

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МИРОВОЙ ДИНАМИКИ

3.1. Методы динамического моделирования макросоциальных процессов

Математическое моделирование мировой динамики является чрезвычайно сложной задачей в силу многофакторности, нестационарности, слабой формализуемости, нелинейности макросоциальных процессов. История создания моделей мировой динамики имела следующие особенности:

- в первых моделях Дж.Форрестера [*Мировая динамика* 1971] и Д.Медоуза [*Пределы роста* 1972] мир описывался как единое целое, что, с одной стороны, позволило выявить тенденции мирового развития, а с другой стороны, оказалось достаточно серьезным упрощением, не позволившим анализировать детали процессов;
- дальнейшая эволюция моделирования пошла по пути детализации и конкретизации моделей: мир стал описываться как совокупность регионов, а затем отдельных стран. По существу, мир превратился в сумму отдельных стран (при этом целостность потерялась);
- модели становились все более сложными из-за стремления путем введения большого количества учитываемых факторов повысить адекватность моделирования, получить достаточно точные количественные оценки;
- моделирование имело сугубо экономическую направленность. Внеэкономические факторы, как правило, либо не учитывались, либо учитывались как экзогенные характеристики, рассматриваемые лишь в той мере, в которой они влияют на экономический рост.

Развитие моделирования по данному пути породило ряд серьезных проблем:

- по мере усложнения моделей происходила потеря прозрачности моделирования, поскольку увеличение количества формально учитываемых факторов приводит, как правило, не к повышению точ-

ности, а к ухудшению понимания логики процессов, к превращению моделирования в «колдовство» с параметрами;

- сугубо экономический характер моделей обедняет и искажает получаемые результаты, не позволяет понять глубинную логику глобальных процессов;
- модели создаются для описания настоящего и предсказания будущего, но при этом они не объясняют прошлое, не верифицируются на исторических данных, поэтому степень их достоверности не ясна, приходится принимать их на веру;
- в подавляющем числе случаев модели имеют трендовый характер и не учитывают циклической динамики.

Приходится констатировать, что в настоящее время моделирование мировой динамики переживает определенный кризис, проявлением которого явилось то, что, несмотря на наличие большого количества разнообразных моделей, финансово-экономические потрясения 2008 г. не были внятно предсказаны.

Для преодоления указанных проблем необходимо заново осмыслить принципы, положенные в основу моделирования мировой динамики. Надо избежать искуса усложнения моделей, сделать их более прозрачными, но при этом необходимо не утратить, а нарастить уровень их системности. Для этого требуется:

- учитывать не только экономические, но и демографические, социальные, культурные показатели как эндогенные параметры, рассматривать мировую динамику системно в многообразии различных (а не только экономических) ее аспектов;
- при этом по возможности минимизировать количество переменных, чтобы обеспечить прозрачность моделирования;
- учесть не только трендовую, но и циклическую динамику (экономические, политические, социальные циклы);
- верифицировать модели на исторических данных.

Данные требования к моделям мировой динамики, вообще говоря, являются противоречивыми. Действительно, как явствует из вышесказанного, суть их заключается в том, чтобы расширить возможности моделирования, но при этом не увеличивая, а уменьшая количество переменных. Возможно ли это (ведь до сих пор традиции моделирования были противоположными: считалось, что для повышения точности моделирования необходимо увеличение количества учитываемых факторов, при этом модели становились все более и более сложными)? Не является такая постановка задачи утопией?

Представляется, что данная научная задача выполнима. Основой такого оптимизма являются успехи, достигнутые при моделировании сложных эволюционирующих систем в физике, биологии, экономике в последние

десятилетия. Анализ результатов данных работ позволяет сформулировать следующую программу действий.

Надо отказаться от стремления создать единую комплексную модель, предназначенную для решения всего круга вопросов, связанных с анализом мировой динамики. Это тупиковый путь. Надо разбивать крупные задачи на ряд вложенных подзадач, каждую из которых целесообразно решать в рамках своей частной расчетной модели. Данные модели могут отличаться составом переменных, используемыми показателями, методами вычислений, самой идеологией моделирования (это все должно определяться спецификой конкретной решаемой подзадачи). Главное – чтобы они были согласованы по входам и выходам и представляли собой иерархию взаимоувязанных и взаимодополняющих моделей. Целесообразность такого разделения обусловлена тем, что на каждом уровне проявляются свои закономерности, которые сложно (а порой и невозможно) выявить на другом уровне. Применительно к моделированию и прогнозированию мировой динамики целесообразно выделить трех взаимосвязанных иерархических уровней:

- моделирование общих тенденций развития мира как целостной системы. Здесь должны быть выявлены наиболее общие закономерности, характеризующие исторический процесс и проявляющиеся именно на этом, глобальном уровне (как сказал поэт: «лицом к лицу – лица не увидать: большое видится на расстоянии»);
- моделирование особенностей региональной динамики. Этот срез важен, поскольку глобальная динамика является результатом региональных взаимодействий и противоречий;
- моделирование социально-экономической динамики отдельных стран в контексте мирового и регионального развития.

Аналогом первого уровня являются модели Форрестера–Медоуза [*Мировая динамика* 1971; *Пределы роста* 1972], аналогом второго уровня являются модели Месаровича–Пестеля [*Человечество перед выбором* 1974]. На третьем уровне целесообразно использовать динамические модели, позволяющие исследовать реакцию социальных систем на изменение внешних условий.

Результатом моделирования на первых двух уровнях является определение исходных данных и ограничивающих условий для решения оптимизационных задач на третьем уровне моделирования, где исследуются оптимальные стратегии развития отдельных стран. При этом технология описания глобальных процессов на первом уровне моделирования изменяется по отношению к технологии, использовавшейся Форрестером.

Технология конструирования модели Форрестера заключалась в том, чтобы определять динамику исследуемых переменных (численности населения, объемов основных фондов и т.д.), математически описывая процессы, приводящие к увеличению или уменьшению значений этих переменных.

Описание данных процессов в аналитическом виде для сложной социальной системы представляет собой трудновыполнимую (а часто и невыполнимую) задачу, поэтому Форрестер описывал эти процессы так, как принято в эконометрике – на основе обработки имеющихся рядов статистических данных. Необходимые по детальности ряды статистических данных имеются только начиная с середины XX века, поэтому реализованный подход может описывать только краткосрочные и среднесрочные (по историческим меркам) процессы длительностью в несколько десятков лет, более долгосрочные тенденции с его помощью выявить невозможно.

Чтобы расширить временные рамки моделирования мировой динамики требуется изменение используемого Форрестером подхода: на макроуровне имеет смысл моделировать не сами процессы (они весьма многообразны и могут сильно отличаться друг от друга в различные временные периоды), а их результаты. По существу, речь идет о моделировании динамики ограничений, накладываемых на исследуемые процессы. Для анализа долговременных тенденций, как правило, важны не детали процессов, а объемы доступных ресурсов, емкости имеющихся ниш (экономических, демографических, экологических и др.) и макропропорции (макросоотношения) базовых процессов, обеспечивающих заполнение этих ниш в результате активной человеческой деятельности при использовании имеющихся технологий.

Здесь важно отметить специфику социальных процессов: это процессы с положительной обратной связью в условиях внешних ограничений. Положительная обратная связь есть следствие активности людей с их творческими возможностями, что позволяет постоянно выявлять новые ресурсы и достаточно быстро их осваивать за счет изобретения новых технологий. На стадии освоения новых ресурсов и распространения новых технологий социальные процессы (экономические, демографические, политические) идут с ускорением, базовые характеристики увеличиваются экспоненциально (см. рис. 3.1), ниши не заполнены. Это динамическая стадия развития, для которой характерно отсутствие равновесий, характер ее протекания зависит от деталей процессов, которые должны учитываться в моделях.



Рисунок 3.1

Типичное изменение характеристик социальных процессов во времени
(логистическая кривая)

Когда ресурсы приходят к истощению и выявляются серьезные ограничения в их использовании, то положительная обратная связь сменяется на отрицательную обратную связь, процессы приходят в насыщение (см. рис. 3.1), ситуация стабилизируется, уравнивается. Такие ситуации хорошо описываются равновесными моделями балансового типа. Динамические уравнения здесь нужны не для описания самих процессов, а для описания изменения объема ниш и ограничений, накладываемых внешними условиями.

Таким образом, иерархическую систему моделирования мировой динамики целесообразно строить следующим образом:

- 1) первый уровень моделирования – модель динамики Мир-системы как целого, предназначенная для анализа трендов мирового развития. Она включает в себя динамические уравнения, описывающие изменение объема ресурсных ниш и ограничений на их использование. На первом этапе моделируются макротенденции, на втором – анализируется и описывается динамика возникновения, освоения, использования и истощения ресурсных ниш, вносящая циклическую (колебательную) компоненту в исторические тренды;
- 2) второй уровень моделирования – модель региональной динамики, предназначенная для более детального описания глобальных социально-экономических изменений и освоения ресурсных ниш и с учетом неравномерности развития отдельных стран и регионов мира. Неравномерность технологического, экономического, культурного развития – это следствие наличия положительной обратной связи в социальных процессах. Она приводит к появлению стран-лидеров и стран-аутсайдеров, которые временно отстали в освоении новых ресурсов и ниш и оказались в роли догоняющих. На этом уровне целесообразно агрегированное рассмотрение стран-лидеров, которые можно объединить в кластер с условным названием «Центр» (причем состав стран, входящих в эту группу, изменяется в ходе исторического развития) и временно отставших стран, которых можно объединить в кластер с условным названием «Периферия» Мир-системы. Могут использоваться и другие способы агрегирования, например, по территориальному признаку. На этом уровне моделирования ярко проявляются циклические составляющие мировой динамики, связанные с конкуренцией стран и их объединений (экономических, военно-политических союзов) за лидерство, здесь становится важным описание деталей происходящих глобальных процессов.

Результаты исследования макропроцессов на первом и втором уровнях моделирования задают внешние условия и ограничения для моделирования на третьем уровне – уровне отдельных стран.

- 3) третий уровень моделирования – модели отдельных стран, предназначенные для анализа и прогноза развития конкретных государств в условиях ограничений и сценариев, сформированных на

первом и втором уровнях моделирования. На этом уровне могут использоваться разнообразные модели, ориентированные на решение конкретных задач. В частности, в рамках подпрограммы «Комплексный системный анализ и моделирование мировой динамики» основное внимание уделяется исследованию долгосрочных трендов развития стран БРИК, а также вопросам оптимизации социально-экономической политики России в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе.

На рис. 3.2 схематично изображена изложенная трехуровневая система моделирования, предназначенная для того, чтобы, с одной стороны, восходить к описанию долговременных макротенденций мировой динамики, а с другой стороны, спускаться к анализу перспектив развития отдельных стран с учетом складывающихся макротенденций мирового развития.

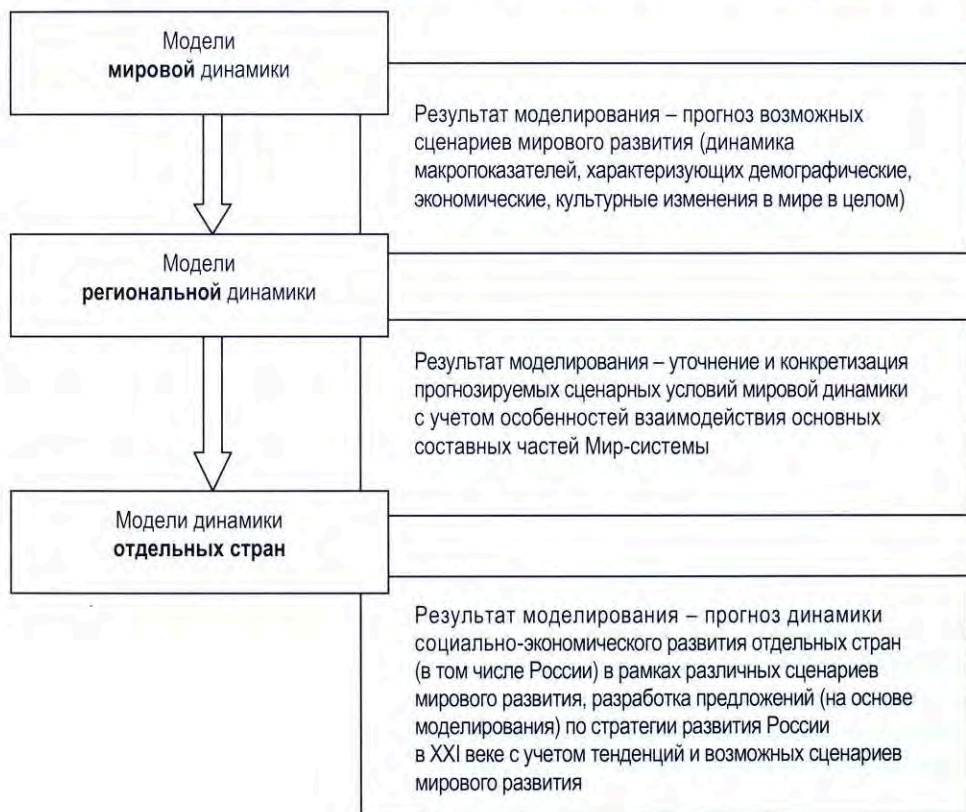


Рисунок 3.2

Схема трехуровневой системы моделирования «мир–регионы–страны»

Как уже указывалось выше, модели каждого из уровней должны быть сконструированы таким образом, чтобы имелась возможность конкретизации и расширения их возможностей для решения частных задач. Таким образом, модели должны иметь «ядро», описывающее наиболее важные, базовые процессы, относящиеся к каждому уровню моделирования, и способность наращивания путем достройки «ядра» отдельными блоками для более детального описания частных явлений и процессов. То есть каждая модель должна иметь возможность «разворачиваться» для решения конкретных частных задач и «сворачиваться» для агрегированного описания макротенденций. Это задает достаточно жесткие требования к структуре моделей, используемым параметрам и переменным, входным и выходным данным. То есть система моделей, несмотря на значительное содержательное различие ее уровней, должна изначально проектироваться как единое целое и иметь структуру, позволяющую достаточно просто переходить с одного уровня на другой.

Соответственно, в моделях третьего уровня должны использоваться наиболее «быстрые» переменные, с помощью которых возможно описание достаточно скоротечных процессов и быстрой реакции рассматриваемой социальной системы на изменение внешних и внутренних условий. При переходе к моделям второго и первого уровней должен осуществляться переход от «быстрых» к «медленным» переменным, описывающим долговременные тенденции развития. По существу, эти переменные должны быть «параметрами порядка» моделей более низкого уровня и представлять собой свертки (агрегаты) показателей этих моделей. Соответственно, количество переменных и параметров моделей по мере восхождения от третьего к первому уровню должно сокращаться, а сами модели должны приобретать все более агрегированный характер.

Ниже в данной главе приведен обзор моделей, разработанных в рамках изложенной методологии.

3.2. Моделирование трендов мирового развития

Приведенные в Разделе 2.1 данные показывают, что макродинамика развития Мир-системы подчиняется достаточно четким закономерностям. Соотношение между основными параметрами уровня развития Мир-системы для эпохи гиперболического роста описывается с высокой степенью точности следующей серией аппроксимаций:

$$\begin{aligned} N &\sim S \sim I \sim u, \\ G \sim L \sim U &\sim N^2 \sim S^2 \sim I^2 \sim u^2 \sim SN \text{ и т.д.,} \end{aligned}$$

где, напомним, N – это численность населения мира, S – «избыточный» продукт, производимый при данном уровне технологического развития

Мир-системы на одного человека сверх продукта m , минимально необходимого для простого (с нулевой скоростью роста) воспроизводства населения; l – мировая грамотность, пропорция грамотных среди взрослого населения мира, u – мировая урбанизация, часть населения мира, живущая в городах, G – мировой ВВП, L – численность грамотного населения мира, U – численность городского населения мира.

Наличие данных закономерностей делает возможным создание математических моделей, описывающих взаимосвязи между указанными параметрами. Состояние разработки подобных моделей описано ниже.

3.2.1. Базовая модель изменения глобальных тенденций

Базовая модель описывает глобальные процессы, имеющие долговременный характер. Соответственно, в ней используются наиболее «медленные» переменные, характеризующие тренды мирового развития. Важной исследовательской задачей на этом уровне моделирования является эндогенизация показателей, агрегированно отражающих динамику наиболее значимых (демографических, экономических, технологических, культурных) аспектов мирового развития. Но прежде нужно выбрать соответствующие показатели, которые обладали бы интегрирующими свойствами и были бы наблюдаемыми и измеримыми на протяжении длительных периодов времени. Такая задача была частично решена в монографии *Законы истории: математическое моделирование развития Мир-системы* [Коротчаев, Малков, Халтурина 2007], где была предложена система всего из трех дифференциальных уравнений, описывающих соответственно демографическую, технологическую и культурную динамику Мир-системы на протяжении последних двух тысячелетий. В модели используются следующие показатели, играющие роль макропеременных:

- для описания демографической динамики – численность населения мира N ;
- для описания технологического развития – производительность труда T , определяемая как частное от деления величины мирового ВВП Y на количество работников eN (где e – отношение числа работающего населения ко всему населению);
- для описания развития культуры – уровень грамотности E , определяемый как отношение числа грамотных ко всему взрослому населению;
- для описания развития экономики – величина мирового ВВП Y .

Структурная схема базовой модели динамики Мир-системы приведена на рис. 3.3.

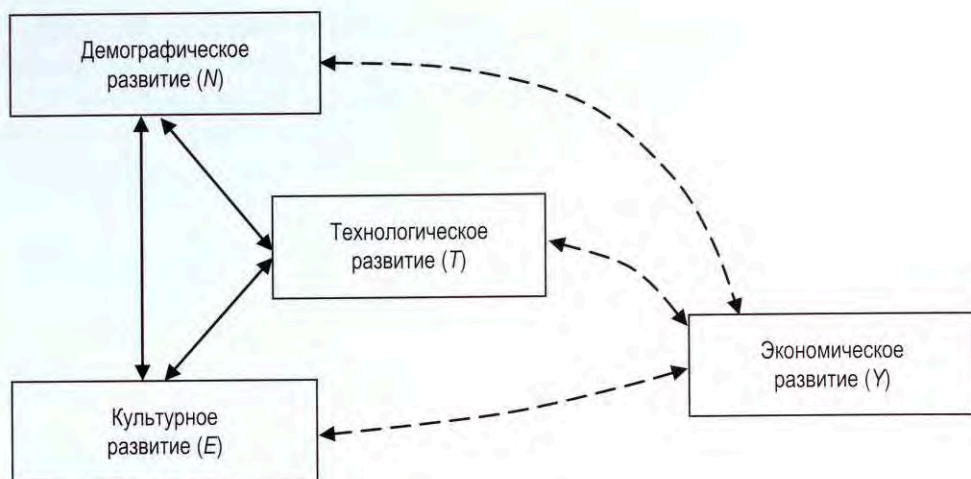


Рисунок 3.3
Структурная схема базовой модели динамики Мир-системы

В обобщенном виде система уравнений имеет вид:

Демография $\frac{dN}{dt} = f_N(N, T, E)$ (3.1)

Технологии $\frac{dT}{dt} = f_T(N, T, E)$ (3.2)

Культура $\frac{dE}{dt} = f_E(N, T, E)$ (3.3)

Экономика $Y = f_Y(N, T, E)$ (3.4)

В модели считается, что фундаментальными процессами, определяющими развитие человечества, являются: рост населения Земли N , развитие технологий T и культуры E . Развитие экономики является следствием фундаментальных процессов, соответственно, величина мирового ВВП Y является функцией фундаментальных переменных N , T и E .

Предшествующие исследования [Коротаев, Малков, Халтурина 2005, 2007] показали, что с начала нашей эры до второй половины XX века мировая динамика с высокой точностью описывается системой уравнений (3.1)–(3.4), в которых функции в правых частях уравнений имеют вид:

$$f_N(N, T, E) = aNT(1-E), \quad (3.5)$$

$$f_T(N, T, E) = bNT, \quad (3.6)$$

$$f_E(N, T, E) = cTE(1-E), \quad (3.7)$$

$$f_Y(N, T, E) = eNT, \quad (3.8)$$

где a, b, c, e – структурные коэффициенты, определяемые по историческим данным.

Выражение (3.5) отражает следующую закономерность: динамика численности населения Земли вплоть до второй половины XX века определялась уровнем экономического развития $Y \sim NT$, т.е. способностью обеспечить увеличивающемуся населению необходимый уровень потребления. При этом темпы прироста населения снижаются при достижении достаточно высокого уровня образованности [об этом феномене см. Коротаев, Малков, Халтурина 2005, 2007].

Выражение (3.6) соответствует формуле Кузнеця–Кремера [Kremer 1993], смысл которой в том, что удельные темпы технологического развития пропорциональны численности изобретателей, которые в свою очередь составляют определенную (и достаточно постоянную) часть населения N .

Смысл выражения (3.7) в том, что технологическое развитие общества способствует увеличению удельных темпов роста грамотности, но при этом уровень грамотности не может превышать 100% и со временем выходит на насыщение (грамотность взрослого населения становится всеобщей).

Выражение (3.8), по существу, следует из определения мирового валового продукта: его объем Y равен производительности труда T , умноженной на число трудящихся (пропорциональное численности населения N).

Базовая модель (3.1)–(3.4) с правыми частями (3.5)–(3.8) имеет вид:

$$\frac{dN}{dt} = aTN(1-E) \quad (3.9)$$

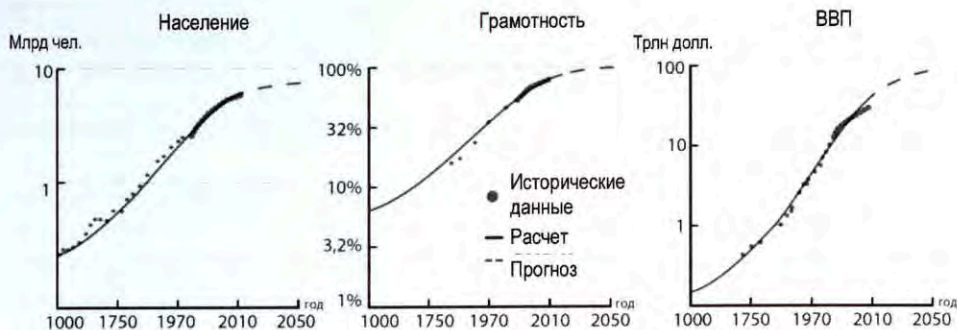
$$\frac{dT}{dt} = bTE \quad (3.10)$$

$$\frac{dE}{dt} = cTE(1-E) \quad (3.11)$$

$$Y = eTN \quad (3.12)$$

Результаты расчетов, выполненных в предыдущих работах [Коротаев, Малков, Халтурина 2005, 2007] с использованием системы (3.9)–(3.12) приведены на рис. 3.4.

Видно очень хорошее соответствие результатов моделирования реальным данным. При этом обращает на себя внимание тот факт, что в течение двух тысячелетий значения структурных коэффициентов a, b, c, e остаются постоянными, что указывает на стабильность макротенденций динамики показателей N, T и E на протяжении столь продолжительного периода времени, охватывающего эпоху аграрного и индустриального развития Мир-системы.



ПРИМЕЧАНИЕ: использован двойной логарифмический масштаб, мировой ВВП выражен в трлн долл. США 1990 г.

Рисунок 3.4

Сравнение результатов расчетов мировой динамики по модели (3.9)–(3.12) (линия) с историческими данными (точки)

Модель (3.1)–(3.4) с правыми частями вида (3.5)–(3.8) описывает динамику N , T , E и Y в предыдущую эпоху. Для того чтобы модель могла быть использована как инструмент прогноза и анализа последствий принимаемых решений, она должна содержать параметры, изменение которых определяет характер траекторий исторического развития. Такими параметрами являются структурные коэффициенты a , b , c , e . Управление их значениями может осуществляться, например, посредством целенаправленного изменения доли конечного потребления в ВВП, путем увеличения инвестиций в технологическое развитие и образование и т.п. Если коэффициентами s_N , s_T , s_E обозначить долю в ВВП Y соответственно конечного потребления, инвестиций в повышение производительности труда и в образование, то с учетом $Y \sim NT$, система уравнений (3.9)–(3.12) преобразуется в вид:

$$\frac{dN}{dt} = k_N s_N \frac{Y}{N} N(1 - E) \quad (3.13)$$

$$\frac{dT}{dt} = k_T s_T Y \quad (3.14)$$

$$\frac{dE}{dt} = k_E s_E \frac{Y}{N} E(1 - E) \quad (3.15)$$

$$Y = eTN \quad (3.16)$$

где k_N – обобщенный параметр демографического роста, k_T и k_E – отдача от инвестиций в технологии и в образование. Видно, что (3.9)–(3.12) переходит в (3.13)–(3.16) путем замены $k_N s_N = a$, $k_T s_T = b$, $k_E s_E = c$ без изменения структуры уравнений.

Структурное соответствие прогнозной модели (3.13)–(3.16) ретроспективной модели (3.9)–(3.12), верифицированной на обширном объеме исторических данных, делает возможным ее использование для краткосрочного и среднесрочного прогноза мирового развития. Однако если речь идет о долгосрочном прогнозе, то модель следует уточнить.

С чем связана необходимость модификации модели, столь хорошо описывавшей динамику Мир-системы до настоящего времени? Это связано с переломным характером современного исторического периода. Предшествующая эпоха гиперболического роста должна была неизбежно закончиться, и это происходит именно сейчас на наших глазах. Изменение характера мирового развития выражается:

- 1) в начавшемся глобальном демографическом переходе (в резком замедлении роста населения Земли; в переходе демографической кривой с гиперболической траектории, длившейся тысячелетия, на логистическую траекторию [Капица 1999; Коротаев, Малков, Халтурина 2005, 2007]);
- 2) в усиливающихся экологических и ресурсных ограничениях, с которыми сталкивается человечество в глобальном масштабе и которые все сильнее влияют на мировое экономическое развитие;
- 3) в переходе от индустриальной к постиндустриальной фазе развития человеческого общества, к экономике знаний.

Эти обстоятельства могут быть учтены в модели путем модификации уравнения (3.13). В нем коэффициент k_N преобразуется в функцию, зависящую от ресурсных и экологических ограничений, которые ранее были малозначимы (в силу чего значение k_N можно было считать постоянным). Возможный вариант изменения уравнения (3.13), учитывающий ресурсные и экологические ограничения, предложен ниже.

Третье из указанных обстоятельств может быть учтено путем изменения уравнения (3.14) и способа измерения переменной E . Дело в том, что переменная E по своей сути характеризует долю населения, имеющего образовательный и культурный уровень, достаточный для освоения и практического использования передовых для своей эпохи технологий. В аграрную и даже в индустриальную эпохи для этого достаточно было иметь начальное образование, поэтому величина уровня грамотности хорошо выполняла функцию числового показателя для переменной E в ретроспективной модели (3.9)–(3.12). В прогнозной модели (3.13)–(3.16) уровень грамотности уже не может характеризовать величину E : для освоения передовых технологий требуется высшее образование, соответствующий уровень культуры, то, что сейчас называется «человеческим капиталом». В связи с этим способ измерения E должен быть изменен (возможный вариант соответствующего изменения приведен ниже).

Аналогичным образом обстоит дело с уравнением (3.14), которое в ретроспективной модели записано в форме, предложенной Кремером

[Kremer 1993]. Такая форма записи предполагает, что темп развития технологий пропорционален количеству изобретателей, доля которых в численности населения N считается достаточно стабильной. В постиндустриальную эпоху количество изобретателей – изменяемая величина, причем изменяемая целенаправленно и зависящая от политики государств в научно-технической сфере, от объемов финансирования НИОКР и т.п. Таким образом, количество изобретателей становится управляемым параметром, что должно учитываться в уравнении (3.14) [возможный вариант соответствующего изменения уравнения (3.14) приведен ниже].

Модель (3.13)–(3.16) предназначена для моделирования общих трендов развития. В краткосрочном и среднесрочном периоде важное значение имеет моделирование и прогноз циклических процессов (экономических циклов Кондратьева и Жюгляра, политических циклов и др.), периодически приводящих к мировым экономическим и политическим кризисам. Цикличность, как правило, связана с исчерпанием ресурсных ниш, со снижением эффективности используемых технологий, с несовершенством регулирования социально-экономических процессов. Способы учета циклической природы социально-экономических процессов в рамках рассматриваемой парадигмы исследованы в работах [Акаев 2007; Гринин, Малков, Коротаев 2010а, 2010б].

3.2.2. Моделирование демографической динамики с учетом экологических ограничений

Выше при обсуждении базовой модели мировой динамики отмечалась, что при прогнозе долгосрочной демографической динамики необходимо учитывать усиливающиеся экологические и ресурсные ограничения, которые в предыдущие периоды были не столь существенны. Учет данных факторов возможен путем введения в модель функции $K(N)$, которая характеризует текущую емкость среды обитания [Акаев 2011]. Величина $K(N)$, с одной стороны, с течением времени растет вследствие развития жизнеобеспечивающих технологий, с другой стороны, уменьшается из-за постепенного исчерпания ресурсов и ухудшения экологии. Причем изменение $K(N)$ в зависимости от этих факторов происходит не сразу, а с некоторым запаздыванием по времени. В работе [Акаев 2011] предложено следующее выражение для $K(N)$, учитывающее указанные аспекты:

$$K(N, \tau_2, \tau_3) = N_c + \gamma [N(t - \tau_2) - N_0] \exp \{ -\kappa [N(t - \tau_3) - N_0] \}. \quad (3.17)$$

Здесь, τ_2 – время диффузии базисных технологий (в современную эпоху составляет 25–30 лет); τ_3 – запаздывание реакции биосферы на антропогенную нагрузку (не превышает 100 лет); γ , κ , N_c , N_0 – коэффициенты. С учетом этого уравнение для долгосрочной демографической динамики может быть записано в виде:

$$\frac{dN}{dt} = rN^2(t - \tau_1) \left\{ 1 - \frac{N(t)}{K(N, \tau_2, \tau_3)} \right\}, \quad (3.18)$$

где τ_1 – среднее время наступления репродуктивной способности (приблизительно 25 лет); r – постоянный коэффициент.

Данная модель откалибрована и верифицирована по историческим данным; она позволяет анализировать возможные варианты демографического развития в зависимости от изменения параметров γ и κ , отражающих, соответственно, влияние на $K(N)$ научно-технического прогресса и ресурсно-экологических ограничений.

На рис. 3.5 представлены результаты моделирования изменения численности населения для трех возможных сценариев.

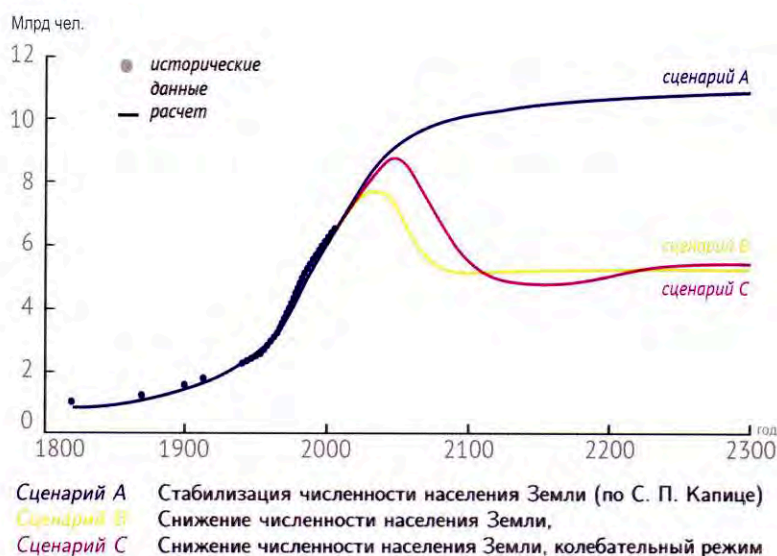


Рисунок 3.5
Сценарный прогноз численности населения Земли

Видно, что при неблагоприятном соотношении параметров возможна не только стабилизация численности населения в соответствии со сценарием С.П.Капицы [Капица 1999], но и существенное снижение численности населения, что, безусловно, будет сопровождаться социальными катаклизмами. В связи с этим встает задача целенаправленного влияния мирового сообщества на величину параметров γ и κ с тем, чтобы не допустить катастрофического развития событий.

Более подробно описание данной модели приведено в Приложении 1

3.2.3. Моделирование экономической динамики с учетом особенностей технологического развития

Для разработки прогноза долгосрочной экономической динамики необходимо обосновать математическую модель изменения выпуска продукции Y в зависимости от изменения влияющих на него факторов. В основе современных моделей экономического роста лежит неоклассическая модель Солоу [Solow 1956]:

$$Y(t) = A(t)K^\alpha(t)L^{1-\alpha}(t), \quad (3.19)$$

где $Y(t)$ – текущий объем выпуска продукции (ВВП); $K(t)$ – текущий объем физического капитала; $L(t)$ – численность занятых в экономике (труд); $A(t)$ – технический прогресс. В последние десятилетия все более возрастающую роль в экономическом развитии играет человеческий капитал, который становится ведущим фактором производства. Таким образом, возникла необходимость учета человеческого капитала в производственной функции наряду с физическим капиталом, трудом и природными ресурсами. Наиболее простым способом, путем введения человеческого капитала в базовую модель роста Солоу, это сделано в работе [Mankiw, Romer, Weil 1992]:

$$Y(t) = K^\alpha(t)H^\beta(t)[A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta}, \quad (3.20)$$

где $H(t)$ – человеческий капитал; $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\alpha + \beta < 1$. В этой модели человеческий капитал выступает как производственный фактор, и процесс его накопления принимается аналогичным таковому для физического капитала. На основе эмпирического закона Калдора [Kaldor 1961] можно принять [Акаев 2010], что $K = c_K Y$, $H = c_H Y$, где c_K , c_H – константы. Численность занятых в экономике L связана с общей численностью населения зависимостью $L = eN$, где e – доля работающих в населении. Подстановка этих соотношений в модель Мэнкью–Ромера–Уэйла (3.20) приводит к приближенной формуле для расчета ВВП:

$$Y = \gamma AN, \quad \gamma = e C_K^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}} C_H^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}}. \quad (3.21)$$

Эта формула в эквивалентном виде $Y = TeN$ (где T – уровень технологий) использовалась в базовой модели мировой динамики, см. уравнение (3.16).

При использовании формулы (3.21) для прогнозных оценок экономического развития необходимо знать динамику численности населения и технического прогресса. Динамика численности населения может быть оценена, например, с помощью выражения (3.18). Оценка динамики технического прогресса $A(t)$ может быть получена на основании следующего выражения:

$$\frac{d}{dl_A} \left(\frac{dA}{Adt} \right) = \alpha l_A (l_M - l_A), \quad (3.22)$$

где l_A – доля занятых в НИОКР в общей численности рабочих, l_M – величина доли занятых в НИОКР в режиме насыщения. Уравнение (3.22) учиты-

вает универсальный принцип убывающей отдачи от масштаба:

$$\frac{d}{dl_A} \left(\frac{dA}{Adt} \right) \rightarrow 0$$

При $l_A \rightarrow l_M$. Анализ процедуры оценки $A(t)$ на основе выражения (3.22) приведен в Приложении 1. Уравнение (3.22), описывающее динамику технического прогресса через долю занятых в сфере НИОКР, является довольно простым и практичным и может быть использовано для прогнозных расчетов, поскольку статистические данные по численности занятых в НИОКР широко доступны.

На основе изложенного алгоритма с использованием выражений (3.18), (3.21), (3.22) могут проводиться прогнозные оценки как мировой экономической динамики, так и экономической динамики отдельных стран.

На рис. 3.6 представлены результаты прогнозной оценки динамики мирового ВВП при двух различных сценариях демографического развития.

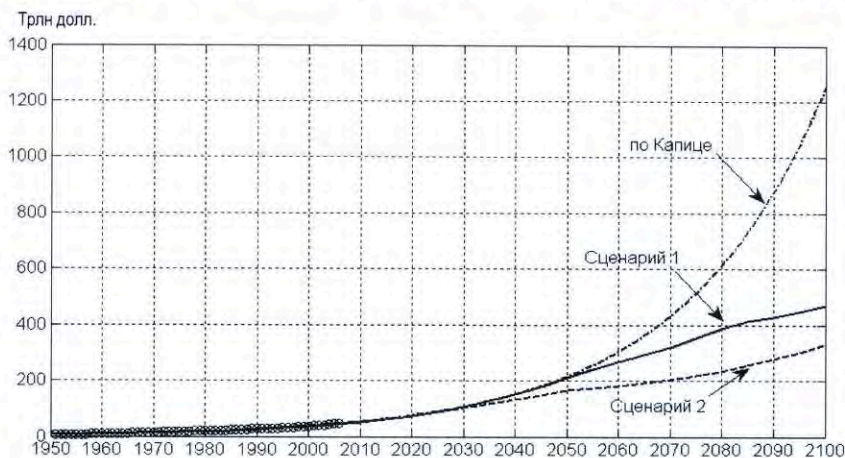


Рисунок 3.6

Прогноз динамики мирового ВВП (постоянные цены 1990 г.)

Данные прогнозные оценки сделаны без учета замедления темпов экономического роста, обусловленного необходимостью отвлечения части инвестиционных ресурсов в природоохранные меры, связанные с энергоэкологическим развитием.

Из эндогенной модели роста (3.21) следует, что $q_Y = q_A + q_N$, где q_Y – темпы экономического роста, q_A – темпы технического прогресса, q_N – темпы роста численности населения. С учетом дополнительных затрат на природоохранные меры темпы экономического роста определяются выражением:

$$q_Y = q_A + q_N - q_{EE}, \quad (3.23)$$

где q_{EE} – темпы замедления экономического роста, обусловленные отвлечением инвестиционных средств в природоохранные меры (методика оценки величины q_{EE} приведена в Приложении 1).

На рис. 3.7 представлены результаты прогнозной оценки динамики мирового ВВП с учетом инвестиций в природоохранные меры для тех же сценариев демографического развития, что и на рис. 3.5.

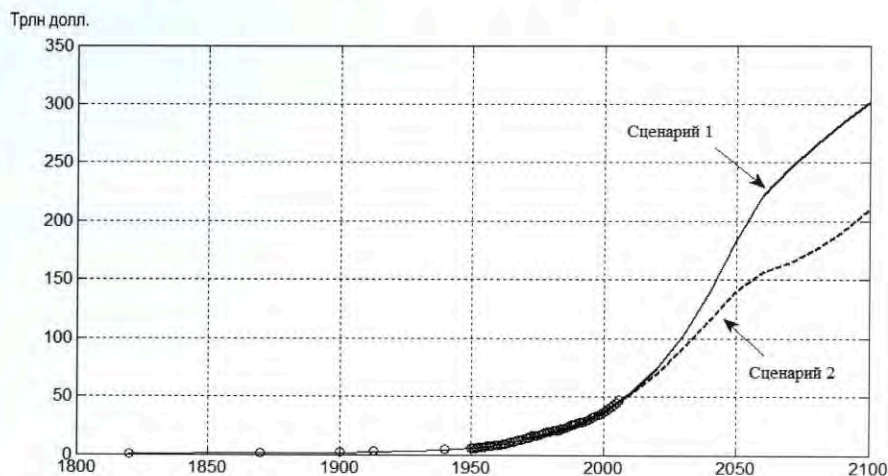


Рисунок 3.7

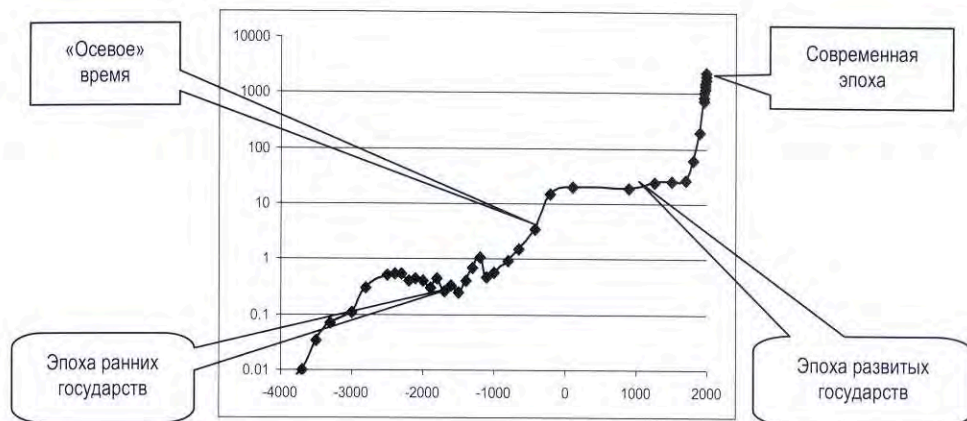
Прогноз динамики мирового ВВП с учетом инвестиций в природоохранные меры (постоянные цены 1990 г.)

Сравнение с прогнозом ВВП без учета инвестиций в природоохранные меры (см. рис. 3.6) показывает, что необходимость проведения природоохранных мер может привести к сокращению роста ВВП к 2100 г. вплоть до 1,5 раз, а к 2050 г. замедление может составить порядка 15–20%. Таким образом, необходимость решения энергоэкологических проблем будет все более значимо влиять на экономическое развитие.

3.2.4. Моделирование трендов глобальной политической динамики

Непрерывное развитие экономических, технологических, политических процессов приводит к появлению и усилению внутренних напряжений в Мир-системе. В результате накопления напряжений периодически возникает глобальный системный кризис, установившееся равновесие в Мир-системе взрывается и происходит кардинальная перестройка геополитической структуры, принципов экономической и социально-политической организации обществ.

Наиболее яркими примерами фазовых структурных переходов глобального масштаба являются современная эпоха и «осевое» время (III–III вв. до н.э. по К.Ясперсу [Ясперс 1994]. Иллюстрацией этому служит рис. 3.8, отражающий динамику урбанизации на протяжении последних шести тысяч лет (динамика урбанизации является отражением процессов политогенеза).



Источник: [Коротаяев 2007].

Рисунок 3.8

Численность городского населения мира в логарифмическом масштабе, для городов с населением более 10000 чел. (млн чел.)

Действительно, эти «эпохи перемен» имеют много общего (см. табл. 3.1), что обусловило их переходный характер и последовавшие затем кардинальные структурные изменения в Мир-системе.

Таблица 3.1

Основные технологические и культурные изменения в «освоее» время и в современную эпоху

«Освоее» время (VIII–III в. до н.э.)	Новое и Новейшее время (XIX в. н.э. и далее)
Массовое распространение железного оружия и орудий труда	Научно-техническая революция, развитие массового промышленного производства
Появление массовых армий, резкое увеличение масштабов завоеваний	Появление механизированных армий, высокотехнологичных видов оружия
Развитие средств коммуникаций и транспортной инфраструктуры	Появление радио, телеграфа, телефона, железных дорог, автомобилей, авиации
Появление наднациональных религий	Появление массовых идеологий, рост влияния СМИ

Наиболее драматичной «эпохой перемен» является современная эпоха, о чем свидетельствуют приведенные на рис. 3.4 графики мировой демографической и экономической динамики за последние две тысячи лет, иллюстрирующие взрывной рост ключевых показателей в последние десятилетия. Подобный взрывной рост – свидетельство неравновесного процесса кардинальной структурной перестройки современного мира. «Освоее» время ознаменовало переход от эпохи «ранних государств» к эпохе «развитых государств» [Гринин, Коротаяев 2009б]. Современная эпоха – преддверие кардинальных изменений, включающих:

- глобальный демографический переход (который приведет к стабилизации численности населения Земли);

- радикальную перестройку современной экономической системы и экономических отношений (особенно в сфере финансов), ограничение экономического роста;
- радикальное изменение современной политической системы (переход от доминирования *Y*-структур к доминированию *X*-структур²⁷ [Кирдина 2001, 2004; Малков 2009]).

На последнем нужно остановиться подробнее. Особенностью современного исторического этапа является возрастание роли «нематериальных факторов» развития. Не только ресурсы, но и действующие институты как макросоциальные технологии использования ресурсов становятся существенными для темпов развития в современном мире. Не случайно основная задача политики государств во всех частях света сегодня состоит в поиске оптимального баланса основных институтов (рынка и государства, демократии и централизации и др.), способного уменьшить риски и поддержать стабильный рост.

Существенным является то, что институты невозможно комбинировать произвольным образом, как мозаику; реально в процессе социальной эволюции они складываются в матричные структуры. При этом базовыми являются указанные два типа социального устройства обществ – *X*- и *Y*-структуры, отличающиеся спецификой образующих их исходных институциональных матричных структур.

Один тип – это самоорганизующиеся на основе централизации иерархические политические структуры с преобладанием редистрибутивных²⁸ экономических институтов (и соответствующих им форм собственности) и с доминированием в общественном сознании ценностей, в которых закрепляется примат коллективного над личным, целого над частным. На разных исторических этапах общества такого типа назывались по-разному – азиатский способ производства, самодержавные монархии, реальный социализм, капитализм японски и т.д. Государства, которые относятся к такому типу обществ, – это, прежде всего, Россия, Индия, Китай, страны Юго-Восточной Азии, Латинской Америки. В них доминирующее положение занимает *X*-матрица.

Другой тип обществ – это самоуправляющиеся «снизу» политические структуры федеративного типа с рыночными экономическими институтами (т.е. с доминированием частной собственности) и, соответственно, преобладанием личностных, индивидуалистических ценностей в массовом сознании. К ним относятся страны Европы и США. В них доминирующее положение принадлежит институтам *Y*-матрицы.

²⁷ Под *Y*-структурой понимается федеративное политическое устройство, субсидиарная (основанная на примате индивидуализма) идеология. *X*-структура подразумевает антиномичное устройство: наличие унитарного политического строя и коммунитарной идеологии.

²⁸ Редистрибутивные экономики (термин К.Поланьи) представляют собой тип экономических систем, в которых преобладает не обмен (двустороннее движение товаров между субъектами, ориентированными на прибыль), а движение благ и услуг к «Центру» и от него. Причем независимо от того, осуществляется ли движение объектов физически или меняется только порядок права их присвоения и использования без каких-либо изменений в действительном размещении продуктов или ресурсов [Polanyi 1977].

Эти два типа социального устройства сформировались естественным путем, они представляют собой два способа самоорганизации социума в присущих тем или иным государствам материально-технологических внешних условиях. Данное разделение, как показывает анализ развития государств, начиная с Древнего Египта и Месопотамии, является исторически устойчивым. Доминирование той или иной институциональной матрицы необходимо предполагает действие в государстве альтернативных институтов, комплементарно «дополняющих до целого» общественную систему. В одном случае доминируют институты *X*-матрицы, в то время как институты *Y*-матрицы лишь дополняют институциональную структуру. В другом случае наоборот – главными, определяющими выступают институты *Y*-матрицы, а дополнительными являются институты *X*-матрицы. При этом комплементарные институты, аналогично рецессивным генам в живом организме, являясь необходимыми, не являются определяющими для характеристики базовых, доминантных свойств институциональной структуры. Изменение соотношения (баланса) доминантных и комплементарных институтов определяется внешними и внутренними факторами. Важен институциональный баланс, поиск оптимального соотношения базовых и комплементарных институтов, равно значимых для воспроизводства общества того или иного типа [Малков, Кирдина 2010].

Важным является то, что в эпохи перемен происходит естественное смещение институциональных структур в сторону усиления *Y*-элементов (недаром греческая демократия возникла и существовала в «осевое время»), а по завершению этих эпох происходит смещение институциональных структур в сторону усиления *X*-элементов [Малков 2009а, 2009б]. Соответственно, в исторической перспективе нас ждет переход к доминированию *X*-структур, к формированию системы глобального регулирования. Однако этот процесс еще только начался.

Что касается ближайшей перспективы, то она будет характеризоваться экономической и политической турбулентностью; при этом возможны различные варианты мирового развития (см. табл. 3.2).

Если после периода потрясений в конце пятого цикла Кондратьева уровень ресурсной базы в мире будет низким, то:

- в случае удержания США лидерства реализуется вариант №1 (силовая интеграция);

- в случае утраты лидерства нынешним центром реализуется вариант №2.

Если после периода потрясений в конце пятого цикла Кондратьева уровень ресурсной базы в мире будет расти, а экологические проблемы будут разрешаться, то:

- реализуется вариант №3;

- в случае преобладания интеграционных процессов реализуется вариант №4.

Анализ показывает, что наиболее вероятным является вариант №3.

Варианты мирового развития на горизонте 20–30 лет

№	Вариант	Суть	Ресурсная база
1	Продолжение глобализации, реформированный западоцентризм	Несмотря на неизбежное реформирование финансово-политических институтов, США удерживают лидерство и поддержку Западной Европы. Продолжается политика «золотого миллиарда», доллар – по-прежнему резервная мировая валюта	Усиление проблем с обеспеченностью ресурсами, ухудшение экологии
2	Фрагментация, неустойчивость, конфликтность	Явных лидеров нет, ситуация неустойчивая, преобладает протекционизм, взаимное недоверие	Усиление проблем с обеспеченностью ресурсами, ухудшение экологии
3	Регионализм, соперничество нескольких крупных блоков	Страны объединяются в крупные региональные блоки (США+Канада, Европа, Азия, Южная Америка), роль Запада постепенно снижается, существует несколько резервных валют	Преодоление острых ресурсных ограничений, постепенное решение экологических проблем
4	Продолжение глобализации, относительная сбалансированность	Вырабатывается механизм согласования интересов, институализируется «мировое правительство», вводится новая единая мировая валюта	Преодоление острых ресурсных ограничений, постепенное решение экологических проблем

3.3. Моделирование взаимодействий в мировой системе

3.3.1. Базовая модель взаимодействия «Центра» и «Периферии» Мир-системы

Модель региональной динамики относится ко второму уровню иерархической системы моделирования. В соответствии с изложенной выше методологией эта модель должна строиться как конкретизация и детализация базовой модели мировой динамики и иметь структурное подобие с последней. Как уже говорилось, конкретизацию базовой модели мировой динамики целесообразно начинать с рассмотрения взаимодействия стран-лидеров технологического развития и временно отстающих стран, объединенных в два кластера с условным наименованием «Центр» и «Периферия».

Принципы построения базовой модели «Центр»–«Периферия» изложены в Разделах 1.2, 3.1 и в работах [Коротаяев, Халтурина 2009; Халтурина, Коротаяев 2010; Малков и др. 2010; Малков, Коротаяев, Божевольнов 2010; Коротаяев и др. 2010]. Структурная схема модели приведена на рис. 3.9.

Схема структурно аналогична схеме на рис. 3.3 и дополнительно отражает наиболее важные связи между кластерами «Центр» и «Периферия». В рамках рассматриваемого приближения этими связями являются:

- в демографической сфере – миграция дешевой рабочей силы из стран «Периферии» в страны «Центра». Это касается как низкоквалифицированных рабочих, так и высококвалифицированных работников (так называемая «утечка мозгов»);
- в сфере технологий – постепенный переток новых технологий, создаваемых в странах «Центра», в страны «Периферии» (путем продажи-покупки патентов и лицензий, за счет перевода массового производства из стран «Центра» в страны «Периферии» и т.п.);

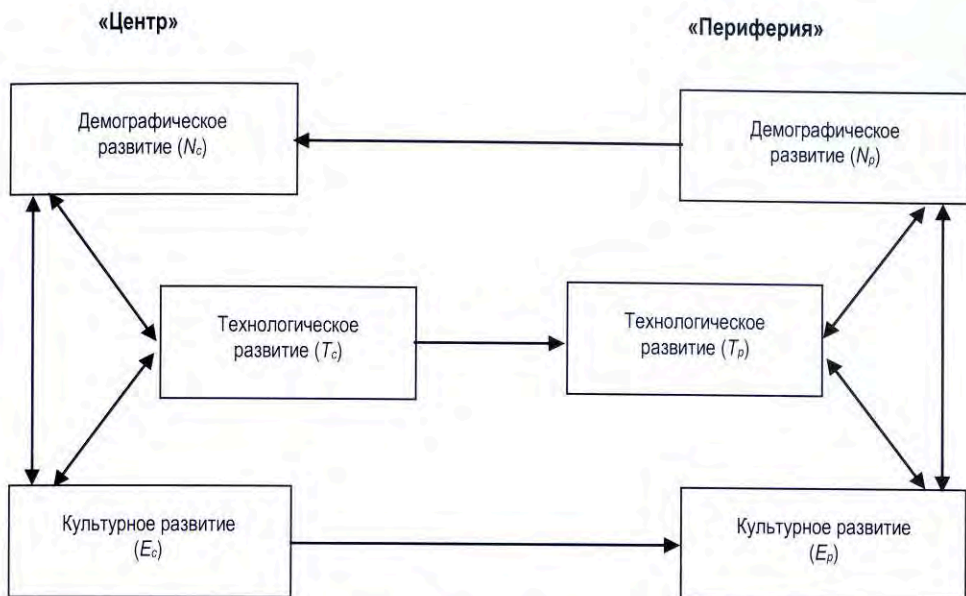


Рисунок 3.9

Структурная схема базовой региональной модели «Центр»–«Периферия»

- в сфере культуры и образования – постепенное освоение достижений науки и образования стран «Центра» странами «Периферии».

В обобщенном виде базовая модель региональной динамики может быть представлена следующей системой уравнений:

«Центр»

$$\frac{dN_c}{dt} = a_c T_c N_c (1 - E_c) + a' N_p C_N$$

$$\frac{dT_c}{dt} = b_c T_c E_c$$

$$\frac{dE_c}{dt} = c_c T_c E_c (1 - E_c)$$

$$Y_c = T_c e_c N_c$$

«Периферия»

$$\frac{dN_p}{dt} = a_p T_p N_p (1 - E_p) - a' N_p C_N \quad (3.24)$$

$$\frac{dT_p}{dt} = b_p T_p E_p + b' T_c C_T \quad (3.25)$$

$$\frac{dE_p}{dt} = c_p T_p E_p (1 - E_p) + c' E_c C_E \quad (3.26)$$

$$Y_p = T_p e_p N_p \quad (3.27)$$

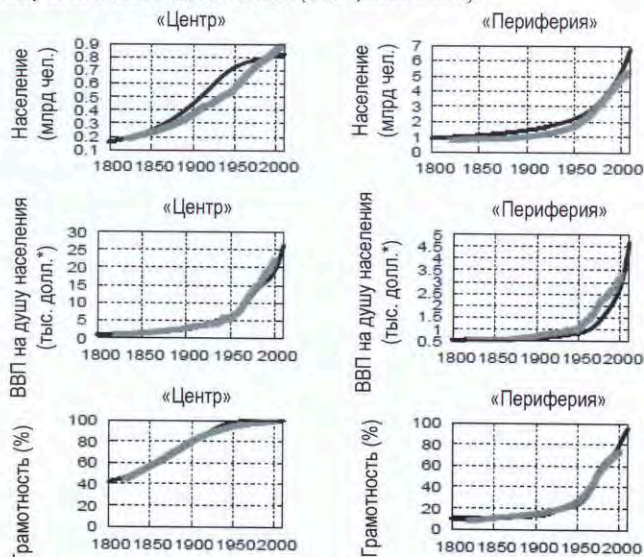
где N – численность населения; T – уровень технологий; E – образованность; Y – региональный ВВП; a, b, c, a', b', c' – структурные коэффициенты; $C_i = C_i(T, E, Y)$ – функция связи в i -й сфере; e – доля работающих в населении; индекс c показывает, что соответствующая величина характеризует «Центр»; индекс p показывает, что соответствующая величина характеризует «Периферию».

Видно, что структура уравнений и для «Центра» и для «Периферии» повторяет структуру базовой модели мировой динамики (3.9)–(3.12). Отличие в том, что:

- в правые части уравнений добавлены члены, описывающие взаимодействие подсистем и содержащие функции связи C_N , C_T , C_E , определяемые на основе эмпирических данных;
- в правые части уравнений (3.25) и для «Центра» и для «Периферии» входит комбинация переменных TE , а не TN , как в соответствующем уравнении мировой динамики (3.10). Это связано с тем, что доли изобретателей в странах-технологических лидерах и в странах-технологических аутсайдерах существенно отличаются, что лучше учитывается произведениями $T_p E_p$ и $T_c E_c$ (поскольку средний уровень образования E коррелирует с количеством людей, занимающихся наукой и развитием технологий).

Особенность учета взаимодействия «Центра» и «Периферии» заключается в том, что уравнения (3.24), отражающие процессы миграции рабочей силы, обладают свойством непрерывности (сколько мигрантов убывает из стран «Периферии», столько же их прибывает в страны «Центра»); в то время как процесс перетока технологий и образования из «Центра» в «Периферию» происходит без снижения уровня T и E в странах «Центра».

Более подробно описание модели взаимодействия «Центра» и «Периферии» приведено в [Малков, Коротаев, Божевольнов 2010]. Расчеты по модели продемонстрировали хорошее согласие результатов моделирования с историческими данными (см. рис. 3.10).



ПРИМЕЧАНИЕ:

* постоянные международные доллары 1990 г. в ППС. Здесь и далее: черные кривые – численный расчет, серые – исторические данные.

Рисунок 3.10

Сравнение результатов численного расчета с историческими данными на временном интервале с 1800 г. по 2010 г.

На рис. 3.11 представлены расчетные и эмпирические данные, характеризующие отличие «Центра» и «Периферии» по показателю ВВП на душу населения.

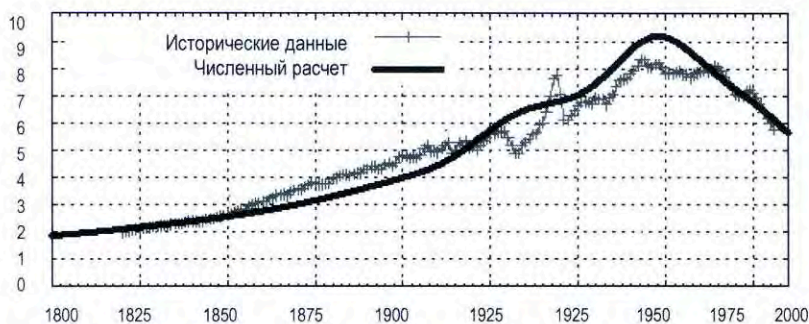


Рисунок 3.11

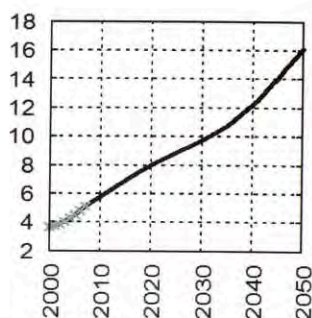
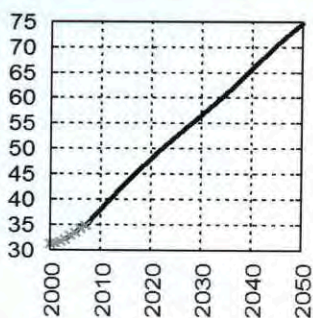
Отличие «Центра» и «Периферии» по показателю ВВП на душу населения

Удовлетворительная верификация модели на исторических данных позволяет использовать ее для прогнозных оценок. На рис. 3.12 представлен прогноз динамики отличия «Центра» и «Периферии» по показателю ВВП на душу населения до 2050 г. На рис. 3.13 представлен прогноз динамики ВВП на душу населения до 2050 г. в «Центре» и на «Периферии».



Рисунок 3.12

Разрыв между «Центром» и «Периферией» по показателю ВВП на душу населения, прогноз до 2050 г.



ПРИМЕЧАНИЕ: *постоянные доллары США 2005 г. по ППС.

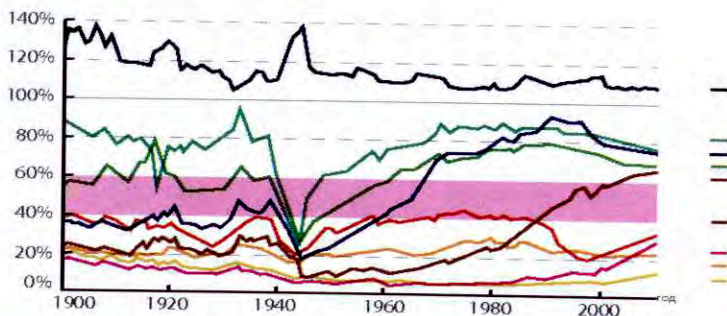
Рисунок 3.13

ВВП на душу населения, прогноз до 2050 г.

Приведенные статистические данные и результаты моделирования показывают, что на рубеже тысячелетий произошел слом долговременной тенденции во взаимодействии нынешнего «Центра» и «Периферии», и в ближайшем будущем следует ожидать существенных изменений структуры Мир-системы.

3.3.2. Особенности взаимодействия стран «Центра» и «Периферии» Мир-системы

Важным вопросом взаимодействия стран «Центра» и «Периферии» Мир-системы является определение возможностей и ограничений догоняющего развития. Исторический опыт показывает, что переход из группы развивающихся стран в группу развитых стран – очень сложная задача, решение которой удавалось немногим (см. рис. 3.14).



ПРИМЕЧАНИЕ: уровень 100% – средний ВВП на душу населения для стран ОЭСР с высоким доходом (спад показателей многих стран в 40-е гг. связан со Второй мировой войной).
Источник: [World Bank 2011].

Рисунок 3.14

Динамика ВВП на душу населения в различных странах

Видно, что экономически развитые и развивающиеся страны отделяет друг от друга своеобразная «мертвая зона» (на рис. 3.14 обозначена розовым цветом), которую сложно преодолеть. Перейти через эту зону смогли Япония и Южная Корея на восходящих фазах, соответственно, четвертого и пятого циклов Кондратьева: Япония – на волне развития технологий твердотельной электроники, Южная Корея – на волне развития технологий больших интегральных схем. Однако это – единичные случаи.

Для понимания феномена «мертвой зоны» необходимо более детальное рассмотрение условий, ускоряющих и замедляющих экономический рост.

Отличительной особенностью стран «Центра» Мир-системы (к ним в настоящее время могут быть отнесены страны ОЭСР) является их стремление достичь высоких темпов экономического роста за счет создания передовых технологий, производства высокотехнологичной продукции для внутреннего и внешнего рынка. Действительно, во всех странах ОЭСР большое внимание уделяется науке, образованию, внедрению инноваций. Прямая связь между темпами экономического роста, с одной стороны, и научно-технологическим развитием, затратами на НИОКР, с другой стороны, установлена эмпирически и теоретически [см., например, Акаев, Коротаев, Малков, Божевольнов 2011 а также Раздел 3.2.3, Приложение 1]. При этом, как показывает анализ [Райнерт 2011] и моделирование (см. Раздел 5 Приложения 1), высокотехнологичные производства обладают свойством возрастающей отдачи от увеличения масштабов [Кирдина, Малков 2008, 2010], а ориентация на их развитие приводит в конечном итоге к увеличению доходов и уровня потребления населения²⁹.

В странах, образующих «Периферию» Мир-системы, ситуация другая, более сложная. С одной стороны, этим странам легче, поскольку, находясь в роли догоняющих, они не идут путем проб и ошибок и могут сконцентрировать свои усилия на освоении тех знаний и технологий, которые уже зарекомендовали себя как наиболее эффективные. Для этого нужно повышение открытости, развитие контактов, усиление торговых взаимодействий. Однако, с другой стороны, в условиях недостаточной готовности национальной экономики к восприятию новых технологий (неразвитость необходимой инфраструктуры, недостаток профессиональных кадров, институциональные несоответствия и т.п.) реально повышение открытости страны приводит к тому, что имевшиеся в ней центры развития не выдерживают конкуренции с иностранными фирмами и разоряются, а обученные национальные кадры, не находя приложения своим знаниям, покидают страну («утечка мозгов»).

²⁹ Логика этого проста (подробности см. в Разделе 5 Приложения 1): инновации приводят к повышению производительности труда, к увеличению количества произведенных товаров и услуг. Произведенную продукцию должен кто-то купить (иначе будет кризис перепроизводства). Этим «кем-то» является население. Поэтому население в развитых странах снабжают деньгами путем повышения зарплат, социальных выплат, льготного кредитования и т.п. (такую систему называют «обществом потребления»).

Обычной экономической нишей в мировом разделении труда для стран «Периферии» является производство сырья (минерального, сельскохозяйственного) для развитых стран. Проблема заключается в том, что сырьевые отрасли имеют, как правило, убывающую отдачу от масштабов производства [см., например, Райнерт 2011], что приводит к постепенному снижению доходов населения в сырьевых странах по отношению к доходам населения промышленно развитых стран. Данная ситуация усугубляется тем, что на мировом рынке идет конкуренция между странами-экспортерами сырья за рынки сбыта. Стремясь снизить издержки производства, производители сырья уменьшают зарплаты, доходы населения падают. Сжатие внутреннего платежеспособного спроса препятствует развитию высокотехнологичных производств, ориентированных на производство потребительских товаров. Происходит деиндустриализация страны, страна попадает в так называемую **«сырьевую ловушку»** или **«ловушку бедных стран»** [Райнерт 2011].

Именно этой ловушкой обусловлено наличие «мертвой зоны» на рис. 3.14. Выйти из данной ловушки можно только в результате целенаправленной долгосрочной политики руководства страны, направленной на развитие высокотехнологичных обрабатывающих производств, науки, образования, на повышение внутреннего платежеспособного спроса. Базовые модели, позволяющие анализировать эти процессы, приведены в Приложении 1.

3.3.3. Моделирование социально-экономической динамики стран БРИК

Агрегированные модели долгосрочной динамики крупных стран, имеющих обширный внутренний рынок и достаточно развитую экономику (а именно к таким государствам относятся страны БРИК), могут быть построены по типу базовой модели (3.1)–(3.4). Структурная схема таких моделей представлена на рис. 3.15.



Рисунок 3.15

Структурная схема агрегированной модели долгосрочной динамики крупной страны

Достоинством такого построения модели является то, что она структурно подобна базовым моделям мировой и региональной динамики и поэтому может легко сочетаться с ними. Уравнения такой модели логично записать в виде:

$$\frac{dn_{ik}}{dt} = D_{ik}(t), \quad N_i(t) = \sum_k n_{ik}(t) \quad (3.28)$$

$$\frac{dT_i}{dt} = b_i T_i E_i + b'_i C_{Ti} \quad (3.29)$$

$$\frac{dE_i}{dt} = c_i T_i E_i (1 - E_i) + c'_i C_{Ei} \quad (3.30)$$

$$Y_i = T_i e_i N_i \quad (3.31)$$

где N_i – численность населения; T_i – уровень технологий; E_i – образованность; Y_i – ВВП i -й страны; n_{ik} – численность отдельных половозрастных групп населения; $D_{ik}(t)$ – демографическая функция, описывающая динамику различных групп населения; $a_i, b_i, c_i, b'_i, c'_i$ – структурные коэффициенты; $C_i = C_i(T, E, Y)$ – функция связи (отражает взаимодействие с внешним миром); e_i – доля работающих в населении страны.

Детализация модели выражается в более конкретном описании демографических процессов с учетом динамики половозрастных групп, в более детальной характеристике уровня образованности населения E с учетом доли населения, имеющего среднее и высшее образование и в более детальном описании функций связи $C_i(T, E, Y)$ на основе имеющихся статистических данных.

Значения структурных коэффициентов $a_i, b_i, c_i, b'_i, c'_i$ определяются путем настройки модели методом наименьших квадратов по рядам исторических данных. Данные значения коэффициентов без изменения могут быть использованы для расчета краткосрочного инерционного прогноза. Для анализа других (не инерционных) вариантов развития эти коэффициенты и функция связи C_i при проведении расчетов могут изменяться, отражая рассматриваемые сценарии структурной политики государств.

Целью прогнозных расчетов является нахождение оптимальных вариантов структурных изменений, определение возможностей и ограничений экономического роста, долгосрочных перспектив развития.

При исследовании факторов роста развивающихся стран было обнаружено, что иностранные инвестиции имеют значительно более сильное влияние на рост производительности труда по сравнению с внутренними инвестициями. Это связано с тем, что иностранные вложения (идущие, как правило, от развитых стран) привносят с собой также новые технологии и создают новые высокопроизводительные рабочие места.

В связи с этим уравнение для роста производительности труда включает два слагаемых – прирост от внутренних инвестиций и прирост от внешних инвестиций. Чувствительность к внешним инвестициям высока для развивающихся стран и постепенно убывает по мере увеличения благосостояния. Для развитых стран внутренние и внешние инвестиции уже не различимы и вносят одинаковых эффект.

Таким образом эффект догоняющего развития во многом объясняется внешними инвестициями, связанными с передачей технологий в виде лицензий на использование патентов. Во всех развивающихся странах внешние инвестиции дают большой импульс экономике. Однако не во все страны эти инвестиции поступают. Среди развивающихся стран есть конкуренция за получение инвестиций, и многие бедные страны их получают в очень малых объемах (факторы инвестиционной привлекательности развивающихся стран исследованы в [Коротаев и др. 2010]).

Хорошим индикатором привлекательности страны для иностранных инвестиций оказался индекс коннективности, равный числу стран, имеющих авиарейсы в данную страну. Данный индекс хорошо коррелирует с долей внешних инвестиций в общем объеме инвестиций страны.

На основе полученных закономерностей были проведены прогнозные расчеты роста экономик БРИК и ряда других стран в период до 2050 г. При проведении расчетов считалось, что отношение объема инвестиции в страны БРИК к их ВВП будут сохраняться на постоянном уровне. В связи с этим прогноз является оптимистичным для стран БРИК, поскольку при возникновении глобальных кризисов инвестиции в развивающиеся страны могут резко упасть, что также резко скажется на росте производительности труда в этих странах. Результаты расчетов представлены на рис. 3.16 и 3.17

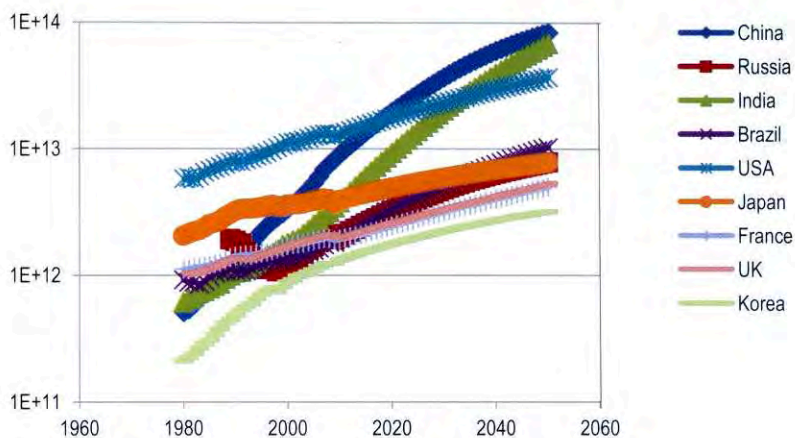


Рисунок 3.16
Прогноз динамики ВВП стран БРИК в сравнении с другими странами
 (долл. США 2005 г. по ППС)

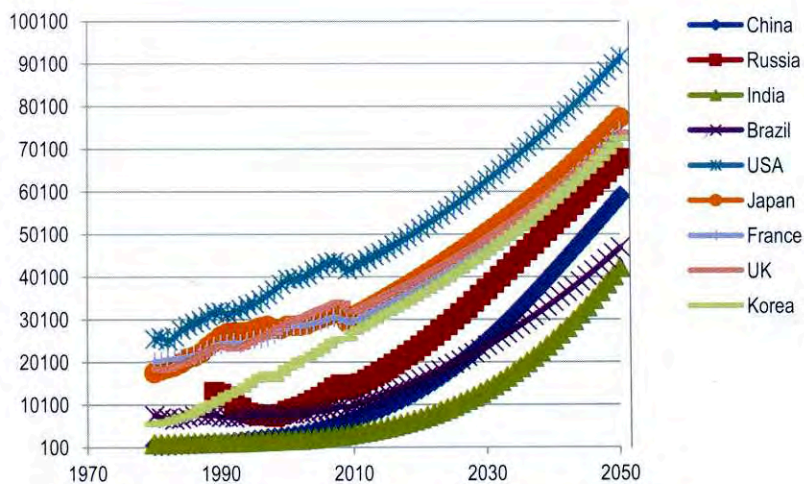


Рисунок 3.17
Прогноз динамики ВВП на душу населения в странах БРИК
в сравнении с другими странами
 (долл. США 2005 г. по ППС)

На рис. 3.18 и 3.19 представлены результаты сравнения двух сценариев мирового развития, выполненных с использованием модели, с прогнозом Goldman Sachs [Goldman Sachs 2003].

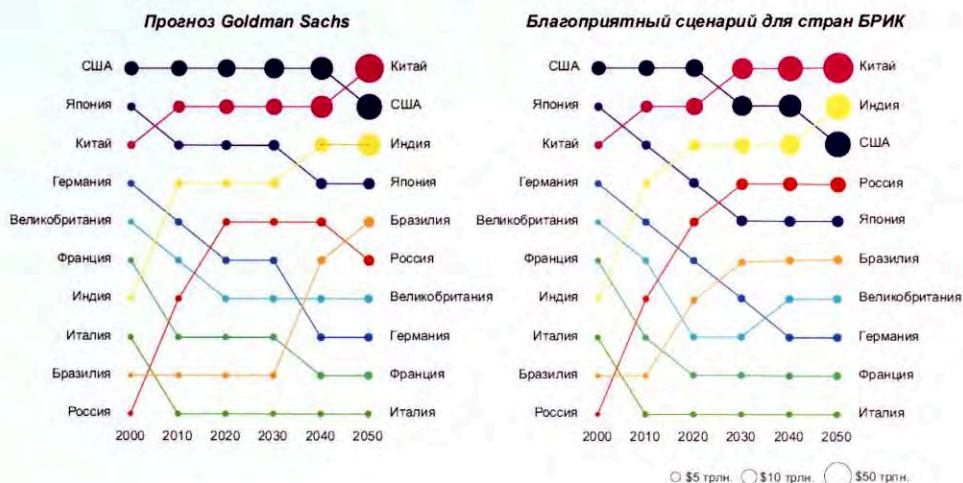


Рисунок 3.18

Сравнение благоприятного прогноза для стран БРИК с прогнозом Goldman Sachs

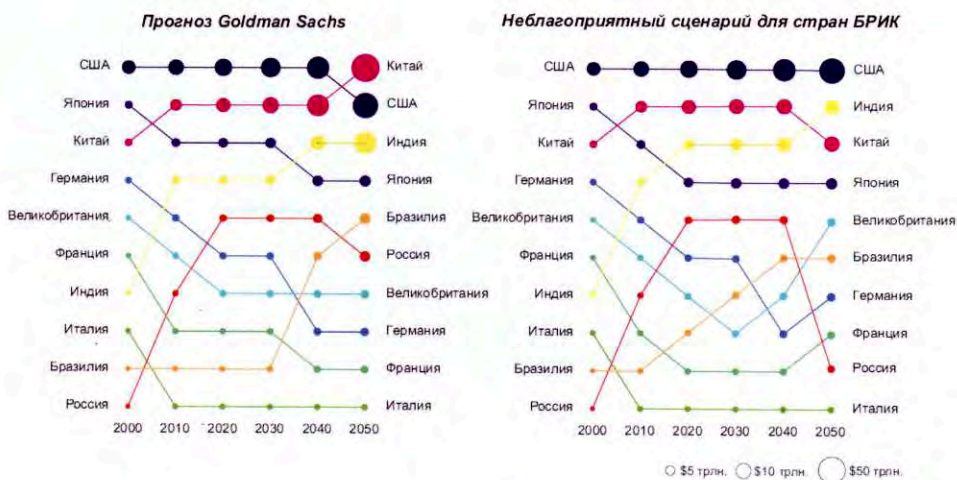


Рисунок 3.19

Сравнение неблагоприятного прогноза для стран БРИК с прогнозом Goldman Sachs

Таким образом, базовая модель долгосрочной динамики позволяет оценивать перспективы развития стран БРИК в рамках различных сценариев.

Однако, несмотря на большую детализацию по сравнению с моделью региональной динамики, данная модель остается слишком агрегированной для решения практических оптимизационных задач и может прогнозировать лишь общие тренды для различных сценариев развития. Для решения оптимизационных задач, предназначенных для поддержки принятия практических решений, должны использоваться модели другого типа (см. Раздел 4.1.2).

3.3.4. Моделирование геополитической динамики

Особенностью математических моделей иерархической системы моделирования мировой динамики является совместное моделирование экономической, демографической, политической, социальной, культурной и технологической динамики как мира в целом, так и отдельных стран. Это позволяет проводить сравнения уровня развития государств мира по различным показателям, определять роль и место этих государств в геополитической иерархии. Традиционно в качестве интегрирующего показателя, с помощью которого проводится сравнение различных государств друг с другом, используется так называемый «геополитический статус» (ГПС) страны. ГПС представляет собой свертку частных показателей, характеризующих развитие различных сфер жизни страны, с учетом их относительного вклада в увеличение силы и авторитета государства на международной арене.

Существует несколько подходов к определению ГПС, они описаны в [Винокуров 2011]. В [Винокуров 2010] обоснован подход, на основании которого общая формула расчета статуса имеет вид:

$$S(t) = G(t) \cdot F_A(t), \quad (3.32)$$

где $S(t)$ – геополитический статус в момент времени t ; $G(t)$ – геополитический потенциал, значение которого определяется по следующей формуле:

$$G(t) = 0,5 (1 + X_M^{0,43}) X_T^{0,11} X_D^{0,19} X_E^{0,27} \quad (3.33)$$

где X_i ($i = T, D, E, M$) – доли государства в общемировых показателях в территориальной, демографической, экономической и военной сферах соответственно. F_A – «функция влияния», определяющая совокупное влияние факторов, не связанных явно с геополитическим потенциалом (к этим факторам относятся: качество государственного управления, степень независимости – политической, военной, экономической – страны, ее участие в военно-политических коалициях). Методика определения $G(t)$ и $F_A(t)$ описана в Приложении 1.

На рис. 3.20 представлены результаты расчетной оценки геополитического статуса ведущих стран мира в период 1938–1946 гг.

Видно, что именно во время второй мировой войны произошла смена мирового лидера и США поднялись на вершину геополитической пирамиды.

На рис. 3.21 представлены результаты расчетной оценки геополитического статуса ведущих стран мира в послевоенный период.



Рисунок 3.20
Статусы ведущих стран мира в период 1938–1946 гг.

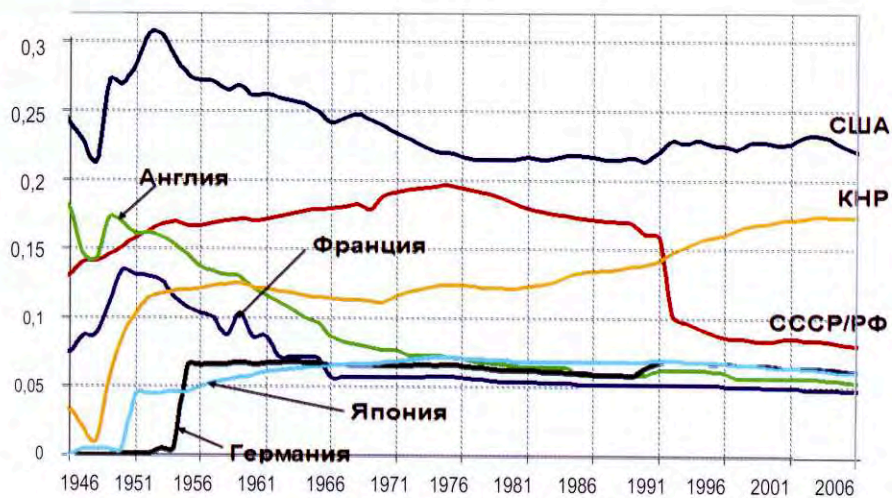


Рисунок 3.21
Статусы ведущих стран мира в период 1946–2006 гг.

Видно, что в девяностые годы произошло резкое снижение ГПС России, а КНР по величине ГПС вышла на второе место в мире.

Модель позволяет определять изменение геополитической «дистанции» между конкретными государствами (в виде разницы между значениями их ГПС), что отражает динамику соотношения государств в глобальных геополитических координатах. На рис. 3.22 представлены результаты расчетной оценки геополитической «дистанции» между Россией и мировым лидером на протяжении XX–начала XXI вв.

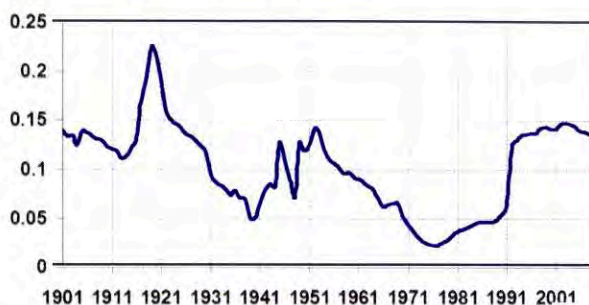


Рисунок 3.22

Геополитическая дистанция между Россией и мировым лидером

Видно, что геополитическая дистанция между Россией и мировым лидером (тогда это были США) была наименьшей в середине 1970-х гг. и резко увеличилась после распада СССР.

На рис. 3.23 представлена прогнозная оценка геополитической «дистанции» между Китаем (претендентом на мировое лидерство) и США (нынешним мировым лидером) в условиях реализации и в отсутствие реализации договора о сокращении стратегических наступательных потенциалов (СНП) США и России. В условиях сокращений, предусмотренных СНП, прогнозируется более ранняя, чем без этих сокращений, потеря американского лидерства.

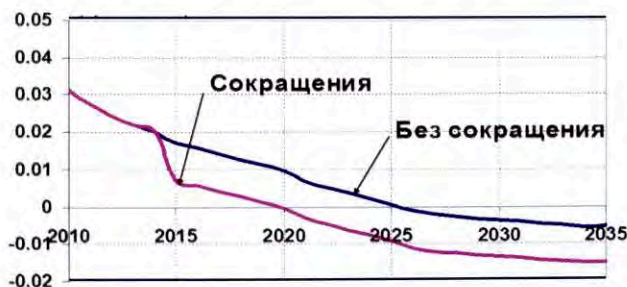


Рисунок 3.23

Динамика геополитической дистанции между США и Китаем в зависимости от реализации нового договора о сокращении СНП

Таким образом, введение интегрального показателя «геополитический статус» в виде свертки частных показателей, характеризующих состояние различных сфер жизни страны, позволяет проводить анализ и прогноз мировой динамики на геополитическом уровне.

3.4. Моделирование неравновесных процессов и кризисов

3.4.1. Моделирование экономических циклов

Эмпирическому и теоретическому анализу экономических циклов посвящена обширнейшая литература (ее обзор приведен в Разделе 2.2). Классическими работами по математическому моделированию циклической динамики являются [Samuelson 1939; Harrod 1936; Hicks 1950]. Различными авторами созданы как базовые (отражающие основные закономерности), так и детальные имитационные модели циклических процессов [Sterman, Meadows 1985]. Тем не менее потребность в дальнейшем совершенствовании математического описания экономических циклов остается. Это связано с тем, что, несмотря на имеющиеся прогнозные модели, для многих разразившийся в 2008 г. мировой финансово-экономический кризис оказался неожиданным, его дальнейшая динамика не ясна. Циклическая составляющая очень часто вообще не учитывается различными авторитетными организациями, прогнозирующими мировое экономическое развитие [PricewaterhouseCoopers 2006]. В последние десятилетия стало очевидным важнейшее влияние финансового сектора и особенностей динамики спроса на циклические процессы в экономике; однако эти факторы отражены в моделях явно недостаточно, что снижает достоверность моделирования и прогноза развития мировой экономики. В связи с этим, представляется целесообразным обратиться к базовым моделям экономического развития с целью анализа потребности в их уточнении и совершенствовании.

На базовом уровне рассмотрения основными особенностями экономических процессов являются следующие:

- 1) стремление рыночной экономики к равновесию;
- 2) наличие временных лагов (задержек) в реакции экономики на изменение внешних и внутренних условий;
- 3) наличие положительных обратных связей в экономических процессах, что в определенных случаях приводит к неустойчивости их протекания.

С учетом этих особенностей в работе [Акаев 2007] было получено общее дифференциальное уравнение макроэкономической динамики, описывающее совместное взаимодействие долгосрочного экономического роста и циклических колебаний деловой активности в свободной рыночной экономике:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 Y}{dx^2} + \left\{ \lambda + k - \lambda(1-s) \frac{1}{Y^*} \frac{\partial \bar{Y}}{\partial L} - k\lambda \left[1 - \frac{4}{3} \chi \left(v \frac{dY}{dt} \right)^2 \right] \right\} \frac{dY}{dt} + \lambda \left[k - s(1-s) \frac{\partial \bar{Y}}{\partial K} \right] Y + \\ + \lambda(1-s) \left(\mu - k \frac{a}{h} \right) K \frac{\partial \bar{Y}}{\partial K} - K\lambda(1-s) \frac{b}{h} L \frac{\partial \bar{Y}}{\partial L} = \lambda \frac{dA}{dt} + k\lambda A. \end{aligned} \quad (3.34)$$

где $Y(t)$ – текущий объем выпуска продукции (текущий уровень ВВП); $\bar{Y}=F(K, L)$ – уровень выпуска, соответствующего траектории долгосрочного роста; K – капитал; L – труд; λ – скорость реакции запаздывания предложения от спроса; k – скорость реакции запаздывания фактических индуцированных капиталовложений от решения об инвестициях; s – коэффициент сбережений; v – мощность акселератора; μ – коэффициент выбытия капитала; a, b, h – постоянные коэффициенты в уравнении Эйлера для производственной функции: $aK \frac{\partial \bar{Y}}{\partial K} + bL \frac{\partial \bar{Y}}{\partial L} = h\bar{Y}$; $\gamma^* = \gamma \frac{Y_F}{L^*}$ – модифицированный параметр Оукена (γ); Y_F – национальный доход при полной занятости; A – независимые от дохода (Y) расходы как на капиталовложения, так и на потребление.

Уравнение (3.34) включает в себя нелинейный акселератор инвестиций, равный $\frac{4}{3} k\lambda \left(v \frac{dY}{dt} \right)^3$ (при $\chi=1$), который обеспечивает поддержание в данной экономической системе незатухающих циклических колебаний. Экономическая система с нелинейным акселератором является классической автоколебательной системой, в которой роль механизма положительной обратной связи играет нелинейный акселератор, а в качестве коэффициента усиления служит мощность акселератора v . Если коэффициент усиления v достаточно велик ($v > 1,05$), то в системе возникает самоподдерживающийся колебательный процесс, характеристики которого определяются внутренними (структурными) параметрами системы [Акаев 2008]. Таким образом, в точке $v=1,05$ в системе происходит бифуркация рождения цикла. При выводе уравнения (3.34) была также учтена циклическая безработица, которая возникает в периоды спадов, что позволяет рассматривать реальную экономику с неполной занятостью.

Данная модель использовалась для моделирования макроэкономической динамики США. Верификация модели проводилась по статистическим данным экономического развития США в период пятого кондратьевского цикла 1983–2010 гг. После верификации проводились прогнозные расчеты экономического развития США до 2050 г. в соответствии с инновационной стратегией развития. Результаты расчетов представлены на рис. 3.24.

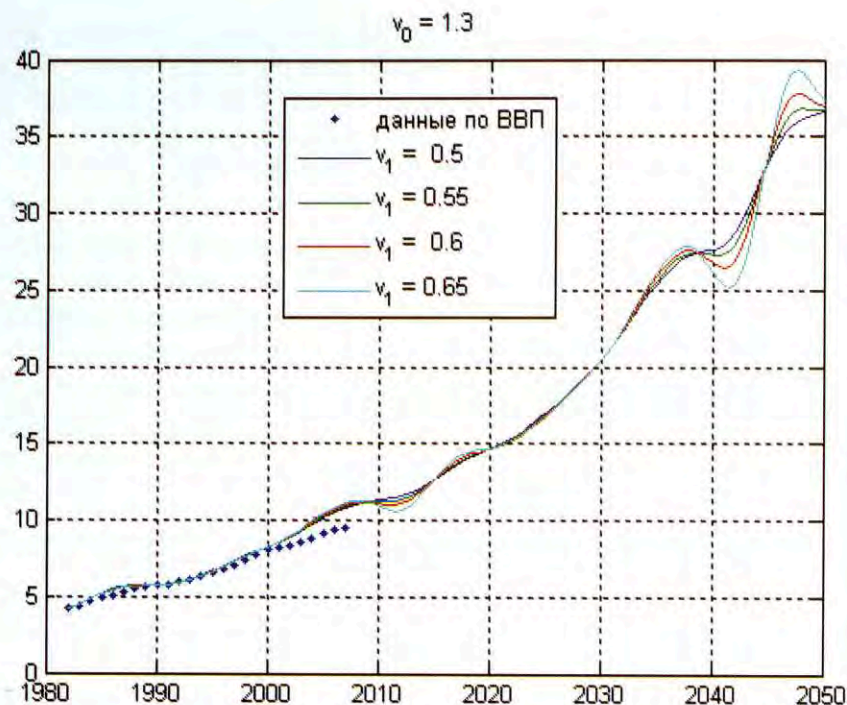


Рисунок 3.24
Прогноз динамики ВВП США до 2050 г.

Видно, что траектория движения ВВП довольно хорошо описывает изменения экономической конъюнктуры в соответствии с развитием большого цикла Кондратьева, включая резкое ухудшение конъюнктуры, приводящее к кризисной рецессии. Большие циклические кризисы, сопровождаемые депрессиями видны особенно отчетливо. Глубина кризиса зависит от величины v_1 , которая в какой-то мере отражает спекулятивную активность, тогда как v_0 — это нормальная предпринимательская активность, направленная на созидательную деятельность, на производство потребительских благ. Прогноз также показывает, что к 2050 г. объем ВВП США достигнет примерно 36 трлн долл. в ценах 2000 г., что практически совпадает с прогнозом, полученным исследователями крупнейшей американской компании «PricewaterhouseCoopers» [2006].

Таким образом, разработанная математическая модель долговременного экономического роста, учитывающая влияние циклических колебаний на формирование траектории роста, позволяет значительно лучше описать реальную макроэкономическую динамику как в качественном, так и количественном отношении. Важно, что модель является адекватной математической основой инновационно-циклической теории экономического раз-

вятия Шумпетера–Кондратьева. А это дает возможность изучать реальное поступательно-циклическое развитие экономической системы путем математического моделирования. Модель также позволяет рассчитать в грубом приближении время наступления циклической кризисной рецессии, как это видно непосредственно на рис. 3.24. Она определяется точностью задания продолжительности кондратьевского цикла. Подробное описание модели приведено в Приложении 1.

3.4.2. Моделирование и прогноз кризисов

Наиболее сложной проблемой анализа кризисных явлений в экономике и политике является прогноз момента, когда кризис переходит из тлеющей в острую фазу своего развития. Моделирование социально-экономических и демографических процессов позволяет выявлять индикаторы, которые способны заранее указывать на возможность и вероятные сроки возникновения кризисных явлений в обществе.

Примером индикатора-предвестника, указывающего на возможность **политической нестабильности** в развивающихся странах, является возникновение так называемого «молодежного бугра», т.е. временного увеличения доли молодежи в населении страны. Основная идея заключается в том, что в странах, проходящих стадию перехода от аграрного к индустриальному обществу, типичным является демографический взрыв, обусловленный значительным снижением младенческой смертности (в результате использования достижений современной медицины) при сохранении в течение определенного периода времени традиционной модели многодетной семьи. Избыточное молодое поколение, не имея возможности найти работу в сельской местности, мигрирует в города, где в условиях массовой безработицы становится социальной базой для радикальных партий и экстремистских организаций. Результатом этого является рост внутривнутриполитической нестабильности, которая может вылиться в массовые волнения, вооруженные столкновения и гражданские войны (и это несмотря на общий рост ВВП на душу населения).

На рис. 3.25 изображен «молодежный бугор», наблюдавшийся в Алжире накануне и в период кровопролитной гражданской войны 1992–2002 гг.

В [Коротаяев и др. 2011] показано, что возникновение «молодежного бугра» можно предсказать на основе моделирования с использованием, например, аналитической модели МакКендрика–фон Ферстера. В соответствии с этой моделью уравнения для определения количества лиц возраста τ в момент времени t записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u(\tau, t)}{\partial t} + \frac{\partial u(\tau, t)}{\partial \tau} &= -d(\tau, t)u(\tau, t) \\ u(0, t) &= 0,5 \int_0^{\infty} u(\tau, t)b(\tau, t)d\tau, \quad u(\tau, 0) = g(\tau), \end{aligned} \quad (3.35)$$

где $u(\tau, t)$ – количество лиц возраста τ в момент времени t , $b(\tau, t)$ – интенсивность рождения детей у женщин возраста τ в момент времени t , $d(\tau, t)$ – возрастной коэффициент смертности для лиц возраста τ в момент времени t , $g(\tau)$ – возрастная структура общества в начальный момент времени. На рис. 3.26 представлены результаты расчетов демографической динамики для модельного случая, аналогичного ситуации, сложившейся в Алжире на рубеже XX и XXI веков.



Источник: [UN Population Division 2010].

Рисунок 3.25

Динамика доли молодежи (15–24 года) в общей численности населения Алжира в 1970–2005 гг. с прогнозом до 2015 г. (%)

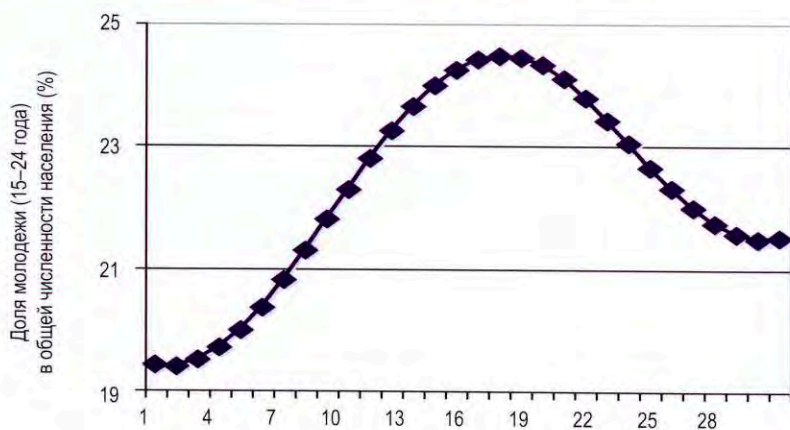


Рисунок 3.26

Изменение доли молодежи (15–24 года) в общей численности населения при снижении младенческой смертности (модельный случай)

Видно, что результаты расчетов, несмотря на использование относительно простой модели (3.35), достаточно хорошо отражают ситуацию, наблюдавшуюся в Алжире (см. рис. 3.26). Возможность появления «молодежных бугров», выявляемая в результате моделирования демографической динамики конкретных стран, делает такое моделирование эффективным инструментом прогноза политической нестабильности. Более подробно эта тема освещена в **Приложении 2**.

Примером индикатора-предвестника, указывающего на приближение **экономического кризиса**, является взрывной рост цен на высоколиквидные товары (нефть, золото и т.п.). В ряде основополагающих работ Дидье Сорнетта, Андерса Йохансена и их сотрудников [Sornette, Johansen 2001] было показано, что ускоряющиеся лог-периодические колебания, накладываемые на взрывной возрастающий тренд, описываемый степенной функцией с сингулярностью в конечный момент времени t_c :

$$x(t) = a + b(t_c - t)^\beta + c(t_c - t)^\beta \cos[\omega \ln(t_c - t) + \phi] \quad (3.36)$$

наблюдаются в ситуациях, ведущих к катастрофам, и позволяют предсказывать эти события. В работе [Akaev, Fomin, Tsirel, Korotayev 2011] предложен алгоритм расчета критического времени (времени наступления кризиса), основанный на аппроксимации текущих цен степенной функцией с сингулярностью (обострением) с наложенным на нее ускоряющимся лог-периодическим колебанием. С.Марчетти и Н.Накиценович впервые обратили внимание на периодически повторяющиеся резкие скачки в ценах на доминирующие энергоносители, которые совпадают с периодом смены больших кондратьевских циклов [Marchetti, Nakicenovic 1979]. Эти всплески цен длятся обычно около 10 лет и знаменуют собой начало важного структурного сдвига в энергопотреблении. Эти всплески цен являются предвестниками глобальных циклических кризисов в мировой экономической и финансовой системе. Действительно, когда мировая экономика находится на повышательной волне кондратьевского цикла, благоприятная конъюнктура мирового рынка постоянно повышается, и цены на нефть в соответствии с теорией кондратьевских циклов находятся на низком стационарном уровне, определяемом ценой производства и транспортировки. Но как только происходит значительное ухудшение конъюнктуры мирового рынка на понижательной волне кондратьевского цикла, капитал начинает стремительно перемещаться в нефть и золото, как товары с абсолютной ликвидностью, вызывая тем самым взрывной рост цен, как показано на рис. 3.27.

Понятно, что надувание ценового пузыря не может быть бесконечным, поэтому в окрестности момента обострения, описываемого кривой (3.36), происходит срыв в кризис. На основе подобных графиков можно с высокой точностью прогнозировать критические моменты в экономической динамике и загодя предпринимать меры по предотвращению катастрофических последствий кризисов. Ближайшие годы будут характеризоваться сложной

социально-экономической обстановкой, чреватой кризисными явлениями, что повышает роль прогноза и выверенной государственной политики.

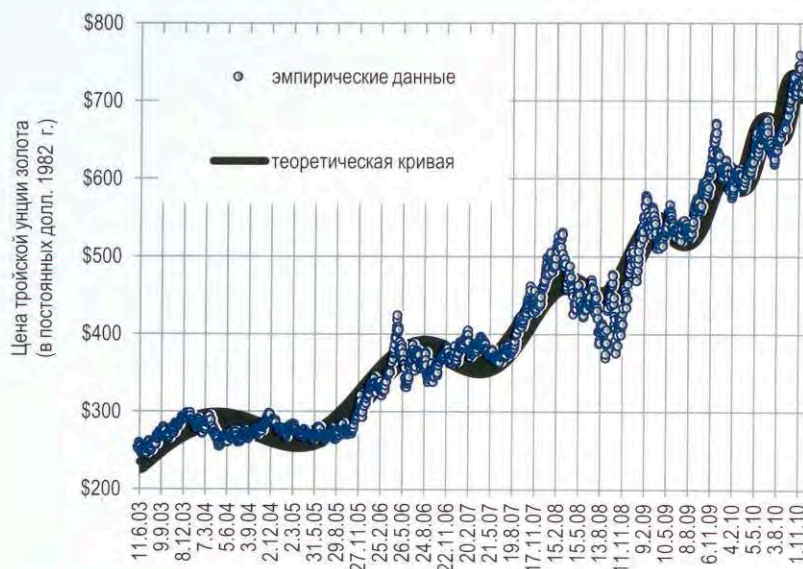


Рисунок 3.27
Лог-периодические колебания мировых цен на золото

Подробно указанная методология прогнозирования кризисов на основе математического моделирования изложена в [Акаев, Fomin, Tsirel, Korotayev 2010; Акаев, Садовничий 2010а; Акаев, Садовничий, Коротаев 2010, 2011]. Подчеркнем, что использование данной методологии позволило авторам с точностью до месяца еще в конце 2010 г. спрогнозировать начало второй волны мирового финансово-экономического кризиса в августе 2011 г. [Акаев, Садовничий, Коротаев 2010, 2011].