Мир-2 MathCad» все ее переменные определялись как функции времени. Левая часть уравнения (5), тождественно равная $\varepsilon(R, K, X, Z)$, позволяет изобразить траекторию ε , используя параме-

трическую форму $[\varepsilon(t), P(t)]$, где в качестве параметра выступает время. Границы фаз в «Новой концепции ДП» определяются по проекциям на ось времени характерных точек, в которых $d\varepsilon(R, K, X, Z)/dP = 0$ или $\varepsilon(R, K, X, Z) = 0$. Те же характерные точки соответствуют моментам времени, в которых траектория численности населения достигает точек перегиба ($d^2P/dt^2 = 0$) или экстремумов ($dP/dt = 0$). В этом нетрудно убедиться, продифференцировав обе части уравнения (5) по времени.

В соответствии с вербальным прогнозом будущего человечества Ю. Одума [42] и прогнозом эволюции цивилизации на модели «Мир-2 MathCad» возможны два сценария ДП: спонтанный переход и регулируемый переход.

5.2. Сценарий спонтанного ДП при использовании традиционных топливных ресурсов

Этот сценарий *содержит 14 фаз разной продолжительности* (рис. 3). Первый этап – «примитивная стабильность» – на рисунке не обозначен. Каждой из трех осцилляций численности населения соответствуют 4 фазы ДП, смысловое содержание которых повторяется, а продолжительность различна. Отказ от традиционной, принятой в концепции ДП Ф.У. Ноутстейна формы выделения фаз (см., например, Лавров и Гладкий, 1997) связан с тем, что в ней невозможно изображение временной изменчивости и знака коэффициента прироста численности населения, а также временной привязки границ фаз. Этим недостатком лишена форма представления основных положений «новой концепции демографического перехода» (рис. 3).

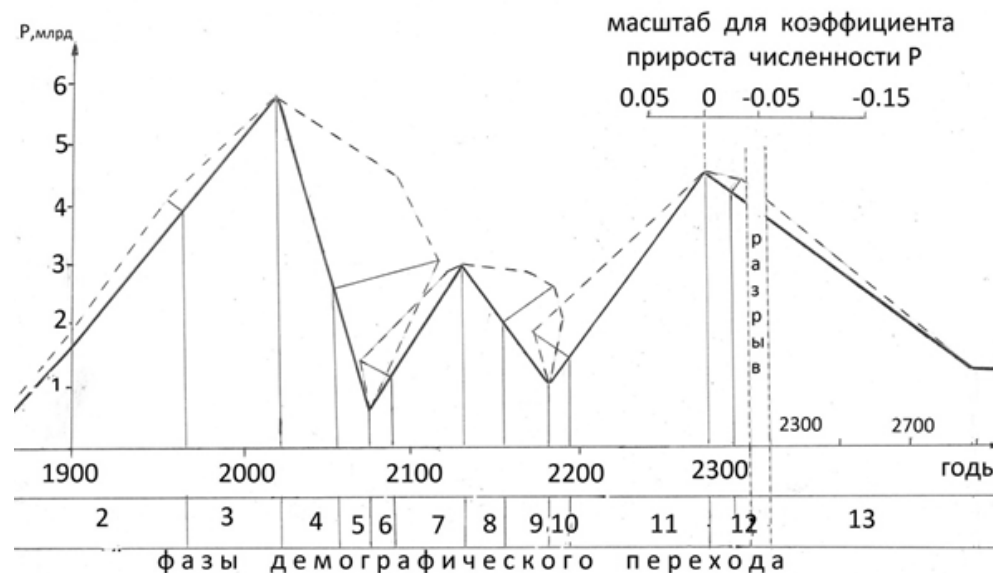


Рис. 3. Схема демографического перехода в модели глобального развития «Мир-2 MathCad». Сценарий спонтанного развития цивилизации с запасом ископаемых топливных ресурсов $R_0^* = 27 \times 10^{11}$ РЕ. Обозначения: P – численность населения в млрд; ε – коэффициент прироста численности

Важное замечание. В теории второго ДП (Д. Ван де Каа [44]) есть *пятая стадия перехода*, отсутствовавшая в первой, основной теории. Главной особенностью этой стадии является снижение рождаемости ниже уровня, обеспечивающего простое воспроизводство населения, из-за отсутствия мотивации иметь детей. Из рис. 3 видно, что эта стадия присутствует и в «новой концепции ДП»: коэффициент суммарной рождаемости $b^* < 2,1$; коэффициент прироста численности $\varepsilon^* \rightarrow 0$. Кроме того, видно, что аналогичными по смысловому содержанию являются девятая и тринадцатая фазы спонтанного ДП.

Таким образом, «*новая концепция ДП*» включает в себя *сущность теории второго ДП*.

5.3. Сценарий спонтанного ДП при расширении ресурсно-энергетического потенциала цивилизации за счет добычи сланцевой нефти

По современным представлениям, разработка сланцевого месторождения считается рентабельной, если содержание нефти в нем не менее 90 л на 1 т сланца⁵. Мировые запасы сланца с рентабельной добычей нефти составляют 650 трлн т. Из них можно извлечь 26 трлн т нефти. Это в 13 раз больше мировых запасов подвижной нефти. При дефиците энергоресурсов порог рентабельности добычи сланцевой нефти может быть понижен до 40 л на 1 т. По данным Всемирной энергетической конференции (1980) запасы горючих сланцев с содержанием нефти выше 40 л на 1 т оцениваются в 200×10^{22} Дж. Это в 8,5 раза больше энергии, содержащейся в мировых запасах нефти, газа и угля [24].

Будем полагать, что запасы ископаемого углеводородного топлива (традиционной нефти, газа, угля и сланцевого газа) составляют $223,9 \times 10^{22}$ Дж. Теплотворность сланцевой нефти примем равной 44×10^6 Дж/кг, а ее добычу, вплоть до исчерпания традиционного топлива, примем такой же, как в 2013 году, – $1,1 \times 10^9$ барреля/год. В энергетических единицах это составляет $6,6 \times 10^{18}$ Дж/год. Если предположить, что сланцевая нефть заменит традиционные топливные ресурсы после того, как их запасы будут исчерпаны, и будет добываться со скоростью $1,97 \times 10^{20}$ Дж/год, то период исчерпания углеводородного топлива составит 10117 лет. Из пропорции (3) находим $R_0 = 36,4 \times 10^{12}$ единиц ресурсов. Полагая, что рентабельная добыча нефти из горючих сланцев с ее содержанием более 40 л на 1 т сланцев составляет 28% мировых запасов, получим оценку $R_0 = 8 \times 10^{12}$ единиц ресурсов. Это в 8,9 раза больше запасов ресурсов, принятых в модели «Мир-2». Время исчерпания ресурсов в этом сценарии составляет 2220 лет, то есть их запасов хватит до 4120 года.

⁵ vseonefti.ru/neft/slancevaya-neft.html

В статье [43] показано, что в таком сценарии количество осцилляций численности населения увеличилось до 15, а остальных компонент – до 14. Запасы углеводородного топлива убывают во времени по закону, близкому к кусочно-линейному с выходом на стационарный режим. Капитал экономики, достигнув максимума во второй осцилляции, испытывает затухающие колебания относительно своего тренда, имеющего высокую положительную корреляцию с убывающими запасами топливных ресурсов.

Загрязнение окружающей среды, достигнув в первых же осцилляциях максимальных значений, вызванных интенсивным ростом капитала экономики, снижает максимальную численность населения во второй и последующих осцилляциях до 2 млрд человек. Во избежание голодомора Мировая система вынуждена повысить долю сельскохозяйственного капитала до 0,9–0,8 от общего капитала экономики. Дальнейшая временная изменчивость доли сельскохозяйственного капитала и загрязнения окружающей среды соответствует поведению «осцилляторов с сухим трением». В теории колебания такие диссипативные системы известны под названием осцилляторов с постоянным «кулоновским» трением. Роль трения в нашем случае выполняют убывающие топливные ресурсы и тесно связанный с ними капитал экономики, «притягивающие» компоненты системы к состоянию равновесия.

Численность населения, достигнув в первой осцилляции максимума в 5,6 млрд человек, во второй осцилляции рухнет до 2 млрд. Это чуть выше численности, которую может без ущерба для себя постоянно поддерживать биосфера. Дальнейшая временная изменчивость численности населения соответствует «системе с отталкивающей силой». Так в теории колебаний называется система, в которой действующая сила не притягивает, а отталкивает компонент от состояния равновесия. Роль отталкивающих сил выполняют уменьшающиеся во времени загрязнение окружающей среды и доли сельскохозяйственного капитала при весьма высоком капитале экономики.

Численность населения в завершающей осцилляции достигает второго по величине (относительного) максимума в 4 млрд человек, а период осцилляции является экстремально большим, достигающим 500 лет. Такие аномалии связаны с тем, что в это время загрязнение среды и сельскохозяйственное производство выходят на стационарный режим и не сдерживают рост численности населения. В то же время население реализует временной лаг рождаемости и постепенно переходит к стационарному движению с численностью 1,6 млрд человек, соответствующему допустимому порогу возмущения биосферы [14].

Таким образом, *при расширении ресурсно-энергетического потенциала цивилизации за счет добычи сланцевой нефти спонтанный демографический пе-*

переход должен состояться через 2220 лет, то есть в 4120 году.

5.4. Сценарий спонтанного ДП при расширении ресурсно-энергетического потенциала цивилизации за счет использования термоядерной энергетики

Рассмотрим сценарий эволюции цивилизации, предполагающий, что расширение ресурсно-энергетического потенциала будет происходить за счет термоядерной энергетики [43]. Предпосылкой к рассмотрению этого сценария являются успехи в реализации управляемой реакции термоядерного синтеза, достигнутые в прошедшее десятилетие. Сообщается⁶, что в Институте физики плазмы Китайской академии наук на экспериментальном реакторе «EATS» типа «Токамак» в 2007 году был проведен первый в мире безубыточный, с точки зрения соотношения затраченная/полученная энергия (критерий Лоусона), термоядерный синтез. В 2014 году это соотношение составляло 1/1,25, а в ближайшем будущем его планируется довести до 1/1,5. Сообщается также⁷, что в Германии в Институте физики плазмы Макса Планка на экспериментальном термоядерном реакторе типа «Стеллатор» удалось добиться устойчивой термоядерной реакции с превышением выделенной энергии над затраченной.

Строительство международного экспериментального термоядерного реактора «ITER» планируется закончить в 2025 году. Ожидается, что первый промышленный термоядерный реактор будет построен в середине XXI столетия. Учитывая сказанное, будем полагать, что использование термоядерной энергии в мировой экономике начнется в 2075 году.

До 2075 года, на который приходится первое локально-устойчивое состояние для численности населения, цивилизация развивается в соответствии со сценарием $R_0 = 27 \times 10^{11}$ единиц ресурсов. В 2075 году при текущих запасах традиционных топливных ресурсов начинают работать промышленные реакторы управляемого термоядерного синтеза, увеличивающие по логистическому закону энерговооруженность цивилизации до уровня $R_{\max} = 21 \times 10^{11}$ единиц ресурсов. По сценарию такой уровень будет поддерживаться неопределенно долго.

После 2075 года все остальные компоненты модели переходят в режим работы гармонических осцилляторов. Компоненты совершают колебания постоянной амплитуды относительно своих устойчивых по Ляпунову стационарных движений. *Это означает, что при широком использовании термоядерной энергетики цивилизацию ожидает бесконечная череда*

⁶ https://ru.wikipedia.org/wiki/Управляемый_термоядерный_синтез

⁷ ehorussia.com/new/node/11870

глубочайших экономических, экологических и демографических кризисов, а демографический переход не состоится никогда.

5.5. Сценарий управляемого развития цивилизации

Первой осцилляции численности населения, по-видимому, не избежать. Время, необходимое для реформирования мировой системы, упущено. Вторая и последующие осцилляции могут быть предотвращены, если после демографического кризиса во второй половине XXI века численность будет зарегулирована в соответствии с логистической моделью. Используя соотношение $P_{\max} = \alpha/\gamma$, перепишем уравнение (1) в виде:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{\gamma}(P_{\max} - P)P. \quad (6)$$

Здесь γ – свободный параметр. Выразим его через другие переменные, имеющие смысловую нагрузку: P_0 , ε_0 – численность населения и коэффициент ее прироста в начальный момент времени t_0 . Положим $1/\gamma = \varepsilon_0/(P_{\max} - P_0)$ и представим уравнение (6) в виде

$$\frac{dP}{dt} = \varepsilon_0 \frac{(P_{\max} - P)}{(P_{\max} - P_0)} P. \quad (7)$$

Это эквивалентная форма записи логистической модели (1). Очевидно, что линейная зависимость $\varepsilon = \varepsilon(P)$ определяется выражением $\varepsilon(P) = \varepsilon_0 (P_{\max} - P)/(P_{\max} - P_0)$.

В сценарии $R_0^* = 27 \times 10^{11}$ РЕ минимальная численность населения на нисходящей ветви первой осцилляции составляет $R_0 = 0,54$ млрд и приходится на 2075 год. Примем $\varepsilon_0 = 0,02$. Предел насыщения численности популяции примем равным стационарному, по Ляпунову, движению населения $P_{\max} = 1,5$ млрд. При численной реализации сценария в модель «Мир-2 MathCad» внесены изменения, касающиеся уравнения демографического сектора. На временном интервале с 1900 по 2075 год используется уравнение, принятое в модели «Мир-2», а на последующем временном интервале – уравнение (7). «Склейка» правых частей уравнений и их решение осуществляются непрерывным образом.

На рис. 4 показан процесс регулируемого перехода Мировой системы к стационарному движению. Видно, что при $\varepsilon_0 = 0,02$ численность населения выходит на стационарный режим через 160 лет, то есть к 2240 году. *Варьируя параметр ε_0 , можно ускорить или замедлить стабилизацию численности.*

Может сложиться впечатление, что стационарное движение цивилизации возвращает ее в начало XX века. Это не так. Для того чтобы убедиться в этом, достаточно сравнить начальные условия для переменных и уровни их стационарного движения (рис. 4). *Демографический переход в сценарии с управляемым развитием цивилизации состоит из семи фаз, первые пять из которых соответствуют сценарию неу-*

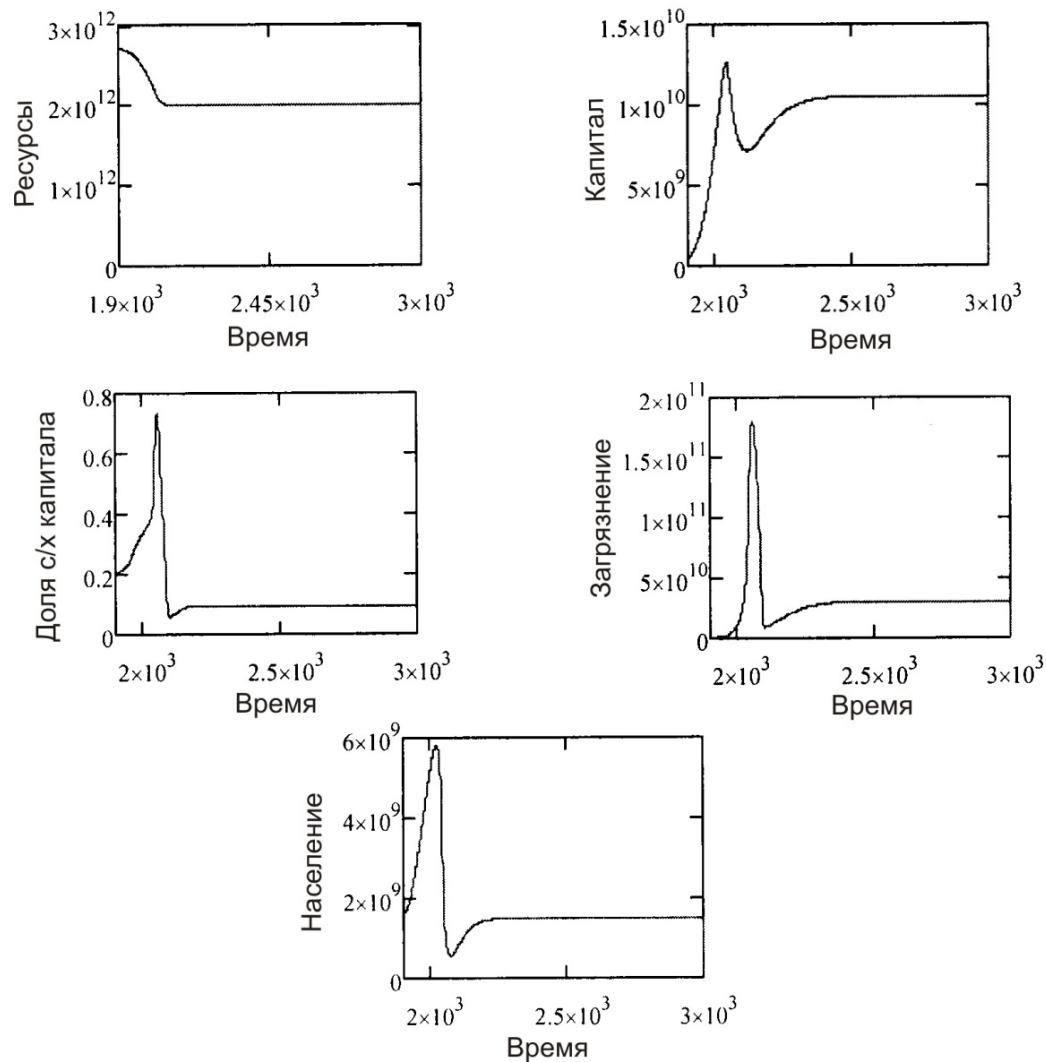


Рис. 4. Временная изменчивость компонент глобальной социально-экологической системы в модели «Мир-2 Math-Cad». Сценарий управляемого развития цивилизации с запасом ископаемых топливных ресурсов $R_0^* = 27 \times 10^{11}$ ПЕ. С 2075 года численность населения изменится по логистическому закону с параметрами: $\varepsilon_0 = 0,02$, $P_{max} = 1,5$ млрд человек.

правляемого ДП, а граница между двумя последними определяется точкой перегиба логистической кривой. В седьмой, заключительной фазе, численность населения асимптотически приближается к $P_{max} = 1,5$ млрд человек, то есть не превышает допустимого порога возмущения биосферы.

6. Заключение

Сегодня человечество, по существу, живет в соответствии с лозунгом сталинских времен: «Мы не можем ждать милостей от природы. Взять их у нее – вот наша задача». Но с тех пор численность населения Земли утроилась, достигла 7,5 млрд человек и продолжает расти. Энерговооруженность человечества возрастает пропорционально его численно-

сти. Возобновляемые и невозобновляемые ресурсы планеты заметно сокращаются. Пресная вода на планете уже сегодня становится дефицитом. Стоимость одного литра чистой пресной воды на рынке соизмерима со стоимостью литра бензина. Усиливается заинтересованность некоторых развитых в экономическом и военном отношениях государств в правообладании ресурсами. Растет загрязнение природной среды. В связи с этим существенно возросло количество неблагоприятных и катастрофических природных явлений. Трансформируется не в лучшую сторону менталитет населения. В городах растет количество субпассионариев. Общество производителей постепенно замещается обществом потребителей.

С таксономической точки зрения вид «человек разумный» принадлежит к царству животных и, следовательно, на него распространяется принятая в экологии концепция экологического доминирования [42, с. 185]. Согласно этой концепции из множества видов, составляющих биоценоз, лишь некоторые виды оказывают на него определяющее воздействие, обусловленное их численностью, трофическим уровнем, особенностями процессов экологического метаболизма и т. д. Поэтому поиски пути к глобальному равновесию, основанные на ограничении производственного метаболизма без коррекции мощности его генератора, то есть численности населения, оказались безрезультатными.

Пора вспомнить слова Ф. Энгельса, сказанные еще в XIX веке: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых».

Энергия, по воле Творца или людей, способна совершать работу. **Вопрос заключается в том, полезно или вредно возрастание энерговооруженности, а значит и работы цивилизации сегодня и в будущем, в контексте состояния производительных сил общества, производственных отношений в нем, численности населения планеты и качеством его жизни.**

Выводы

Для пересмотра теории демографического перехода Ф.У. Ноутстейна использован алгоритм модели «Мир-2», повторно реализованный на языке программирования MathCad с уточненными начальными условиями для невозобновляемых топливных ресурсов. Сценарии, реализованные на модели «Мир-2 MathCad», позволяют сделать следующие заключения, имеющие не прогностический характер, а указывающий лишь на возможные тенденции развития цивилизации и временную изменчивость численности населения Земли.

1. В XXI веке цивилизацию ожидает не катастрофа, как это предсказывают глобальные модели развития «Мир-2» и «Мир-3», а экстремально глубокие демографический, экономический и экологический кризисы, после которых последует восстановление. Демографический переход по Ф.У. Ноутстейну в XXI веке не состоится.

2. *Потенциально* развитие цивилизации в третьем тысячелетии должно иметь циклический характер. Количество циклов должно увеличиваться пропорционально энерговооруженности цивилизации. Каждый цикл оканчивается глубоким кризисом. Вслед за заключительным циклом цивилизация переходит к ста-

ционарному движению компонент, то есть спонтанно реализуется демографический переход с численностью населения, обеспечивающей порог устойчивости биосферы.

3. Человечество, наряду с энергией, является экологической доминантой биосферы в границах только одного, отдельно взятого цикла развития Мировой системы, а не на протяжении всего существования рода Homo, как утверждает «Феноменологическая теория роста численности населения Земли». Капитал, продовольствие и загрязнение природной среды, являющиеся продуктами социально-экономического метаболизма человечества и зависящие от текущих запасов энергетических ресурсов, лимитируют численность населения в пределах одного цикла развития, но не определяют количество циклов.

4. В пяти модельных сценариях, отличающихся различными запасами топливных ресурсов, численность стационарного движения населения, к которому переходит система после заключительного цикла, изменяется в пределах 1,3–1,6 млрд человек. Численность населения, соответствующая однопроцентному порогу потребления первичной продукции, обеспечивающему устойчивость биосферы, составляет 1,7 млрд человек. Таким образом, порог насыщения численности популяции, к которому асимптотически стремится логистическая кривая численности населения, может быть принят в интервале 1,3–1,7 млрд человек.

5. Управляемый безболезненный переход от циклического к стационарному движению может осуществляться из любого устойчивого локально-стационарного состояния по логистической модели роста численности популяции с порогом насыщения численности, равным 1,5 млрд человек.

6. Результаты моделирования показали, что именно энергетические ресурсы, и только они одни, определяют циклический характер развития производительных сил общества и численности населения, а также их спонтанный выход на стационарный режим функционирования.

7. Возможны два сценария демографического перехода.

1. Сценарий спонтанного демографического перехода. При использовании традиционного ископаемого топлива демографический переход состоит из 14 фаз разной продолжительности. Каждой из трех осциллирующих численности населения соответствуют 4 фазы ДП, смысловое содержание которых повторяется, а продолжительность различна. При расширении ресурсно-энергетического потенциала цивилизации за счет добычи сланцевой нефти спонтанный демографический переход должен содержать 62 фазы и состояться через 2220 лет, то есть в 4120 году. При широком использовании термоядерной энергетики цивилизацию ожидает бесконечная череда глубочайших эконо-

мических, экологических и демографических кризисов, а демографический переход не состоится никогда.

2. Сценарий управляемого демографического перехода. Он возможен, если после демографического кризиса во второй половине XXI века численность будет зарегулирована в соответствии с логистической моделью. Демографический переход в этом случае состоит из семи фаз, первые пять из которых соответствуют сценарию неуправляемого ДП, а граница между дву-

мя последними определяется точкой перегиба логистической кривой. В седьмой, заключительной фазе численность населения асимптотически приближается к $P_{max} = 1,5$ млрд человек.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00328 А.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Араб-оглы ЭА. Демографические и экологические прогнозы. М.: Статистика; 1978.
2. Беляев ВС. Теория сложных геосистем. Киев: Наукова думка; 1978.
3. Вишнеvский АГ. Демографическая революция. Избранные демографические труды. М.: Наука; 2005. Т. 1.
4. Вишнеvский АГ. Демографическая революция. Нерешенные вопросы теории демографической революции. Население и экономика. 2017;1(1):3-21.
5. Вишнеvский АГ. Третий демографический переход. <https://pub.wikireading.ru/164009> (17.10.2020).
6. Вишнеvский АГ. Демографический переход и гипотеза гиперболического роста населения. Демографическое обозрение. 2018;5(1):64-105.
7. Владимиров АИ. Логика этногенеза и императивы национальной стратегии России. Плацдарм. 2003;4-5(9-10):4-35.
8. Гумилев ЛН. Этносфера. История людей и история природы. М.: Экопрос; 1993.
9. Дадаян ВС. Орбиты планетарной экономики. М.: Наука; 1989.
10. Дьяконов ИМ. Пути истории. От древнего человека до наших дней. М.: Восточная литература; 1994.
11. Егоров ВА, Каллистратов ЮН, Митрофанов ВБ, Пионтковский АА. Математические модели глобального развития. Л.: Гидрометеоиздат; 1980.
12. Капица СП. Феноменологическая теория роста населения Земли. Усп физ наук. 1996;166(1):63-80.
13. Капица СП. Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. Очерк теории роста человечества. М.: Международная программа образования; 1999.
14. Кондратьев КЯ. Глобальная экодинамика и ее тенденции. В книге: Кондратьев КЯ, Фролов АК и др. (ред.). Экодинамика и экологический мониторинг Санкт-Петербургского региона в контексте глобальных изменений. СПб.: Наука; 1996. С. 5-60.
15. Коротаев АВ, Малков АС, Халтурина ДА. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования. М.: ИПМ им. МВ Келдыша РАН; 2005.
16. Лавров СБ, Гладкий ЮН. Глобальная география. М.: Дрофа; 1997.
17. Матросов ВМ, Матросова ИВ. Глобальное моделирование с учетом динамики биомассы и сценарии устойчивого развития. В кн.: Новая парадигма развития России. Комплексные исследования проблем устойчивого развития. М: Academia МГУК; 1999. с. 18-24.
18. Матросова КВ. Устойчивое развитие в модифицированной математической модели «Мировая динамика». В кн.: Новая парадигма развития России. Комплексные исследования проблем устойчивого развития. М: Academia МГУК; 1999. с. 344-53.
19. Махов СА. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера. М.: ИПМ им. МВ Келдыша РАН; 2005.
20. Меншуткин ВВ. Искусство моделирования. Петрозаводск-Санкт-Петербург: Карельский научный центр РАН; 2010.
21. Молчанов АВ. Развитие теории СП Капицы. Гипотеза сети сознания; 2007. <https://oko-plan-et.su/science/scienceclassic/page5.3371-a.v.molchanov-rasvitie-teorii-s.p.-kapis.html> (3.9.2020).
22. Реймерс НФ. Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль; 1990.
23. Рамад Ф. Основы прикладной экологии. Пер. с франц. Л.: Гидрометеоиздат; 1989.
24. Свиричев ЮМ, Логофет ДО. Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука; 1978.
25. Сергеев ЮН, Сергеева ЛЛ. Завершена ли теория демографического перехода? Труды XII съезда РГО. 2005;4:53-8.

26. Сергеев ЮН, Кулеш ВП. Концепция циклического развития цивилизации. Вестник СПбГУ 2013;7(2):57-70.
27. Сергеев ЮН, Кулеш ВП. Глобальный этногенез и циклическое развитие цивилизации. Вестник СПбГУ, 2013;7(4):80-97.
28. Скинер Б. Хватит ли человечеству земных ресурсов? Пер. с англ. Астахов АС, ред. М.: Мир; 1989.
29. Третий демографический переход. Демоскоп weekly № 299-300. <http://www.demoscope.ru/weekly/2007/0299/tema05.php>.
30. Урланис БЦ. Эволюция продолжительности жизни. М.: Статистика; 1978.
12. Kapitsa SP. [Phenomenological theory of population growth]. Uspekhi Fizicheskikh Nauk. 1996;116(1):63-80. (In Russ.)
13. Kapitsa SP. Skolko Liudey Zhilo, Zhivet, i Budet Zhit na Zemle. Ocherk Teorii Rosta Chelovechestva. [How Many People Lived, Live and Will Live on Earth. Essay on the Theory of Humankind Growth]. Moscow: Mezhdunarodnaya Programma Obrazovaniya; 1999. (In Russ.)
14. Kondratyev KYa. [Global ecodynamics and its tendencies]. In: Ekodinamika i Ekologicheskii Monitoring Sankt-Peterburgskogo Regiona v Kontekste Globalnykh Izmeneniy. Saint Petersburg: Nauka; 1996. P. 5-60. (In Russ.)
15. Korotayev AV, Malkov AS, Khalturina DA. Matematicheskaya Model Rosta Naseleniya Zemli, Ekonomiki, Tekhnologii i Obrazovaniya. [A Mathematical Model of Global Population Growth, Economy, Technology and Education]. Moscow: IPM im. MV Keldysha RAN; 2005.
16. Lavrov CB, Gladkiy YuN. Globalnaya Geografiya. [Global Geography]. Moscow: Drofa; 1997.
17. Matrosov VM, Matrosova IV. [Global simulation with account for the dynamics of the Earth biomass and scenarios of sustainable development]. In: Novaya Paradigma Razvitiya Rossii. Kompleksnye Issledovaniya Problem Ustoychivogo Razvitiya. Moscow: Academia MGUK; 1999. P. 18-24. (In Russ.)
18. Matrosova KV. [Sustainable development in the modified mathematical model “The world dynamics”]. In: Novaya Paradigma Razvitiya Rossii Kompleksnye Issledovaniya Problem Ustoychivogo Razvitiya. Moscow: Academia MGUK; 1999. P. 344-53. (In Russ.)
19. Makhov SA. Matematicheskoye Modelirovaniye Mirovoy Dinamiki i Ustoychivogo Razvitiya na Primere Modeli Forrestera. [Mathematical modeling of world dynamics and sustainable development using Forrester’s model as an example]. Moscow: IPM im. MV. Keldysha RAN; 2005. (In Russ.)
20. Menshutkin VV. Iskusstvo Modelirovaniya. [The Art of Modeling]. Petrozavodsk, Saint Petersburg: Korelskiy Nauchnyi Tsentr RAN; 2010. (In Russ.)
21. Molchanov AV. Razvitiye teorii SP Kapitsy. Gipoteza Seti Soznaniya. [Developing SP. Kapitsa’s theory. Network hypothesis of consciousness]. <https://oko-planet.su/science/scienceclassic/3371-a.v.-molchanov-razvitie-teorii-s.p.-kapicy.html> (3.9.2020)
22. Reymers NF. Prirodopolzovaniye. Slovar-Spravochnik. [Management of natural resources. A Glossary]. Moscow: Mysl; 1990.

Общий список литературы/References List

1. Arab-Ogly EA. Demograficheskiye i Ekologicheskkiye Prognozy. [Demographic and Ecological Forecasts]. Moscow: Statistika; 1978. (In Russ.)
2. Beliayev VS. Teoriya Slozhnykh Geosistem. [The Theory of Complex Geosystems]. Kiev: Naukova Dumka; 1978. (In Russ.)
3. Vishnevskiy AG. Demograficheskaya Revoliutsiya. Izbrannyye Trudy. [Demographic Revolution. Selected Works]. Moscow: Nauka; 2005. (In Russ.)
4. Vishnevskiy AG. [Demographic revolution. Unsolved issues in the theory of the demographic revolution]. Naseleniye i Ekonomika. 2017;1(1):3-21. (In Russ.)
5. Vishnevskiy AG. [The third demographic transition]. <https://pub.wikireading.ru/164009> (17.10.2020).
6. Vishnevskiy AG. [Demographic transition and the hypothesis of hyperbolic population growth]. Demograficheskoye Obozreniye. 2018;5(1):64-105.
7. Vladimirov AI. [The logic of ethnogenesis and the imperatives of Russia’s national strategy]. Platsdarm. 2003;4-5(9-10):4-35.
8. Gumilev LN. Etnosfyera. Istoriya Liudey i Istoriya Prirody. [The Ethnosphere. The History of Mankind and the History of Nature]. Moscow: Ekopros; 1993. (In Russ.)
9. Dadayan VS. Orbits Planetarnoy Ekonomiki. [The Orbits of the Planetary Economy]. Moscow: Nauka; 1989. (In Russ.)
10. Diakonov IM. Puti Istorii. Ot Dreynego Cheloveka do Nashikh Dney. [The Paths of History. From the Ancient Men to The present Day]. Moscow: Vostochnaya Literatura; 1994. (In Russ.)
11. Yegorov VA, Kallistratov YuN, Mitrofanov VB, Piontkovskiy AA. Matematicheskkiye Modeli Global’nogo Razvitiya. [Mathematical Models of Global Development]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1980. (In Russ.)

23. Ramad F. Osnovy Prikladnoy Ekologii. [Fundamentals of Applied Ecology]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1989. (In Russ.)
24. Svirezhev YuM, Logofet DO. Ustoychivost' Biologicheskikh Soobshchestv. [Sustainability of Ecological Communities]. Moscow: Nauka; 1978. (In Russ.)
25. Sergeyev YuN, Sergeyeva LL. [Is the demographic transition theory complete?]. Trudy XII Syezda RGO. 2005;4:53-8. (In Russ.)
26. Sergeyev YuN, Kulesh VP. [The concept of cyclic development of the civilization]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta Seriya 7. 2013;7(2):57-70. (In Russ.)
27. Sergeyev YuN, Kulesh VP. [Global ethnogenesis and cyclic development of the civilization]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universityeta Seriya 7. 2013;7(4):80-97. (In Russ.)
28. Skinner B. Khvatit li Chelovechestvu Zemnykh Resursov? Moscow: Mir; 1989. (In Russ.)
29. The third demographic transition. Demoskop Weekly № 299-300. <http://www.demoscope.ru/weekly/2007/0299/tema05.php> (12.10.2020).
30. Uralnis BTs. Evoliutsiya Prodolzhitelnosti Zhizni. [Evolution of Life Expectancy]. Moscow: Statistika; 1978.
31. Forrester JW World dynamics. Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts; 1971.
32. Foerster H, Mora P, Amiot L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science. 1960;132:1291-95.
33. von Bertalanffy L. General System theory: Foundations, Development, Applications. N.Y.: George Braziller, Inc; 1968.
34. Galor O. The Demographic Transition: Causes and Consequences. Cliometrica (Berl). 2012;6(1):1-28. doi: 10.1007/s11698-011-0062-7.
35. Hoerner SJ. Population explosion and interstellar expansion. J Brit Interplanetary Soc. 1975;28:691-712.
36. Landry A. La révolution démographique. Paris: Recueil Sirey, 1934.
37. Meadows DL, Meadows DH. Dynamics of Growth in a Finite World. Cambridge (Mass.): Wright Allen Press Inc; 1974.
38. Mesarovic M, Pestel E. Mankind at the Turning Point. Second Report to the Club of Rome. New York; 1974.
39. Motesharrei S, Rivas J, Kalnay E. Human and nature dynamics (HANDY): Modeling inequality and use of resources in the collapse or sustainability of societies. Ecological Economics. 2014;(101):90-102.
40. Notestein FY. Economic Problems of Population Change; 2009. <http://prelim2009.filmbulletin.org/readings/04-Population/Notestein.pdf> (5.9.2020).
41. Roodman D. On the probability distribution of long-term changes in the growth rate of the global economy: An outside view. <https://www.openphilanthropy.org/sites/default/files/Modeling-the-human-trajectory.pdf>.
42. Odum EP. Fundamentals of ecology. Third ed. W. B. Saunders Company, Philadelphia-London-Toronto; 1971.
43. Sergeyev YuN, KuleshVP. Cyclic and stationary modes of the development of civilization in global models. Biosfera. 2018;4:24-53. DOI: 10.24855/biosfere.v9i1.322.
44. Van de Kaa DJ. Anchored narratives: the story and findings of half a century of research into the determinants of fertility. Populations Studies. 1996;50(3):389-432.

