

**В.А.Садовничий, А.А.Акаев, И.В.Ильин,
А.В.Коротаев, С.Ю.Малков**

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МИРОВОЙ ДИНАМИКИ В XXI ВЕКЕ

Препринт

Работа выполнена в рамках Программы развития
Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета
“Математические методы анализа сложных систем”
при поддержке РФФ (проект №20-61-46004).

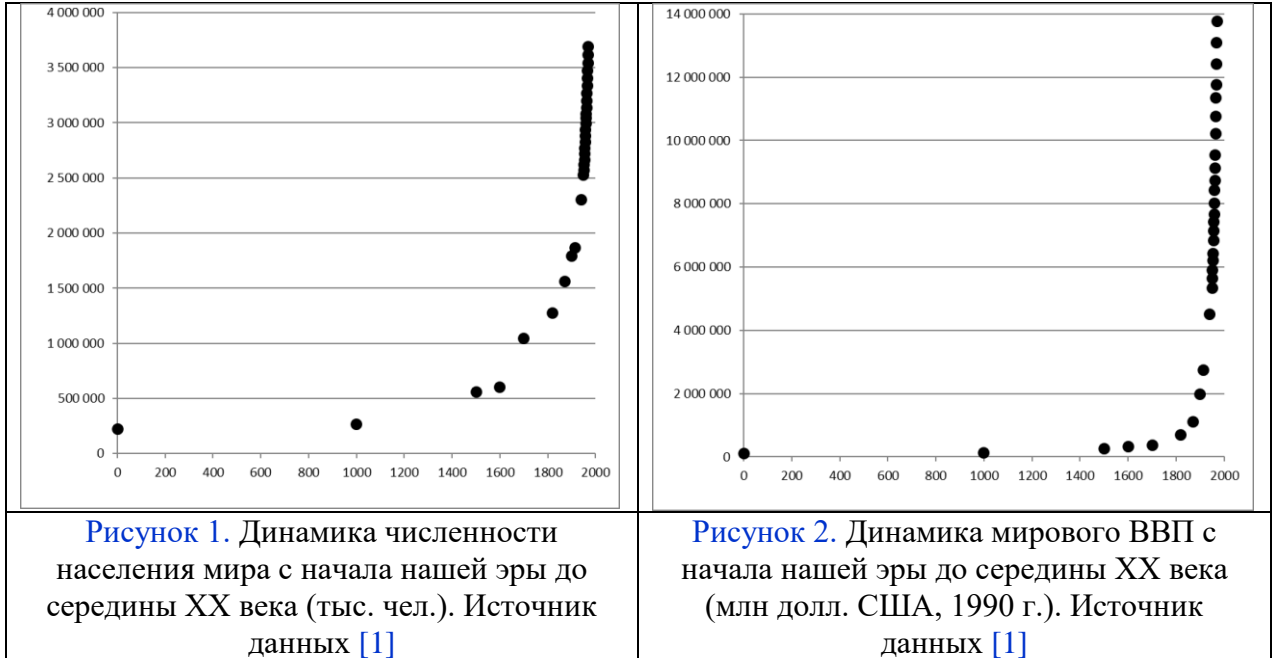
Москва, МГУ - 2022

В препринте изложены предварительные результаты исследований по математическому моделированию и прогнозированию мировой динамики, выполненные в рамках проекта РФФ №20-61-46004 «Мировое развитие и «пределы роста» в 21 веке: моделирование и прогноз» (руководитель – акад. В.А.Садовничий). Данные материалы отражают взгляд российских ученых на кардинальные изменения, происходящие в мире в последние десятилетия. Анализ этих изменений основан на математическом моделировании макросоциальных процессов, на выявлении закономерностей мировой динамики на протяжении исторического периода в несколько тысяч лет. В препринте изложены методология моделирования и конкретные математические модели. Обсуждены результаты моделирования. Сделан анализ вариантов дальнейшего мирового развития.

В исследованиях активное участие принимали Л.Е.Гринин, Н.О.Ковалева, А.И.Андреев, С.Э.Билюга, А.Л.Гринин, О.И.Давыдова, Д.М.Мусиева, которые по праву являются соавторами данного препринта.

Введение

1. Мир быстро меняется. В 20 веке темпы демографического и экономического роста достигли беспрецедентно высоких значений¹ (рис.1 и 2).



В докладе Римскому клубу «Пределы роста» [3], опубликованному в 1972 году, на основе расчетов по математической модели было показано, что если развитие человечества будет продолжаться инерционным образом, то неминуемо произойдет катастрофа, связанная с истощением ресурсов, обострением экологических проблем, нехваткой продовольствия и т.п.

Однако начиная с 70-х годов 20 века ситуация стала стремительно изменяться: началось резкое торможение глобальных демографических и экономических характеристик (рис.3). Вместо гиперболического роста демографические прогнозы предсказывают быструю стабилизацию, а при определенных условиях и резкое снижение численности населения (рис.4).

¹ Наблюдавшийся рост на удивление хорошо описывался гиперболической зависимостью с точкой сингулярности в районе 2026 года. Первым это отметил Фон Ферстер в 1960 году в своей статье «Конец света. Пятница, 13 ноября 2026 года» [2], где в названии статьи указана точка сингулярности, полученная в результате гиперболической аппроксимации статистических данных по динамике численности населения Земли.

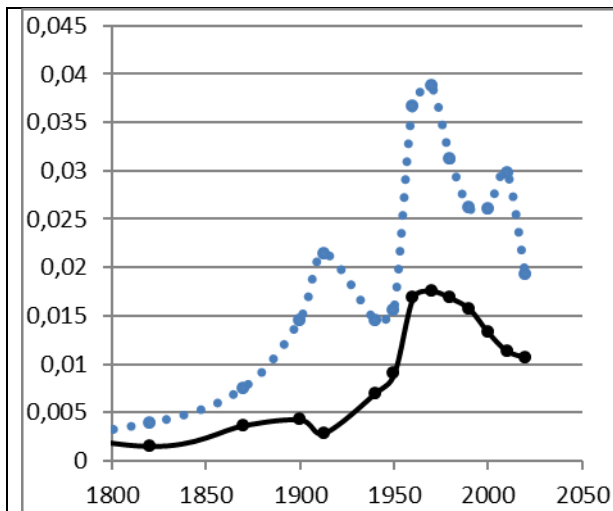


Рисунок 3. Динамика усредненных по десятилетиям темпов относительного годового прироста численности населения Земли (сплошная линия) и мирового ВВП (пунктир)². Источник данных [1]

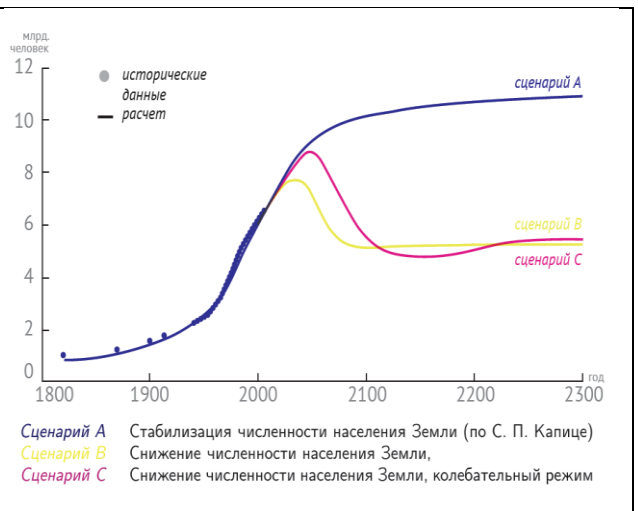


Рисунок 4. Возможные сценарии демографической динамики (млрд чел.).
Источник [4]

Естественно, возникает вопрос, что происходит, с чем связаны такие резкие изменения, чего ожидать в будущем.

2. Долгосрочное моделирование и прогнозирование мировой динамики – важная, но и чрезвычайно сложная область научных исследований (ввиду резких изменений, происходящих в мире). Этой теме посвящено большое количество работ (см., например, обзор в [5]). Наибольшую известность получили доклады Римскому клубу, основанные на расчетах с использованием математической модели «Мир-3» [6]. Данная модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих долгосрочную динамику ряда глобальных переменных: численности народонаселения, уровня промышленного производства, количества невозобновляемых природных ресурсов, промышленных загрязнений природной среды и др. Особенностью модели является то, что правые части уравнений формируются и калибруются на основе эмпирических данных за последние несколько десятков лет³ (при этом, поскольку эмпирические данные имеются в наличии далеко не всегда, то в этих случаях используются экспертные оценки). Кроме того, в модели «Мир-3» отсутствует социальный блок, поэтому не ясно, как влияет направленность социальных процессов на изучаемую динамику глобальных переменных. Результаты моделирования представляются в виде наборов графиков, отражающих динамику переменных во времени при фиксированных значениях параметров модели и заданных начальных данных. При таком представлении результатов моделирования в силу большого разнообразия получаемых графиков сложно понять картину в целом, сложно выявить ключевые «параметры порядка», от изменения которых в решающей

² На рис.3 спад темпов роста населения в первой половине 20 века связан с мировыми войнами, колебательная составляющая в динамике темпов роста мирового ВВП обусловлена Кондратьевскими циклами.

³ То есть по существу модель основана на проецировании в будущее процессов, протекавших в прошлые периоды.

степени зависит динамика системы. Поскольку ситуация в мире с течением времени изменяется, то изменяются и взаимосвязи между переменными. Это приводит к необходимости периодической апостериорной перенастройки модели и к изменению правых частей используемых в ней дифференциальных уравнений. Это, в свою очередь, затрудняет понимание того, как обеспечивается преемственность последовательных версий модели, как соотносятся друг с другом результаты расчетов, выполненных с применением этих версий.

Таким образом, хотелось бы, чтобы модель была бы более прозрачна, более удобна для анализа и при этом учитывала бы социальные процессы и влияние вариантов социального развития на динамику глобальных переменных.

3. Понятно, что сформулированные требования внутренне противоречивы: с одной стороны, есть желание сделать модель более комплексной (чтобы она учитывала социальные и политические факторы), а с другой стороны, есть желание сделать модель более прозрачной и удобной для анализа (чтобы можно было выявлять базовые закономерности и «параметры порядка», от которых в решающей степени зависит, по какому пути пойдет будущее развитие). Также понятно, что удовлетворить данные требования в рамках подхода, используемого в модели «Мир-3», нереалистично, поэтому подход к моделированию динамики глобальных переменных должен быть существенным образом модифицирован.

На протяжении более 10 лет в МГУ имени М.В.Ломоносова под руководством академиков В.А.Садовниченко и А.А.Акаева ведутся работы по моделированию и прогнозированию мировой динамики (см. [5, 7] и др.). Ниже представлены некоторые результаты данных исследований, касающиеся анализа перспектив будущего развития мировой системы.

Методология исследований

1. Исследование перспектив будущего развития мировой системы базировалось на следующих методологических предпосылках:

- происходящие в мире изменения носят фундаментальный и долгосрочный характер, поэтому они должны рассматриваться в широком историческом контексте (а не просто как продолжение тенденций 20 века⁴). «Лицом к лицу лица не увидать. Большое видится на расстоянии» (С.Есенин). Соответственно, при моделировании мировой динамики должен быть реализован *исторический подход*: взгляд на современную ситуацию как на определенную стадию макроисторического развития, как на определенный этап исторической трансформации мировой системы;
- при таком подходе на первый план в качестве важнейшего фактора человеческой истории выходит *технологическое* развитие, которое в конечном итоге влияет на все сферы жизни: на экономику, демографию,

⁴ Такой подход лежит в основе методологии анализа и моделирования мировой динамики в работах Римского клуба [3,6].

социальные и политические взаимодействия. При этом технологическое развитие происходит не равномерно, а рывками (принимаящими вид «технологических революций»), что предопределяет неравномерность исторического процесса;

- в соответствии с этим объектом исследования и моделирования являются *базовые процессы* (включая социальные и политические процессы), определяющие особенности взаимодействия различных сфер жизни на рассматриваемых этапах исторического развития. Соответственно, моделирование проводится на высоком уровне агрегации; целью моделирования является не столько определение конкретных значений переменных, сколько логика их долгосрочной динамики. Результаты моделирования при таком подходе целесообразно представлять не в виде графиков, отражающих изменение во времени значений тех или иных переменных в рамках конкретных сценарных условий, а с помощью *фазовых портретов*, отражающих картину в целом. Анализ динамики фазовых портретов позволяет выявить «*параметры порядка*» (то есть ключевые факторы, от которых зависит вид фазового портрета) и характеристики *устойчивости* экономического и социального развития на рассматриваемых этапах исторического развития (на основе анализа условий, при которых происходит кардинальная трансформация фазового портрета).

2. Для реализации данного подхода к анализу и моделированию мировой динамики осуществлялась следующая последовательность действий:

- была сформирована общая когнитивная схема, отражающая взаимодействие различных сфер жизни на разных этапах исторического развития;

- были предложены базовые уравнения, характеризующие эти взаимодействия; был проведен анализ того, как модифицируются эти уравнения в разные исторические эпохи с учетом особенностей рассматриваемого исторического периода;

- для каждой исторической эпохи на основе анализа соответствующей ей системы базовых уравнений был определен фазовый портрет и проведен анализ его особенностей. На основе этого анализа делались выводы о закономерностях мировой динамики в рассматриваемую эпоху.

Основной проблемой, с которой пришлось столкнуться в ходе исследований, являлась чрезвычайная многопараметричность рассматриваемой предметной области. Стремление учесть разнообразные детали с неизбежностью требовало введения дополнительных параметров и соотношений в систему уравнений, что делало ее непрозрачной и сложной для анализа. Поэтому важнейшей задачей исследования была задача максимально возможного снижения размерности системы базовых уравнений путем выделения наиболее значимых процессов, определяющих долговременную динамику. Уравнения модели конструировались с целью фиксации наиболее важных закономерностей этих процессов. Также при построении и анализе фазовых портретов использовалась теорема А.Н.Тихонова, позволяющая путем разделения переменных модели на «быстрые» и «медленные» сделать этот анализ более прозрачным и выявить наиболее важные моменты.

Реализация методического подхода

1. Когнитивная схема моделирования исторической динамики

Схема взаимодействия различных сфер деятельности, которая положена в основу системы моделирования исторической динамики, приведена на [рис.5](#).

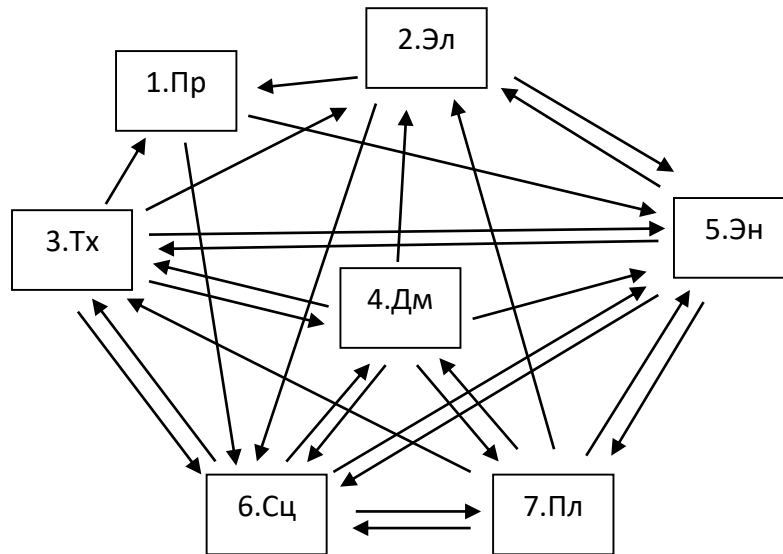


Рисунок 5. Схема взаимодействия частных моделей при моделировании исторической динамики

Схема на [рисунке 5](#) представляет собой ориентированный граф, где вершины графа – отдельные сферы, а стрелки – влияние одной сферы на другую. На схеме приняты следующие обозначения для сфер: Пр – климат, природная среда, Эл – экология, Тх – технологии, Дм – демография, Эн – экономика (производство, экономические отношения), Сц – социосфера (социальные взаимодействия), Пл – политика (государственное управление, политические взаимодействия).

2. Базовые уравнения (по сферам) и их использование при моделировании мировой динамики

2.1. Базовые уравнения блока «Демография» (Дм)

Базовое уравнение демографической динамики (характеризует изменение численности общества в результате динамики процессов рождаемости и смертности⁵):

⁵ Для упрощения считается, что миграционными процессами можно пренебречь. При необходимости члены, учитывающие миграционные процессы, могут быть добавлены в правую часть уравнения (1).

$$dN/dt = (\text{рождаемость}) - (\text{смертность}) \approx r \cdot N \cdot G(x_0, x) \quad (1)$$

Выражение $G(x_0, x)$ в правой части уравнения (1) характеризует зависимость прироста населения (то есть разницы между рождаемостью и смертностью) от уровня благосостояния (x - материальный продукт, приходящийся на душу населения; x_0 - уровень «прожиточного минимума» (физического выживания): при снижении уровня материального обеспечения ниже x_0 смертность начинает превышать рождаемость. График производной dN/dt как функции x в зависимости от характера выражения $G(x_0, x)$ может иметь разный вид (см. рис.6).

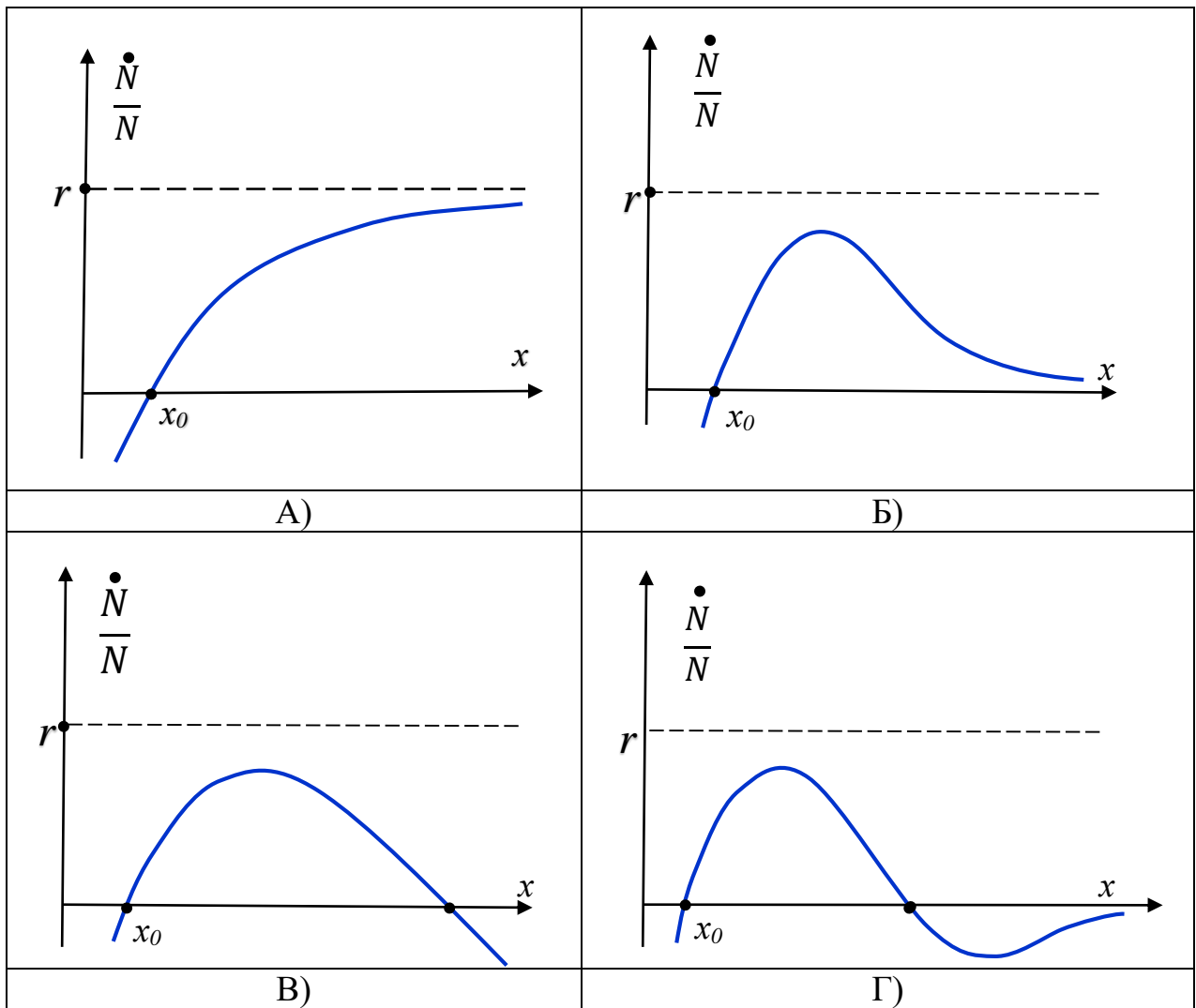


Рисунок 6. Различные варианты зависимости прироста населения от уровня благосостояния

Зависимость относительного прироста населения от величины x , изображенная на рис.6(А), характерна для доиндустриального общества. Для развитых индустриальных обществ с высоким уровнем урбанизации характерны зависимости, изображенные на рис.6(Б) и 6(В), характеризующие второй демографический переход, когда одновременно с повышением уровня благосостояния происходит снижение рождаемости (переход от многодетной к малодетной модели семьи). Зависимость, изображенная на рис.6(Г), отражает ситуацию, характерную, например, для современных скандинавских

стран, когда после периода падения рождаемости происходит ее восстановление, а демографическая динамика переходит к режиму простого воспроизводства.

2.2. Базовые уравнения блока «Экономика» (Эн)

Базовое уравнение **экономической** динамики (характеризует динамику уровня материального благосостояния членов общества):

$$dx/dt = (\text{производство потребительской продукции}^b \text{ на душу населения}) - (\text{потребление на душу населения}). \quad (2)$$

Если в долгосрочном периоде темпы производства потребительской продукции опережают темпы потребления, то благосостояние растет, в противном случае благосостояние падает.

В рамках базовой модели конкретизация правой части выражения (2) производится по следующему алгоритму:

- сначала определяется величина валового внутреннего продукта (общий объем производимой продукции в обществе, включая непотребительскую продукцию);

- далее из этой величины вычитается непотребительская продукция (то есть то, что домашние хозяйства не потребляют непосредственно) и получившийся результат делится на количество населения. То, что получилось - производство потребительской продукции на душу населения;

- затем определяется средняя величина расходования потребительской продукции на душу населения с учетом амортизации продукции длительного пользования.

В общем виде выражение (2) может быть представлено следующим образом:

$$dx/dt = (F(R, I_1, S) - I_1 - I_2)/N - Q, \quad (3)$$

где $F(R, I_1)$ – производственная функция (общее количество конечной продукции, произведенное в единицу времени); R – природные ресурсы, используемые в процессе производства в единицу времени; S – уровень развития технологий; I_1 – часть произведенной продукции, используемая в инвестиционных целях (для обеспечения следующих циклов производства); I_2 – часть произведенной продукции, используемая в целях, непосредственно не связанных с будущим производством или потреблением (используемая, например, в целях улучшения экологических условий, улучшения транспортной инфраструктуры, систем жизнеобеспечения и т.п.); Q – расходование потребительской продукции.

Количество продукции, произведенное в обществе в единицу времени, F (производственная функция) зависит от количества производителей,

⁶ Потребительская продукция включает в себя как продукцию повседневного спроса (питание, одежда, обувь и т.п.), так и продукцию длительного пользования (жилища, средства передвижения и т.п.).

используемых ими средствами труда и технологиями, наличия необходимых природных ресурсов. Качественно отличаются ситуации, когда 1) ограничения по ресурсам отсутствуют (ресурсы доступны в избытке) и 2) когда ресурсы в дефиците.

В первом случае количество произведенной продукции определяется количеством производителей, средствами труда и технологиями (ресурсы не являются ограничением). Тогда производственная функция может быть записана в виде:

$$F = A_R(S) \cdot V, \quad (4)$$

где V – количество производственных единиц (одна производственная единица – это количество производителей и сопряженных с ними средств труда, необходимых для переработки одной единицы ресурса в конечный продукт); $A_R(S)$ – коэффициент, зависящий от уровня технологий (чем больше значение $A_R(S)$, тем большее количество конечного продукта производится из одной единицы ресурса). Таким образом, в рассматриваемом случае рост производства будет иметь место, если увеличивается количество производственных единиц V и/или растет производительность труда.

Во втором случае определяющим является наличие ресурсов, при этом количество производственных единиц V имеется в избытке и они задействованы не полностью. В соответствии с этим в базовой модели производственная функция F может быть записана в виде:

$$F = A_R(S) \cdot R, \quad (5)$$

где R – количество единиц природных ресурсов, используемых в процессе производства в единицу времени; $A_R(S)$ – коэффициент, зависящий от уровня технологий. Таким образом, в рассматриваемом случае рост производства будет иметь место, если увеличивается количество ресурса, используемого в производстве, и/или растет эффективность его использования.

С учетом вышесказанного результирующее выражение для производственной функции F , объединяющее оба случая, может быть записано в виде:

$$F = \min \{ A_R(S) \cdot V; A_R(S) \cdot R \}, \quad (6)$$

то есть в качестве F выбирается минимальное из выражений (4) и (5).

Произведенная в текущем временном периоде продукция далее используется:

а) на обеспечение производства продукции в следующие периоды (I_1 – инвестиционные затраты, включая амортизацию старых и создание новых средств производства, возобновление/сохранение/возобновление/увеличение ресурсной базы для производства, создание/совершенствование производственных технологий, профессиональное обучение);

б) на преобразование внешней среды с целью создания комфортных/приемлемых условий для жизнедеятельности (I_2 – затраты на жизнеобеспечивающую инфраструктуру (ЖКХ, жилищное строительство, транспорт и транспортная инфраструктура), на обеспечение приемлемых свойств внешней среды (экология, утилизация отходов жизнедеятельности, удержание характеристик среды в приемлемых пределах));

в) на потребление в широком смысле слова, то есть на обеспечение жизненного цикла конкретных членов общества (Q – затраты на питание, одежду, здравоохранение, образование, воспитание).

Функция $A_R(S)$ в уравнениях (4)-(6) определяется на основе статистических данных.

2.3. Базовые уравнения блока «Технологии» (Тх)

Нобелевский лауреат М.Кремер предложил формулу для динамики уровня развития технологий S в виде [8]:

$$dS/dt \approx c \cdot S \cdot N \quad (7)$$

где c – коэффициент, зависящий от исторической эпохи (от социальных факторов). Смысл формулы (7) следующий: относительный прирост количества технологических инноваций пропорционален количеству изобретателей, которые составляют определенный процент от общей численности населения N .

А.В.Коротаев [9] предложил в качестве количественного показателя, отражающего уровень развития технологий S , рассматривать величину производства ВВП на душу населения, а также ввести переменную

$$S' = T - m,$$

где m – постоянный коэффициент, играющий роль «прожиточного минимума» - доли произведенного продукта, строго направляемого на поддержания достигнутой численности населения. Таким образом, величина S имеет смысл «ресурса на душу населения, который может быть потрачен на дополнительные цели – расширенное воспроизводство населения, науку, искусство, развлечения и пр.». Соответственно, уравнение (7) предложено записать в виде:

$$dS'/dt \approx c \cdot S' \cdot N = c \cdot N \cdot (S - m). \quad (8)$$

Формула (8) ставит технологический прогресс в зависимость от наличия в обществе *избытка* ресурсов сверх «прожиточного минимума» m , то есть считается, что чем беднее общество, тем меньше в нем изобретательская активность.

С учетом (7) и (8) базовое уравнение для технологического прогресса можно записать в виде:

$$dS/dt \approx c \cdot N \cdot (S - S_0). \quad (9)$$

где в качестве количественного показателя уровня развития технологий S используется величина производства ВВП на душу населения, а S_0 – часть ВВП на душу населения, необходимая для обеспечения «прожиточного минимума». В отличие от величины m в формуле (8) величина S_0 в формуле (9) не является постоянной, она изменяется от эпохи к эпохе и последовательно растет, поскольку, чем более сложным является общество, тем больше требуется усилий и средств для создания базовых условий для поддержания жизнедеятельности⁷.

2.4. Базовые уравнения блока «Природа» (Пр)

Этот блок включает в себя основные уравнения, характеризующие динамику наиболее важных параметров природной среды, влияющих на жизнь людей. Прежде всего – это климатические изменения (обобщенный показатель – средняя температура атмосферы в приземном слое) и ресурсная обеспеченность (обобщенный показатель – доступный для использования объем природных ресурсов).

2.4.1. Динамика прироста температуры атмосферы ΔT из-за антропогенных факторов:

$$\Delta T = f(W_{CO_2}) = f(W_{CO_2}(E(N(t)), S)), \quad (10)$$

где ΔT в существенной степени зависит от выбросов CO_2 (W_{CO_2}), которые в свою очередь зависят от энергопотребления (E), зависящего от количества населения ($N(t)$), и технологий (S).

2.4.2. Базовое уравнение для расходования природных ресурсов R :

$$dR/dt = R^+ - R^-, \quad (11)$$

где R – общее количество доступного ресурса; R^- – уменьшение ресурса в единицу времени; R^+ – увеличение ресурса в единицу времени. Целесообразно разделить ресурсы на следующие категории:

а) ресурсы однократного использования невозпроизводимые (пример: уголь, нефть, газ);

б) ресурсы однократного использования воспроизводимые (пример: лес, рыба, животные);

в) ресурсы многократного использования (пример: земля).

Уравнение для ресурсов однократного использования невозпроизводимых (природные ископаемые):

$$dR/dt = R^+ - R^- = k^+_{R^+} \cdot q_{R^+} \cdot I_1 - F/A_R(S), \quad (12)$$

⁷ Например, жизнь в городе требует намного больше базовых затрат, чем жизнь в сельской местности (включая затраты на централизованное водоснабжение, канализацию, дороги, транспорт и т.п., без которых жизнь в крупном городе невозможна).

где $k^+_R \cdot q_R \cdot I_1$ – антропогенное восстановление/увеличение количества ресурса в единицу времени (например: открытие новых месторождений полезных ископаемых, расширение ресурсной базы за счет новых видов ресурсов и т.п.); q_R – доля от общих инвестиционных затрат I_1 , направляемая на восстановление/увеличение количества ресурса; k^+_R – эффективность восстановления/увеличения количества ресурса на базе текущего технологического уровня.

Уравнение для ресурсов однократного использования воспроизводимых (биоресурсы, воспроизводимые в природе):

$$dR/dt = R^+ - R^- = R^+_{np} + k^+_R \cdot q_R \cdot I_1 - R^-_{np} - k^-_R \cdot F, \quad (13)$$

где R^+_{np} – естественное восстановление количества ресурса в единицу времени; R^-_{np} – естественная убыль ресурса в единицу времени; $k^+_R \cdot q_R \cdot I_1$ – антропогенное восстановление/увеличение количества ресурса в единицу времени (например: посадка лесов, разведение рыб и животных и т.п.); q_R – доля от общих инвестиционных затрат I_1 , направляемая на восстановление/увеличение количества ресурса; k^+_R – эффективность восстановления/увеличения количества ресурса на базе текущего технологического уровня; $k^-_R \cdot F$ – антропогенное расходование ресурса; k^-_R – коэффициент пропорциональности.

Уравнение для ресурсов многократного использования (земля):

$$dR/dt = R^+ - R^- = k^+_R \cdot q_R \cdot I_1 - f_R(t), \quad (14)$$

где $k^+_R \cdot q_R \cdot I_1$ – антропогенное восстановление/увеличение количества ресурса в единицу времени (например: распашка целинных земель, рекультивация почв); $f_R(t)$ – антропогенное уменьшение количества ресурса в единицу времени (например: изъятие земель из с/х оборота, опустынивание).

Для ресурсов многократного использования важно изменение их качества A_R с течением времени:

$$A_R(t) = A^+_R(S) \cdot A^-_R, \quad (15)$$

где $A^+_R(S)$ – антропогенное повышение качества ресурса за счет технологий; A^-_R – антропогенное ухудшение качества ресурса вследствие его многократной эксплуатации.

2.5. Базовые уравнения блока «Экология» (Эл)

Этот блок включает в себя основные уравнения, отражающие влияние деятельности человека на природную среду.

2.5.1. Динамика накопления продуктов жизнедеятельности W_i :

$$dW_i/dt = W_i^+ - W_i^- = k^+_{wi} \cdot F - W_i^-_{np} - k^-_{wi} \cdot q_{wi} \cdot I_2, \quad (16)$$

где W_i – общее количество продуктов жизнедеятельности (отходов) i -го вида; W_i^+ – прирост продуктов жизнедеятельности (отходов) в единицу времени; k^+_{wi} – коэффициент пропорциональности, зависящий от технологий; $W_{i\text{np}}^-$ – естественная переработка (утилизация) продуктов жизнедеятельности (отходов) i -го вида в единицу времени; $k^-_{wi} \cdot q_{wi} \cdot I_2$ – антропогенная переработка (утилизация) продуктов жизнедеятельности (отходов) в единицу времени (например, захоронение, вторичное использование и т.п.); q_{wi} – доля от общих затрат I_2 , направляемая на переработку (утилизацию) продуктов жизнедеятельности (отходов) i -го вида; k^-_{wi} – эффективность переработку (утилизацию) продуктов жизнедеятельности (отходов) i -го вида на базе текущего технологического уровня.

2.5.2. Динамика антропогенного изменения баланса CO_2 в атмосфере⁸:

$$dW_{\text{CO}_2}/dt = W^+_{\text{CO}_2}(E(N(t)), S) - W^-_{\text{CO}_2}(S), \quad (17)$$

где $W^+_{\text{CO}_2}$ – антропогенная генерация CO_2 , $W^-_{\text{CO}_2}(S)$ – утилизация CO_2 .

2.5.3. Динамика **изменения характеристик внешней среды** U_j в результате антропогенного воздействия:

$$U_j = f_j(W_i), \quad (18)$$

где вид и характеристики функции $f_j(W_i)$ определяются на основе статистических и др. данных в каждом конкретном случае. Динамика изменения U_j сравнивается с допустимыми пределами (границами), определяемыми в каждом конкретном случае на основе дополнительных исследований.

2.6. Базовые уравнения блока «Социосфера» (Сц)

Социальное устройство в разных странах очень разное, оно обусловлено местными условиями, традицией, особенностями социальных взаимодействий и т.п. Для нас важны не частные особенности, а фундаментальные условия устойчивости функционирования СС и обеспечения воспроизводимости их основных характеристик на протяжении длительных исторических периодов, несмотря на постоянную смену поколений.

Важнейшими аспектами обеспечения устойчивости функционирования СС являются: эффективная экономика (материальный аспект), устойчивость и эффективность государственного управления (организационный аспект), духовно-идеологическое единство граждан (социально-психологический аспект). Первый аспект характеризует экономическую и военную независимость государства, способность удовлетворить материальные потребности граждан. Второй аспект характеризует насколько удается обеспечивать согласованность и эффективность действий всех экономических, политических и социальных структур в государстве. Третий аспект

⁸ Этот фактор выделен среди других факторов изменения характеристик окружающей среды в силу важности его влияния на изменение климата.

характеризует наличие стремления граждан к согласованным действиям. Дестабилизация любой из этих сфер (экономической, организационной, социально-психологической) приводит к неспособности государства сохранять свой суверенитет и к фактическому распаду государственных структур или подчинению их внешней силе. При этом все эти сферы влияют друг на друга, что приводит к нелинейным синергетическим эффектам, ускоряющим процессы дестабилизации. Особенности этого взаимного влияния зависят от структурных и функциональных особенностей СС. Анализ устойчивости СС в конкретном случае целесообразно проводить по следующей схеме:

1) анализ и формализация базовых экономических процессов и экономических взаимодействий между ключевыми социальными группами и акторами в виде логико-математической модели. Модель должна иметь динамический характер и должна позволять выявлять устойчивые состояния экономической системы (динамические аттракторы), а также соотношение параметров СС, при которых возможно существование этих состояний;

2) выявление и анализ основных противоречий (разнонаправленных интересов) между ключевыми акторами СС в экономической сфере. Данный анализ должен позволять понять, в какую сторону хочет каждый из акторов изменить параметры системы;

3) определение текущего равновесного состояния параметров системы и того, с помощью каких средств в организационной и социально-психологической сферах они достигаются, как поддерживаются текущие значения параметров при наличии имеющихся противоречий (такими средствами могут быть законы, традиции, частные договоренности и т.п.);

4) определение того, как и почему может быть нарушено текущее равновесие (как в результате изменения внешних условий, так и в результате стремления акторов улучшить свое состояние);

5) определение того, достаточно ли используемых средств в организационной и социально-психологической сферах для сохранения стабильности (устойчивости) системы. Определение критических значений ключевых параметров, при достижении которых происходит дестабилизация системы. Оценка риска дестабилизации.

В общем случае, если количество социальных групп в рассматриваемой СС равно N , то базовые процессы, отражающие экономическое взаимодействие этих групп и социально-экономическую устойчивость системы в целом, могут быть записаны следующим образом.

Уравнение для динамики материальных средств i -й социальной группы $X_i(t)$ ($i=1 \dots N$) имеет вид:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = (\text{доходы}) - (\text{потребление}) - (\text{инвестиции}) - (\text{чистые налоги}). \quad (19)$$

где «чистые налоги» - это налоги за вычетом субсидий, пособий и др. трансфертов, поступающих в соответствующую социальную группу из государственного бюджета; «доходы» включают в себя в том числе выплаты

из госбюджета по госзаказу.

Уравнение для динамики материальных средств государства $X_r(t)$ (баланс государственных доходов и расходов) имеет вид:

$$\frac{dX_r(t)}{dt} = (\text{чистые налоги}) - (\text{потребление}), \quad (20)$$

где «потребление» – это расходы на государственный аппарат, а также на госзакупки (госзаказ).

Итоговая система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dX_i}{dt} = F_i - Q_i - I_i - T_i \\ \frac{dX_r}{dt} = \sum_{i=1}^N T_i - Q_r \end{cases}, \quad (21)$$

где F_i – производственная функция i -й социальной группы (включая доходы от выполнения государственных заказов); Q_i – потребительские расходы i -й социальной группы; Q_r – расходы на государственный аппарат и другие государственные расходы; I_i – инвестиции i -й социальной группы, T_i – чистые налоги i -й социальной группы.

В ходе социально-экономических взаимодействий каждая социальная группа стремится увеличить свои доходы и снизить свою налоговую нагрузку. Естественно, что указанные стремления вступают в противоречие друг с другом в силу ограниченности общей ресурсной базы. Разнонаправленность интересов приводит к социальным и политическим противоречиям и конфликтам. В результате социального взаимодействия (противоборства) устанавливается временное равновесие, отражающее достигнутый компромисс. Механизм достижения компромисса – политический: по результатам взаимодействия партий и лидеров, отстаивающих интересы соответствующих социальных групп. Результат политической борьбы (и соответствующее временное равновесное состояние СЭС) в конечном итоге зависит от того, насколько значима экономическая и политическая поддержка социальных групп своим лидерам (уровень поддержки отражают, например, результаты выборов в представительные органы власти). Таким образом, в *долгосрочном* плане компромиссное состояние отражает фундаментальное соотношение экономического и политического влияния основных социальных групп, и в этом смысле оно закономерно. Однако в *краткосрочном* плане политические решения принимаются политическими акторами исходя из конъюнктурных соображений, а также исходя из их ожиданий по поводу будущего изменения ситуации (а не из текущих реалий). Поэтому текущие решения политических акторов могут быть весьма изменчивыми, а политическая ситуация может изменяться причудливым образом (нестабильность такого рода часто возникает во время политических кризисов во время политической неопределенности). Но устойчивыми и долговременными могут быть только такие состояния СС, которые отражают

реальную роль ключевых социальных групп в экономических и политических процессах.

Уравнения (21), отражающие процессы взаимодействия между социальными слоями, при необходимости должны быть дополнены уравнениями, отражающими особенности взаимодействия *внутри* социальных слоев (например, отражающими конкурентные взаимодействия между производителями товаров и услуг, которые влияют на экономическую динамику и технологическое развитие).

В зависимости от соотношений параметров система уравнений (21) может иметь или один, или несколько, или ни одного устойчивого состояния (аттрактора). Характеристики аттракторов позволяют судить о свойствах социальной системы и анализировать способы обеспечения ее устойчивости (в том числе, способы координации взаимодействия социально-экономических подсистем СС).

Несмотря на то, что описанный алгоритм ориентирован в основном на исследование экономических взаимодействий, он реально позволяет изучать вопросы социально-психологической стабильности общества и эффективности систем управления, поскольку от этих факторов существенным образом зависят параметры системы (21) и ее устойчивость к дестабилизации. Более подробно в привязке к конкретным ситуациям уравнения и соответствующие модели приведены в работах [10].

2.7. Базовые уравнения блока «Политика» (Пл)

Политическое взаимодействие – это тип отношений между политическими субъектами, в ходе которых они оказывают взаимное влияние друг на друга, стремятся оказать давление на принятие решений по вопросам, представляющим взаимный интерес.

Целью политических действий конкретного политического субъекта, как правило, является продвижение своих интересов, стимулирование (принуждение) другой стороны принимать решения, выгодные данному политическому субъекту, или решения, которые политический субъект считает целесообразными в рассматриваемой ситуации.

Поскольку нас интересуют прежде всего вопросы устойчивости функционирования социальных систем в различных условиях, то основными темами анализа и моделирования являются:

тема обеспечения внутренней социально-политической устойчивости общества, несмотря на различие интересов отдельных социальных групп и политических акторов;

тема формирования политической структуры общества, отношений «власть – общество», «элита – контрэлита» с учетом особенностей политической конкуренции внутри общества;

тема межгосударственных политических взаимодействий (взаимодействий, выходящих за рамки отдельных СС).

Базовыми уравнениями для моделирования указанных сюжетов являются уравнения, описывающие конкуренцию политических субъектов, а также уравнения, описывающие возможность согласованности действий

(синхронизации) субъектов, несмотря на наличие различий в их интересах. Более подробно в привязке к конкретным ситуациям уравнения и соответствующие модели приведены в работах [11].

3. Использование базовых уравнений как инструмента моделирования мировой динамики

При использовании математических методов для анализа и моделирования мировой динамики мы продолжаем традицию системной динамики Дж.Форрестора - Д.Медоуза [3], но при этом есть ряд важных отличий:

если основным в различных модификациях модели «Мир-3» является моделирование материальных потоков (ресурсов, загрязнений, населения, промышленного и сельскохозяйственного производства), то у нас не менее важным является моделирование *социальных* процессов, социальных взаимодействий в обществе;

если в модели «Мир-3» используется экстраполяция существующих тенденций в будущее, то у нас основной упор делается на анализе *механизмов* глобальных процессов, их изменений в прошлом и возможных изменений в будущем;

если в модели «Мир-3» решается задача Коши (то есть задаются начальные значения переменных и рассчитывается дальнейшая их динамика при различных вариантах изменения параметров модели), то у нас основным методом является построение фазовых портретов, анализ социальной самоорганизации и особенностей формирования устойчивых (воспроизводящихся) социальных структур в складывающихся условиях.

Проблема использования математического моделирования для *долгосрочного* прогнозирования заключается в следующем. Обычно пишут большое количество уравнений, отражающих различные процессы, и затем решают их на ЭВМ при различных сочетаниях параметров, входящих в данные уравнения. Получается много графиков, но анализировать их сложно (в силу сложности самих моделей), результаты оказываются непрозрачными. Как повысить содержательность и вместе с тем упростить процедуру получения результатов, сделать эти результаты более прозрачными и понятными?

Для долгосрочного моделирования и прогнозирования основной целью является определение условий устойчивости функционирования общества при его последовательных исторических трансформациях и – главное - анализ возможных вариантов будущего развития с точки зрения их устойчивости, как в отношении взаимодействия «общество-природа», так и в отношении социальных взаимодействий внутри общества. В силу многовариантности траекторий конкретных обществ важны не сами эти траектории, а общие закономерности динамики обществ рассматриваемого типа и анализ наличия устойчивых состояний, которые воспроизводятся в течение длительных периодов времени. Поэтому целесообразно рассмотрение не отдельных

траекторий, которых может быть огромное множество, а фазовых портретов базовых уравнений, характеризующих рассматриваемые типы обществ, так как именно фазовый портрет позволяет увидеть общую картину и понять логику эволюции социальной системы.

Построение фазового портрета возможно, если динамика показателей рассматриваемой социальной системы может быть описана на языке обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$dX/dt = f(X, a, t) = X^+ - X^- \quad (22)$$

где $X = (X_1, \dots, X_n)$ - вектор зависимых переменных, характеризующих состояние социальной системы; dX/dt - скорость изменения переменных X ; t - время; $f(X, a, t)$ - вектор-функция (в общем случае нелинейная), отражающая изменение этих переменных во времени путем сопоставления процессов, ведущих к увеличению величины соответствующей переменной (функция X^+), и процессов, ведущих к уменьшению этой переменной (функция X^-); $a = (a_1, \dots, a_m)$ - вектор параметров системы, в общем случае зависящих от времени.

Решения уравнений (22) можно представить в виде траекторий $X(a, t)$ в фазовом пространстве системы (см. рис.7).

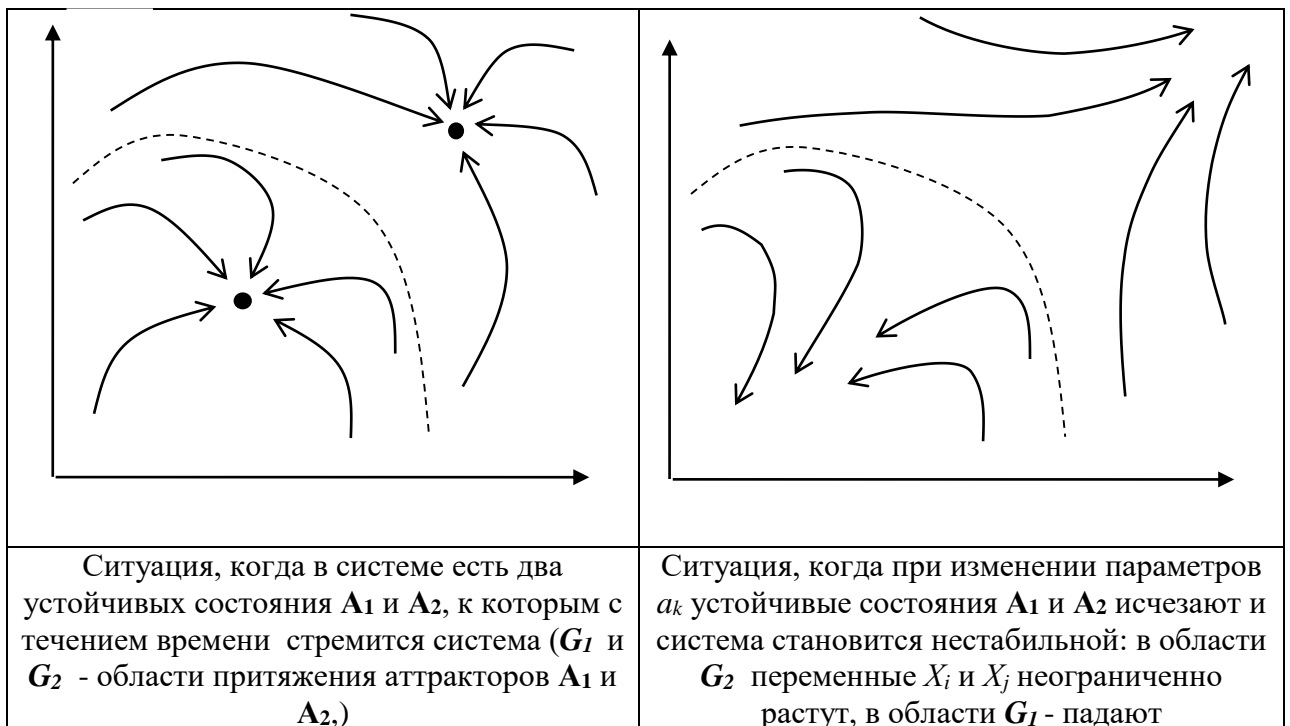


Рисунок 7. Различные виды фазового портрета сложной динамической системы

На рисунке точки A_1 и A_2 – устойчивые состояния системы (аттракторы) типа «узел», к которым стремится система в результате своей эволюции; области G_1 и G_2 – области притяжения аттракторов (если система находится в какой-либо точке фазового пространства, принадлежащей этим областям, то с течением времени она окажется, соответственно, в точке A_1 или A_2). Анализ фазовых траекторий позволяет делать заключения о характере эволюции

системы, определять области ее детерминированного поведения и области *бифуркаций* (то есть области параметров, при которых возникает неустойчивость и происходит изменение числа и/или вида решений системы (22)). Как правило, переход от устойчивого к неустойчивому состоянию и наоборот происходит при изменении какого-либо из параметров a_i системы (22). В этом случае данный параметр называется *параметром порядка*. Посредством уменьшения (или увеличения) значений параметров порядка можно влиять на поведение системы, на изменение ее состояния. Выявление параметров порядка в модели (22) и их критических значений (то есть значений, при которых происходят бифуркации состояний) помогает выбирать оптимальные способы управления реальными системами.

Таким образом, описание процессов функционирования социальных систем на языке дифференциальных уравнений (22), описывающих механизмы изменения ключевых характеристик, и последующее построение фазовых портретов (см. рис.7) позволяет понять закономерности эволюции данных систем, а также особенности социальной самоорганизации, параметры устойчивых состояний (если таковые существуют), границы и характер устойчивости, а также условия, при которых устойчивые состояния исчезают.

В нашем случае необходим анализ системы уравнений, описывающих взаимодействие всех сфер человеческой деятельности (см. схему на рис.5 и базовые уравнения (1) - (21)). Если следовать традиционным путем и решать задачу Коши, проводя расчеты на ЭВМ при различных сочетаниях параметров, то в результате получался большой набор расчетных данных, но при этом будет отсутствовать уверенность, что информационная картина полна, и будет трудно предсказать, что будет, если изменить значения каких-либо параметров модели.

Поэтому когда на первый план выходит анализ устойчивости функционирования, воспроизводства и эволюции природно-социальных систем, более продуктивен метод, основанный на построении фазовых портретов и исследовании их особенностей. Как уже упоминалось выше, проблема заключается в том, что когда переменных (а значит и уравнений) много, то фазовый портрет получается многомерным, что снижает наглядность и усложняет анализ.

В нашем случае, когда требуется, не утонув в деталях, выявить фундаментальные закономерности мировой динамики, целесообразно использовать базовые уравнения, отражающие наиболее важные процессы. При этом необходимо учитывать, что эти процессы имеют различную скорость протекания. Это облегчает задачу анализа и макро моделирования, поскольку делает возможным использование теоремы А.Н.Тихонова о предельном переходе при решении систем дифференциальных уравнений. Поскольку характерные времена процессов, которые описывает система базовых уравнений (1) - (21), достаточно сильно отличаются друг от друга, в соответствии с указанной теоремой при рассмотрении конкретных ситуаций можно часть дифференциальных уравнений заменять алгебраическими уравнениями, а некоторые переменные считать медленно меняющимися величинами, определяемыми за рамками рассматриваемой системы

уравнений. Тем самым появляется возможность поэтапного рассмотрения взаимодействий, отраженных на [рис.5](#), со снижением размерности фазовых портретов, рассматриваемых на каждом из этапов.

Характерные времена процессов, отраженных на [рис.5](#), следующие: природные процессы (Пр) – сотни лет; экологические изменения (Эл) – десятки и сотни лет; технологические изменения (Тх) – сотни лет⁹; демографические изменения (Дм) – длительность смены поколений (20-25 лет); экономические процессы (Эн) – если рассматриваются производственные циклы, то год (в сельском хозяйстве) и менее (в промышленности), если рассматривается динамика экономических укладов, то десятки лет и более; социальные процессы (Сц) – длительность смены поколений и более; политические процессы (Пл) – если рассматриваются эволюционные процессы, то длительность смены поколений и более, если рассматриваются ситуации нестабильности (реформы, революции, войны), то годы.

С учетом указанных выше отличий характерных времен процессов появляется возможность выделить в специализированные блоки следующие группы взаимодействий: взаимодействия «общество-природа», с выделением подгрупп взаимодействий Дх – Тх – Эн (демографо-экономические процессы, характерное время – десятки лет) и Эн – Тх – Эл – Пр (влияние человека на природу и обратное влияние природной среды на человеческое общество, характерное время – десятки-сотни лет), а также социальные взаимодействия, с выделением подгрупп взаимодействий Сц – Эн – Дм (социально-экономические процессы, характерное время – десятки лет) и Сц – Пл – Дм (социально-политические процессы, характерное время – единицы-десятки лет). В истории человеческого общества определяющими являлись демографо-экономические процессы (Дх – Тх – Эн), они происходили в условиях взаимодействия с более медленными природными процессами (Эн – Тх – Эл – Пр) и определяли характер протекания более быстрых социально-экономических (Сц – Эн – Дм) и социально-политических (Сц – Пл – Дм) процессов. Такая иерархия взаимодействий позволяет рассматривать многообразие процессов, отображенных на [рис.5](#), поэтапно, переходя от одной темы к другой, каждый раз концентрируясь на наиболее важных для рассматриваемого блока вопросов процессах при учете всех остальных как дополнительных. При таком подходе размерность фазового пространства на каждом этапе можно уменьшить, сделать фазовый портрет наглядным (по типу того, как это представлено на [рис.7](#)), а более медленные переменные учитывать как факторы, влияющие на смещение равновесных состояний (точки A_1 и A_2 на [рис.7](#)) на более длительных интервалах времени.

В соответствии с вышесказанным систему уравнений (1) - (21) целесообразно сгруппировать в несколько блоков.

А) Блок моделирования демографо-экономической динамики (базовая модель Дм-Тх-Эн)

⁹ Во времена технологических революций характерное время изменений может сокращаться до десятков лет.

Ключевыми для математического описания демографо-экономических процессов являются уравнения (1), (3), (9), адаптированные к рассматриваемой исторической эпохе. Они характеризуют демографическую динамику, обусловленную возможностями экономического развития (имеющейся ресурсной базой), которые в свою очередь зависят от уровня развития технологий.

Б) Блок моделирования взаимодействий «человек – природа» (базовая модель Эн-Эл-Пр)

Основным фактором влияния человека на природу является экономическая деятельность, определяемая развитием технологий. Это влияние приводит к изменению природной среды, биохимических и биологических циклов, ландшафтов, климата, что в свою очередь влияет на жизнедеятельность и может привести к потере устойчивости во взаимодействии человеческого общества и природы. Ключевыми для математического описания влияния человеческой деятельности на природу и обратного влияния природной среды на человеческое общество являются базовые уравнения (10), (12), (13), (14), (16), (17), (18), адаптированные к рассматриваемой исторической эпохе.

В) Блок моделирования социально-экономической устойчивости

В блок моделирования социально-экономической устойчивости входят:

- **базовая модель экономических и внеэкономических взаимодействий основных социальных групп.** Ключевыми для математического описания социально-экономических процессов в обществе являются уравнения (1), (21), адаптированные к рассматриваемой исторической эпохе и предметной области. Они отражают экономические отношения, динамику численности основных социальных групп, закономерности формирования социальной структуры общества, базовых социально-экономических отношений и взаимодействий в рассматриваемый исторический период, а также позволяют определить условия социально-экономической устойчивости общества (то есть условия, обеспечивающие устойчивость социальной структуры и социальных взаимодействий);

- **базовая модель экономической конкуренции.** Экономические взаимодействия играют большую роль не только в отношениях между различными социальными группами, но и в отношениях *внутри* групп. В этом смысле важным фактором экономического развития является внутригрупповая экономическая конкуренция (например, конкуренция между предпринимателями или фирмами за рынки сбыта). Характер экономической конкуренции влияет на социальные и политические процессы, оказывает сильное воздействие на технологическое развитие. Математическое описание базовой модели экономической конкуренции, используемой при моделировании социально-экономической устойчивости общества, приведено в работе [12].

Г) Блок моделирования социально-политической устойчивости

В блок моделирования социально-политической устойчивости входят:

- **базовая модель оценки социально-политической устойчивости/дестабилизации функционирования социальных систем.** В этой модели ключевыми являются уравнения, описывающие синхронизацию/рассинхронизацию действий социальных акторов, обусловленную экономическими, политическими, психологическими, идеологическими и другими факторами. Модель позволяет анализировать, как при изменении этих факторов увеличивается/уменьшается степень согласованности/рассогласованности действий членов общества, а также оценивать риск перехода общества из стабильного в нестабильное состояние. Математическое описание базовой модели оценки социально-политической устойчивости/дестабилизации функционирования социальных систем приведено в работах [13];

- **базовая модель политической конкуренции.** В обобщенном виде данная модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих изменение соотношения сил политических групп/акторов (в политической, экономической, силовой, идеологической сферах) в результате конкурентной борьбы:

$$du_i/dt = A_i(u_i) - B_i(u_i) + \sum_{j \neq i} C_{i,j}(u_i, u_j), \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (23)$$

Здесь t – время; u_i – показатель, характеризующий «силу» (степень влияния, доминирования, экономической мощи и т.п.) i -го политического актора в момент времени t . Член $A_i(u_i)$ описывает воспроизводство (возобновление) «силы» i -го актора. Член $B_i(u_i)$ описывает снижение «силы» i -го актора вследствие естественных процессов, не связанных с конкурентной борьбой (отрицательные обратные связи в социальной системе, ресурсные ограничения и т.п.), и вследствие внутривидовой борьбы (конкуренция подсистем i -го актора между собой). Члены $C_{i,j}(u_i, u_j)$ описывают взаимодействие между акторами. В случае, когда это взаимодействие – конкурентное, данные члены отрицательны, поскольку в конкурентной борьбе акторы стремятся подавить (ослабить) друг друга. В процессе конкурентной борьбы могут возникать коалиции (временные союзы), когда несколько акторов объединяют свои усилия для того, чтобы совместно противостоять общему противнику. В этом случае члены $C_{i,j}(u_i, u_j)$, описывающие взаимодействие членов коалиции, принимают положительные значения, поскольку они помогают друг другу в борьбе против общего противника;

- **базовая модель межгосударственных взаимодействий.** Базовая модель межгосударственных взаимодействий аналогична модели (23), но в ней существенную роль могут играть пространственные переменные, поскольку межгосударственная борьба часто разворачивается в пространстве (например, классические «горячие» войны). Данная базовая модель изложена в работах Д.С.Чернавского [14] и имеет вид:

$$\partial u_i / \partial t = A_i(u_i, x, y) - B_i(u_i, x, y) + \sum_{j \neq i} C_{i,j}(u_i, u_j) + D_i(u_i, x, y), \quad (24)$$

Здесь $i, j = 1, 2, 3, \dots, N$; t – время; x, y – пространственные координаты; u_i – показатель, характеризующий «силу» (степень влияния, доминирования, экономической и военной мощи и т.п.) i -й СС в момент времени t в точке пространства (x, y) . Член $A_i(u_i, x, y)$ описывает воспроизводство (возобновление) «силы» i -й СС. Член $B_i(u_i, x, y)$ описывает снижение «силы» i -й СС вследствие естественных процессов (отрицательные обратные связи в социальной системе, ресурсные ограничения и т.п.) и внутривидовой борьбы (внутренняя конкуренция подсистем i -й СС). Члены $C_{ij}(u_i, u_j)$ описывают межгосударственное взаимодействие. В случае, когда это взаимодействие – конкурентное, данные члены отрицательны. Если взаимодействие взаимовыгодное (например, в экономической сфере), то члены $C_{ij}(u_i, u_j)$ принимают положительные значения.

Моделирование мировой динамики

Изложенный выше подход был использован для моделирования макроисторической динамики и анализа вариантов дальнейшего мирового развития. Ниже представлен краткий обзор результатов исследований. Последовательно рассмотрены доиндустриальная эпоха (аграрное общество), индустриальная эпоха, наступающая постиндустриальная эпоха.

1. Моделирование аграрного общества

1.1. В человеческой истории существовало и существует великое множество различающихся друг от друга аграрных обществ. Для нас важны основные типологические черты, характерные для аграрных обществ доиндустриальной эпохи. К этим чертам отнесем следующие:

- основным видом производственной деятельности аграрного общества является сельскохозяйственное производство (земледелие и/или животноводство);

- основной ресурс R – земля, при этом площадь плодородных земель ограничена;

- основной производственной единицей является домашнее хозяйство: семья, обрабатывающая участок земли определенной площади. Преобладает натуральное хозяйство, основной целью сельскохозяйственного производства домашнего хозяйства является собственное потребление;

- демографическая динамика характеризуется зависимостью, изображенной на [рис.6\(А\)](#).

С учетом вышесказанного базовые уравнения (1), (3), (9) модели Дм-Тх-Эн для типового аграрного общества приобретает следующий вид.

1.1.1. Обобщенное уравнение демографической динамики.

Базовое уравнение (1), отражающее характер демографической динамики, характерный для аграрного общества и изображенный на [рис.6\(А\)](#), может быть записано в виде:

$$dN/dt \approx r \cdot N \cdot (1 - x_0/x) \quad (25)$$

В соответствии с этим уравнением, если средний уровень благосостояния в обществе x снижается ниже критического значения x_0 , то начинается процесс депопуляции (из-за аномального роста смертности), в обратном случае, когда $x > x_0$, происходит рост населения (прежде всего вследствие снижения детской смертности при высокой фертильности).

1.1.2. Обобщенное уравнение **экономической** динамики.

Для аграрного общества основным производимым продуктом является сельскохозяйственная продукция, предназначенная для потребления (прежде всего – продукты питания). Непродовольственная продукция в общем выпуске составляет малую долю. Соответственно, в первом приближении величиной I_2 можно пренебречь и считать, что основной вклад в величину I_1 вносит посевной фонд (то есть часть урожая, резервируемая крестьянами для посева в будущем году). То есть уравнение (3) принимает вид:

$$dx/dt \approx (F(R, I_1) - I_1)/N - Q \approx (F(R, I_1) - I_1)/N - q \cdot x, \quad (26)$$

где $q \cdot x$ – потребление (предполагается, что потребление пропорционально накоплениям: чем больше материальных благ x , тем больше их потребление; q – коэффициент пропорциональности).

При анализе экономической динамики в аграрном обществе, необходимо рассматривать ситуации, когда 1) ограничения по ресурсам отсутствуют (ресурсы доступны в избытке) и 2) когда ресурсы в дефиците.

В первом случае плотность населения низкая, земля не является дефицитом. Общее производство (собираемый урожай) зависит от количества производственных единиц (домохозяйств), их трудозатрат, от плодородия земли и от того, какую площадь земли¹⁰ в среднем обрабатывает одно домохозяйство. Соответственно, в этом случае

$$F = A_R(S) \cdot V = \gamma \cdot R' \cdot N, \quad (27)$$

где R' – средняя площадь обрабатываемых угодий на душу населения, γ – урожайность.

Во втором случае плотность населения высокая, земля является дефицитом. Общее производство (собираемый урожай) зависит лишь от общей площади обрабатываемой земли и от урожайности. Соответственно, в этом случае

$$F = A_R(S) \cdot V = \gamma \cdot R_0, \quad (28)$$

где R_0 – общая площадь обрабатываемых угодий.

¹⁰ Считается, что в условиях отсутствия дефицита земли площадь участка, которое обрабатывает домохозяйство, определяется потребностями и физическими возможностями домохозяйства.

Соответственно, в первом случае уравнение (26) принимает вид:

$$dx/dt \approx \gamma' \cdot R' - q \cdot x, \quad (29)$$

где γ' - урожайность за вычетом посевного фонда. При этом уровень благосостояния превышает величину x_0 и равен $x_1 = \gamma' \cdot R' / q$.

Во втором случае уравнение (26) принимает вид:

$$dx/dt \approx \gamma' \cdot R_0 / N - q \cdot x. \quad (30)$$

Видно, что если в первом случае доходы на душу населения постоянны, то во втором случае они уменьшаются по мере роста населения. Критическим параметром (параметром порядка) перехода от режима (29) к режиму (30) и обратно является численность населения в рассматриваемом обществе: если $N < R_0/R'$, то реализуется режим (29), в обратном случае – режим (30).

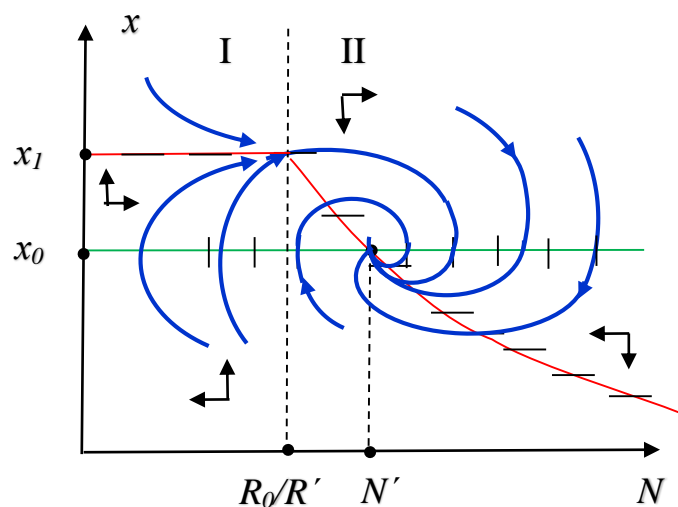
1.1.3. Обобщенное уравнение **технологической** динамики.

В базовой модели считается, что производство осуществляется на основе *традиционных* технологий, производительность труда если и растет, то весьма медленно. Это позволяет считать, что¹¹:

$$dS/dt \approx c \cdot N \cdot (S - S_0) \approx 0. \quad (31)$$

Поскольку технологии в аграрном обществе влияют в основном на величины γ и R' , то эти величины в типовых случаях можно считать постоянными.

1.2. В соответствии с (25) - (31) фазовый портрет типового аграрного общества имеет вид (рис.8):



¹¹ Медленный технологический рост – характерная черта аграрного общества, что позволяет в базовой модели при рассмотрении типовых случаев считать, что $dS/dt \approx 0$. Однако в отдельные исторические периоды технологический рост убыстрялся, что влекло за собой также и серьезные демографические и социальные изменения. Эти ситуации рассмотрены далее.

Рисунок 8. Фазовый портрет типового аграрного общества (синие стрелки – фазовые траектории, зеленая и красная линии – изоклины)

Область I на фазовом портрете (при $N < R_0/R'$) соответствует ситуации отсутствия ограничений по земельным ресурсам, область II на фазовом портрете (при $N > R_0/R'$) соответствует ситуации дефицита земельных ресурсов. В области I равновесное значение x_1 превышает критический уровень выживания x_0 , поэтому в соответствии с (25) численность населения растет. Однако при этом неизбежен переход в область II, где система имеет устойчивое состояние равновесия (аттрактор) с координатами $x' = x_0$ (то есть это общество низкого достатка) и $N' = \gamma' \cdot R_0 / (x_0 \cdot q)$ (N' – это демографическая емкость территории¹²). При этом видно, что в области II увеличение N приводит к уменьшению x и наоборот (то есть N и x находятся в обратно пропорциональной зависимости). Это приводит к «мальтузианской ловушке» (то есть к невозможности проживания на конкретной территории населения, численность которого превышает демографическую емкость N' этой территории) и к *демографическим циклам* (колебаниям численности населения). Основная причина демографических циклов заключается в том, что демографический рост в условиях неизменной (или медленно растущей) ресурсной базы сопровождается снижением благосостояния x основной массы населения вплоть до уровня физического выживания x_0 , вследствие чего резко возрастает социальная напряженность, которая в конечном итоге приводит к социальному взрыву и гражданской войне¹³. Основным результатом гражданских войн с демографической точки зрения является быстрое снижение численности населения до уровня, меньшего N' , что в свою очередь приводит к увеличению x выше критического уровня x_0 и к запуску нового демографического цикла. Иллюстрацией вышесказанному является [рис.9](#), где приведены исторические данные по демографической динамике Китая в доиндустриальный период, представляющие собой демографические циклы.

¹² При этом надо иметь в виду, что демографическая емкость территории может расти (а аттрактор – смещаться в сторону более высоких значений N), если увеличивается производительность труда (растет урожайность γ).

¹³ Альтернативным способом удержания значения x на уровне выше x_0 в аграрном обществе было непрерывное расширения площади обитания общества R_0 (миграции, захватнические войны) либо искусственное ограничение роста численности населения (например, путем инфантицида, практики поздних браков и т.д.).

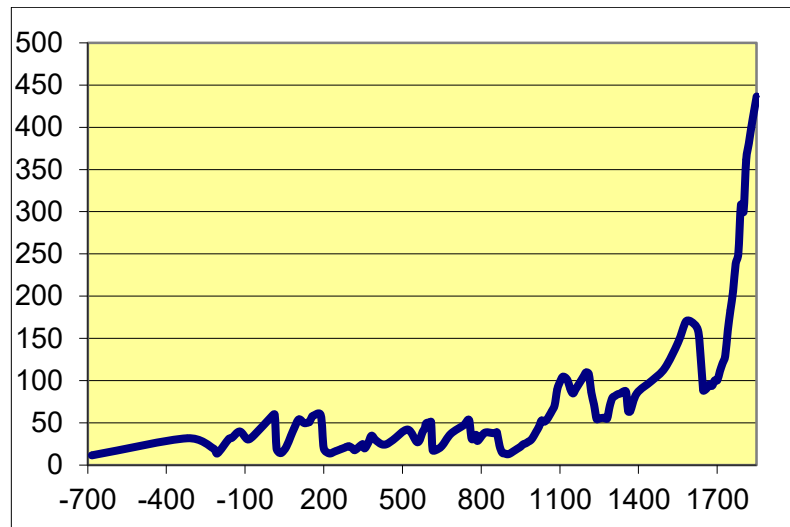


Рисунок 9. Демографическая динамика в Китае (млн чел.) в период с 7 века до н.э. по 18 век н.э.

2. Моделирование индустриального общества

2.1. Наиболее важными типологическими чертами, характерными для индустриальных обществ (период ориентировочно с середины 18 века до начала семидесятых годов 20 века), являются следующие:

- основным видом производственной деятельности индустриального общества является промышленное производство (продукция сельского хозяйства составляет небольшую долю от ВВП);

- движущей силой экономического развития является технологический прогресс, постепенная замена ручного труда машинным;

- за счет технологического прогресса периодически возникающие ресурсные ограничения как правило снимаются за счет введения в оборот новых ресурсов или более эффективного их использования;

- преобладает специализированное промышленное (полупромышленное) производство, ориентированное на рынок. Основной производственной единицей является предприятие с использованием различных видов энергии, машин и механизмов¹⁴, а также наемного труда для обслуживания машин и механизмов. Основной целью производства является продажа произведенной продукции на рынке и получение прибыли;

- демографическая динамика характеризуется зависимостью, изображенной на рис.6(А) (с постепенным переходом в развитых странах на зависимость, изображенную на рис.6(Б)).

С учетом вышесказанного базовые уравнения (1), (3), (9) модели Дм-Тх-Эн для типового индустриального общества приобретает следующий вид.

2.1.1. Обобщенное уравнение демографической динамики.

Базовое уравнение (1), отражающее характер демографической динамики, характерный для классического индустриального общества и изображенный

¹⁴ При этом функционирование машин и механизмов основано на использовании различных видов энергии: тепловой, электрической, механической и др.

на рис.6(A), может быть записано в виде (25). Оно означает, что при превышении уровнем благосостояния x критического значения x_0 общество выходит из «мальтузианской ловушки» и начинается рост населения вследствие снижения смертности (прежде всего младенческой).

2.1.2. Обобщенное уравнение экономической динамики.

Для индустриального общества основным производимым продуктом является промышленная продукция, доля сельскохозяйственной продукции, предназначенной для потребления (прежде всего – продуктов питания), последовательно падает. Растет урбанизация (то есть численность людей, живущих в городах в условиях высокой плотности населения). Соответственно, растут затраты на «преобразование внешней среды с целью создания комфортных/приемлемых условий для жизнедеятельности» (I_2). При этом увеличение производства поглощается увеличением потребления (стремление к потреблению выше возможностей производства, что обеспечивает непрерывный рост спроса¹⁵). Уравнение (3) принимает вид:

$$dx/dt \approx (F(R, I_1) - I_1 - I_2)/N - Q \approx (F(R, I_1) - I_1 - I_2)/N - q \cdot x, \quad (32)$$

где $q \cdot x$ – потребление (предполагается, что потребление пропорционально накоплениям: чем больше материальных благ x , тем больше их потребление; q - коэффициент пропорциональности).

Как упоминалось выше, необходимо разделять ситуации, когда 1) ограничения по ресурсам отсутствуют (ресурсы доступны в избытке) и 2) когда ресурсы в дефиците.

Особенностью индустриального развития в период до середины 20 века было то, что оно происходило по существу в рамках первой ситуации, поскольку благодаря технологическому прогрессу периодически возникавшие ресурсные ограничения снимались путем введения в оборот новых ресурсов, а также за счет более эффективного их использования¹⁶.

Соответственно, производственная функция в этом случае записывается в виде (4), а основными факторами производства является количество производителей (рабочей силы) и сопряженных с ними средств труда. Для отражения этой ситуации в макроэкономических моделях обычно используют функцию Кобба-Дугласа. В модифицированном виде она может быть записана следующим образом:

$$F = A_R(T) \cdot V = A \cdot N^u \cdot K^v \quad (33)$$

где считается, что количество рабочей силы пропорционально N (то есть доля работников в общей численности населения – величина стабильная), A – общефакторная производительность (зависящая прежде всего от уровня технологического развития), K - производственный капитал (зависящий от инвестиций I_1), u и v - показатели степени, отражающие убывающую отдачу

¹⁵ Это необходимое условие для эффективности капитализма как системы.

¹⁶ Также развитые индустриальные страны снимали свои ресурсные ограничения путем эксплуатации колоний и за счет неравноправного экономического взаимодействия с менее развитыми странами.

факторов производства ($u < 1, v < 1$) и характеризующие соотношение между факторами производства N и K . Это соотношение с течением времени изменяется: в аграрную эпоху преобладал ручной труд (соответственно, $u \rightarrow 1, v \rightarrow 0$), по мере последовательной замены ручного труда машинным величина u уменьшается, а величина v – растет.

Таким образом, уравнение (32) принимает вид:

$$dx/dt \approx (A \cdot N^u K^v - I_1 - I_2)/N - q \cdot x \approx A \cdot N^u \cdot K^v / N - q \cdot x - \alpha_1 \cdot x - \alpha_2 \cdot x, \quad (34)$$

где принято, что величины I_1 и I_2 в отсутствие жестких ресурсных ограничений растут пропорционально росту X : $I_1/N \approx \alpha_1 \cdot x$, $I_2/N \approx \alpha_2 \cdot x$ (коэффициенты α_1 и α_2 могут с течением времени изменяться). С учетом того, что $A \cdot N^u \cdot K^v / N$ – это ВВП на душу населения и того, в рамках базовой модели ВВП на душу населения – это мера измерения технологического прогресса, то уравнение (34) может быть записано в виде:

$$dx/dt \approx S - q \cdot x - \alpha_1 \cdot x - \alpha_2 \cdot x. \quad (35)$$

2.1.3. Обобщенное уравнение **технологической** динамики.

В индустриальную эпоху технологический прогресс становится важнейшим фактором экономической динамики (от него в определяющей степени зависит общефакторная производительность A , а также величина K в уравнениях (34) и (35)). Для описания технологической динамики используется базовое уравнение (9), в котором величины c и S_0 определяются на основе статистических данных.

2.2. Таким образом, основными уравнениями, определяющими экономико-демографическую динамику индустриального общества в период до **семидесятых** годов 20 века, являются уравнения (25), (35), (9):

$$dN/dt \approx r \cdot N \cdot (1 - x_0/x), \quad (36)$$

$$dx/dt \approx S - q \cdot x - \alpha_1 \cdot x - \alpha_2 \cdot x, \quad (37)$$

$$dS/dt \approx c \cdot N \cdot (S - S_0). \quad (38)$$

При этом характерное время экономического уравнения (37) – это производственный цикл (год и менее), демографического уравнения (36) – поколенческий цикл (25-30 лет). Характерное время технологического уравнения (38) в период становления индустриального общества превышает время поколенческого цикла (технологический рост был еще медленным и только набирал обороты, прежде всего – в Англии, где были созданы для этого условия), а к середине 20 века становится меньше поколенческого цикла (скорость технологических изменений превышает скорость демографического роста). В связи с этим целесообразно разделить развитие индустриального общества на две фазы:

первая фаза – 18 век (период преобладания мануфактурного производства и начало промышленной революции в Англии);

вторая фаза – 19 век - шестидесятые годы 20 века (завершение промышленной революции, формирование капитализма как ведущей социально-экономической системы).

Переход ко второй фазе – это формирование общества с высокой степенью урбанизации и преобладанием промышленной продукции над сельскохозяйственной в ВВП. Если на первой фазе «прожиточный минимум» x_0 соответствовал «прожиточному минимуму» аграрного общества¹⁷, то на второй фазе величина «прожиточного минимума» начинает увеличиваться, поскольку в урбанизированном обществе¹⁸ жизнеобеспечение в городах требует затрат дополнительных ресурсов на ЖКХ, строительство, водо- и энергоснабжение, транспорт и т.п. В связи с этим возникает задача оценки роста x_0 на второй фазе развития индустриального общества.

Как уже отмечалось выше, в системе уравнений (36)-(38) переменная x является «быстрой» переменной по отношению к переменным N и S , поэтому по теореме Тихонова дифференциальное уравнение (37) можно заменить на алгебраическое уравнение

$$S - q \cdot x - \alpha_1 \cdot x - \alpha_2 \cdot x \approx 0, \quad (39)$$

откуда следует:

$$x \cdot (q + \alpha_1 + \alpha_2) \approx S, \text{ а также } x_0/x \approx S_0/S. \quad (40)$$

Соответственно, уравнение (37) может быть записано в виде:

$$dS/dt \approx c \cdot S \cdot N \cdot (1 - x_0/x), \quad (41)$$

а уравнение (36) – в виде:

$$dN/dt \approx r \cdot N \cdot (1 - S_0/S), \quad (42)$$

где $S_0(t)$ – минимальное значение ВВП на душу населения, которое необходимо для обеспечения «прожиточного минимума» в период времени t . Такой уровень ВВП/чел. характерен для стран мир-системной Периферии. Если говорить о мир-системе в целом, то динамику изменения $S_0(t)$ отражает динамика роста среднемирового ВВП/чел., поскольку основной вклад в этот показатель вносят именно страны мир-системной периферии, в которых проживает основная часть населения Земли¹⁹. На рис.10 представлен график, показывающий связь между среднемировым значением ВВП/чел. и численностью населения Земли в период с 1000 по 1980 год.

¹⁷ По оценкам А.Мэддисона – порядка 500 долларов США (1990 года) в год.

¹⁸ В Англии доля городского населения достигла 50% к 1850 году.

¹⁹ При этом значение ВВП/чел. в развитых странах может превышать среднемировой уровень в несколько раз.

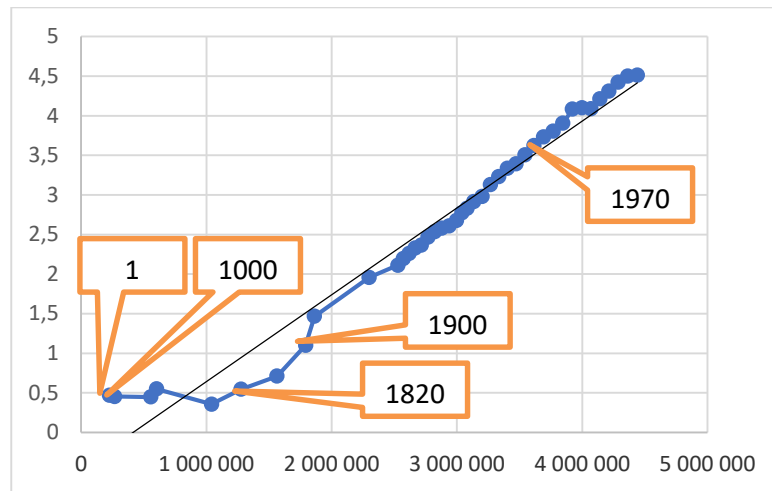


Рисунок 10. Связь между среднемировым значением ВВП/чел. (ось ординат, тыс. долл. 1990 года) и численностью населения Земли (ось абсцисс, тыс. чел.) в период с 1 года нашей эры по 1980 год. Источник данных [1]

Видно, что до начала 19 века среднемировое значение ВВП/чел. практически не изменялось и было равно примерно 500 долл. 1990 года, что отражает постоянство x_0 в условиях «мальтузианской ловушки». Однако затем, во второй фазе развития индустриального общества, среднемировое значение ВВП/чел. стало расти и начиная с начала 20 века росло строго пропорционально численности населения (см. рис.11).

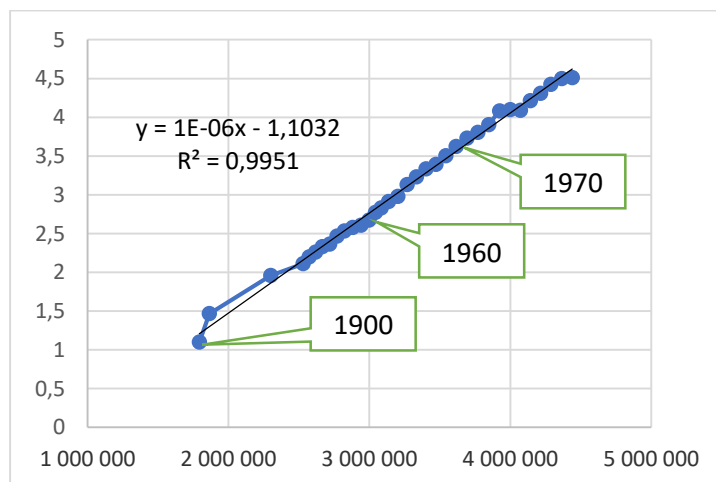


Рисунок 11. Связь между среднемировым значением ВВП/чел. (ось ординат, тыс. долл. 1990 года) и численностью населения Земли (ось абсцисс, тыс. чел.) в период с 1900 по 1980 год. Источник данных [1]

Имея в виду тесную связь между среднемировым значением ВВП/чел. и численностью населения Земли, выражение, отражающее рост значения x_0 во второй фазе развития индустриального общества (то есть с начала 19 века), может быть записано в виде:

$$x_0(t) \approx x_0 \cdot (1 + b \cdot N(t)/N(1800)), \quad t \geq 1800, \quad (43)$$

где x_0 соответствует «прожиточному минимуму», характерному для аграрного общества.

Фазовый портрет системы (36)-(38), (43) в координатах x и N имеет вид, изображенный на рис.12.

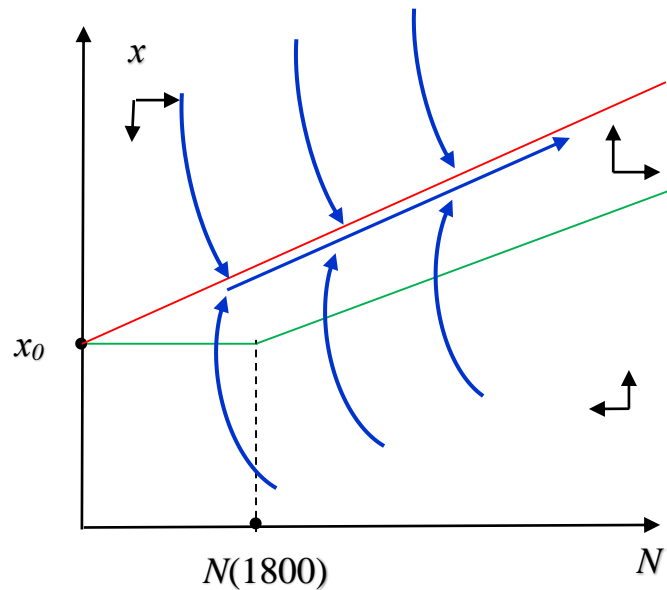


Рисунок 12. Фазовый портрет индустриального общества (синие стрелки – фазовые траектории, зеленая и красная линии – изоклины)

Видно, что в отличие от аграрного общества (см. рис.8) фазовый портрет индустриального общества (см. рис.12) не имеет точки устойчивого равновесия. Это является следствием того, что в отличие от аграрного общества, где существовала обратная *отрицательная* связь между x и N (чем больше N , тем меньше душевой доход в силу ограниченности земельного ресурса, см. уравнение (30)), в индустриальном обществе возникает обратная *положительная* связь между x и N (чем больше N , тем больше изобретателей и изобретений, повышающих производительность труда и в конечном итоге - душевой доход). Соответственно, «общество ограничений», каковым было аграрное общество, превращается в «общество роста». При этом обратная положительная связь, охватывающая уравнения (36)-(38) с течением времени усиливается, что приводит не просто к экспоненциальному, а к взрывному, *гиперболическому* росту, что подтверждается статистическими данными по мировой демографии и экономике до 60-х годов 20 века (см. рис.1 и рис.2).

Особенностью гиперболического роста является то, что он заканчивается *сингулярностью*, когда в определенный момент времени рассматриваемый показатель уходит в бесконечность. Однако понятно, что реальный рост не может быть бесконечным, поэтому неизбежно должны возникнуть причины и механизмы, переводящие систему из режима неограниченного роста в более спокойный режим развития. Понятно также, что общество при этом должно существенным образом измениться. По существу, речь идет о *глобальном фазовом переходе* мировой системы из одного состояния в другое, и мы живем именно в этот переходный период.

3. Моделирование глобальных фазовых переходов

3.1. В последние годы в научной и популярной литературе довольно широко обсуждается тема ускорения исторического развития и феномен «сингулярности», наблюдаемый при анализе различных показателей, связанных с развитием общества. Различные авторы пишут об эволюционной, демографической, технологической сингулярности, фиксируя резкое убыстрение процессов в различных сферах жизни в последние десятилетия.

Однако при более детальном рассмотрении исторических рядов данных становится ясно, что демографические процессы, типологически подобные тому, которые происходят сейчас, в человеческой истории уже были. Речь идет о неолитической революции (10 тыс. лет назад, переход от общества охотников-собирателей к обществу животноводов-земледельцев), о «городской революции» (5 тыс. лет назад, распространение бронзовых орудий, появление городов и ремесел), об «осевом времени» (2,5 тыс. лет назад, широкое распространение железных орудий и связанных с ними технологий). Каждый раз причиной изменений в обществе были масштабные технологические трансформации, в результате которых резко повышались производительность труда и возможности человека в различных сферах жизни, расширялась ресурсная база, что в свою очередь приводило к резкому увеличению численности человеческой популяции. Демографических данных, относящихся к первым двум трансформациям, немного, поэтому о количественном моделировании говорить сложно. Интересно более внимательно рассмотреть демографическую динамику «осевого времени», по которой есть более надежные и точные данные. На [рисунке 13](#) показана демографическая динамика, как она виделась современникам в 200 г. до нашей эры, в 1 г. нашей эры и в 600 г. нашей эры.

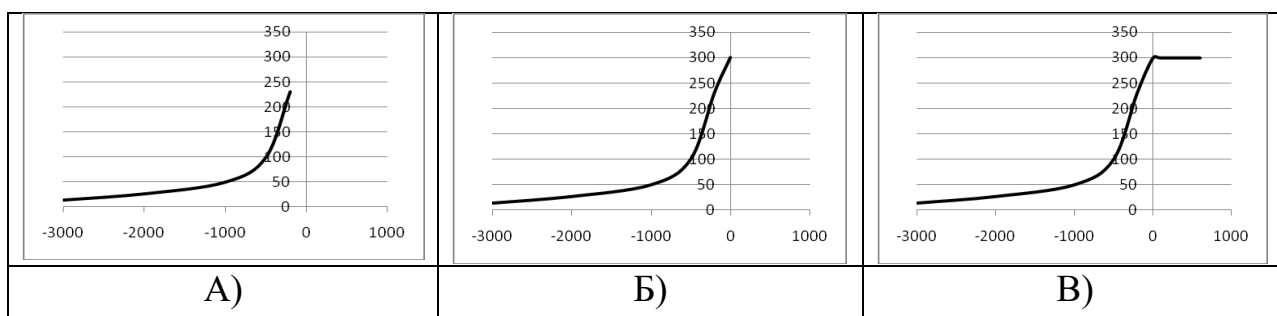


Рисунок 13. Население Земли к 200 BC (А), к 1 AD (Б) и к 600 AD (В), млн чел. (по оси абсцисс – время в годах). Источник данных [15]

Видно, что к 600 г. н.э. переходный демографический рост уже завершился (при этом произошел переход от античности к средневековью), к 1 г. н.э. стало явным торможение демографического роста (это время трансформации Римской республики в Римскую империю, объединение Средиземноморья в единое политическое и экономическое пространство). А в 200 г. до н.э. переходный процесс был еще в разгаре, демографическая кривая отлично аппроксимировалась гиперболой с точкой сингулярности в 1 г. н.э. и с показателем степени $m = 1,00$ (см. [рис.14](#)).

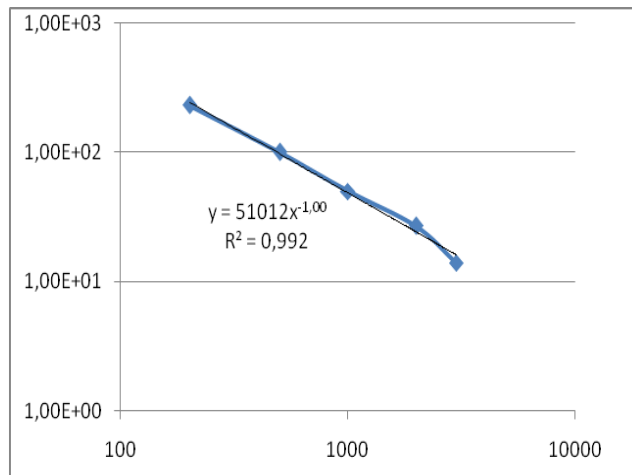


Рисунок 14. Гиперболическая аппроксимация численности населения Земли в период с 3000 г. до н.э. до 200 г. до н.э. Источник данных [15]

Если посмотреть на демографическую историю человечества в целом, то даже с оговоркой, что точность демографических данных по мере удаления от современности на сотни и тысячи лет существенно падает, выявляется картина чрезвычайно неравномерного развития (см. рис.15).

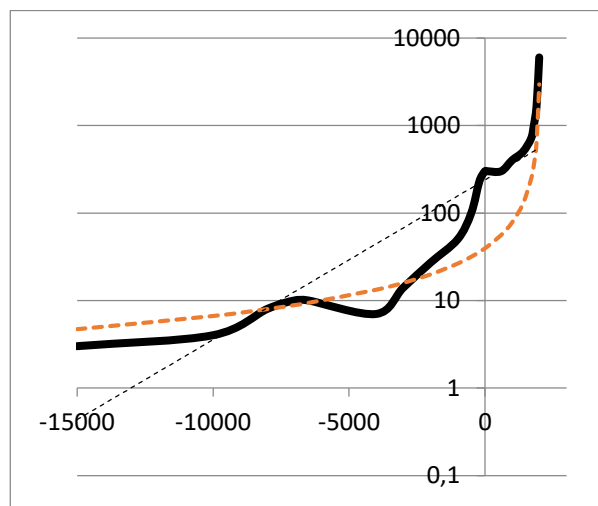


Рисунок 15. Динамика численности населения мира в период с 15 тыс. лет до н.э. по 2000 г. (млн чел.) с наложенной экспоненциальной (тонкая пунктирная линия) и гиперболической (штриховая линия) аппроксимацией. Источник [16]

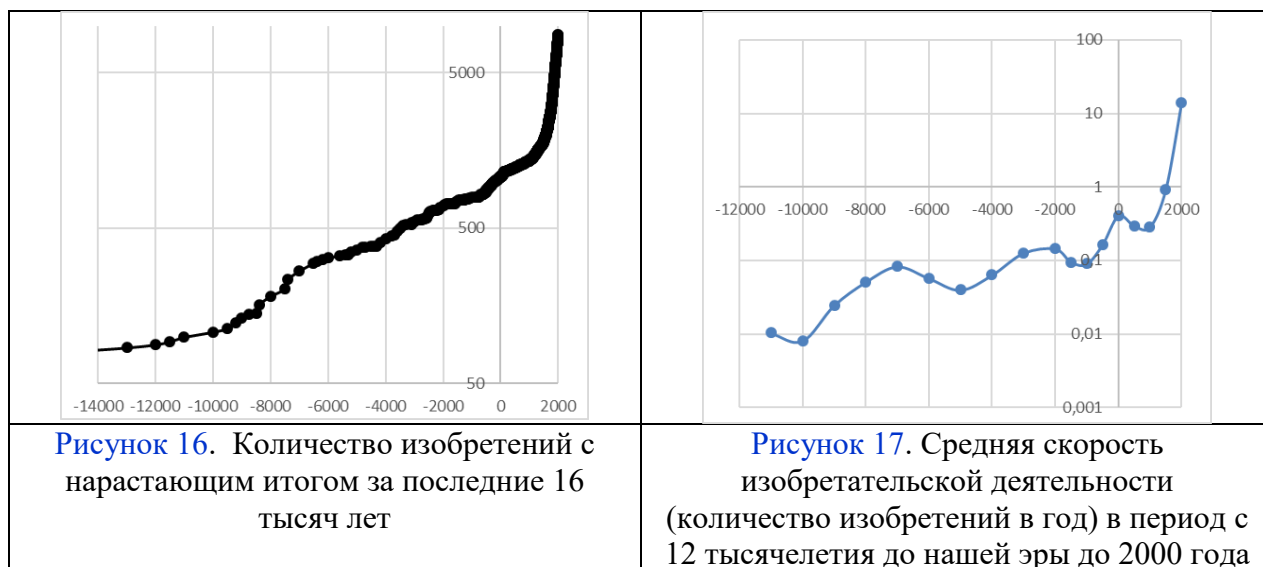
Видно, что периоды демографического роста перемежаются с периодами относительной стабильности (и даже демографического спада). Причем в периоды роста увеличение численности населения происходит не столько по экспоненциальному, а скорее по гиперболическому закону (что и порождает научный дискурс о «сингулярности»). Гиперболический характер демографического роста – это свидетельство кумулятивного взаимодействия различных факторов, взаимно усиливающих друг друга в эти исторические периоды.

Каждый раз, однако, период резкого демографического роста заканчивался и начиналась качественно новая историческая эпоха. Таким образом, периоды резкого демографического роста по существу знаменовали

собой фазовый переход от старой к новой экономической, демографической, политической реальности.

3.2. Анализ исторических данных показал, что неравномерность демографического развития в значительной степени связана с неравномерностью технологического развития. На уровне общей логики эта связь достаточно очевидна: развитие технологий повышает производительность труда, расширяет ресурсную базу, что создает возможности для увеличения численности человеческой популяции. В свою очередь, торможение технологического развития ограничивает доступную ресурсную базу, вследствие чего общество попадает в «мальтузианскую ловушку», когда демографический рост ограничивается демографической емкостью территории, на которой оно проживает.

Источником информации о развитии технологий могут служить данные об изобретениях и технологиях, которые появлялись и внедрялись в хозяйственную жизнь в различные исторические периоды в различных регионах мира. Данные по изобретениям в период с 2,5 млн лет до нашей эры до 2003 года собраны в базе Банча-Хеллеманса [17]. Количество изобретений с нарастающим итогом в период с 14 тысячелетия до нашей эры до 2003 года представлено²⁰ на [рис.16](#).



Видно, что динамика изобретений весьма неравномерна и напоминает график динамики численности населения в рассматриваемый период (см. [рис.15](#)). Неравномерность роста числа изобретений наглядно видна из [рис.17](#), где на основе обработки данных того же источника рассчитано, сколько в среднем было изобретений в год (усреднение проводилось на интервале в 500 лет).

Рост количества изобретений в 10-7 тысячелетиях до нашей эры связан с аграрной (неолитической) революцией, рост количества изобретений в 4-3 тысячелетиях до нашей эры связан с «городской революцией» и с широким

²⁰ При построении графика изобретения периода до 1 г. нашей эры учитывались с весовыми коэффициентами, отражающими их значимость в последующей истории человечества (весовые коэффициенты определялись на основе экспертных процедур).

распространением бронзовых орудий, рост количества изобретений в 1 тысячелетии до нашей эры связан с массовым распространением железных орудий, рост количества изобретений в последние 500 лет связан с промышленной революцией.

Важным маркером происходящих в мире технологических перемен является динамика численности городского населения (см. [рис.18](#)). Действительно, города во все времена аккумулировали людей, создающих и использующих передовые технологии - ремесленников, торговцев, промышленных рабочих, поэтому периоды роста инновационной (изобретательской) активности ([рис.17](#)) и периоды роста городского населения ([рис.18](#)) соответствуют друг другу. Это соответствие хорошо видно из корреляционной диаграммы на [рис.19](#).

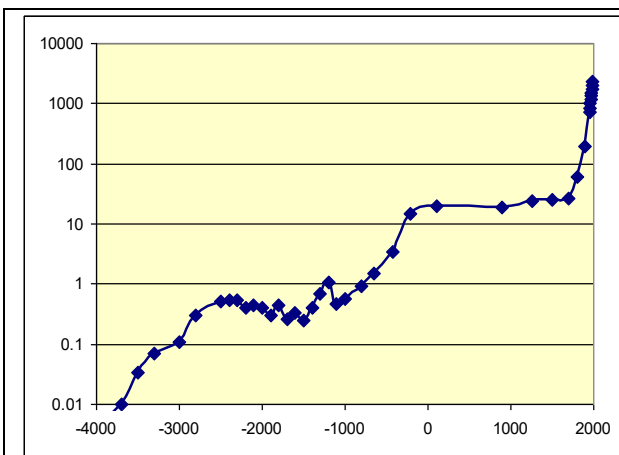


Рисунок 18. Изменение численности городского населения мира в логарифмическом масштабе, млн чел. (для городов с населением более 10000 чел.), на протяжении последних шести тысяч лет

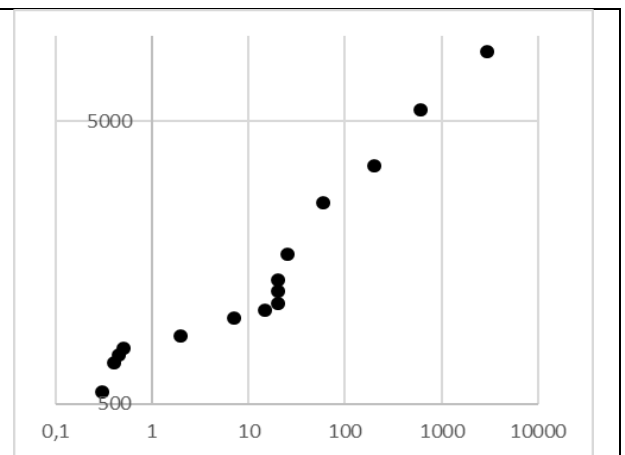


Рисунок 19. Соответствие между суммарным количеством изобретений (ось ординат) и численностью городского населения (ось абсцисс, млн чел.) за последние 5 тысяч лет

Из приведенных графиков видно, что технологическое и демографическое развитие в истории человечества происходило в целом синхронно, но крайне неравномерно: эпохи быстрого роста сменялись эпохами стабилизации/стагнации. При этом каждая очередная эпоха стабилизации характеризовалась более высокой численностью населения и более высокой долей городского населения (см. [рис.20](#)).

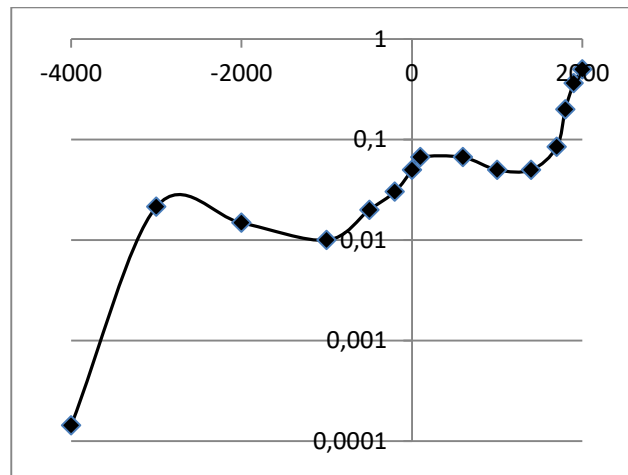


Рисунок 20. Изменение доли городского населения в населении мира за последние 5 тысяч лет

3.3. Чередование эпох демографо-технологического роста и эпох демографо-технологической стабилизации/стагнации влияло на протекание процессов социальной самоорганизации и на изменение характера этих процессов. В эпохи технологического роста наблюдалось расширение ресурсной базы и повышение производительности труда (примером такой эпохи являются последние 200 лет с начала промышленной революции). В эпохи технологической стагнации рост ресурсной базы прекращался, возникала ситуация «мальтузианской ловушки», обострялась борьба за ограниченные ресурсы (примером такой эпохи является Средневековье). Изменение условий, в которых оказывается общество, сказывается на изменении характера социальной самоорганизации и формирующихся на ее основе институциональных структур.

Так, в условиях ограниченной ресурсной базы и при наличии серьезных внешних угроз (эти условия характерны для аграрных обществ эпохи Средневековья) происходит смещение институциональных структур в сторону усиления патернализма, принципов «объединения слабых вокруг сильного» (так называемые X-структуры). В условиях экономического роста и расширения ресурсной базы (например, вследствие появления новых технологий) происходит естественное смещение институциональных структур в сторону стимулирования экономической активности и конкуренции, индивидуализма, принципов «объединения слабых против сильного» (так называемые социальные Y-структуры). Характерные черты этих институциональных структур в обобщенном виде представлены в [таблице 1](#) (подробная информация и X- и Y-типах социальных структур приведена в работах [\[18\]](#)).

Таблица 1. Отличительные особенности X- и Y-типов социальных структур

Характеристика	X-структура	Y-структура
Институциональные особенности	1. <i>Регулируемая</i> экономика 2. <i>Директивная</i> централизованная система управления (вертикальные иерархии) 3. Примат <i>коллективизма</i> в социально-психологической сфере	1. <i>Либеральная</i> рыночная экономика 2. <i>Адаптивная</i> (демократическая) система управления (горизонтальные сети) 3. Примат <i>индивидуализма</i> в социально-психологической сфере
Условия формирования	- серьезные внешние угрозы; - недостаток ресурсов (<i>игра с нулевой суммой</i>)	- отсутствие серьезных внешних угроз; - разнообразие ресурсов (<i>игра с положительной суммой</i>)
Характер конкуренции	конкуренция социумов (выживает сильнейший социум)	конкуренция индивидов (выживает сильнейший индивид)
Цель	Безопасность (выживание социума)	Развитие (повышение индивидуального благосостояния)
Способ достижения цели	объединение слабых вокруг сильного (сильная центральная власть)	объединение слабых против сильного (слабая центральная власть)
Приоритеты	- <i>кооперация</i> как принцип; - обеспечение единства общества; - улучшение управления	- <i>конкуренция</i> как принцип; - инициирование плюрализма, экономической активности
Этическая система	« <i>декларация добра</i> » (идеологическое единство)	« <i>запрет зла</i> » (свобода действий в рамках закона)
Угрозы системе	- потеря единства общества; - снижение эффективности власти, бюрократизм, коррупция	- монополизация власти; - имущественное расслоение
Объект защиты	социальная организация (государство)	индивидуальные права и свободы

Необходимо иметь в виду, что речь идет именно о *смещении* социальной самоорганизации в сторону усиления или X-, или Y-структур при изменении внешних условий. В реальных социальных системах всегда присутствуют как X-, так и Y-элементы, но доминируют и определяют облик общества в целом либо X-, либо Y- институты, поэтому можно говорить соответственно об обществах X-типа и об обществах Y-типа.

Общества X-типа преобладают в периоды демографо-технологической стабилизации/стагнации, а общества Y-типа формируются и усиливаются в периоды демографо-технологического роста (см. [рис.21](#)).



Рисунок 21. Связь процессов социальной самоорганизации с фазами исторического развития (график отражает изменение численности городского населения мира в млн чел., для городов с населением более 10000 чел.)

Проблема в том, что как это следует из [таблицы 1](#), характеристики X- и Y-структур кардинально отличаются друг от друга, а принципы самоорганизации зачастую противоположны: то есть то, что хорошо для X-структур, как правило, плохо для Y-структур, и наоборот. Поэтому процесс трансформации институциональных структур в переходные эпохи связан со снижением социально-политической устойчивости и часто сопровождается социальной нестабильностью и революциями.

3.4. Выше по тексту были представлены результаты моделирования классического²¹ аграрного общества (пример социальной X-структуры, формирующейся в фазе демографо-технологической стабилизации/стагнации) и индустриального общества (пример социальной Y-структуры, формирующийся в фазе демографо-технологического роста). Представляет интерес рассмотрение динамики перехода от фазы демографо-технологического роста к фазе демографо-технологической стабилизации/стагнации и обратно. С этой целью применим базовую модель «демография – экономика – технологии» к анализу глобальных фазовых переходов. Пусть общество первоначально находится в состоянии «мальтузианской ловушки», когда демографический рост отсутствует вследствие ограниченности ресурсной базы (анализ данной ситуации проведен выше в разделе «*Моделирование аграрного общества*» с использованием уравнений (25) - (31) при неизменном значении F' - производственной функции, характеризующей производство конечной потребительской продукции²²). Пусть в момент времени t_1 начинается развитие технологий, расширяющих ресурсную базу и обеспечивающих рост производственной функции. Тем самым запускается процесс демографо-технологического роста (моделирование данной ситуации проведено выше в разделе «*Моделирование индустриального общества*» с использованием уравнений (36) - (38), (43). Пусть через некоторое время экономический рост начинает тормозиться

²¹ Под термином «классическое аграрное общество» понимается аграрное общество в периоды демографо-технологической стабилизации/стагнации, например, в период Средневековья.

²² Величина F' определяется выражением $F' = F - I_1 - I_2$ (см. уравнение (3)).

вследствие возникновения определенных ограничений (например, ресурсных или экологических) и производственная функция в конечном итоге фиксируется на неизменном уровне F'_2 (при этом $F'_2 \gg F'(t_1)$).

Система уравнений, которая в период роста соответствует уравнениям (36) - (38), (43), а при последующем торможении и стабилизации переходит в уравнения (25), (30), (31), имеет вид:

$$dN/dt \approx r \cdot N \cdot (1 - x_0(t)/x), \quad (44)$$

$$dS/dt \approx c \cdot N \cdot S \cdot (1 - x_0(t)/x), \quad (45)$$

$$dx/dt \approx F'/N - q \cdot x, \quad (46)$$

$$x_0(t) \approx x_0 \cdot (1 + b \cdot (N - N_1)/N_1), \quad (47)$$

где нижний индекс « 1 » означает, что значение переменной соответствует начальному для расчета моменту времени t_1 . Уравнение (47) отражает рост значения x_0 по мере роста численности населения и усложнения общества. Для учета роста функции F' в начале фазового перехода и ее последующего торможения вследствие возникновения ресурсных, экологических и других ограничений может быть использовано выражение (см. рис.22):

$$F' \approx (S_1 \cdot N_1)^2 / (N_1 \cdot S_1 + F'_2) + S \cdot N \cdot F'_2 / (N \cdot S + F'_2) \quad (48)$$

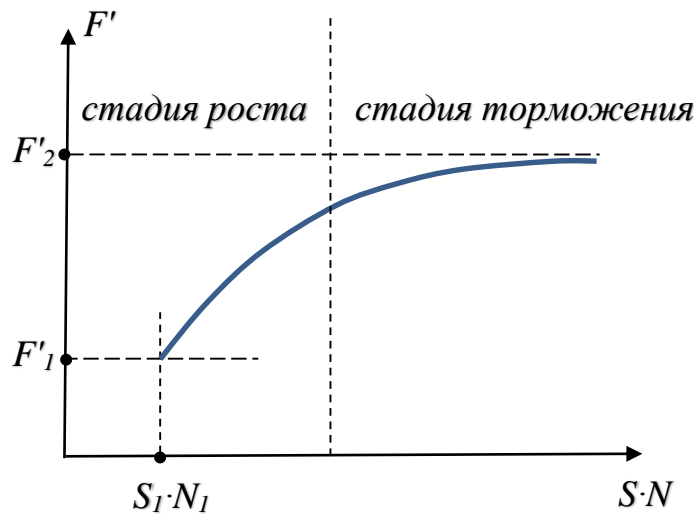


Рисунок 22. Функция F' , описываемая выражением (48)

Типовое решение системы уравнений (44) - (48) представлено на рис.23.

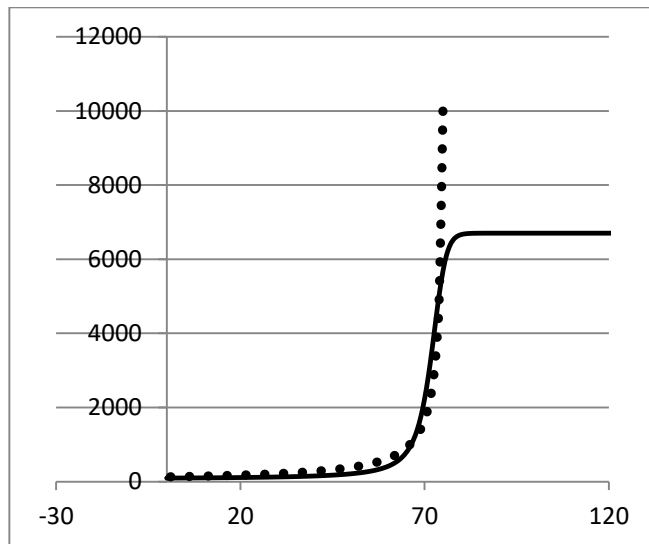


Рисунок 23. Типовые результаты расчета динамики численности населения N (сплошная линия) во время фазового перехода (значения по оси абсцисс и ординат – в условных единицах). Пунктирная линия – гипербола

Результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

- для глобального фазового перехода, описываемого системой уравнений (44) - (48), характерен быстрый демографо-технологический рост, а также быстрое торможение роста на заключительной стадии данного перехода (подобная динамика действительно имела место в эпоху «осевого времени», см. рис.13);

- во время фазового перехода на стадии роста демографическая динамика с высокой точностью аппроксимируется гиперболой (пунктирная линия на рис.23), на что в 1960 году указал Фон Ферстер [2], анализируя статистические данные. Гиперболический характер роста обусловлен сильной обратной положительной связью между переменными N и S : рост N убыстряет рост S (см. уравнение (45)), а рост S в свою очередь убыстряет рост N , увеличивая значение x в уравнении (44).

Таким образом, моделирование показывает, что сингулярность – это не курьезный артефакт, а закономерность динамики глобального фазового перехода, обусловленная синергетическим взаимовлиянием демографического и технологического роста. Обобщая, можно сказать, что если мы наблюдаем гиперболические тренды в динамике показателей сложных систем, то это маркеры того, что мы имеем дело с фазовым переходом, актуализирующим положительные обратные связи в процессах, определяющих функционирование данных систем.

Возникает вопрос: при каких условиях актуализируются обратные положительные связи и запускается процесс роста? Моделирование показывает, что главным условием является следующее: одновременное увеличение значения коэффициента c в уравнении (45), описывающим динамику развития технологий, и увеличение отдачи от инноваций (то есть рост S и расширение ресурсной базы).

Увеличение значения коэффициента c зависит от многих факторов, но одним из важнейших является социальный спрос на инновации. В традиционном обществе спрос на инновации, как правило, невелик, более

того, инноваторы, предлагающие что-то новое, непривычное, воспринимаются настороженно, с опаской. Приоритетным является использование традиционных социальных и материальных технологий²³, апробированных временем и доказавших свою эффективность в прошлом. Спрос на инновации, как правило, возникает в условиях кризиса, когда по тем или иным причинам привычные алгоритмы принятия решений перестают давать необходимый результат (это могут быть природные, социальные и другие кризисы). Важным является также, чтобы после преодоления кризиса спрос на инновации не угас. Для этого нужно, чтобы произошел сдвиг в общественном сознании, например, чтобы появилась новая идеология (религия), которая бы поощряла инновационную активность (такой социальной технологией в Новое время в Европе стала протестантская этика (М.Вебер [19])).

Выполнение второго условия перехода к росту - увеличение отдачи от инноваций – возможно, если эти инновации действительно оказываются эффективными и дают резкий рост производительности труда, вводят в оборот новые виды ресурсов, повышают эффективность производства²⁴. Естественно, в начальный период эти эффекты могут быть только *локальными* (географически привязанными к месту, где инновация впервые дала положительный результат) и лишь затем, по мере закрепления успеха, они могут распространяться на периферийные регионы. Модель модернизации, описывающая данный процесс, изложена в [20]. Расширение региона, охваченного процессами модернизации, включает в себя несколько стадий [21].

Стадия 1: Традиционное общество.

Для этой стадии характерен низкий уровень экономического роста, экономика основана на использовании традиционных технологий. Социально-экономические и политические процессы имеют циклический характер, наблюдается доминирование институциональных структур X-типа (см. таблицу 1).

Стадия 2: Фазовый переход под влиянием технологических и социальных инноваций.

Возникновение и освоение комплекса технологических и социальных инноваций, резко повышающих производительность труда в ряде обществ, нарушает относительное равновесие сил в Мир-системе и запускает процесс модернизации, который постепенно расширяется и со временем охватывает всю систему. Данный процесс имеет следующие фазы:

Фаза 2.1. Разделение на страны Центра (в которые входят общества, освоившие и внедрившие инновации) и страны Периферии (в которые входят общества, по-прежнему использующие традиционные технологии). В обществах Центра формируются Y-институциональные структуры,

²³ Настороженное отношение к инновациям в традиционных обществах обусловлено кроме всего прочего тем, что эти общества, как правило, находятся в «мальтузианской ловушке», когда значительная часть общества озабочена физическим выживанием и не готова к резким изменениям, нарушающим хрупкое равновесие.

²⁴ Это в свою очередь стимулирует дальнейший инновационный поиск, поощряет инновационную деятельность, повышает социальный статус инноваторов, создает в обществе благоприятную обстановку для развития.

основанные на внутренней конкуренции²⁵. В обществах Периферии по-прежнему доминируют X-институциональные структуры, основанные на кооперации в среде «своих» и на противопоставлении их «чужим» (см. таблицу 1).

Фаза 2.2. Дивергенция (экономический отрыв стран Центра от стран Периферии), установление странами Центра системы правил в экономике и политике, осуществление «глобализации» в интересах стран Центра (с целью использования ресурсов Периферии странами Центром для стимулирования своего развития).

Фаза 2.3. Развитие процесса модернизации в странах Периферии благодаря диффузии инноваций и передовых технологий из стран Центра.

Фаза 2.4. Конвергенция: подтягивание стран Периферии к странам Центра в результате модернизации их экономик; замедление развития и кризис стран Центра.

Фаза 2.5. Структурный Мир-системный кризис: утрата странами Центра лидирующих позиций с последующим разрушением установленной ими системы правил и господствующей идеологии. Как следствие - хаотизация экономических и политических взаимодействий, прогрессирующая регионализация, формирование конкурирующих политических блоков.

Стадия 3: Новое общество.

На этой стадии конкуренция между X- и Y-системами снимается за счет преобразований в идеологической и институциональной сферах, разделение на страны Центра и страны Периферии элиминируется, возникают общества нового типа и новые геополитические блоки.

При этом возникает второй вопрос: почему период роста в конечном итоге заканчивается? Здесь важно влияние следующих факторов:

начинает сказываться истощение возможностей базовых технологий, которые запустили процесс роста;

увеличение численности населения порождает проблемы, которые ранее представлялись малозначительными (например, экологические проблемы), но теперь требуют серьезного внимания и ресурсных затрат;

истощаются запасы основных природных ресурсов, которые интенсивно использовались в период роста;

увеличение численности и плотности населения требует непрерывного повышения затрат на инфраструктуру и жизнеобеспечение, что увеличивает нагрузку на экономику;

увеличение плотности и скученности населения способствует появлению новых болезней и эпидемий;

увеличение масштаба социальных систем и, соответственно, повышение сложности управления ими требует существенной перестройки всей системы социальных взаимодействий, что обычно происходит очень болезненно, усиливает внутреннюю конфликтность, приводит к социальным кризисам.

²⁵ В начале «осевого времени» лидером в формировании Y-институтов была Древняя Греция, в начале Нового Времени – Англия.

До сих пор под влиянием этих и других факторов периоды роста заканчивались, открывая новую историческую эпоху, в ходе которой общество адаптировалось к новой реальности, к миру, измененному новыми технологиями. Это сопровождалось появлением новых идеологий (религий) и типов государственности, изменением ментальности, появлением новых социальных слоев, укрупнением социальных систем и их внутренней связности (транспортной, экономической, информационной, ментальной). Общество «переваривало» изменения, произошедшие в результате фазового перехода, и накапливало потенциал для следующего витка эволюции.

Осталось понять, почему интервалы между очередными «эпохами перемен» уменьшаются: неолитическая революция произошла 10 тыс. лет назад, «городская революция» - 5 тыс. лет назад, «осевое время» - 2,5 тыс. лет назад, промышленная революция – 200 лет назад (мы используем такой перечень глобальных трансформаций потому, что именно они сопровождались глобальными демографическими взрывами, см. [рис.15](#)). На этот вопрос можно попытаться ответить, опираясь на уравнение М.Кремера [8], отражающее тот факт, что скорость появления инноваций пропорциональна текущему технологическому уровню развития общества:

$$dS/dt \approx c \cdot N \cdot S, \quad (49)$$

где S – количество технологических инноваций. Таким образом, получается, что рост числа инноваций приводит к росту технологического развития и, как мы уже знаем, к росту численности населения (а значит и к росту числа инноваторов, составляющих небольшой, но достаточно устойчивый процент от численности населения). То есть налицо положительная обратная связь, ускоряющая технологический рост и сокращающая время между очередными «технологическими революциями», что и наблюдается в человеческой истории²⁶.

3.5. Итак, как было показано выше, на макроуровне человеческая история представляет собой периодическую смену периодов интенсивного экономического и демографического роста, инициированного технологическими трансформациями, и периодов экономической и демографической стабильности (а временами, стагнации). Понятно, что процессы *социальной самоорганизации* в периоды интенсивного роста и в периоды стабильности существенно отличаются друг от друга, что приводит к формированию различающихся социальных и институциональных структур в этих обществах: условия роста способствуют формированию так называемых Y-структур, условия стабильности – так называемых X-структур. Описание X- и Y-институциональных структур приведено в [18].

²⁶ Интересно, что эффект технологического ускорения весьма напоминает известный эффект ускорения видообразования в биологии, который наблюдается в течение последних 500 млн лет и, по-видимому, связан с тем, что более ранние виды своей жизнедеятельностью изменяют среду обитания, делая ее более разнообразной, насыщая органикой, порождая новые биологические ниши, тем самым создавая благоприятные условия для появления новых видов.

Для нас здесь важно то, что в условиях ограниченных ресурсов и серьезных внешних угроз экономическая система приобретает *распределительный* характер, который освящается традицией и идеологией (как правило, в форме религии). Традиции и религии накладывают на членов общества жесткие ограничения и самоограничения («не убий», «не укради», «не прелюбодействуй» и т.п.), которые оказывают стабилизирующее действие на социальную систему. Нарушение этих норм в условиях ограниченных ресурсов приводит к дестабилизации и ослаблению общества, поэтому осуждается и наказывается.

В условиях растущего ресурса необходимость в жесткой регламентации жизни общества отпадает. Более того, существующие традиции и нормы становятся обузой, поскольку препятствуют внедрению и распространению инноваций. Понятие «свобода» приобретает статус важнейшей ценности, прежние ограничения и самоограничения постепенно отвергаются как устаревшие и уже ненужные. Отказ от старых канонов приводит к формированию новых институциональных структур, более адекватных условиям роста, поощряющих индивидуальную активность и конкуренцию (Y-структуры). Однако при этом снижается устойчивость общества, и если (и когда) рост ресурса начинает тормозиться, «общество свободы» может дестабилизироваться и распасться.

Рассмотрим, как происходили переходы от периодов стабильности²⁷ к периодам роста²⁸ и обратно:

в периоды стабильности общество находится в условиях «игры с нулевой суммой»²⁹ (ИНС). Доминируют X-структуры. Господствует традиция, обеспечивающая равновесие общества с окружающей средой. Идеологически традиция освящается религией, устанавливающей систему ограничений и самоограничений. Соответственно, соблюдение идеологических (религиозных) норм имеет большое значение в обеспечении стабильности общества, инновации не приветствуются;

при резком изменении внешней среды (например, вследствие климатических изменений), прежние нормы и самоограничения уже не дают требуемого результата по стабилизации общества, общество дестабилизируется, начинаются поиски выхода из кризисной ситуации,

²⁷ Периоды стабильности можно в терминах теории игр характеризовать как периоды преобладания «игры с нулевой суммой» (ИНС) во взаимодействиях социальных акторов: в условиях *ограниченного ресурса* победа в конкурентной борьбе одного из акторов приводит к гибели (физической, экономической, политической) побежденных. Поэтому внутри общества конкуренция осуждалась (чтобы не приводить к его дестабилизации), наоборот, поощрялась солидарность и взаимопомощь. Зато по отношению к другим обществам обычными были антагонистические отношения и «образ врага».

²⁸ Периоды роста можно в терминах теории игр характеризовать как периоды преобладания «игры с положительной суммой» (ИПС) во взаимодействиях социальных акторов: в условиях *растущего ресурса* победа одного из акторов не приводит к гибели (физической, экономической, политической) побежденных, но зато стимулирует последних быть более активными в конкурентной борьбе. Конкуренция порождает экономическую активность, ведущую к дальнейшему расширению ресурсной базы. Соответственно, она не осуждается, а приветствуется, что приводит к формированию внутренне конкурентного общества.

²⁹ В теории игр «игра с нулевой суммой» - это игра, в которой выигрыш одного игрока равняется проигрышу другого.

возникает спрос на инновации, соответственно, общество начинает отказываться от принятых традицией ограничений и самоограничений;

если поиск инноваций, направленный на преодоление возникшего кризиса, завершается успехом³⁰ и внедрение новых технологий расширяет ресурсную базу, то общество переходит в фазу экономического роста. При этом возникает петля положительной обратной связи: экономический успех стимулирует дальнейший отказ от традиционных норм и самоограничений. В обществе начинает поощряться инициативность, стремление к новизне и свободе действий. Формируется внутренне конкурентное общество с институциональной структурой Y-типа³¹, ориентированное на «игру с положительной суммой»³² (ИПС). Внутренняя конкуренция стимулирует индивидуальную активность, поиск дополнительных ресурсов, что в свою очередь поддерживает и усиливает экономический рост;

однако через какое-то время потенциал технологической революции, запущенной инновационным импульсом, достигает своего насыщения и истощается, ресурсная база перестает прирастать, «игра с положительной суммой» прекращается. При переходе к «игре с нулевой суммой» Y-общество теряет эффективность: при ограниченных ресурсах ориентация на конкуренцию как принцип взаимоотношений приводит к усилению внутренней конфликтности и к дестабилизации общества (к войне всех против всех). Необходима новая система норм, сдерживающая конкуренцию, переводящая конкурентные отношения в кооперативные, нужна новая система самоограничений³³. То есть возникает потребность в возрождении X-системы, в которой коллективные интересы превалируют над индивидуальными, а свободная конкуренция заменяется распределительными принципами.

Таким образом, имеет место следующая логика развития событий. Традиционное X-общество, попав в кризисную ситуацию, вынуждено изменяться, и если эти изменения окажутся успешными и запустят инновационный процесс, расширяющий ресурсную базу, то начинается экономический рост, в условиях которого социальная X-структура начинает трансформироваться в Y-структуру. Y-структура сохраняет свою эффективность до тех пор, пока сохраняется «игра с положительной суммой». Когда инновационный импульс иссякает и ресурсная база перестает прирастать, Y-структура снова трансформируется в X-структуру,

³⁰ Это происходит весьма редко. История, напротив, изобилует примерами, когда государства и целые цивилизации под воздействием неблагоприятных климатических и экологических изменений приходили в упадок и распадались.

³¹ Такими обществами были в начале «городской революции» - города-государства Древней Месопотамии, в начале «осевого времени» - полисы Древней Греции, в начале Нового времени – Англия. В дальнейшем локально возникшие институциональные Y-структуры начинают распространяться и масштабироваться. Так, в «осевое время» достижения полисов Древней Греции были восприняты и использованы Древним Римом при создании своей империи, а в современную эпоху достижения Англии были восприняты и использованы США при создании «Рак Americana».

³² В теории игр «игра с положительной суммой» - это игра, в ходе которой все игроки могут оказаться в выигрыше (но, возможно, в разной степени).

³³ Это была одна из причин, почему на закате Римской империи христианство стало государственной религией.

ориентированную на «игру с нулевой суммой». Круг замыкается по схеме: $X \rightarrow Y \rightarrow X \rightarrow \dots$ (см. [рис.24](#)).

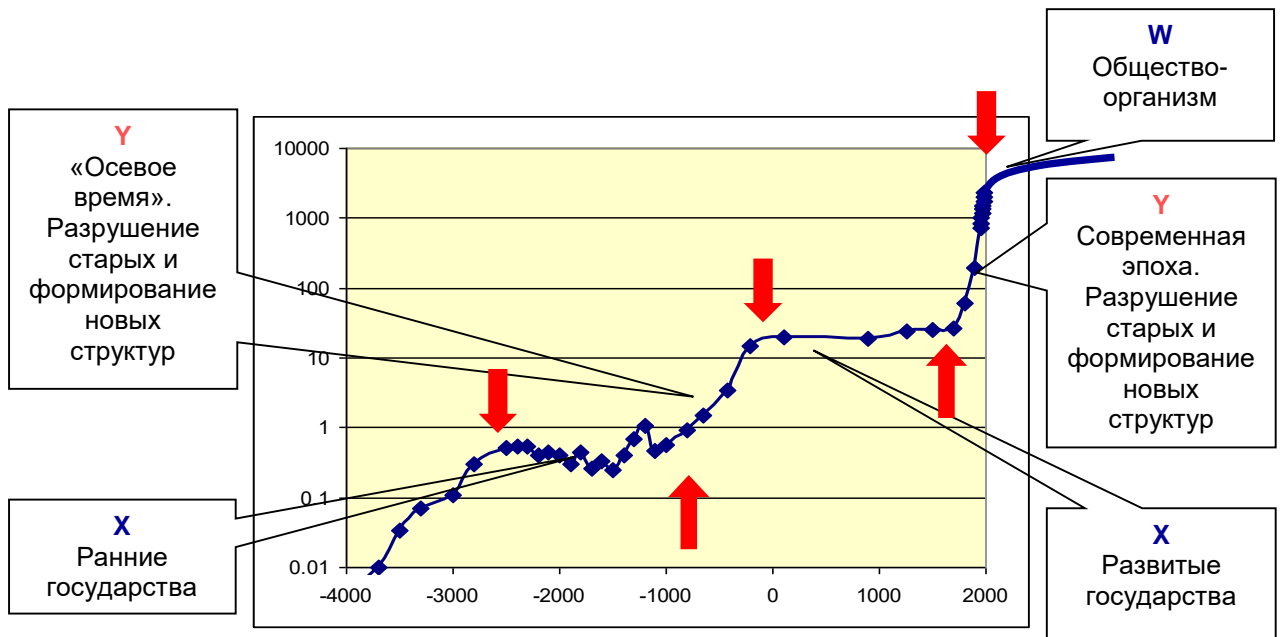


Рисунок 24. Соответствие между демографическим, социальным и духовным развитием в мировой истории (сплошная линия - динамика численности городского населения мира, млн. чел., см. [рис.18](#)). Стрелочками отмечены поворотные моменты в формировании идейных течений (см. комментарий в тексте)

Здесь важны три момента.

Во-первых, каждая технологическая революция усиливала неравномерность развития и запускала очередной виток глобализации, поскольку общества-лидеры, которые освоили новые технологии раньше других, вырывались в экономическом и политическом отношениях вперед и начинали внешнюю экспансию (торговую, военную, идеологическую) за пределами своих территорий. В результате происходило укрупнение социально-экономических систем:

в эпоху «городской революции» произошел переход от раздробленной племенной структуры к ранним государствам;

в «осевое время» — процесс формирования обширных империй, поглощавших этнические государства;

в современную эпоху — процесс экономической и политической глобализации в полном смысле этого слова с формированием наднациональных институтов регулирования и управления.

В связи с этим X-структуры, формирующиеся после очередной технологической революции, это не повторение прежних X-структур, а новые социальные феномены, более масштабные и более сложные по своему составу и внутренним связям.

Во-вторых, поскольку общества X- и Y-типов кардинально отличаются по своим идеологическим и ценностным установкам, то переход от X-общества к Y-обществу, как и переход от Y-общества к X-обществу, невозможен без революции в сознании людей, без появления новых массовых идеологий

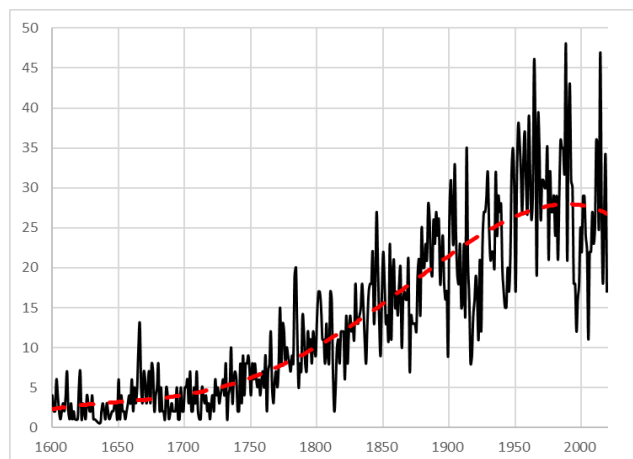
(религий), изменяющих ценностные ориентиры, представления о добре и зле, о правильном и неправильном поведении. Такие идеологии (религии) появлялись и распространялись как в начале «эпох перемен» (обеспечивая трансформацию X-общества в Y-общество), так и в их конце (обеспечивая трансформацию Y-общества в X-общество). На [рисунке 24](#) идеологии (религии) первого типа обозначены стрелочкой, направленной вверх, а идеологии (религии) второго типа – стрелочками, направленными вниз³⁴. Соответственно, в нынешнюю переходную эпоху неизбежно появление новой идеологии второго типа.

В-третьих, цепочка: X (ранние государства бронзового века) → Y («осевое время») → X (развитые государства средневековья) → Y (капитализм Нового времени) → (?) скорее всего не завершится возвращением к социальным X-структурам, следует ожидать возникновения принципиально нового «постсингулярного» общества. Будем условно называть его W-обществом.

4. Анализ и моделирование дальнейшего исторического развития

4.1. Результаты моделирования макроисторической динамики позволяют вернуться к вопросу о прогнозе дальнейшего исторического развития.

Как уже упоминалось в самом начале, характерной особенностью современной эпохи является то, что, начиная с 1970-х годов, стало наблюдаться торможение ключевых показателей мирового развития ([рис.3](#) и [4](#)), которые до этого на протяжении двухсот лет демонстрировали гиперболический рост ([рис.1](#) и [2](#)). При этом речь идет не только о демографических и экономических показателях. Так, на [рис.25](#) представлены данные по динамике изобретательской активности за последние 4 столетия.



³⁴ Так, например, религией, способствовавшей трансформации древнегреческого X-общества в Y-общество, была религия олимпийских богов с ее телесностью и высокой конкурентным духом.

Религией, способствовавшей трансформации древнеримского Y-общества (римская республика) в X-общество (римская империя эпохи домината), была христианская религия, провозгласившая добродетелью «любовь к врагам своим». Религией, способствовавшей трансформации европейского средневекового X-общества в Y-общество Нового времени, был протестантизм с его духом индивидуализма и активным конкурентным началом.

Рисунок 25. Динамика количества изобретений в год в период 1600 – 2020 гг. (тренд обозначен пунктирной линией). Источник данных [17]

Видно, что изобретательская активность, последовательно усиливаясь с середины 18 века, достигла максимума 1960-1970 гг., а затем стала тормозиться.

На [рис.26](#) представлены данные по соотношению средней величины ВВП/чел. стран-лидеров индустриальной эпохи (стран ОЭСР) к средней величине ВВП/чел. остального мира.

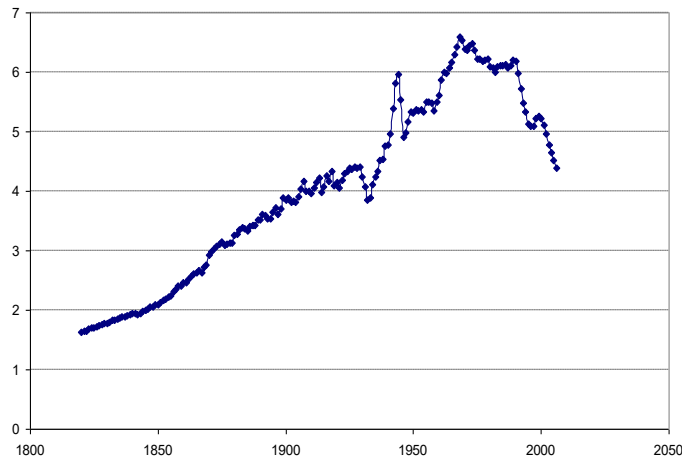


Рисунок 26. Отношение средней величины ВВП/чел. стран ОЭСР к средней величине ВВП/чел. остального мира в период 1820-2008 г.

Видно, что начиная с 1970-х годов «Великая дивергенция» (то есть увеличивающийся отрыв ВВП/чел. стран-лидеров индустриальной эпохи от ВВП/чел. стран остального мира) сменилась на «Великую конвергенцию» (уменьшение разрыва в показателях ВВП/чел.).

Таким образом, налицо смена тенденций развития, характерных для индустриальной эпохи. По-видимому, с семидесятых годов 20 века мы вступили в новую эпоху, которая напоминает то, что происходило во время торможения роста в прошлые «эпохи перемен». Действительно, если формально сделать прогноз на основе модели модернизации [20], хорошо описывающей мировую динамику в индустриальную эпоху, то получится результат, представленный на [рис.27](#).

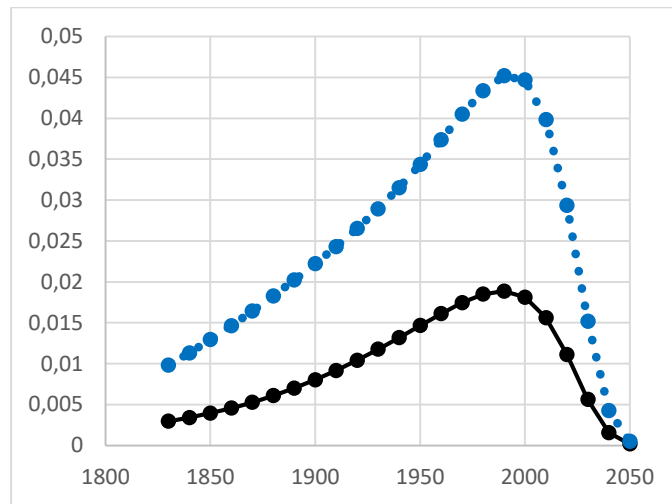


Рисунок 27. Рассчитанные по модели модернизации [20] средние по десятилетиям темпы прироста численности населения Земли (сплошная линия) и мирового ВВП (пунктирная линия)

Из сравнения данных, рассчитанных по модели (рис.27), со статистическими данными (рис.3) видно, что хотя модель не отражает влияние мировых войн и кондратьевских циклов³⁵, четко видных на статистических данных, она хорошо отражает глобальные тренды. В соответствии с этими трендами пик темпов экономического и демографического роста в соответствии с моделью приходится на последнюю четверть 20 века (что соответствует статистическим данным), а далее должен начаться быстрый спад (который также уже явно виден из статистических данных). При этом модель предсказывает, что если глобальные тренды будут сохраняться, то уже к середине 21 века должен произойти выход на стационарный режим (то есть на режим с нулевыми темпами демографического и экономического роста). Это весьма сильный вывод.

Кстати, этот вывод достаточно близок к инерционному прогнозу, сделанному в первом докладе Римского клуба «Пределы роста» [3]. Одной из ключевых предпосылок в этой работе был тезис о том, что по мере роста численности населения N будут расти удельные издержки на производство, уменьшаться ресурсная база, увеличиваться экологические расходы. В терминах модели индустриального общества (36) - (38) это означает увеличение коэффициентов α_1 и α_2 в уравнении (37) по мере роста N . Соответствующая ситуация отражена на рис.28, где изображен фазовый портрет индустриального общества с учетом этой предпосылки.

³⁵ В базовую модель модернизации, изложенную в [17], изначально не была заложена возможность моделирования экономических циклов.

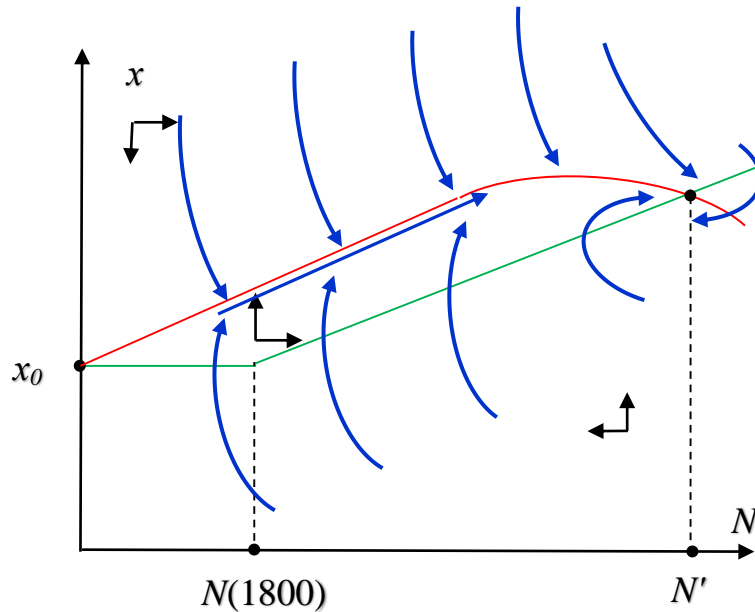


Рисунок 28. Фазовый портрет индустриального общества с учетом зависимости α_1 и α_2 от N в уравнении (37) (синие стрелки – фазовые траектории, зеленая и красная линии – изоклины)

Видно, что учет зависимости α_1 и α_2 от N приводит к тому, что изоклины пересекаются и появляется устойчивый аттрактор типа «фокус», которого не было на фазовом портрете индустриального общества, когда эта зависимость в уравнении (37) отсутствовала (см. [рис.12](#)). Данная ситуация аналогична тому, что было характерно для аграрного общества (см. фазовый портрет на [рис.8](#)), в котором наличие устойчивого аттрактора тормозило развитие, приводило к «мальтузианской ловушке» и возникновению демографических циклов. Предвосхищение наступления этой ситуации, неизбежной при сохранении социально-экономической системы Y-типа (см. [таблицу 1](#)), предопределило пессимистический взгляд членов Римского клуба на перспективы мирового развития.

Однако, все не так просто и прямолинейно. За последние несколько десятилетий произошли серьезные *качественные* перемены в мире, которые обязательно должны быть учтены при анализе и моделировании вариантов будущего развития. Речь идет о следующих изменениях, качественно отличающих современную эпоху от предыдущих эпох:

- процесс *глобализации*, постепенно осуществлявшийся на протяжении многих веков, технически завершился: мир стал единым, опутанным информационными, экономическими, коммуникационными связями. Если раньше в межгосударственных отношениях типичным было разделение на «своих» и «чужих» (то есть тех, на кого не распространялись моральные нормы, принятые при взаимодействии со «своими»), то сейчас на первый план выходит задача формирования единых идеологических принципов совместного общежития;

- мир стал *замкнутым* и *взаимозависимым*, возникли глобальные ресурсные ограничения и экологические проблемы, осознано необратимое влияние деятельности человечества на природу и климат;

- происходит торможение роста численности населения мира, одновременно население мира будет стареть, а продолжительность жизни будет расти. В этих условиях доля пожилых возрастов будет увеличиваться, доля молодых – падать. Возрастная пирамида из треугольной превращается в прямоугольную;

- будет продолжаться и ускоряться цифровизация и тотальная компьютеризация всех сфер жизни. Все население мира будет охвачено информационными сетями, каждый будет находиться под контролем, автономность человека исчезнет. Человек во все большей степени будет передавать функцию принятия решений искусственному интеллекту и, соответственно, во все большей степени будет зависеть от компьютера (от заложенных в него алгоритмов);

- мир будет все более техногенным, но если раньше объектом технологических преобразований была природа, то сейчас объектом изменений становится сам человек (биотехнологии, генная инженерия, чипирование, искусственные органы, клонирование и т.п.) и его сознание (когнитивные технологии, нейропсихологическое воздействие, психотропные вещества и т.п.).

Кроме того, важно иметь в виду, что если вплоть до начала 21 века основная часть населения Земли жила в сельской местности (рис.29), то сейчас ситуация изменилась и основная часть населения живет в городах (56% в 2020 году) и доля городского населения продолжает расти. Люди, живущие в городах, обладают большими материальными возможностями, чем сельские жители, но с другой стороны, они в большей степени зависят от состояния инфраструктуры, от изменений в экономической ситуации в своих странах и в мире, их поведение отличается от поведения жителей села.

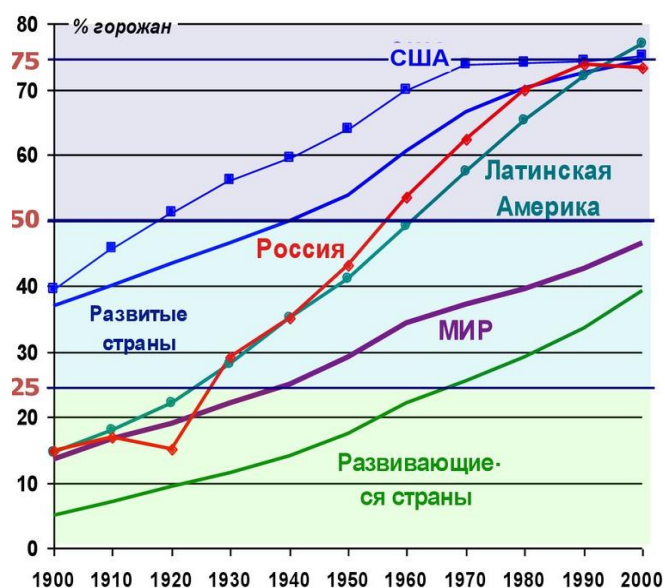


Рисунок 29. Динамика доли городского населения в 20 веке по некоторым странам, группам стран и континентам

Еще одним важным обстоятельством является следующее: до семидесятых годов 20 века, во время второй фазы индустриального общества, в странах мир-системного Центра благодаря ускоренному экономическому росту росло значение ВВП/чел., при этом остальные страны несмотря на начавшийся экономический рост оставались в «мальтузианской ловушке». С семидесятых годов 20 века отрыв ВВП/чел. развитых стран от ВВП/чел. стран остального мира стал постепенно уменьшаться (см. [рис.26](#)) вследствие того, что развивающиеся страны стали выходить из «мальтузианской ловушки» и последовательно подтягиваться к развитым странам по уровню ВВП/чел. Все большая часть населения Земли начинает жить в условиях, когда базовые материальные потребности удовлетворены и есть определенный излишек денежных средств, который можно расходовать по своему усмотрению. Соответственно, это влияет на их поведение и принятие ими решений в различных ситуациях. Такая ситуация возникла впервые в истории человечества (раньше относительным избытком материальных благ обладала лишь узкая прослойка элиты), влияние этой ситуации на социальные процессы нужно учитывать при моделировании.

На основе вышеизложенного имеются основания полагать, что семидесятые годы 20 века являются определенным рубежом, с которого началась *новая фаза исторического развития*. Смена фаз тесно связана с революционными технологическими трансформациями:

неолитическая революция – переход человечества от присваивающего хозяйства (охота и собирательство) к производящей экономике (производство сельскохозяйственной и другой продукции на основе ручного труда) – привела к формированию *аграрного общества*;

промышленная революция – замена ручного труда машинным – привела к формированию *индустриального общества*;

цифровая революция – изобретение высокоскоростных вычислительных устройств, внедрение их во все сферы жизни и на их основе постепенная замена интеллектуального труда машинным – приводит к формированию общества, функционирование которого решающим образом зависит от компьютерных алгоритмов. В связи с этим формирующееся W-общество, отличающееся как от X-общества, так и от Y-общества, логично назвать *кибернетическим*.

Какие особенности этого общества позволяет выявить базовая модель?

4.2. Начнем с моделирование взаимодействий в **системе «общество-природа»**. В кибернетическом W-обществе все процессы становятся более взаимосвязанными, чем это было в предыдущие эпохи. С одной стороны, это связано с тем, что численность населения Земли в конце 20 века выросла в несколько раз по отношению к численности населения мира в период промышленной революции. При этом давление человека на природу многократно усиливается из-за работы промышленных предприятий, вследствие чего скорость природно-экологических изменений уже не может считаться медленным процессом по сравнению со скоростью

демографических процессов. С другой стороны, возросла скорость технологических изменений: она стала существенно превышать скорость, с которой поколения людей меняют друг друга. Соответственно, применявшееся при анализе аграрного и индустриального обществ разделение процессов на «быстрые» (демографо-экономические) и «медленные» (природные) становится неправомерным, поэтому взаимодействия «общество-природа» необходимо рассматривать в рамках единой системы уравнений.

С учетом вышесказанного базовые уравнения (1) - (18) для нового типа общества приобретает следующий вид.

4.2.1. Обобщенное уравнение демографической динамики.

В отличие от представлений пятидесятилетней давности [3], что если не предпринимать специальных ограничительных мер, то численность населения будет расти по экспоненте (то есть в соответствии с динамикой, изображенной на рис.6(A)), исторический опыт конца 20 – начала 21 века показал, что в урбанизированном обществе модель семьи трансформируется из многодетной в малодетную и, соответственно, проблемой развитых стран становится не рост населения, а его депопуляция. Разные варианты торможения роста населения изображены на рис.6(B), 6(B), 6(Г). Базовые уравнения, соответствующие этим вариантам демографической динамики, могут быть записаны в виде:

$$dN/dt \approx r \cdot N \cdot (1 - x_0/x) \cdot (x_0/x) \quad (\text{динамика на рис.6(B)}, \quad (50)$$

$$dN/dt \approx r \cdot N \cdot (1 - x_0/x - x/x) \quad (\text{динамика на рис.6(B)}, \quad (51)$$

$$dN/dt \approx r \cdot N \cdot (1 - x_0/x - x/x) \cdot (x_0/x)^2 \quad (\text{динамика на рис.6(Г)}. \quad (52)$$

Следствием этой динамики является постепенная стабилизация численности населения (уравнения (50) и (52)) или его уменьшение (уравнение (51)) за счет снижения рождаемости.

4.2.2. Обобщенное уравнение экономической динамики.

Поскольку основой экономики как индустриального, так и кибернетического общества является промышленное производство и развитие технологий, то общий вид уравнения экономической динамики остается прежним (см. уравнение (32)), изменения касаются лишь вида входящих в него членов.

Как упоминалось выше, необходимо разделять ситуации, когда 1) ограничения по ресурсам отсутствуют (ресурсы доступны в избытке) и 2) когда ресурсы в дефиците.

Особенностью кибернетического общества является ситуация, при которой технологический прогресс позволяет снимать периодически возникающие ресурсные ограничения путем введения в оборот новых ресурсов, а также за счет более эффективного их использования³⁶, однако в отличие от индустриальной стадии развития становятся все более острыми экологические проблемы, а также проблемы изменения характеристик

³⁶ Это характерно и для индустриального общества.

внешней среды (например, климата), приводящие к ухудшению условий жизни.

Соответственно, сохранив вид уравнения (32), необходимо ввести в него зависимость I_1 и I_2 от состояния внешней среды, качества ресурсов и т.п.

4.2.3. Обобщенное уравнение **технологической** динамики.

В кибернетическую эпоху технологический прогресс остается ключевым фактором экономической динамики. Для описания технологической динамики целесообразно использовать базовое уравнение (9), в котором величины c и S_0 задаются на основе имеющихся статистических данных и дополнительных гипотез.

4.2.4. Обобщенное уравнение расходования **природных ресурсов**.

В кибернетическом обществе в промышленном производстве используется большое количество разнообразных ресурсов. Благодаря технологическому прогрессу периодически возникавшие ресурсные ограничения снимались путем введения в оборот новых ресурсов, а также за счет более эффективного их использования. Однако затраты на ресурсное обеспечение производства становятся все дороже.

Для расходования различных категорий природных ресурсов используются уравнения (12) - (14) с учетом специфики ресурсов. На основе решения этих уравнений оценивается величина I_1 , необходимая для обеспечения устойчивого бескризисного развития.

4.2.5. Обобщенное уравнение накопления **продуктов жизнедеятельности**.

В условиях глобализации и замкнутости мира накопление продуктов жизнедеятельности становится серьезной проблемой. Для ее анализа используются уравнения (16) с учетом специфики продуктов жизнедеятельности. На основе решения этих уравнений оценивается величина I_2 , необходимая для обеспечения устойчивого бескризисного развития.

4.2.6. Обобщенное уравнение для **изменения характеристик внешней среды** U_j в результате антропогенного воздействия.

Сохранение характеристик внешней среды требует дополнительных затрат I_2 . Для их оценки используются уравнения (16) и затем уравнения (18).

4.2.7. Таким образом, базовая модель взаимодействий в системе «общество-природа» может быть записана в виде следующей системы уравнений:

$$dN/dt \approx r \cdot N \cdot (1 - x_0/x) \cdot (x_0/x), \quad (53)$$

$$dx/dt \approx (F(R, I_1) - I_1 - I_2)/N - Q = S - I_1/N - I_2/N - Q \quad (54)$$

$$dS/dt \approx c \cdot N \cdot (S - S_0). \quad (55)$$

$$dR/dt = k^+_{R^*} \cdot q_{R^*} \cdot I_1 - F/A_R(S), \quad (56)$$

$$dR/dt = R^+_{np} + k^+_{R^*} \cdot q_{R^*} \cdot I_1 - R^-_{np} - k_{R^*} \cdot F, \quad (57)$$

$$dR/dt = k^+_{R^*} \cdot q_{R^*} \cdot I_1 - f_R(t), \quad (58)$$

$$dW_i/dt = k^+_{w_i} \cdot F - W_i^-_{np} - k^-_{w_i} \cdot q_{w_i} \cdot I_2 \quad (59)$$

Неизменным (по сравнению с уравнениями (36) - (38), описывающими динамику индустриального общества) осталось уравнение технологического прогресса (55), при этом в нем по-прежнему подразумевается рост значения S_0 по мере увеличения значения N . В демографическом уравнении (53) появился член, учитывающий снижение рождаемости (второй демографический переход³⁷) при увеличении уровня благосостояния x . В экономическом уравнении (54) существенным становится количественный учет влияния на величины I_1 и I_2 наличия ресурсных ограничений и необходимости решения экологических проблем (см. уравнения (56) - (59)).

Поскольку в экономически развитом обществе используются разнообразные ресурсы, часть из которых является взаимозаменяемыми, то в общем случае количественный учет влияния на величины I_1 и I_2 наличия ресурсных ограничений и необходимости решения экологических проблем представляет собой специализированную технически сложную задачу, требующую анализа и обработки большого количества статистических данных. На уровне базовой модели, предназначенной для анализа долгосрочных тенденций мировой динамики, целесообразно использовать сценарный подход, основанный на общих предположениях. Базовым сценарием развития постиндустриального кибернетического общества, широко использующего технологические достижения, целесообразно принять сценарий, в котором человечеству в конечном итоге удастся выйти на режим сбалансированного развития, в котором ресурсные и экологические проблемы удастся решить, развивая соответствующие технологии и выделяя для решения этих проблем необходимое финансирование³⁸. Математически это означает, что правые части уравнений (56) - (59) в условиях сбалансированного устойчивого развития приблизительно равны нулю. Анализ соответствующих алгебраических соотношений показывает, что это возможно в случае, если величины I_1 и I_2 будут расти пропорционально F , то есть $I_1 \approx g_1 \cdot F$, $I_2 \approx g_2 \cdot F$. С учетом того, что $F = S \cdot N$, экономическое уравнение (54) преобразуется к виду:

$$dx/dt \approx S - I_1/N - I_2/N - Q \approx S - g_1 \cdot S - g_2 \cdot S - q \cdot x, \quad (60)$$

где g_1 и g_2 – коэффициенты, значение которых может изменяться со временем.

Поскольку в системе уравнений (53), (55), (60) переменная x является «быстрой» переменной по отношению к переменным N и S , то по теореме А.Н.Тихонова дифференциальное уравнение (60) можно заменить на алгебраическое уравнение

$$S - g_1 \cdot S - g_2 \cdot S - q \cdot x \approx 0, \quad (61)$$

³⁷ Второй демографический переход (приводящий к замедлению роста численности населения) имел место в экономически развитых странах мира уже на второй фазе индустриального общества, однако в мировом масштабе он проявился после шестидесятих годов 20 века, когда ускорился экономический рост в странах мир-системной Полупериферии и Периферии.

³⁸ Необходимым условием решения проблем такого типа (экологических, энергетических и т.п.), касающихся всех без исключения, является выработка механизмов принятия согласованных, обязательных для всех решений и усиление централизованного управления.

откуда следует:

$$x \approx S \cdot (1 - g_1 - g_2) / q. \quad (62)$$

Варианты фазового портрета системы (53), (55), (60) в координатах x и N для различных значений параметров c , g_1 , g_2 , q представлены на рис.30.

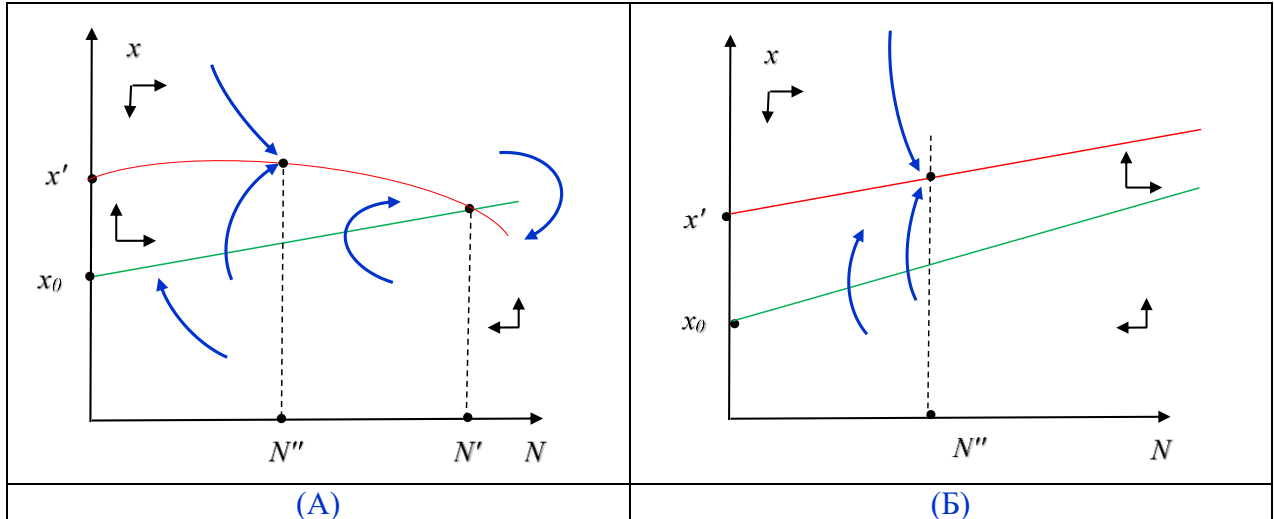


Рисунок 30. Фазовый портрет кибернетического общества. (А) - низкое значение c , высокие значения g_1 , g_2 , q . (Б) – высокое значение c , умеренные значения g_1 , g_2 , q (синие стрелки – фазовые траектории, зеленая и красная линии – изоклины, расположение красной изоклины зависит от динамики величины S)

Особенности фазового портрета кибернетического общества (рис.30) по сравнению с индустриальным (рис.12) заключаются в следующем:

- демографический рост перестает быть бесконечным и численность населения в конечном итоге стабилизируется (на рис.30 это точка N''). Причем это торможение происходит естественным путем (в процессе происходящего в настоящее время в большинстве стран мира второго демографического перехода: от многодетной к малодетной модели семьи). В отличие от аграрного общества (см. рис.8), где предельная численность населения детерминировалась демографической емкостью территории (в конечном итоге - количеством земельных ресурсов), в кибернетическом обществе величина N'' может варьироваться в широких пределах (даже может существенно снижаться, если демографическая динамика будет идти в соответствии с уравнением (51)) и во многом зависит от проводимой демографической политики;

- динамика уровня благосостояния x не зависит от численности населения N (как это было в аграрном обществе, см. рис.8), но зависит от уровня развития технологий S . При этом существенную роль играет то, сколько усилий приходится тратить на восстановление ресурсов, утилизацию отходов и т.п. (то есть каковы значения g_1 и g_2 в уравнении (62));

- таким образом, положение состояния равновесия (то есть точки N'' на фазовом портрете) не является фиксированным. Оно может изменяться в

широком диапазоне и зависит от проводимой социально-экономической и демографической политики. В любом случае, период гиперболического экономико-демографического роста, характерный для индустриальной эпохи, завершается и характер дальнейшей траектории развития во многом зависит от мер регулирования социально-экономических и демографических процессов;

- в этих условиях неизбежно усиление *централизованного регулирования* взаимодействий в системе «общество-природа», необходимо решать, сколько ресурсов и средств направлять на решение общих экономических, климатических проблем. Вопрос в том, кто и как это будет делать? Насколько способно мировое сообщество к согласованным действиям, чтобы реализовать благоприятный вариант развития?

4.2.8. При рассмотрении взаимодействий в системе «общество-природа» отдельным образом нужно обсудить тему изменения климата в силу ее высокой актуальности.

В индустриальную эпоху и особенно в ее конце человеческая деятельность стала активным фактором, воздействующим на природу и климат. По утверждению межправительственной группы экспертов по изменению климата, - МГЭИК (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), до 1976 г. изменчивость климата не превышала естественных вариаций, оцененных на промежутке времени около 1000 лет, но после этого амплитуда колебаний температуры превысила этот порог, и стало возможным говорить об антропогенном глобальном потеплении вследствие возросшего парникового эффекта [22]. Таким образом, опасность представляет не парниковый эффект как таковой, а превышение им установившегося фонового уровня. Ведь именно благодаря парниковому эффекту среднегодовая температура в приземной атмосфере в последние тысячелетия находилась примерно на уровне $+14^{\circ}\text{C}$, что сделало климат на Земле комфортным и пригодным для жизни. Без парникового эффекта вся наша планета неминуемо должна была бы покрыться льдом, поскольку тогда средняя температура приземной атмосферы составила бы -18°C . Причиной беспокойства по поводу глобального потепления является то, что естественный природный механизм искусственно усиливается хозяйственной деятельностью человека.

Ход температуры за последнее тысячелетие наглядно демонстрирует почти скачкообразное увеличение глобальной средней температуры воздуха примерно на $0,8^{\circ}\text{C}$ по сравнению с 1900 г. Вклад антропогенных факторов (парниковые газы и аэрозоли), по данным МГЭИК, в потепление климата в XX веке оценивается примерно в $0,6^{\circ}\text{C}$. Основной антропогенной причиной роста концентрации парниковых газов в атмосфере является растущее энергопотребление и индустриальные выбросы CO_2 . До нефтяного кризиса 1970-х годов потребность в энергии росла пропорционально квадрату численности населения мира ($E \sim N^2$). Необходим переход к новой парадигме энергопотребления при которой она будет расти прямо пропорционально численности населения ($E \sim N$). Новая парадигма направлена по существу на практическую реализацию энергетического сценария «Голубая карта» [23] за

счет огромного еще неиспользованного потенциала энергосбережения и повышения уровня энергоэффективности. Эффект технологий, направленных на снижение эмиссий CO_2 должен быть учтен на стадии расчета динамики выбросов углекислого газа в атмосферу. Что же касается технологий замещения углеводородных топлив – они должны учитываться при рассмотрении структуры энергопотребления по источникам.

Таким образом, схема расчета климатического прогноза включает в себя следующие этапы:

1) разработка математической модели для описания процесса перехода к новой парадигме энергопотребления;

2) расчет различных сценариев роста численности населения мира и отдельных стран (демографической динамики): $N(t)$;

3) расчет соответствующих сценариев развития динамики потребности в энергии, на основе новой парадигмы энергопотребления: $E(N(t))$;

4) прогноз динамики структуры энергопотребления по видам источников энергии (уголь, нефть, газ, ВИЭ, атомная энергия, гидроэнергетика);

5) прогноз динамики потребности в органических ископаемых видах топлива (уголь, нефть, газ);

6) прогноз динамики изменений структуры углеводородных источников энергии (уголь, нефть, газ);

7) расчет динамики выбросов CO_2 в атмосферу при сжигании углеводородных топлив с учетом структурных изменений в потреблении органических ископаемых топлив (уголь, нефть, газ), а также использования технологий по захвату и захоронению углерода (Carbon capture and storage – CCS): $W_{\text{CO}_2} = W_{\text{CO}_2}(E(N(t)), S)$;

8) расчет динамики накопления CO_2 в атмосфере с учетом неиндустриальных выбросов CO_2 (вследствие вырубки лесов и эрозии почв) и поглощения части выбросов океанами и экосистемами суши;

9) прогноз динамики климатических изменений. Расчет изменений средней глобальной температуры приземной атмосферы: $\Delta T = f(W_{\text{CO}_2}) = f(W_{\text{CO}_2}(E(N(t)), S))$;

10) анализ результатов и выработка практических рекомендаций.

Разработанные математические модели, результаты расчетов и их анализ представлены в работах А.А.Акаева [24]. С использованием разработанной модели для различных вариантов демографической динамики в 21 веке были проведены прогнозные расчеты с целью оценки антропогенного влияния на изменение глобальной температуры. При проведении расчетов рассматривались три сценария развития энергетики:

консервативный сценарий предполагает, что государственная политика, технологии и социальные предпочтения продолжают развиваться так же, как и в недавнем прошлом;

амбициозный сценарий предусматривает введение ряда мер, которые позволят существенно снизить выбросы углерода;

сценарий Net Zero, который предполагает, что меры, предложенные в амбициозном сценарии, дополняются и подкрепляются существенными изменениями в поведении и предпочтениях общества, что еще больше

ускоряет сокращение выбросов углерода (более подробная информация о данных сценариях приведена в работах А.А.Акаева [24]).

Результаты расчетов представлены на рисунках 31-33.

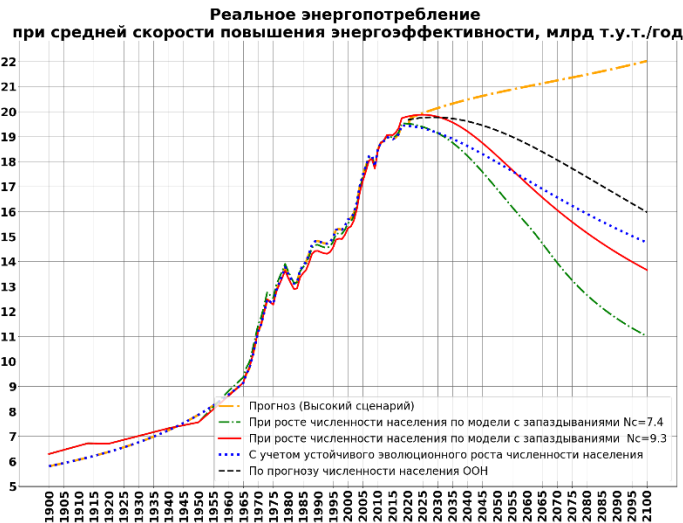


Рисунок 31. Динамика реального энергопотребления при средней скорости повышения энергоэффективности, млрд т.н.э./год и при разных вариантах демографического развития.

Источник: [24]

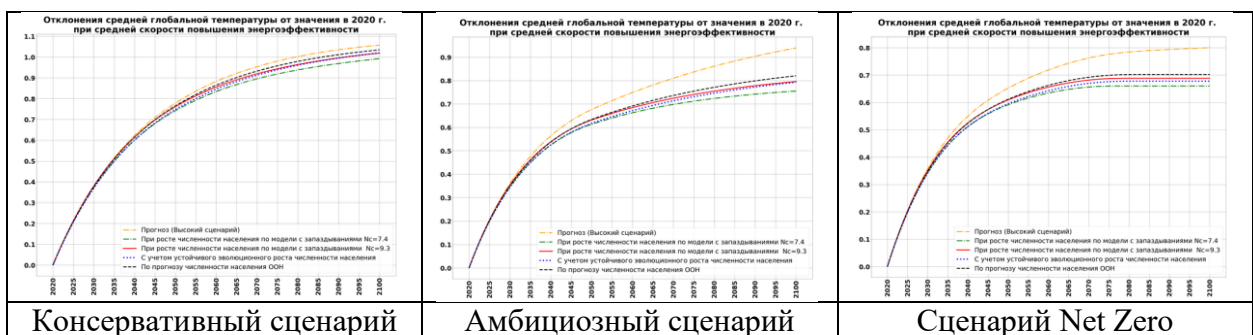


Консервативный сценарий

Амбициозный сценарий

Сценарий Net Zero

Рисунок 32. Динамика промышленных выбросов углекислого газа при средней скорости повышения энергоэффективности, млрд тонн и при разных вариантах демографического развития. Источник: [24]



Консервативный сценарий

Амбициозный сценарий

Сценарий Net Zero

Рисунок 33. Динамика отклонения средней глобальной температуры приземной атмосферы от значения в 2020 г. при средней скорости повышения энергоэффективности и при разных вариантах демографического развития. Источник: [24]

Показано, что энергетический переход от использования доминирующих в настоящее время ископаемых углеводородов к преимущественному использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), когда доля ВИЭ в общем энергобалансе превысит 40%, может состояться в 2060-е годы.

Показано, что без динамичного развития ядерной энергетики как низкоуглеродного источника генерации базовой и пиковой электроэнергии, необходимой для создания стабильной и устойчивой энергосистемы, данный энергопереход невозможен. Показано, что для удержания глобального потепления на уровне 1,5°C к концу текущего века, потребуется более широкое использование химической технологии по улавливанию, связыванию и захоронению углекислого газа как в процессе сжигания углеводородов в энергоустановках, так и непосредственно из атмосферы, но этому пока препятствует дороговизна технологии. Решение данных проблем возможно, но оно в решающей степени будет зависеть от того, насколько согласованными и целеустремленными будут действия мирового сообщества.

4.3. Таким образом, анализ и моделирование показывают, что взаимодействия в системе «общество-природа» в решающей степени будут зависеть от того, какой тип социальных взаимодействий сформируется в будущем W-обществе. Выше были отмечены наиболее важные изменения, которые будут оказывать определяющее воздействие на переформатирование социальных отношений и на механизмы социальной самоорганизации:

1) глобализация: мир стал единым, нет разделения на «своих» и экзистенциально «чужих» (соответственно, становится актуальной задача формирования принципов совместного общежития);

2) мир стал замкнутым: исчезла возможность внешней экспансии, притока внешних ресурсов, «игра с положительной суммой» закончилась, ориентация на максимизацию прибыли невозможна;

3) стабилизация численности населения мира, его старение;

4) переход к информационному обществу, проникновение информационных технологий и искусственного интеллекта во все сферы жизни;

5) объектом технологических воздействий и изменений становится не только природа (как это было в предыдущие эпохи), но и сам человек (биотехнологии, генная инженерия, чипирование, искусственные органы) и его сознание.

Вследствие этого неизбежны следующие социальные трансформации:

1) переход от либерально-рыночной экономики к распределительному обществу³⁹;

2) основной ценностью становятся не материальные блага (развитие технологий позволит решить проблему голода и нищеты), а информация, влияние на сознание;

3) тотальный контроль за поведением человека с помощью систем с искусственным интеллектом и когнитивных технологий;

4) изменение демографической структуры общества (уменьшение доли молодежи), его старение, переход от «общества роста» к «обществу стабильности»;

³⁹ Это следствие снижения общей нормы прибыли и окончания эпохи, когда «игра с положительной суммой» была правилом, а не исключением из правила.

- 5) широкое распространение человеко-машинных и полностью автономных систем, снижение значимости личного опыта, зависимость человека и общества в целом от информационных технологий;
- 6) виртуализация общения, формирование сетевого общества;
- 7) повышение профессиональной специализации, «новая сословность»;
- 8) повышение роли идеологии как средства управления поведением людей.

Вопрос в том, какой социальный облик примут эти трансформации.

4.3.1. В будущем кибернетическом W-обществе неизбежно увеличение дробности общества, множественности социальных групп, и как следствие, снижение факторов социальной сплоченности. Поэтому при моделировании социально-экономической устойчивости уже невозможно разделение общества на небольшое количество социальных слоев, взаимодействие которых друг с другом является определяющим (в аграрном обществе это было взаимодействие земледельцев и землевладельцев, в индустриальном обществе – взаимодействие предпринимателей и наемных работников). Нужно использовать многокомпонентную схему взаимодействия с участием N социальных акторов (социальных групп), которая в общем виде описывается уравнениями (21). При этом возникает вопрос: каким образом будет обеспечиваться «синхронизацию» действий этих социальных акторов?

Еще одной особенностью будущего W-общества является неизбежное усиление в нем *распределительных* принципов (в отличие от доминирования либерально-рыночных принципов в индустриальном обществе). В работе [12] на основе использования базовой модели экономической конкуренции показано, что при переходе от «игры с положительной суммой» к «игре с нулевой суммой» конкурентные взаимодействия неизбежно приводят к победе одной из сторон и к экономическому монополизму. В этих условиях либерально-рыночные механизмы трансформируются в распределительные, зависящие от монополиста⁴⁰. Вопрос в том, кто будет распределителем, и на каких принципах будет осуществляться распределение.

Свою версию ответов на эти вопросы в условиях упомянутых выше социальных трансформаций предлагают авторы концепций «социально-ориентированного капитализма» (К.Шваб [25]), «инклюзивного капитализма» [26]. По существу, если выделить суть этих концепций, то в них подразумевается формирование иерархического сословного (кастового) *тоталитарного общества*, управляемого явным или неявным «мировым правительством» (глобальной элитой, куда входят представители финансового капитала, транснациональных компаний, интернет-гигантов, контролирующие ресурсные и информационные потоки). Основные материальные потребности населения обеспечены безусловным базовым доходом⁴¹, но численность населения контролируется, население лишено собственности и реальной возможности влиять на принципиально важные решения, принимаемые «мировым правительством». При этом реализуется управление ментальностью

⁴⁰ В современном мире в качестве таких монополистов могут выступать государство, транснациональные компании и финансовый капитал (в сфере экономики), интернет-гиганты (в информационной сфере).

⁴¹ Аналог «хлеба и зрелищ» для плебса в Древнем Риме.

людей (в том числе, через чипирование), что позволяет обеспечить нужную «синхронизацию» общества. Цифровые технологии используются для тотального контроля за поведением населения. Это **вариант №1** будущего W-общества (фазовый портрет такого общества представлен на [рис.30\(А\)](#), где сдерживание численности населения на уровне, не превышающем N'' , достигается гендерной политикой, поощрением ЛГБТ-сообществ и т.п.).

По существу, это новый феодализм, реинкарнация X-системы тоталитарного типа в кибернетическую эпоху. Но есть существенное различие от феодализма Средних веков. В средневековых государствах была внутренняя конкуренция элит за власть и внешняя конкуренция государств друг с другом, служившая, несмотря на все издержки, стимулом дальнейшего (в том числе технологического) развития. В **варианте №1** будущего W-общества, в условиях глобализации и монополизма в сфере управления и распределения материальных благ, конкуренция подавляется, что неизбежно приведет к стагнации и последующей деградации. Подобное общество ярко показано в фильме Г.Данелия «Кин-дза-дза» (1986 г.).

Альтернативой концепции «инклюзивного капитализма» может быть **вариант №2** будущего W-общества под условным названием «*Мир-организм*». Это общество, где при наличии глубокой профессиональной специализации населения нет дискриминации, управление осуществляется на основе сетевых технологий (сетевые технологии используются для «синхронизации» коллективной деятельности и осуществления прямой демократии). Большую роль играет идеология (в виде этических норм и самоограничений, подавляющих антагонистическую конкуренцию), которая устанавливает систему правил выработки согласованных решений. При этом неантагонистическая конкуренция не подавляется, а наоборот, поощряется, но канализируется в сферу спорта, науки и технологий, в творческие профессии и т.п. в форме соревновательной конкуренции. Деятельность управленцев контролируется обществом (это обеспечивается информационной прозрачностью и сетевыми платформами), что позволяет формировать управленческий аппарат на основе меритократических принципов. Функционирование такого общества аналогично функционированию биологического организма, где все органы специализированы, но действуют согласованно, не подавляя друг друга (фазовый портрет такого общества представлен на [рис.30\(Б\)](#), где численность населения N'' устанавливается естественным образом, а технологический рост не тормозится в силу поощрения творческой активности всех социальных слоев). По существу, **вариант №2** будущего W-общества под условным названием «*Мир-организм*»⁴² - это реализация идей великих российских ученых-гуманистов Н.Вернадского, Н.Кондратьева, П.Сорокина, Н.Моисеева, И.Пригожина, С.Капицы и других.

Указанные варианты – это две крайние альтернативы. В чистом виде они, возможно, не реализуются, но важно то, по какому пути пойдет формирование

⁴² Здесь слово «Мир» по русской традиции многозначно: оно подразумевает и планетарный масштаб, и социальную направленность варианта №2 будущего W-общества (ср. название романа-эпопеи Л.Н.Толстого «Война и мир»).

будущего общества: по направлению к **варианту №1** или к **варианту №2**. Первый путь – это путь, когда конкурентное начало в социальных отношениях превалирует над кооперативным началом. Второй путь – это когда во главу угла ставится достижение общих целей, кооперация, а не конкуренция.

Если переход от индустриального общества (с его внутренней конкуренцией, доминированием Y-институтов и индивидуализмом на социально-психологическом уровне) к **варианту №1** будущего W-общества в каком-то смысле является эволюционным, поскольку он сохраняет конкурентную ментальность и основан на характерном для индустриального общества стремлении социальных субъектов максимизировать индивидуальную «функцию полезности», то переход к **варианту №2** сталкивается с принципиальными сложностями. Эти сложности связаны с необходимостью перехода от конкурентных отношений к кооперативным и требуют перестройки сознания и принципов принятия решений на всех уровнях общества. Такая перестройка не происходит быстро, для этого требуется время, измеряемое поколениями, и новая идеология.

В период завершения «осевого времени» в первые столетия нашей эры, когда эпоха роста (поздняя античность) стала трансформироваться в эпоху стабильности (Средние века), задачу трансформации массового сознания от конкурентного менталитета к менталитету, основанному на самоограничениях и снижении взаимной агрессии, в Европе выполнило христианство⁴³ с его императивами «не убий», «не укради», «не прелюбодействуй», «подставь левую щеку, когда тебя ударили по правой», «нет ни эллина, ни иудея, а есть братья во Христе» и т.п. В современную эпоху подобная идеология еще не сформулирована⁴⁴, но она должна принять форму не религии (поскольку религии по своей природе каноничны и жестко противопоставляют круг своих адептов адептам других религий), а *этики*, общепринятых норм морали и поведения.

Закономерен вопрос, с помощью каких социальных механизмов будет обеспечиваться выполнение нравственных императивов и купироваться «эффект безбилетника» (то есть стремление определенных членов общества уклониться от самоограничений)? В Y-обществе борьба с нарушителями законодательно установленных правил поведения основана на жесткой системе наказаний (административное право, уголовное право и т.п.), но при этом реально действует правило «не пойман – не вор». В религиозном X-обществе правила поведения зафиксированы в священных книгах и угрозой в случае их нарушения является кара господня, что в сознании верующих людей является серьезным сдерживающим фактором (но на сознание нерелигиозных людей эта угроза не действует: «если Бога нет, то все дозволено» (Ф.М.Достоевский)). В кибернетическом W-обществе средством выявления и пресечения «эффекта безбилетника» становится информационная

⁴³ В Южной Азии такую же роль играл буддизм, в Восточной Азии – конфуцианство.

⁴⁴ Коммунистическая идеология в ее классическом виде для этой цели не подходит, поскольку она является продуктом индустриальной эпохи и отражает ее особенности. В настоящее время множатся попытки сформулировать идеологию, адекватную современной эпохе, но к настоящему времени процесс ее формирования не завершен.

прозрачность человека и сетевая организация общества. При этом информационная прозрачность может быть использована как для создания «цифрового концлагеря» (в **варианте №1** W-общества), так и для эффективного контроля общества за работой чиновников, пресечения коррупционных действий, для формирования управленческого аппарата на основе меритократических принципов (в **варианте №2** W-общества). Как будут использоваться возможности всеобщей компьютеризации и информационной прозрачности в W-обществе, зависит от самого общества.

4.3.2. Рассмотренные выше варианты формирования будущего W-общества подразумевают разную структуру политических взаимодействий.

Вариант №1 W-общества, управляемого «мировым правительством», подразумевает установление политического монополизма или иерархических (вассальных) отношений в политической элите. В этом смысле он напоминает феодальную систему в Средневековье.

В **варианте №2** W-общества принцип антагонистической конкуренции исключается из политической жизни. В этом случае, как показывает базовая модель политической конкуренции, типичной ситуацией является установление равноправных отношений между политическими акторами без односторонних преимуществ для кого-либо из них (см. [рис.34](#)).

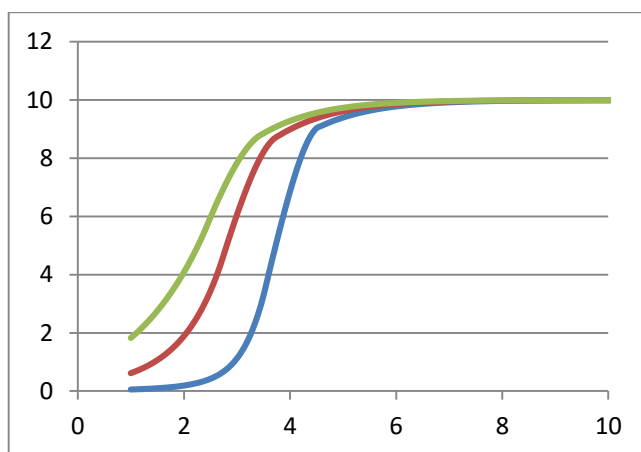


Рисунок 34. Установление равноправных отношений между политическими акторами (динамика переменных модели (43) при устранении антагонистической конкуренции; по оси ординат – значение политического влияния акторов u_i , отн. ед.; по оси абсцисс – время, отн. ед.)

Соответственно, в **варианте №1** W-общества устанавливается директивная схема управления иерархического типа [13], когда ключевые решения принимаются на верхней ступени иерархии «мировым правительством» и спускаются вниз для их исполнения.

В случае **варианта №2** W-общества естественным образом устанавливается адаптивная схема управления [13], позволяющая оперативно находить социальный компромисс и обеспечивать «синхронизацию» общества при изменении внешних и внутренних обстоятельств.

Обе эти схемы управления, как показано в [13], обладают свойством устойчивости.

4.3.3. В кибернетическую эпоху в результате развития процессов глобализации и повышения связности мира объективно повышается важность установления единых технических стандартов, протоколов обмена информацией, согласованной работы информационных систем, международной торговли и т.п. Однако эти процессы в рассмотренных выше вариантах формирования будущего W-общества существенно отличаются друг от друга. Эти отличия хорошо демонстрирует базовая модель (24).

В упрощенном виде (при сохранении только линейных и квадратичных членов в правых частях уравнений (24)), базовая модель конкуренции может быть записана следующим образом:

$$\partial u_i / \partial t = a_i \cdot u_i - b_i \cdot u_i^2 + \sum_{j \neq i} c_{i,j} \cdot u_i \cdot u_j + D_i \cdot \Delta u_i, \quad (63)$$

где $i, j = 1, 2, 3, \dots, N$; $a_i > 0$, $b_i > 0$, $c_{i,j} < 0$; D_i – коэффициент, характеризующий скорость распространения «силы» i -й СС в пространстве; Δ – оператор Лапласа ($\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$).

На рис.35 в качестве иллюстрации показано, как ведет себя система, состоящая из элементов трех типов (они обозначены на рисунке красным, синим и зеленым цветом), взаимодействие которых описывается уравнениями (63).

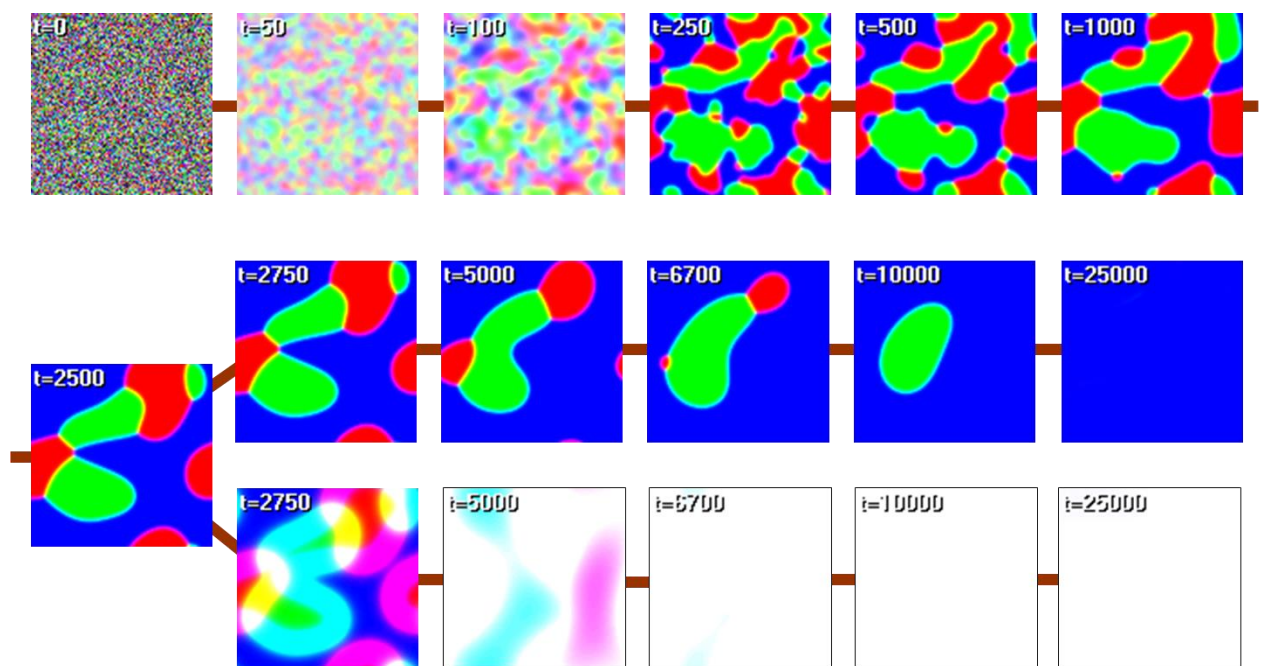


Рисунок 35. Результаты моделирования конкурентных взаимодействий в виде последовательных кадров расчета динамики системы, описываемой уравнениями (63) (цифры в левом верхнем углу каждого кадра соответствуют такту расчета)

Видно, что процесс развития системы (63) делится на ряд стадий:

1) стадия I (кадры 1 – 4 от момента времени $t = 0$ до $t = 250$): образование в результате межвидовой борьбы "чистых" областей (кластеров), в которых преобладают элементы определенного типа (разные для разных областей);

2) стадия II (кадры 5 – 7 от момента времени $t = 500$ до $t = 2500$): борьба между кластерами за расширение пространства, которое они занимают. На этой стадии антагонистическое взаимодействие кластеров происходит лишь на фронтах раздела между ними, при этом динамика изменений по сравнению с предыдущей стадией существенно замедляется. В конечном счете побеждает (то есть захватывает все пространство) какой-то один кластер, однако который именно – изначально не ясно. Важно, что первые две стадии носят стохастический характер, конечный результат на этих стадиях однозначно не предсказуем.

Иллюстрацией стадий I и II является процесс формирования и развития национальных государств в Европе в Новое Время. Для сравнения на [рис.36](#) показано, как изменялась политическая карта Франции при переходе от феодальной раздробленности к формированию единого национального государства.

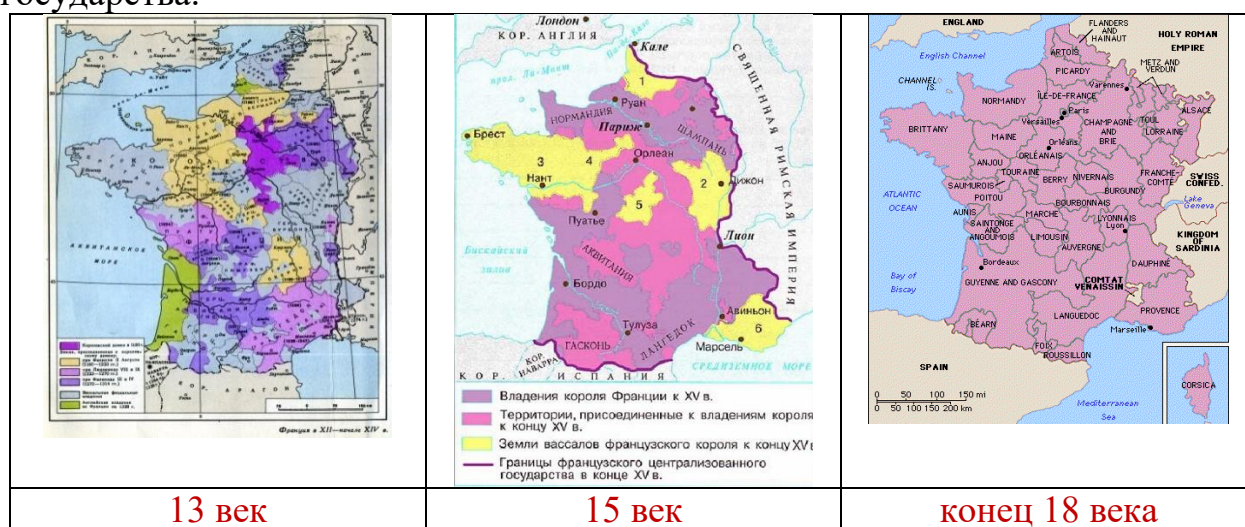


Рисунок 36. Изменение политической карты Франции в период с 13-го до начала 19 века н.э.

В результате данного процесса государственные образования укрупнились и становились более однородными: с едиными законами, с единой финансовой системой, с единым языком, с единой системой образования. Возникло новое понятие «нация», которое объединило в систему «свой-свой» локальные социальные группы, прежде разделенные по этническому, сословному и территориальному признаку. Взаимодействие «свой-чужой» было вынесено на уровень отношений между национальными государствами;

3) стадия III (начиная с кадра 7 от момента времени $t = 2500$ до $t = 25000$) распадается на два варианта. Первый вариант (верхняя ветка следующих друг за другом кадров) соответствует продолжению антагонистической борьбы между кластерами. При этом один из кластеров начинает преобладать над остальными и в конечном итоге их полностью подавляет⁴⁵. В конце этой стадии образуется чистое состояние, которое устойчиво и далее уже не эволюционирует.

⁴⁵ В историческом плане этот вариант стадии III соответствует формированию колониальной системы, глобализации по западному сценарию и варианту №1 формирования W-общества.

Второй вариант стадии III (нижняя ветка следующих друг за другом кадров) соответствует случаю, когда в момент времени $t = 2500$ уменьшены абсолютные значения коэффициентов c_{ij} и увеличены значения коэффициентов D_i ⁴⁶, то есть снижен уровень антагонизма взаимодействия кластеров при одновременном увеличении интенсивности взаимодействия.

Применительно к интересующему нас случаю отображаемые на [рис.35](#) кластеры синего, зеленого и красного цвета можно соотнести с современными глобальными геополитическими акторами (цивилизациями), характер взаимодействия которых будет определять то, по какому пути пойдет формирование будущего W-общества.

Верхняя ветка стадии III⁴⁷ на [рис.35](#) соответствует формированию **варианта №1** будущего W-общества по сценарию С.Хантингтона «*столкновение цивилизаций*», в результате которого одна из цивилизаций подавляет остальные и навязывает им свои правила игры. Этот сценарий продвигается западными элитами в виде концепта «инклюзивный капитализм», в котором подразумевается, что «мировое правительство» будет укомплектовано их представителями.

Нижняя ветка стадии III⁴⁸ на [рис.35](#) соответствует формированию **варианта №2** будущего W-общества по сценарию Ю.В.Яковца «*партнерство цивилизаций*» [27], в соответствии с которым происходит взаимодействие цивилизаций в интересах выработки общих целей, взаимного культурного обогащения, решения общих задач. Рисунок иллюстрирует тот факт, что взаимная диффузия культур и усиление партнерского взаимодействия приводит к новому качественному состоянию: синий, зеленый и красный цвета, соединяясь, дают белый цвет, в котором они становятся неотъемлемыми компонентами. Белый цвет – это *общая этика*, общие правила кооперативного взаимодействия, которые становятся естественными для единого Мир-организма (единство многообразия).

Иллюстрация перехода от современной Мир-системы конкурирующих государств к интегративному ноосферному обществу (в случае реализации **варианта №2**) приведена на [рис.37](#).

⁴⁶ В историческом плане этот вариант стадии III соответствует варианту №2 формирования W-общества.

⁴⁷ Верхний ряд расчета на [рис.34](#) соответствует варианту, когда конкуренция между акторами носит антагонистический характер, соответственно, в уравнении (63) коэффициенты $c_{ij} < 0$.

⁴⁸ Нижний ряд расчета на [рис.34](#) соответствует варианту, когда антагонистическая конкуренция между акторами отсутствует при одновременном усилении интенсивности взаимодействия (при повышении значений коэффициентов D_i).



Рисунок 37. Изменение политической карты мира при реализации варианта №2 трансформации мировой системы⁴⁹

4.4. Проведенный анализ глобальных тенденций позволяет сделать выводы о возможных сценариях мировой динамики в 21 веке. Выше было показано, что ход дальнейших событий носит вариативный характер. Ниже приведен анализ наиболее характерных из возможных сценариев.

4.4.1. Из всех процессов, связанных с развитием общества в современную эпоху, наиболее инерционным является демографическая динамика. Как было показано выше, наиболее важной особенностью демографической динамики является то, что во всех регионах мира, кроме тропической Африки, происходит (или уже произошел) второй демографический переход⁵⁰, сопровождающийся уменьшением рождаемости и соответствующим торможением (и даже снижением) численности населения. Неопределенность заключается лишь в том, с какой скоростью будет идти уменьшение рождаемости в целом по миру⁵¹. Эта неопределенность определяет набор вероятных демографических сценариев, которые были рассчитаны на основе математических моделей с учетом современных тенденций и гипотез о дальнейшей динамике демографических процессов:

верхний сценарий - продолжение роста населения мира в 21 веке со стабилизацией его численности в 22 веке;

средний сценарий – стабилизация численности населения мира к концу 21 века;

нижний сценарий – стабилизация численности населения мира с последующим снижением во второй половине 21 века.

Данные сценарии представлены на [рисунке 38](#).

⁴⁹ Подразумевается, что государственные границы на политической карте мира – это границы кластеров, разделяющих «своих» и «чужих». В случае интегративного общества такого деления уже не будет (все будут «своими»), останутся лишь административные границы.

⁵⁰ Снижение рождаемости во многом связано с процессами социально-экономической модернизации и ростом численности городского населения, для которого характерна малодетная модель семьи.

⁵¹ При этом в разных странах и регионах демографическая ситуация будет развиваться по-разному.

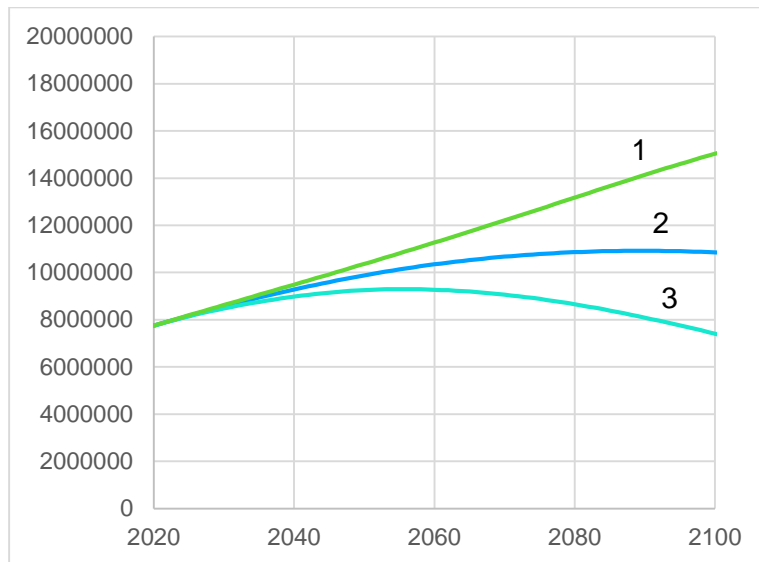


Рисунок 38. Возможные сценарии мировой демографической динамики до 2100 года, млн чел. (1 – верхний сценарий, 2 – средний сценарий, 3 – нижний сценарий)

При этом неизбежно изменение соотношения между представителями разных регионов и культурных общностей (цивилизаций), что будет существенным образом влиять на мировые процессы (см. [рис.39](#)).

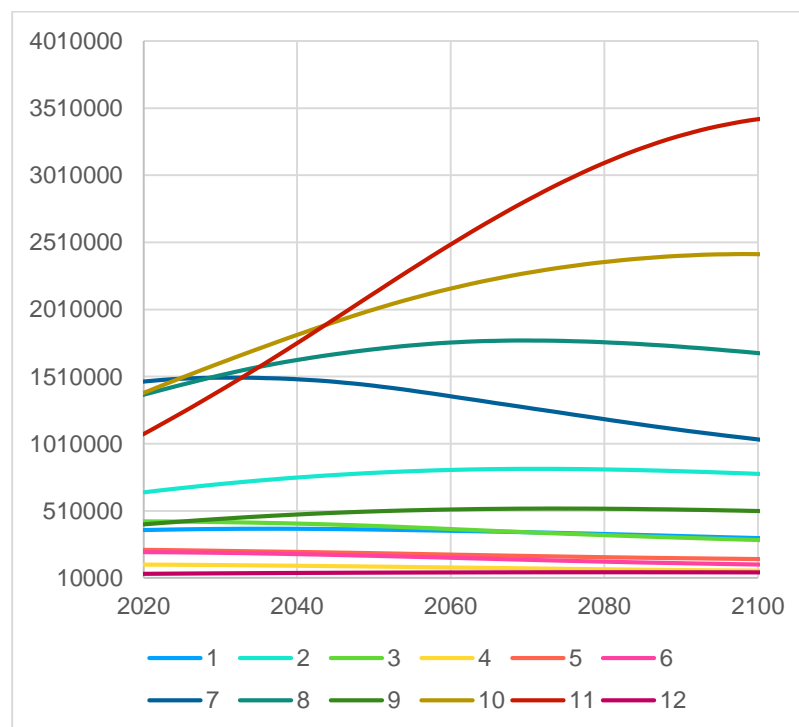


Рисунок 39. Динамика численности населения различных регионов мира в соответствии со средним сценарием, млн чел. (1 – Северная Америка, 2 – Латинская Америка, 3 – Западная Европа, 4 – Восточная Европа, 5 – Россия и страны СНГ, 6 – Япония и Корея, 7 – Китай, 8 – Индия, 9 – Юго-Восточная Азия, 10 - Ближний Восток и Северная Африка, 11 – Африка (южнее Сахары), 12 – Австралия, Новая Зеландия, Океания)

Видно, что к концу 21 века тропическая Африка уверенно выйдет на первое место по численности населения, обогнав и Китай, и Индию. При этом в 2100 году каждый второй житель Земли будет из Африки или из Ближнего

Востока. Эти изменения характерны для всех сценариев, усиливаясь от нижнего сценария к верхнему (см. [таблицу 2](#)).

Таблица 2. Доля численности населения региона в общей численности населения Земли

Регион	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2020 год	4,76%	8,37%	5,62%	1,44%	2,87%	2,66%	19,15%	17,74%	5,27%	17,83%	13,72%	0,52%
2100 год, верхний сценарий	2,49%	6,48%	2,26%	0,50%	1,15%	0,75%	6,76%	14,01%	4,22%	22,55%	38,43%	0,43%
2100 год, средний сценарий	2,83%	7,24%	2,70%	0,60%	1,40%	1,02%	9,61%	15,53%	4,68%	22,33%	31,58%	0,47%
2100 год, нижний сценарий	3,29%	7,92%	3,24%	0,73%	1,59%	1,27%	11,33%	16,34%	4,97%	22,09%	26,75%	0,49%

Примечание: 1 – Северная Америка, 2 – Латинская Америка, 3 – Западная Европа, 4 – Восточная Европа, 5 – Россия и страны СНГ, 6 – Япония и Корея, 7 – Китай, 8 – Индия, 9 – Юго-Восточная Азия, 10 – Ближний Восток и Северная Африка, 11 – Африка (южнее Сахары), 12 – Австралия, Новая Зеландия, Океания

4.4.2. Характер соотношения между средней по миру величиной ВВП/чел. и численностью населения Земли до конца 21 века, по-видимому, будет сохраняться таким же, каким он был на протяжении последних столетий (см. [рис.40](#)). По крайней мере, это соотношение не должно ухудшаться, но может и увеличиваться в связи с продолжающимся технологическим ростом и ростом доли затрат на НИОКР в ВВП в ведущих странах мира.

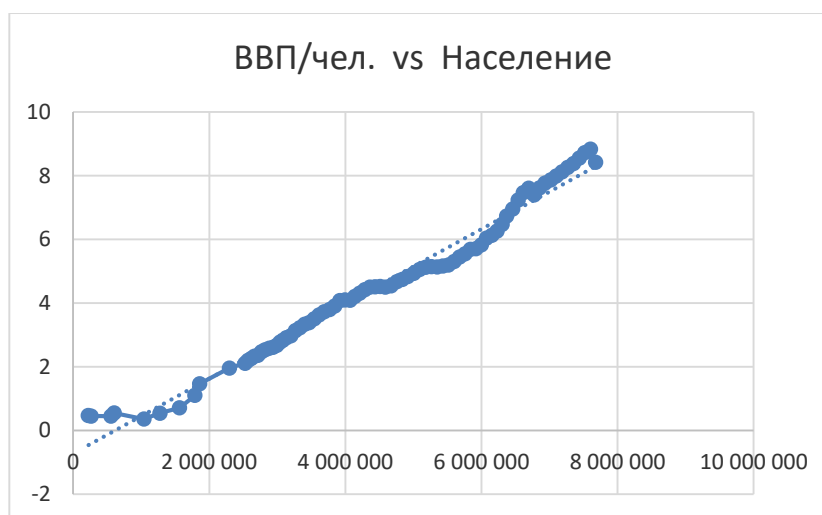


Рисунок 40. Соотношение между среднемировым значением ВВП/чел. (ось ординат, тыс. долл. 1990 года) и численностью населения Земли (ось абсцисс, тыс. чел.) в период с начала нашей эры по 2020 год

4.4.3. Объективность наблюдаемых в настоящее время процессов стабилизации численности населения Земли на фоне повышения уровня жизни изменяет направленность дискурса о пределах роста, который был инициирован докладами Римского клуба полвека назад. Тогда считалось, что в условиях выхода из «мальтузианской ловушки» естественным является

убыстряющийся рост населения Земли⁵², поэтому основные проблемы устойчивости развития заключались именно в этом росте.

В современных условиях, когда вследствие второго демографического перехода происходит стабилизация численности мирового населения, этот дискурс перестает носить алармистский характер, он переводится в русло анализа возможностей современных и будущих технологий сохранить и улучшить качество жизни населения Земли при одновременном решении экологических и других проблем. Таким образом, вопрос заключается в том, сможет ли развитие современных технологий своевременно обеспечивать решение возникающих проблем, либо развитие технологий будет опаздывать и проблемы будут накапливаться, порождая новые ограничения и пределы развития человеческого общества.

4.4.4. Одной из наиболее остро обсуждаемых тем является тема антропогенного влияния на климатические изменения. С учетом статистических данных за период 1960-2021 годов и наблюдаемых в последние годы трендов в сфере энергопотребления, а также, принимая во внимание внедряемые энергоэффективные технологии, были отобраны и рассчитаны три сценария роста средней глобальной температуры приземной атмосферы в XXI веке: консервативный сценарий, амбициозный сценарий и сценарий Net Zero [24]. Консервативный сценарий предполагает, что государственная политика, технологии и социальные предпочтения продолжают развиваться так же, как и в недавнем прошлом. Амбициозный сценарий предусматривает введение мер, приводящих к существенному снижению выбросов углерода в результате использования энергии, что в свою очередь дает возможность ограничить рост глобальной температуры в XXI веке. Сценарий Net Zero предполагает, что меры, предложенные в амбициозном сценарии, дополняются и подкрепляются существенными изменениями в поведении и предпочтениях общества. Динамика изменения структуры мирового топливно-энергетического баланса на XXI век при реализации консервативного сценария, амбициозного сценария и сценария Net Zero представлена на [рисунках 41-43](#).

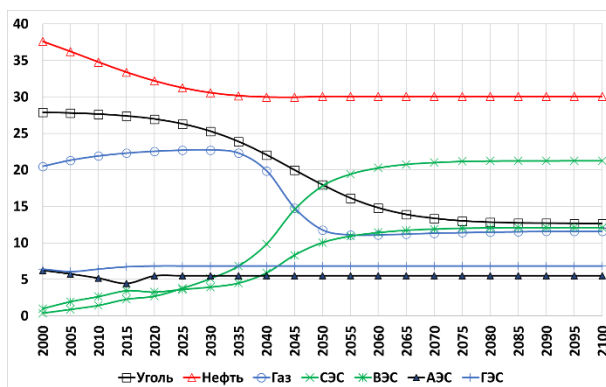


Рисунок 41. Динамика изменения структуры мирового топливно-энергетического баланса на XXI век при

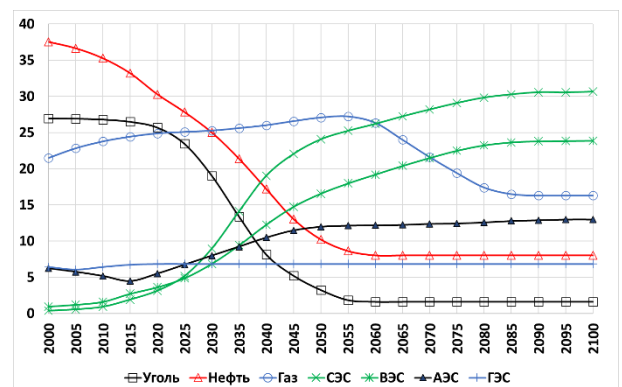


Рисунок 42. Динамика изменения структуры мирового топливно-энергетического баланса на XXI век при реализации

⁵² Действительно, в 60-х годах 20 века темпы роста населения Земли были максимальными за всю историю человечества (см. [рис.1](#)).

реализации консервативного сценария

амбициозного сценария

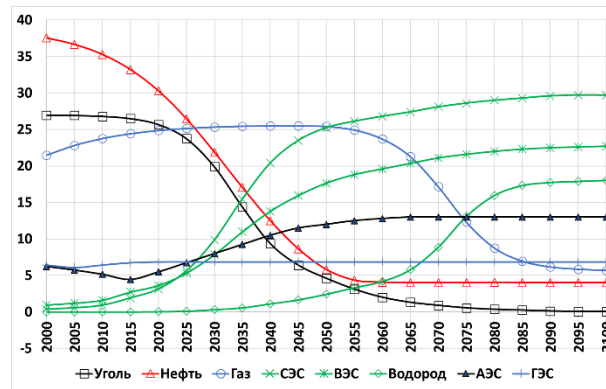


Рисунок 43. Динамика изменения структуры мирового топливно-энергетического баланса на XXI век при реализации сценария Net Zero

С помощью разработанной модели был найден оптимальный сценарий (сценарий Net Zero), при реализации которого будут выполнены требования Парижского климатического соглашения по удержанию глобального потепления на уровне 1,5-2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем. Сценарий Net Zero предполагает:

- использование энергоэффективных технологий;
- использование водорода;
- дальнейшее развитие возобновляемых источников энергии;
- широкое использование химической технологии по улавливанию, связыванию и захоронению углекислого газа.

Проведенные исследования с использованием математического моделирования (см. [24] и рис.31-33) показали, что на основе сценария Net Zero даже в случае развития демографических процессов по наиболее напряженному варианту (сценарий 1 на рис.38) возможно удержание средней глобальной температуры приземной атмосферы в допустимых пределах при условии эффективного использования современных технологий и согласованных действий мирового сообщества. Климатического кризиса можно избежать, если мир начнет действовать решительно и сообща и примет меры, необходимые для снижения выбросов углекислого газа. В частности, мировому сообществу необходимо перенаправить инвестиционные потоки с наиболее выгодных на те, которые принесут пользу обществу в долгосрочной перспективе.

Аналогичный вывод может быть сделан также в отношении других глобальных экологических проблем.

4.4.5. Таким образом, проведенный анализ показывает, что современные проблемы находятся не столько в сфере взаимодействий «общество-природа» (эти проблемы при необходимой координации усилий мирового сообщества можно будет решить), сколько в сфере социальных и политических взаимодействий. Важно, по какому пути пойдут социальные трансформации в современную «эпоху перемен», каким станет общество после окончания текущего переходного периода. Наиболее важной (но и наиболее сложной) задачей в данный исторический период является социальное проектирование,

целенаправленная деятельность по формированию будущего глобального общества на принципах кооперации и партнерства, а не конкуренции и соперничества (то есть реализации **варианта №2** формирования будущего W-общества под условным названием «*Мир-организм*»).

В этой связи возрастает роль России как страны-цивилизации. Россия – это страна, без меча и огня объединившая бескрайние и разнородные евразийские пространства, сумевшая наладить бесконфликтное взаимодействие проживающих на этих пространствах народов. Поэтому ее исторический опыт по культурной интеграции обширных пространств, а также идеи российских ученых-гуманистов В.Вернадского, Н.Кондратьева, П.Сорокина, И.Пригожина, Н.Моисеева, С.Капицы о справедливом мироустройстве имеют огромное мировое значение и будут все более и более востребованы.

Заключение

1. Статистические данные свидетельствуют о резких изменениях, происходящих в мире. После двухсотлетнего периода быстрого роста экономических и демографических характеристик в последние десятилетия наблюдается не менее стремительное их торможение. Прогнозы, основанные на проецировании сложившихся тенденций на будущие периоды, теряют всякий смысл.

2. В этих условиях резко возрастает актуальность и важность моделирования и прогнозирования мировой динамики на основе анализа и математической формализации фундаментальных закономерностей развития человеческого общества. Исследования в этом направлении проводились в МГУ имени М.В.Ломоносова под руководством В.А.Садовниченко на протяжении более 10 лет. В результате этих исследований предложена методология моделирования глобальных процессов в демографической, экономической, энергетической, технологической, социальной, политической сферах. Проанализированы закономерности долгосрочного исторического развития.

3. Суть происходящих в мире перемен, как показывают математическое моделирование, заключается в том, что человечество в настоящее время переходит на принципиально *новую фазу исторического развития*, старые экономические и социальные технологии (либеральный капитализм, классический социализм) уже не работают. Происходит переход человеческого общества в новое фазовое состояние, облик которого еще не определен.

4. В этих условиях речь идет не о прогнозировании, а о *проектировании* будущего в новых исторических условиях. Начинается борьба мировых проектов. Победит тот проект, который будет более успешным. Ряд проектов уже озвучен («капитализм стейкхолдеров» К.Шваба, «инклюзивный капитализм» Папы Римского). По существу, это - проекты реинкарнации тоталитарного общества в кибернетическую эпоху.

5. Альтернативный проект будущего W-общества (с условным названием «Мир-организм»), основанный на примате принципов сотрудничества над принципами конкуренции, может и должна сформулировать Россия. В случае реализации этого проекта, как показывает математическое моделирование, возможно решение глобальных проблем, связанных с экологией, глобальным потеплением, энергетикой. Этот мировой проект позволит осуществить идеи выдающихся российских ученых-гуманистов о формировании на новой стадии исторического развития принципиально нового интегративного ноосферного общества, путь к которому идет через партнерство цивилизаций.

Литература

1. Maddison Project database. URL: <http://www.ggd.net/maddison>.
2. Foerster, H. von, P. Mora, and L. Amiot. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. At this date human population will approach infinity if it grows as it has grown in the last two millennia // Science, 1960, № 132, с.1291-1295.
3. Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, William W. Behrens III. The Limits to Growth. A report for the Club of Rome's on the predicament of Mankind. – New York, Universe Books, 1972.
4. Акаев А.А., Садовничий В.А. 2011. Глобальные демографические модели к основа для стратегического прогноза / Проекты и риски будущего. Концепции, модели, инструменты, прогнозы / Ред. А.А.Акаев, А.В.Коротаев, Г.Г.Малинецкий, С.Ю.Малков. М.: Красанд/URSS, 2011. С.17–45.
5. В.А.Садовничий, А.А.Акаев, А.В.Коротаев, С.Ю.Малков. Моделирование и прогнозирование мировой динамики / Научный совет по Программе фонд. исслед. Президиума Российской академии наук «Экономика и социология знания». – М.: ИСПИ РАН, 2012.
6. Доклады Римскому клубу. URL: <https://www.clubofrome.org/publications/>
7. В.А. Садовничий, А.А. Акаев, А.В. Коротаев, С.Ю. Малков Комплексное моделирование и прогнозирование развития стран БРИКС в контексте мировой динамики / Научный совет по Программе фонд. иссл. Президиума Российской академии наук «Экономика и социология науки и образования». – М.: Издательский Дом «Наука», 2014; Малков С.Ю., Андреев А.И., Гринин Л.Е., Коротаев А.В., Малков А.С. Россия в контексте мировой динамики: моделирование и прогноз – М.: Московская редакция издательства «Учитель», 2016; Садовничий В.А., Акаев А.А., Коротаев А.В., Малков С.Ю., Соколов В.Н. Анализ и моделирование мировой и страновой динамики. – М.: ЛЕНАНД, 2017.
8. Kremer M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990 // The Quarterly Journal of Economics (The MIT Press) .1993. Т.108(3), p.681–716.
9. Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. Законы истории: Математическое моделирование развития Мир-системы. Демография, экономика, культура. / Отв. ред. Н.Н.Крадин. - М.: КомКнига, 2007.

10. Малков С.Ю., Ковалев В.И., Коротаев А.В. О математическом моделировании устойчивости функционирования социально-экономических систем // Информационные войны, 2021, №1(57), с.31-43; Pya Pyin, Leonid Issaev, Sergey Malkov A methodology for analyzing and forecasting sociopolitical destabilization // BioSystems, 2020, v.198, article 104229, p.1-8.
11. Малков С.Ю., Билюга С.Э., Шкаликов К.В., Малков Д.С. «Цветные революции» как один из типов социально-политической дестабилизации: опыт количественного анализа // Информационные войны, 2019, №3(51), с.8-17; Малков С.Ю. О методике анализа социально-политической нестабильности // Информационные войны, 2019, №2(50), с.64-72; Малков С.Ю., Билюга С.Э. Модель устойчивости/дестабилизации политических систем // Информационные войны, 2015, №1(33), с.7-18; Малков С.Ю. Динамика политических систем: моделирование устойчивости и дестабилизации // Информационные войны, 2007, №2, с.11-20; Чернавский Д.С., Чернавская Н.М., Малков С.Ю., Малков А.С. Математическое моделирование геополитических процессов // Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий. Часть 7. Имитационное моделирование и конфликтология / Материалы Международной конференции и Российской научной школы. - М.: Радио и связь, 2003, с.150-170; Д.С.Чернавский, Н.М.Чернавская, С.Ю.Малков, А.С.Малков Геополитические процессы как объект математического моделирования // История и синергетика: Математическое моделирование социальной динамики. - М.: КомКнига, 2005, с.103-116.
12. Малков С.Ю. Размышления на тему: есть ли будущее у капитализма? // Информационные войны, 2021, №4(60), с.41-49.
13. Малков С.Ю. О методике анализа социально-политической нестабильности // Информационные войны, 2019, №2(50), с.64-72; Малков С.Ю., Билюга С.Э. Модель устойчивости/дестабилизации политических систем // Информационные войны, 2015, №1(33), с.7-18.
14. Чернавский Д.С., Чернавская Н.М., Малков С.Ю., Малков А.С. Математическое моделирование геополитических процессов // Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий. Часть 7. Имитационное моделирование и конфликтология / Материалы Международной конференции и Российской научной школы. - М.: Радио и связь, 2003, с.150-170; Д.С.Чернавский, Н.М.Чернавская, С.Ю.Малков, А.С.Малков Геополитические процессы как объект математического моделирования // История и синергетика: Математическое моделирование социальной динамики. - М.: КомКнига, 2005, с.103-116.
15. Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. 2007. Законы истории: Математическое моделирование развития Мир-Системы. Демография, экономика, культура. М.: КомКнига.
16. Малков С.Ю. Будущее Z-общество // Информационные войны, №4(56), 2020, с.2-12.

17. Bryan Bunch, Alexander Hellemans. The History of Science and Technology. - Boston, New York, Houghton Mifflin Company, 2004.
18. Кирдина С.Г. X и Y-экономики: Институциональный анализ. - М.: Наука, 2004; Кирдина С.Г. Институциональные матрицы и развитие России: введение в X-Y-теорию. Издание 3-е, переработанное, расширенное и иллюстрированное. — СПб. : Нестор-История, 2014; Малков С.Ю. Социальная самоорганизация и исторический процесс: Возможности математического моделирования. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
20. Вебер М. Избранные произведения: Пер. с нем./Сост., общ. ред. и послесл. Ю. Н. Давыдова; Предисл. П. П. Гайденко. — М.: Прогресс, 1990.
21. Малков С.Ю., Давыдова О.И. Модернизация как глобальный процесс: опыт математического моделирования // Компьютерные исследования и моделирование, 2021, т.13, №4, с.859-873.
22. Малков С.Ю., Максимов А.А. Эпохи перемен: сходства и различия // Эволюция: паттерны эволюции / Отв. Ред. Л.Е.Гринин, А.В.Коротаев. – Волгоград, Учитель, 2018, с.292-306; Малков С.Ю., Максимов А.А. Эпохи перемен: из прошлого в будущее // Информационные войны, 2018, №2(46), с.16-23.
23. IPCC: Climate Change 2001. – Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
24. Energy Technology Perspectives 2010 — Scenarios & Strategies to 2050. — ETP 2010, IEA, 2010.
25. А.А. Акаев, О.И. Давыдова The Paris Agreement on Climate Is Coming into Force: Will the Great Energy Transition Take Place? // Herald of the Russian Academy of Sciences, 2020, Vol. 90, No. 5, pp. 588–599; А. А. Акаев, О. И. Давыдова Парижское климатическое соглашение вступает в силу. Состоится ли Великий энергетический переход? // Вестник Российской академии наук, 2020, том 90, № 10, с. 926–938; Askar A. Akaev, Olga I. Davydova A Mathematical Description of Selected Energy Transition Scenarios in the 21st Century, Intended to Realize the Main Goals of the Paris Climate Agreement // Energies, 2021, v.14, No.9, 2558; Акаев А.А., Малков С.Ю. Моделирование и прогноз энергоэкологической динамики. Часть 1 // Партнерство цивилизаций, 2020, №1-2, с.179-191; Акаев А.А., Малков С.Ю. Моделирование и прогноз энергоэкологической динамики. Часть 2 // Партнерство цивилизаций, 2020, №3-4, с.150-165;
26. Шваб Клаус Шваб, Тьерри Маллере COVID-19: Великая перезагрузка. – Женева, ФОРУМ ИЗДАТЕЛЬСТВО, Выпуск 1.0 © Всемирный экономический форум, 2020.
27. Так называемый инклюзивный капитализм – совместный проект Ротшильдов и Папы Римского. URL: <https://i24.info/inexplicable/tak-nazyvaemyi-inkluzivnyi-kapitalizm-sovmestnyi-proekt-rotshildov-i-papy-rimskogo.html>
28. Теория и стратегия становления устойчивого многополярного мироустройства на базе партнерства цивилизаций (Ялтинского мира — 2). Монография в 2 т. / Составители и научные редакторы Ю.В. Яковец, А.А. Акаев, С.Ю. Малков. - М.: МИСК — ИНЭС, 2020.