

4. Мировые модели.

4.1. Классификация глобальных моделей.

Истощение природных ресурсов, нарастающее загрязнение природной среды, увеличивающийся разрыв в уровне благосостояния развитых и развивающихся стран еще в 1970-х гг. XX века побудила многих исследователей к оценкам возможных вариантов будущего развития человечества, к анализу и поиску решений глобальных проблем.

Выводы авторов математических моделей мировой динамики сводились к тому, что дальнейшее существование человечества с сохранением нынешнего характера и тенденций развития ведет к катастрофе в форме так называемого экологического кризиса.

Математическое моделирование мировой динамики начиналось с докладов видного американского ученого Джея Форрестера знаменитому Римскому клубу, в конце 1960-х – начале 1970-х годов относительно применения разработанных им моделей системной динамики для целей долгосрочного эколого-экономического прогнозирования. Главный вопрос, который интересовал тогда Римский клуб, созданный в 1968 г. по инициативе крупнейшего итальянского общественного деятеля и бизнесмена Аурелио Печчеи, состоял в определении степени устойчивости экономической модели, господствовавшей на Западе после Второй мировой войны. Эта модель предполагала динамичный рост и неограниченное расширение экономики при использовании ресурсоемких технологий. Доклады Форрестера показали, что продолжение стратегии ресурсоемкого роста в условиях имевшего место в тот период небывалого демографического роста неизбежно приведет либо к острой нехватке ресурсов в мире, либо к катастрофическому загрязнению окружающей среды, способному вызвать глобальный экологический кризис.

Применительно к моделированию и прогнозированию мировой динамики целесообразно выделение трех взаимосвязанных иерархических уровней:

- моделирование общих тенденций развития мира как целостной системы;
- моделирование особенностей региональной динамики; глобальная динамика является результатом региональных взаимодействий и противоречий;
- моделирование социально-экономической динамики отдельных стран в контексте мирового и регионального развития.

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

- первый уровень моделирования – модель глобальной динамики как целого, предназначенная для анализа трендов мирового развития.
- второй уровень моделирования – модель региональной динамики, предназначенная для более детального описания глобальных

социально-экономических изменений с учетом неравномерности развития отдельных стран и регионов мира.

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

- 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 рис. 4.1 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.

Возможно и создание *четвертого уровня* моделирования – создание моделей отдельных географических, территориально выделенных и экономических районов страны с учетом общих целей и задач третьего уровня.

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 позволять достраивать к «ядру» отдельные блоки для более детального описания частных явлений и процессов.

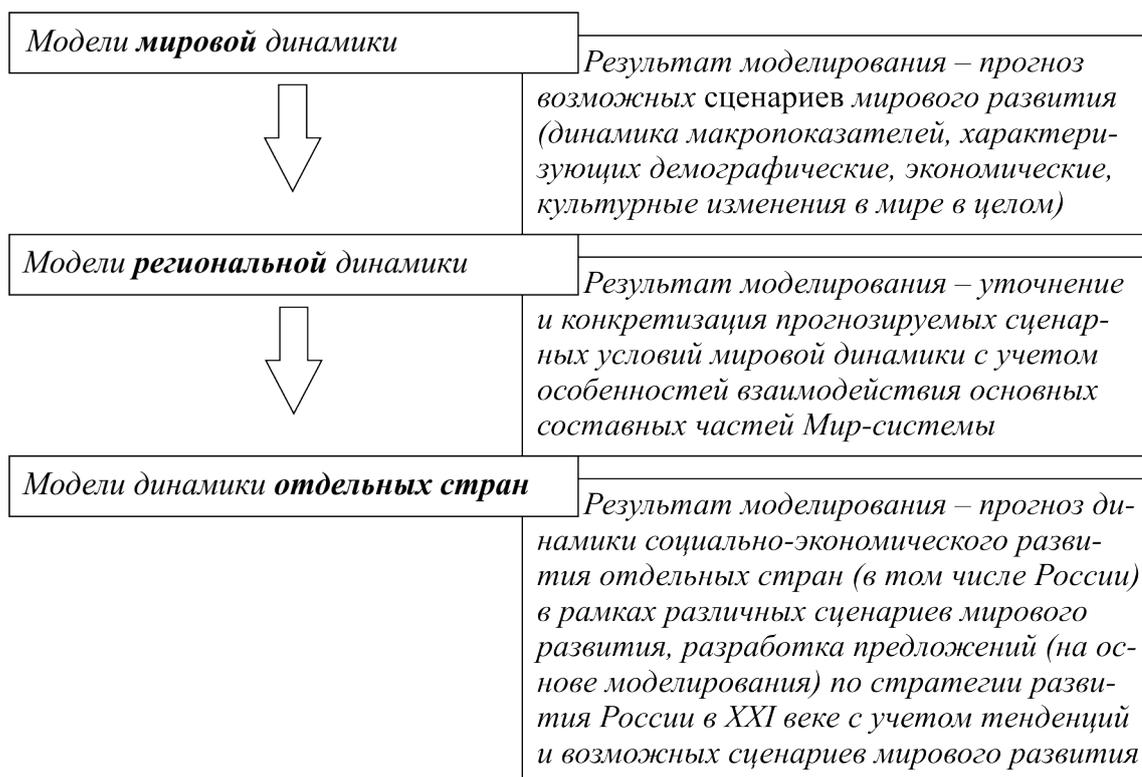


Рис. 4.1. Схема трехуровневой системы моделирования «мир – регионы – страны».

4.2. Глобальная динамическая модель Дж. Форрестера «Мир-2»

4.2.1. Факторы, входящие в модель.

Джей Форрестер, профессор Массачусетского технологического института, является родоначальником построения моделей системной динамики. Он разработал аппарат «системной динамики», позволяющий имитировать с помощью ЭВМ развитие различных сценариев в динамике сложных систем. Аппарат был построен на основе достижений теории систем и компьютерного моделирования с использованием языка обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Дж. Форрестером, по заказу Римского клуба, были созданы первые математические модели мировой динамики «Мир-1» и «Мир-2» (1971-1972 гг.), положившие начало моделированию глобальных процессов. В 1971 г. Дж. Форрестер опубликовал первые результаты компьютерного моделирования мировой динамики в ставшей популярной книге «Мировая динамика», в которой он впервые предпринял попытку описать основные процессы экономики, демографии, роста загрязнения окружающей среды и их взаимодействие и обусловленность в планетарном масштабе.

Прежде всего, Дж. Форрестер выделил наиболее существенные мировые процессы. На тот момент ими оказались следующие:

- 1) быстрый рост населения;
- 2) индустриализация и связанный с ней промышленный рост, вызывающий загрязнение окружающей среды;
- 3) нехватка продовольствия;
- 4) рост отходов производства;
- 5) нехватка природных ресурсов.

Таким образом, глобальная система по Форрестеру состоит из следующих основных подсистем: население, основные фонды (капитал), сельскохозяйственные фонды, невозобновляемые природные ресурсы, загрязнение окружающей среды.

Следовательно, мировая динамика может быть описана пятью основными глобальными переменными, как функциями, зависящими от времени:

- 1) P – численность населения Земли;
- 2) K – основные фонды (капитал);
- 3) X – доля фондов в сельском хозяйстве;
- 4) R – объем невозобновляемых природных ресурсов;
- 5) Z – количество загрязнений окружающей среды.

Дж. Форрестер полагал, что влияние основных переменных P , K , X , R и Z друг на друга, в основном, осуществляется через естественные процессы взаимодействия и вспомогательные факторы, такие как, например, повышение трудности добычи невозобновляемых ресурсов по мере их истощения. Кроме указанных переменных, Дж. Форрестер ввел еще одно понятие – качество жизни Q , носящее характер индикатора

функционирования исследуемой системы. Качество жизни задается априори в виде произведения четырех унитарных сомножителей:

$$Q = Q_C Q_F Q_N Q_Z, \quad (4.1)$$

где Q_C , Q_F – зависимость качества жизни соответственно от материального уровня жизни C и от питания F ; Q_N , Q_Z отражают влияние факторов N и Z на качество жизни как соответствующих функциональных зависимостей.

4.2.2. Основные уравнения модели.

Модель «Мир-2» являлась имитационной и была построена на основании принципов системной динамики – метода изучения сложных систем с нелинейными обратными связями, который до этого сам Форрестер со своими сотрудниками разрабатывал с конца 1950-х гг.

Метод системной динамики предполагает, что для основных фазовых переменных (так называемых системных уровней) пишутся дифференциальные уравнения одного и того же типа:

$$\frac{dy}{dt} = y^+ - y^-, \quad (4.2)$$

где y^+ – положительный темп скорости переменной y , включающий в себя все факторы, вызывающие рост переменной y ; y^- – отрицательный темп скорости, включающий в себя все факторы, вызывающие убывание переменной y .

Дифференциальное уравнение изменения численности населения отражает баланс между рождаемостью B и смертностью D :

$$\frac{dP}{dt} = B - D. \quad (4.3)$$

Оба фактора, определяющие правую часть уравнения, раскрываются Форрестером с учетом основных демографических закономерностей, выраженных семью из двадцати функциональных зависимостей модели.

Дифференциальное уравнение убыли невозполнимых природных ресурсов:

$$\frac{dR}{dt} = -PR_C. \quad (4.4)$$

По этому уравнению, природные ресурсы убывают со скоростью, пропорциональной численности населения и некоторому фактору R_C , являющемуся нелинейной функцией уровня жизни, учитывающей замедление темпов добычи ресурсов с ростом материального уровня жизни C , который определяется, в свою очередь, через параметры K , P , X и функцию $E_R(R_R)$, отражающую возрастание трудности добывания полезных ископаемых с уменьшением их запасов.

Динамика изменения капитала описывается уравнением:

$$\frac{dK}{dt} = PC_K K_C(C) - \frac{K}{T_K}. \quad (4.5)$$

Функция $K_C(C)$ характеризует рост вложений средств населением в производство под влиянием возрастания материального уровня жизни; C_K и T_K – постоянные коэффициенты, выбранные на основе изучения инвестиционных процессов и процессов износа основных фондов.

Динамика сельскохозяйственного капитала:

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_F X_Q - X}{T_X}. \quad (4.6)$$

Специфику изменения сельскохозяйственного капитала отражают две функции правой части этого дифференциального уравнения: X_F – влияние на величину сельскохозяйственного капитала уровня питания F_R ; X_Q – зависимость между сельскохозяйственным капиталом и качеством жизни. Качество жизни, в свою очередь, определяется влиянием четырех факторов: материального уровня жизни, количества продовольствия на душу населения, плотности населения и уровня загрязнения окружающей среды. T_X – время, необходимое для перераспределения капитала.

Динамика загрязнения моделируется уравнением:

$$\frac{dZ}{dt} = PZ_N Z_K - \frac{Z}{T_Z}. \quad (4.7)$$

Член уравнения, характеризующий генерацию загрязнения, пропорционален численности населения, константе Z_N , отражающей нормальный уровень загрязнения, и функции $Z_K(K_R)$. Последняя функция отражает закон нарастания скорости загрязнения среды по мере увеличения удельного капитала. Отрицательный член правой части характеризует процесс уничтожения и естественного распада загрязнений, T_Z определяет время, необходимое для изменения в определенное число раз количества загрязнения при отсутствии новых загрязнений.

Информацией для определения функциональных связей между параметрами системы служили для Дж. Форрестера глобально усредненные данные мировой статистики за 1900 – 1970 гг.

С помощью модели проводились расчеты на период до 2100 г. Они показали, что при сохранении современных тенденций развития общества неизбежен серьезный кризис во взаимодействии человека и среды в рассмотренный интервал времени. Этот кризис вызывается ограниченностью земных ресурсов, конечностью пригодных к сельскохозяйственной обработке площадей и все растущими темпами потребления увеличивающегося населения. В результате – быстрое загрязнение среды обитания, истощение природных ресурсов, рост смертности и упадок производства (рис. 4.2, 4.3).

Расчеты показали, что при инерционном развитии в результате ухудшения условий жизни численность населения снизится примерно с 6 млрд человек в 2030 году до 4 млрд в 2065 году. Условия жизни и численность населения стабилизируются, если в 1970 году уменьшатся следующие показатели: темп использования природных ресурсов на 75%, образование загрязнений на 50%, инвестиции на 40%, производство продовольствия на 20%, темп рождаемости на 30% (рис. 4.4).

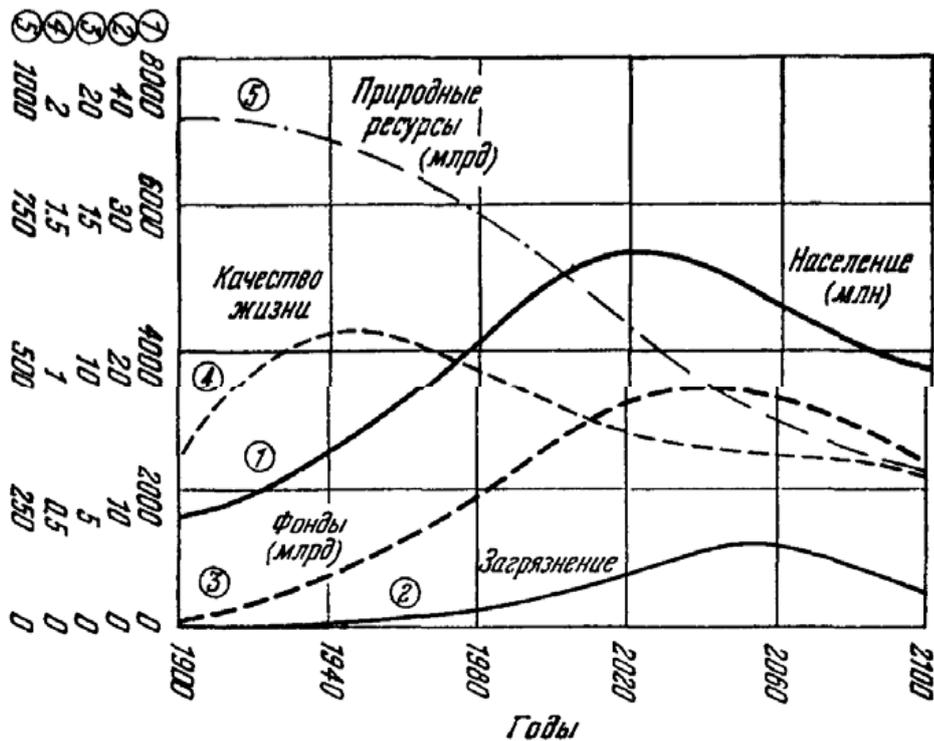


Рис. 4.2. Кризис истощения природных ресурсов.

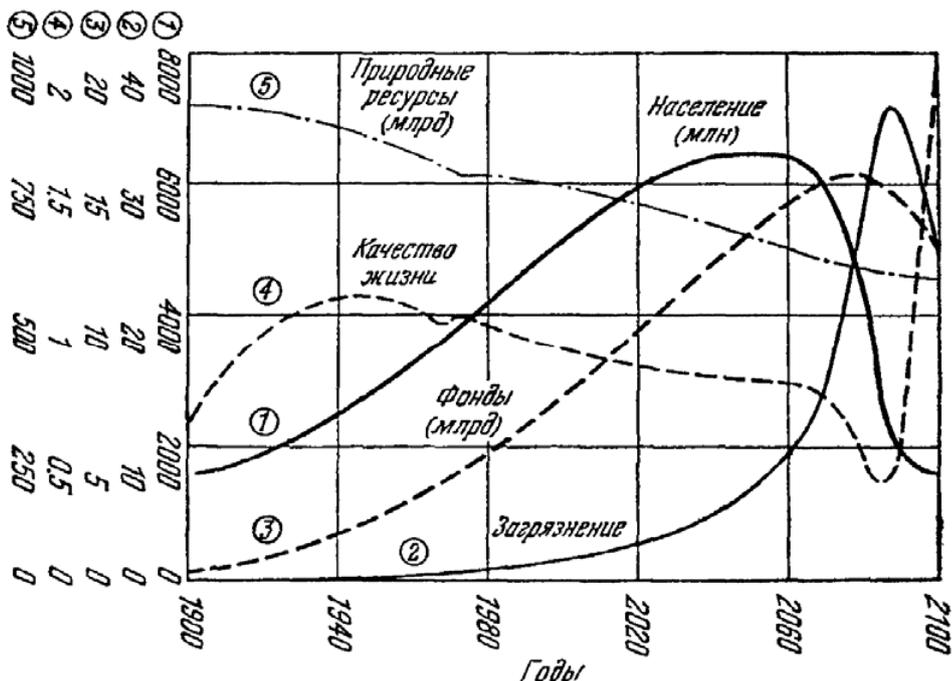


Рис. 4.3. Кризис при замедленном темпе истощения природных ресурсов.

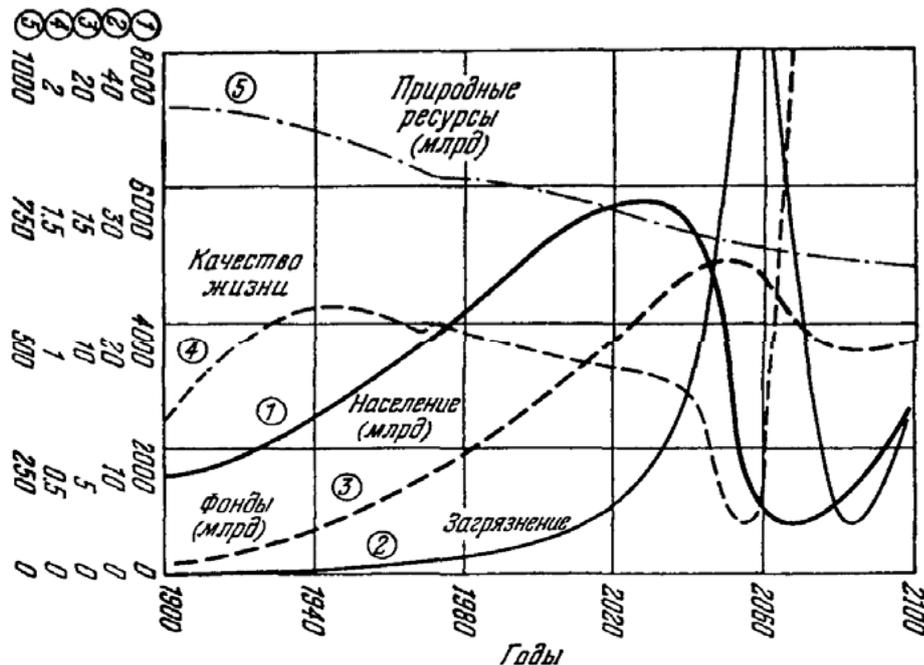


Рис. 4.4. Кризис при уменьшении скорости использования природных ресурсов на 75% от уровня 1970 г..

В дальнейшем автором была указана совокупность ограничений, стабилизирующих развитие на некоторых уровнях в пределах данного периода времени. Такое состояние было названо «глобальным равновесием» и заключалось в следующем:

- численность населения искусственно стабилизируется;
- индустриальный капитал растет до 1980 г. и далее также стабилизируется;
- потребление ресурсов на душу населения снижается до $\frac{1}{8}$ уровня 1970 г.;
- уровень загрязнения среды отходами промышленности и сельского хозяйства уменьшается в 4 раза по сравнению с уровнем 1970 г.

Однако проблема перехода к такому состоянию, очевидно, осталась открытой.

4.3. Модификации модели Дж. Форрестера.

4.3.1. Модель «Мир-3» Д. Медоуза.

Римский клуб поддержал ряд последующих проектов по глобальному моделированию и исследованию взаимозависимости различных процессов мировой динамики. Прямым продолжением модели Форрестера стала модель «Мир-3», разработанная его талантливым учеником Денисом Медоузом и международной исследовательской группой. В модели «Мир-3» была проведена дезагрегация переменных при сохранении 5 основных подсистем

как у Дж. Форрестера. Правда, в последней версии модели «Мир-3-91» была добавлена шестая подсистема «управление». Кроме того, Д. Медоуз ввел в модель большее количество взаимосвязей, примерно в 3 раза превышающее число взаимосвязей, использованных Дж. Форрестером. В результате была построена система из 12 нелинейных ОДУ для основных переменных. Расчеты по модели «Мир-3» показали, что, несмотря на большую детализацию, её прогнозы качественно и количественно оказались весьма близки к результатам, полученным по модели «Мир-2». В модели «Мир-3» не удалось преодолеть ни одной из основных недостатков базовой модели Форрестера. Дело в том, что излишнее усложнение модели без принципиального её усовершенствования привело лишь к тому, что идентификация параметров системы еще более затруднилась, поскольку их стало в три раза больше, тогда как объем объективных статистических данных оставался крайне низким.

Тем не менее, результаты, полученные с помощью модели «Мир-3» и опубликованные в 1972 г. в книге «Пределы роста», которая стала первым официальным докладом Римского клуба, получили широкий резонанс в мире и оказали заметное влияние на общечеловеческое представление о мировом развитии. В указанной книге впервые высказывались предостережения относительно серьезных угроз, которые могут возникнуть на пути к устойчивому развитию человечества из-за сокращения запасов энергоносителей и других сырьевых ресурсов, а также вследствие интенсивного загрязнения окружающей среды. Эти выводы имели большой резонанс в мире, их следствием стало более пристальное внимание к экологическим проблемам, широкое внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий производства. Ответственные политические лидеры, осознав опасность сохранения старой экономической модели, предприняли попытки перейти к новой экономике, основанной на знаниях.

4.3.2. Уравнения глобальной модели Медоуза «Мир-3».

Основу модели «Мир-3» составляет однопродуктовая макроэкономическая модель с тремя секторами производства: промышленным, сельскохозяйственным и сервисным. Конечным распределяемым продуктом является результат промышленного производства, его выработка определяется производственной функцией типа Кобба-Дугласа, учитывающей путем сравнения спроса на труд и его предложения влияние недостатка трудовых ресурсов, а также сокращение производственной отдачи с истощением ресурсов.

Модель содержит пять основных секторов, описывающих взаимодействие природы и общества посредством обыкновенных дифференциальных уравнений для следующих функций времени: P – население; R – уровень невозобновимых природных ресурсов Земли; Z – уровень загрязнения; A – приносящие урожай возделанные площади Земли; Y – естественное

плодородие (урожайность) земель; K – капиталовложения. Переменные P , A , K дезагрегированы на части:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4,$$

где P_i ($i=1, 2, 3, 4$) – число людей соответственно в четырех диапазонах возрастов: от 0 до 15 лет, от 15 до 45 лет, от 45 до 65 лет, от 65 лет и старше;

$$A = A_T - A_P - A_U - A_э,$$

где $A_T = const$ – площадь всех пригодных для возделывания земель; A_P – площадь потенциально пригодных для обработки земель; A_U – урбанизированные площади; $A_э$ – площади, выведенные из употребления почвенной эрозией;

$$K = K_I + K_S,$$

где K_I , K_S – соответственно индустриальный и сервисный капиталы (основные фонды промышленных и сервисных предприятий). За единицу времени берется год, за единицу капитала – доллар.

В модели содержатся двенадцать основных уравнений первого порядка для перечисленных переменных и шестнадцать вспомогательных уравнений, связанных со сглаживанием и запаздыванием влияния некоторых факторов на фазовую траекторию. При описании уравнений модели будем их группировать в зависимости от соответствия тому или иному из пяти секторов.

Сектор капитала. В модели предполагается, что производство промышленности, сервиса и сельского хозяйства увеличивается только за счет вложения в них соответствующих долей промышленной продукции, годовой выпуск которой выражается функцией:

$$I = \frac{1}{3} K_I Q_J (1 - G_R).$$

Коэффициент $Q_J \leq 1$ обозначает долю капитала, используемую при недостатке рабочей силы. Табличная функция $G_R(R/R_{00})$ задает зависимость доли промышленного капитала, занятого добычей ресурсов, от доли R/R_{00} оставшихся ресурсов, где R_{00} – уровень ресурсов в фиксированный момент t_{00} . Здесь индекс функции, задаваемой таблично, указывает на ее аргумент.

Обозначим доли от I инвестиций в индустрию, производство услуг, производство пищи и в производство товаров народного потребления соответственно через G_I , G_S , G_F , G_C . Тогда:

$$G_I + G_S + G_F + G_C = 1.$$

Доля G_C в модели считается постоянной, доли G_S и G_F задаются табличными функциями, а доля G_I находится из уравнения (2.5). Доля G_S

определяется зависимостью от аргумента $S_{PI} = S_P / S_I$, где $S_P = K_S Q_J / P$ – уровень годового производства услуг на душу населения, а S_I – необходимое производство услуг на душу населения, зависящее от величины $I_P = I / P$.

Уравнения динамики индустриального и сервисного капиталов соответственно имеют вид:

$$\frac{dK_I}{dt} = IG_I - \frac{K_I}{T_I}, \quad \frac{dK_S}{dt} = IG_S - \frac{K_S}{T_S},$$

где $T_I = const$, $T_S = const$ – заданные времена износа основных фондов соответственно индустриальных и сервисных предприятий.

Сектор сельского хозяйства. Доля G_F инвестиций в сельское хозяйство определяется зависимостью от аргумента $F_{PI} = F_0 F_P / F_I$, где F_I – заданная функция необходимой нормы продуктов питания от промышленного производства на душу населения I_P , а F_P – уровень питания, причем:

$$F_P = F / (F_0 P), \quad F = c_F Y_T A,$$

Здесь F – годовое производство пищи; $F_0 = const$ – зерновой эквивалент годового прожиточного минимума; $c_F = const$ учитывает потери от сельскохозяйственных вредителей и неполноту использования возделываемых площадей; величина $Y_T = Y_I Y_H Y$ обозначает полную среднюю урожайность с одного гектара земли, причем заданные зависимости Y_I от I / I_{70} и Y_H от средних инвестиций H на гектар характеризуют соответственно влияния индустриализации и интенсификации сельского хозяйства на урожайность.

Обозначим через I_X долю от всех сельскохозяйственных инвестиций $I_F = IG_F$, идущую на разработку новых площадей. Тогда формулой $I_H \equiv I_F (1 - I_X)$ будут выражаться затраты на получение урожая с возделанных земель. Считается, что доля W_F эффективных инвестиций $I_{H1}^{(2)}$ направляется на поддержание естественного плодородия почвы.

Затраты $I_{H1}^{(2)}$ определяются уравнением сглаживания – запаздывания первого порядка от функции $I_H(t)$ с характерным временем запаздывания два года. По $I_{H1}^{(2)}$ находятся средние инвестиции на гектар: $H \equiv I_{H1}^{(2)} (1 - W_F) / A$, где величина W_F задается таблично как функция от оценки уровня питания $F_{PI}^{(2)}$.

Естественное плодородие земли описывается соотношением:

$$\frac{dY}{dt} = \frac{c_Y - Y}{T_W} - M_Z Y,$$

где M_Z – скорость деградации плодородия почвы, зависящая от величины Z / Z_{70} . Z_{70} обозначает загрязнение в заданный момент $t_0 = 1970$ г. и в

дальнейшем принимается за единицу измерения загрязнения. Величина $(c_Y - Y)/T_W$ выражает стремление функции Y к отслеживанию константы плодородия целинной земли c_Y с характерным временем задержки T_W (временем регенерации плодородия почвы). Величина T_W убывает с ростом W_F .

Уравнение для уменьшения запаса невозделанных, но потенциально пригодных для обработки земель, имеет вид:

$$\frac{dA_p}{dt} = \frac{-IG_F I_X}{W_A},$$

где стоимость W_A ввода в эксплуатацию одного гектара земли есть заданная функция от отношения A_p / A_T , которая выражает рост стоимости разработки новых земель с уменьшением их запаса. Величина I_X определяется зависимостью от аргумента $X_{PH} \equiv X_p / X_H$. Здесь X_p , X_H – выгоды от затрат единицы капитала на разработку новых земель и на увеличение урожая с уже возделанных земель соответственно. Величина X_p находится в предположении, что процент c_p ежегодного обесценивания ценностей является постоянным, то есть $X_p = Y_T / (c_p W_A)$. Величина X_H определяется через производную $\partial F / \partial H$: $X_H = 2Y_T W_H / Y_H$.

Уравнение урбанизованной части ранее возделанной земли имеет вид:

$$\frac{dA_U}{dt} = \max \left\{ 0, \frac{PA_I - A_U}{T_U} \right\},$$

где A_I – площадь урбанизованной территории на душу населения, заданная зависимостью от величины I_p , а T_U – заданное характерное время задержки в отслеживании величиной A_U всей индикаторной площади PA_I .

Площадь ранее возделываемых земель, разрушенных почвенной эрозией, определяется уравнением:

$$\frac{dA_3}{dt} = \frac{A}{T_3 M_Y},$$

где $T_3 = 6000$ лет – среднее «время жизни» почвы при использовании лишь ее естественного плодородия, $M_Y (Y_T / c_Y)$ – множитель, характеризующий влияние урожайности на «время жизни» почвы. Дифференцированием получим:

$$\frac{dA}{dt} = -\frac{dA_p}{dt} - \frac{dA_U}{dt} - \frac{dA_3}{dt}.$$

Сектор невозобновляемых ресурсов. Уравнение потребления невозобновляемых природных ресурсов имеет наиболее простой вид:

$$\frac{dR}{dt} = -PR_I,$$

где R_I – добыча ресурсов на человека, являющаяся функцией от величины I_p .

Сектор загрязнения. Уравнение динамики количества Z загрязнений на Земле (отнесенного к количеству Z_{70} загрязнений в 1970 г.) имеет вид:

$$\frac{dZ}{dt} = Z_{IA3}^{(20)} - \frac{Z}{c_Z T_Z},$$

где $c_Z = const$, $Z/(c_Z T_Z)$ представляет собой естественную абсорбцию загрязнений со временем, T_Z – время полураспада загрязняющих веществ в естественных условиях, а $Z_{IA3}^{(20)}$ – функцию, полученную сглаживанием скорости генерации загрязнений $Z_{IA} = (c_I PR_I + c_A AH)/Z_{70}$, то есть сгенерированные загрязнения скажутся в глобальном масштабе спустя несколько лет, и нарастание их концентрации в местах, которые удалены от места выброса, носит сильно сглаженный характер.

Сектор демографии. Уравнения динамики численности населения различных возрастов, имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= B - P_1 D_{L1} - \frac{P_1}{15}, & \frac{dP_2}{dt} &= \frac{P_1}{15} - P_2 D_{L2} - \frac{P_2}{30}, \\ \frac{dP_3}{dt} &= \frac{P_2}{30} - P_3 D_{L3} - \frac{P_3}{20}, & \frac{dP_4}{dt} &= \frac{P_3}{20} - P_4 D_{L4}. \end{aligned}$$

Здесь B – рождаемость, D_{Li} – вероятность смерти индивидуума в i -м диапазоне возрастов, зависящая от ожидаемой продолжительности жизни L .

При этом общая смертность $D = \sum_{i=1}^4 P_i D_{Li}$. Дроби в правых частях представляют собой доли населения, переходящие за один год из одного соседнего диапазона возрастов в другой.

В модели предполагается, что второй диапазон охватывает фертильный возраст и что женщины составляют половину населения в данном диапазоне. Поэтому $B = \min\{c_1 B_L; c_1 B_L(1 - M_E) + B_1 M_E\} P_2 / (2 \cdot 30)$, где $c_1 B_L$ – естественная (предельно большая) фертильность, B_1 – желаемая фертильность, $0 \leq M_E \leq 1$ – коэффициент эффективности контроля над рождаемостью. Когда контроль полный ($M_E = 1$), фертильность равна B_1 ; когда контроль отсутствует ($M_E = 0$), фертильность равна максимально возможной. Минимум в правой части уравнения берется для исключения такого неординарного случая, при котором желаемая фертильность окажется больше предельной и в то же время эффективность контроля над рождаемостью будет достаточно большой.

Константа $c_1 = 12$ чел., желаемая фертильность равна $B_1 = c_B B_I B_W M_L$, где $c_B B_I B_W$ – желаемый размер семьи, а $M_L > 1$ – коэффициент, учитывающий детскую смертность, задаваемый как функция от $L_3^{(20)}$. Константа $c_B = 4$ чел., B_I и B_W представляют собой соответственно «социальную норму размера семьи» и «ответ средней семьи на социальную норму» и зависят от $I_{P3}^{(20)}$ и $W_I = (I_P - I_{P1}^{(3)}) / I_{P1}^{(3)}$, то есть от быстроты изменения обеспеченности общества промышленной продукцией в окрестности рассматриваемого момента.

Степень необходимости контроля рождаемости измеряется разностью $N = c_1 B_L / B_1 - 1$, которая задает долю M_N сервисного капитала S_P , используемую для контроля над рождаемостью. Эту долю составляют инвестиции $E_C \equiv M_N S_P$ в производство средств контроля над рождаемостью. Они сказываются в сглаженном виде, поэтому M_E задается как функция $E_{C3}^{(20)}$.

Ожидаемая продолжительность жизни определяется соотношением:

$$L = c_L L_F L_\sigma L_Z (1 - M_I M_P),$$

где $c_L = 28$ лет – так называемая нормальная продолжительность жизни, а $L_F(F_P)$, $L_\sigma(\sigma_{S1}^{(20)})$, $L_Z(Z/Z_{70})$ учитывают влияния на продолжительность жизни соответственно уровня питания, сервиса, загрязнений; L зависит от S_P через размер инвестиций в здравоохранение σ_S ; величина M_I описывает влияние индустриализации на плотность населения и зависит от I_P , а M_P есть доля городского населения, зависящая от всего населения P .

Коэффициент Q_J задается как функция аргумента $J_{P1}^{(2)}$ запаздывания степени удовлетворения спроса на рабочую силу, получаемого из функции: $J_P = J / c_J (P_2 + P_3)$, где J – спрос на рабочую силу, а $c_J (P_2 + P_3)$ – ее предложение; c_J обозначает часть населения трудоспособного возраста, действительно предлагающего свой труд. Спрос на труд представляет собой «трудоемкость» основных производственных фондов $J = J_I K_I + J_S K_S + J_H A$, где $J_I(I_P)$ – число рабочих на единицу промышленного капитала, $J_S(S_P)$ – число рабочих мест на единицу сервисного капитала, $J_H(H)$ – число рабочих мест в сельском хозяйстве на один гектар.

4.4. Недостатки моделей «Мир-2» и «Мир-3».

Модели «Мир-2» и «Мир-3», как пионерные работы, имели свои, определенные применяемой методологией, недостатки. Первый из них – *предопределенность* получаемых результатов. Основу моделей составляют обыкновенные дифференциальные уравнения с заданными начальными условиями для них, т.е. задачи Коши. При определенных условиях, налагаемых на правые части уравнений, существует единственное решение

данных задач Коши. Следовательно, динамика глобальной системы определяется однозначно.

Следующим недостатком моделей является *отсутствие учета технического прогресса*. В них фиксировался технологический уровень 70-мидесятых годов XX века, который экстраполировался на весь период прогноза. При построении математических моделей, описывающих динамику социально-экономического развития, используется неоклассическая модель долгосрочного экономического роста Солоу, основанная на традиционной производственной функции Кобба – Дугласа:

$$Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha}$$

где K – физический капитал, L – численность рабочей силы, A – коэффициент технического прогресса или совокупной производительности факторов, α – доля дохода, которая обеспечивается за счет роста капитальных затрат. Под техническим прогрессом Р. Солоу понимал не только новые технологии, но и новый уровень знаний и умений рабочей силы, а также новые формы организации производства. Однако развитие человеческого капитала лучше учитывается в моделях эндогенного экономического роста, упрощенный вариант которых был использован в модели корпорации «Прайс-УотерхаусКуперс» 2006 г. «Мир в 2050 году».

Следует отметить, что в большинстве глобальных моделей первого и второго поколений для описания блока экономической динамики также использовались различные модификации неоклассической модели роста Солоу.

Кроме того, в модели Форрестера практически не уделяется внимание *социальной составляющей*: здесь рассматривались только такие проблемы, как быстрый рост населения и нехватка пищи. Форрестер вводил также вспомогательную переменную, обозначающую материальный уровень жизни, и понятие о качестве жизни, но этот фактор носил характер индикатора и не играл значительной роли в модели. Не вводились переменные, которые могли бы обозначать, например, уровень образования, измеряемый числом грамотных или длительностью школьного образования, не учитывалась принадлежность людей к различным социальным группам и т.д.

Следующим недостатком моделей являлось *отсутствие управления*, поэтому полученные результаты говорили о возможном кризисе, но не давали ответа на вопрос, как из него выйти.

Модель «Мир-3» Д. Медоуза качественно мало отличалась от модели Форрестера, в ней рассматривались те же глобальные проблемы, только уровень дезагрегации был выше по сравнению с моделью «Мир-2». Основные усилия были направлены именно на детализацию структуры описания экономико-экологической системы, увеличение размерности параметрического пространства и соответствующего числа дифференциальных уравнений, описывающих динамику взаимосвязи и взаимодействия различных факторов. Поскольку основа модели «Мир-3»

осталась той же, что и в предшествующей модели, в ней остались те же недостатки.

Кроме того, на таком уровне детализации желательна была бы дезагрегация модели по регионам, поскольку обобщать тенденции развития для всего мира не совсем корректно.

С другой стороны, данная модель (по сравнению с моделью «Мир-2») более корректно отражает экономическую составляющую устойчивого развития, т.к. в ее основу была положена однопродуктовая макроэкономическая модель с промышленным, сельскохозяйственным и сервисным секторами. Однако в некоторых аспектах она была лишь излишне усложнена по сравнению с моделью Форрестера, а результаты вычислений по ней качественно не отличались от уже полученных.

4.5. Модель М. Месаровича – Э. Пестеля.

В проекте «Стратегия выживания» М. Месарович и Э. Пестель 1974 г. сформулировали задачу построения модели мировой динамики, основанной на теории многоуровневых иерархических систем и отражающей процессы взаимодействия человека с окружающей средой, а также комплекс экономических, социальных и политических взаимоотношений в обществе. Модель должна была быть управляемой и включать в себя процесс принятия решений человеком. А самое главное, мир предлагалось рассматривать не как единое однородное целое, а как систему взаимодействующих регионов, различающихся уровнем развития и социально-экономической структурой.

Следует подчеркнуть, что законченной «мировой модели» в представленных авторами материалах, по существу, нет. Есть отдельные работы по демографии, экономике, энергетике, нефтяному кризису и продовольственной проблеме. Поэтому модель Месаровича-Пестеля следует рассматривать скорее как программу построения глобальной модели.

В данном проекте все страны мира в соответствии с их социально-экономическими структурами и уровнями развития объединены в 10 регионов: Северная Америка; Западная Европа; Япония; Австралия, Южная Африка; СССР и страны Восточной Европы; Латинская Америка; Ближний Восток и Северная Африка; остальная часть Африки; Юго-Восточная Азия; Китай.

Каждый регион описывается системой специальных подмоделей, их структура – одна и та же для всех регионов, отличие – в начальных данных и значениях параметров. Связь регионов осуществляется через импорт, экспорт и миграцию населения.

Мир представляется как иерархическая структура с шестью уровнями – стратами. Нижний уровень – геофизический – включает климат, почву, воду и т.п. Следующий – экологический уровень – охватывает животный и растительный мир. Далее идет технологический уровень – собственно производственная сфера человеческой деятельности. Над ним – демоэкономический, представляющий демографические и экономические

процессы. Следующий уровень – групповой – включает социальные процессы. И, наконец, высший уровень – внутренний мир человека, его психологические и биологические особенности.

В подмоделях проекта ряд параметров остается неопределенным при написании системы уравнений. Управление в модели осуществляется выбором того или иного «сценария», т.е. набором значений этих параметров на всем рассматриваемом промежутке времени. Для каждой подмодели заранее определяется конечный набор параметров возможных сценариев, которые объединяются в дерево допустимых решений.

Обратные связи между отдельными подмоделями проекта, как правило, отсутствуют.

Подмодель экономики фактически представлена однопродуктовой макроэкономической моделью, отражающей динамику капитала, инвестиции, импорт – экспорт, конечное потребление и правительственные расходы. Она основана на линейной аппроксимации статистических данных о временных рядах производственных функций, инвестиций и экспорта регионов

Подмодель энергетики состоит из трех отдельных секторов – ресурсов, спроса и предложения. Сектор ресурсов учитывает сведения об известных энергетических резервах на земле и совершенствующихся методах разведки и технологии добычи полезных ископаемых. Сектор спроса исходит из прогноза экономического развития, получаемого в подмодели экономики.

Для изучения роста населения в подмодели демографии оно все разбивается на 86 возрастных групп. В подмодели введены две независимые переменные – время t и возраст l , который измеряется от 1 до 86 лет ($l = 86$ означает возраст старше 85).

Модель питания определяется тремя компонентами: ростом населения, инвестициями в разные части производства пищи, получаемыми из экономической модели, и физической структурой агросистемы. В производстве питания имеются три сектора: земледелие, животноводство и рыболовство. Их валовое производство выражается в количествах 26 различных пищевых продуктов. Вся пищевая продукция выражается в калориях и протеинах.

Модели Форрестера-Медоуза и Месаровича-Пестеля были основными среди глобальных моделей первой волны.

В результате прогнозных расчетов по модели Месаровича-Пестеля было показано, что миру угрожает не глобальная катастрофа (приблизительно в середине XXI века, как следует из результатов модели «Мир-3»), а серия региональных катастроф, которые начнутся значительно раньше и по разным причинам для разных регионов. Таким образом, они видят будущее человечества в длительных разнообразных региональных кризисах – экологических, энергетических, продовольственных, сырьевых, демографических. Последствия региональных катастроф будут ощущаться во всем мире, и избежать глобальной катастрофы можно лишь согласованными усилиями международного сообщества – таким был вывод Месаровича и Пестеля. Они утверждали, что эти кризисы могут постепенно охватить всю

планету, если международное сообщество не предпримет усилия по достижению сбалансированного развития всех частей глобальной системы. Поэтому свою концепцию мирового развития Месарович и Пестель назвали «органичным ростом». Таким образом, несомненным достоинством этой модели является деление глобальной системы на взаимодействующие регионы, а также специализация и направленность подмоделей на решение конкретных проблем. Однако некоторые из них (экономическая, демографическая) чрезмерно упрощены. Между подмоделями, как правило, отсутствуют обратные связи.

Среди недостатков также можно выделить то, что в данной модели снова нечетко раскрыта социальная составляющая, а экологическая – с точки зрения расходования невозполнимых природных ресурсов – не рассматривается совсем. В проекте выделены лишь подмодели экономики и энергетики, демографии, производства продуктов питания.

В целом, модель получилась трудно идентифицируемой, в ней стало сложно определить, какие факторы являются определяющими, а какие – сопутствующими.

4.6. Латиноамериканская модель глобального развития.

Данная модель была построена группой аргентинских ученых во главе с А. Эррерой в 1974 г. Авторы модели исходили из следующих предпосылок. Предсказываемый разработанными ранее глобальными моделями кризис уже наступил – сейчас большая часть населения живет в условиях голода, неграмотности, высокой детской смертности и острой нехватки жилья. Никакие меры по защите экосистемы и уменьшению потребления природных ресурсов не могут быть эффективными, пока каждый человек на земле не достигнет удовлетворительного уровня жизни.

Авторы модели сформулировали следующие предположения о цели развития и организации общества:

1. Конечной целью развития является создание общества равенства. Основным принцип этого общества заключается в признании права каждого человека на удовлетворение основных потребностей (в питании, образовании, медицинском обслуживании, обеспеченности жильем).

2. Существуют и другие потребности человека. Однако они качественно отличаются от упомянутых выше и поэтому не формализованы и не включены в модель.

3. Каждый человек участвует в принятии социальных решений.

4. Потребление само по себе не является целью развития общества.

В латиноамериканской глобальной модели мир рассматривается как система четырех регионов: промышленно развитые страны; Латинская Америка; Африка; Азия.

Каждый регион описывается стандартной системой восьми взаимосвязанных подмоделей: экономики; демографии; урбанизации и

жилищного строительства; образования; производства продуктов питания; природных ресурсов; энергии; загрязнения окружающей среды.

Различаются два этапа функционирования модели. Первый этап (прогнозирование) описывает развитие системы с 1960 по 1980 год при сохранении существующих тенденций. Модель используется в имитационном режиме. Второй этап (оптимизация) начинается с 1980 г. Предполагается, что в этом году изменяется структура ценностей общества, и модель начинает функционировать в соответствии с основными предположениями. На этом этапе модель используется в нормативном режиме, т.е. в режиме поиска путей удовлетворения основных потребностей человека.

Основой модели является пятисекторная макроэкономическая подмодель, в которой определяется производство основных услуг и инвестиционного капитала.

Модель охватывает экономический аспект и достаточно широко – социальный аспект. Рассмотрение мира в качестве системы взаимодействующих регионов (хотя снова разделение носит лишь формальный характер) также можно отнести к достоинствам данной модели. Существенным прорывом является возможность управления моделью, которая на этот раз уже не носит сценарный характер: в качестве управляющих воздействий берутся доли капитала и трудовых ресурсов, распределяемые по секторам подмодели экономики, а также цены на продукцию этих секторов. Минимизируемый критерий строится как линейная комбинация штрафных функций – отклонений условий жизни от удовлетворительных уровней.

В рамках данной модели можно говорить о том, что все составляющие были в некотором смысле «принесены в жертву» социальному аспекту, поскольку более логичным было бы введение в качестве целевого функционала также минимизации затрат. Некоторые подмодели были, в конечном счете, исключены из рассмотрения. Совсем неоправданным является не включение в окончательный вариант проекта подмодели экологии.

В заключение можно сказать, что, несмотря на многие недостатки, отмечаемые исследователями и связанные, например, со способом разделения мира на регионы, с описательным характером некоторых подмоделей, а также, в особенности, с отказом от включения в модель вопросов, касающихся охраны окружающей среды, она, в отличие от всех ранее перечисленных проектов, уделяет гораздо большее внимание социальному аспекту и довольно широко рассматривает экономический аспект.

4.7. Инновационно-циклическая теория экономического развития.

Некоторые экономисты придерживаются мнения, что наступление кризисов в экономике носит циклический характер. Длинноволновые

колебания в экономике были открыты выдающимся русским экономистом Николаем Кондратьевым. Изучая в 1920-х годах закономерности происходящих в мировой экономике явлений, он обнаружил длинные циклы экономической конъюнктуры примерно полувековой длительности, которые получили название «больших циклов Кондратьева». Он всесторонне обосновал закономерную связь «повышательных» стадий этих циклов с волнами технических изобретений и их практического использования в виде инноваций (рис. 4.5).

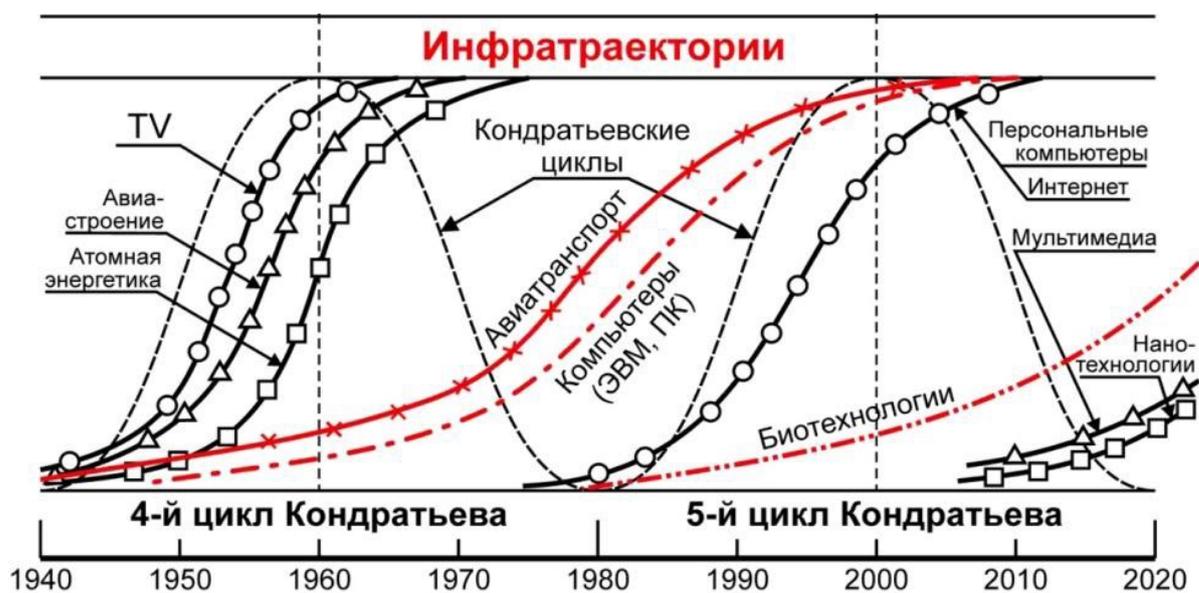


Рис. 4.5. Диффузия инноваций вдоль подъемов циклов экономической активности Кондратьева.

Отдельные инновации распространяются за пределы одного цикла Кондратьева к следующему циклу, способствуя появлению новых инфраструктур и сетей, формируя более длинную траекторию развития, которую называют *инфратраекторией*. Например, в текущем пятом кондратьевском цикле в этом качестве выступают компьютерные технологии.

Исходя из цикличности экономического процесса, можно построить прогнозную траекторию динамики инновационно-экономического развития, (рис. 4.6). На рисунке представлен период времени, охватывающий четвертый (IV) и пятый (V) кондратьевские циклы. Надежное прогнозирование может быть распространено как минимум до 2040 г., т.е. до верхнего пика шестого (VI) цикла.

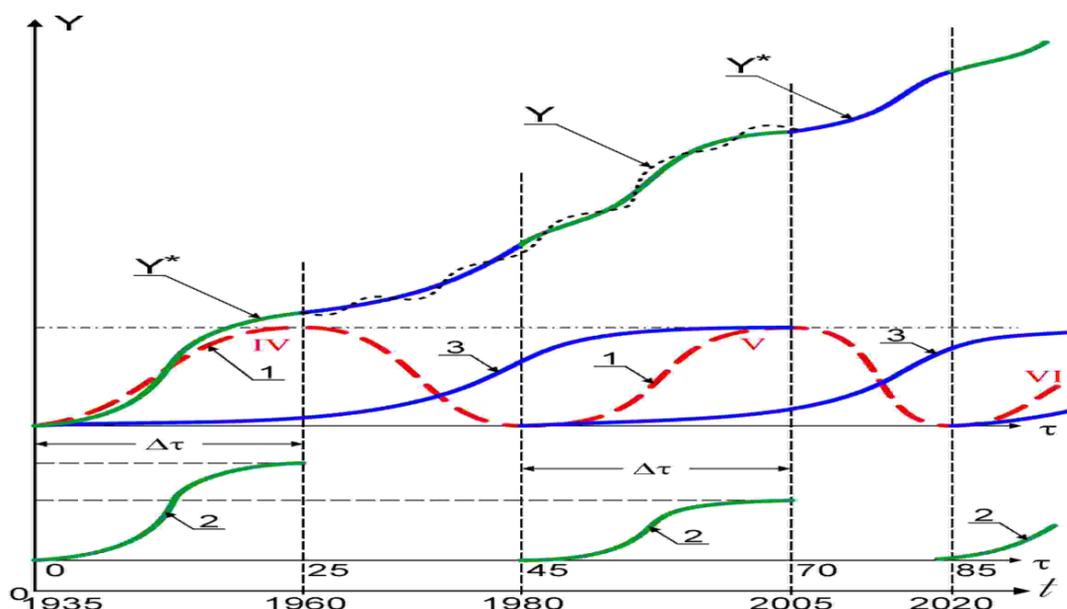


Рис. 4.6. Графическая схема построения траектории движения общего выпуска Y (ВВП): 1 – циклы Кондратьева; 2 – траектории диффузии инновационных продуктов на рынки; 3 – инфра-траектории.

4.8. Дальнейшее развитие глобальных моделей.

4.8.1. Глобальное моделирование в СССР.

Советские ученые с самого начала приняли активное участие в работе Римского клуба, подключились к исследованиям по глобальному моделированию и стали по существу лидерами второй волны исследований по глобальному моделированию. Работы велись широким фронтом во ВНИИ системных исследований под руководством академика Д.М. Гвишиани и в Вычислительном центре Академии наук под руководством академика Н.Н. Моисеева. Ключевой инновацией в этих исследованиях стало введение управляющих параметров и изучение возможностей управления глобальными процессами. Было доказано существование управлений, позволяющих отодвинуть, смягчить или даже избежать негативных последствий глобального развития. Вместе с тем, также была показана высокая чувствительность глобальных моделей к исходным гипотезам, базовой статистической информации. Отсюда следовал вывод, что возможности применения математических методов управления и оптимизации имеют ограниченное практическое применение для такого рода макромоделей. Поэтому дальнейшее развитие глобального моделирования в СССР пошло по пути совершенствования инструментария компьютерной поддержки принятия решений и процессов информационного обеспечения в рамках модифицированной модели Форрестера-Медоуза. Конкретными результатами этих исследований стали знаменитая модель «Ядерная зима», созданная под руководством Н. Н. Моисеева и доклад «На пороге третьего тысячелетия (глобальные проблемы и процессы развития СССР)», подготовленный под руководством В.А. Геловани.

Проект «Ядерная зима» или «Гея» показал, каковы будут последствия ядерной войны, и во многом способствовал заключению соглашений по сокращению ядерных вооружений. Более точный учет влияния мирового океана привел позднее к выводу, что после применения оружия массового поражения наступит «ядерная осень», а не «зима».

Впервые модель мировой динамики с управлением была предложена В. А. Егоровым в 1980 г. Его идея заключалась в том, чтобы создать новые отрасли индустрии по утилизации и восстановлению ресурсов, по очистке окружающей среды от загрязнений и рекультивации земель. Тогда можно осуществлять управление процессами использования природных ресурсов, загрязнения окружающей среды, производства продовольствия путем направления требуемых объемов капитала в соответствующие отрасли. Естественно, что это требует перераспределения капиталовложений, которое может быть оптимизировано по определенному критерию. В математической модели идея управления переменной реализуется путем добавления в правую часть соответствующего обыкновенного дифференциального уравнения дополнительного слагаемого, содержащего в виде коэффициента долю капитала, направляемого в новую отрасль. Последняя и служит в качестве одного из управляющих параметров. Если задать все управляющие параметры как функции времени, то они определяют некоторый сценарий развития глобальной системы. Далее решается задача оптимального управления по заданному критерию.

Группой В.М. Матросова была создана детальная модифицированная модель Форрестера-Медоуза с управлениями В.А. Егорова (2005). Отличие этой модели состояло в том, что в ней не ставилась задача оптимизации по какому-либо критерию. При этом законы изменения управляющих параметров были жестко определены и вдобавок введены функциональные связи между управляющими параметрами и основными переменными модели. Модификация модели Форрестера состояла, в частности, в использовании более точных уравнений, описывающих системные переменные. Например, сектор экономики описывается неоклассической производственной функцией, выражающей динамику ВВП и учитывающей движение капитала, демографическую динамику и научно-технический прогресс. В рамках полученной модели были найдены стационарные решения и доказана их устойчивость. К недостаткам данной модели следует отнести усложнение модификации, затрудняющей ее идентификацию.

4.8.2. Заключительные замечания.

Достижение устойчивого экономического роста делает не только возможным, но и необходимым условием разработку долгосрочных прогнозов, позволяющих формировать долгосрочные цели и стратегию их достижения. Следует отметить, что социально-экономические прогнозы ведутся в различных временных диапазонах – от краткосрочных (до одного

года) и среднесрочных (от одного до пяти лет) до долгосрочных (от пяти до 30-50 лет).

Если цель краткосрочных моделей – прогнозирование, направленное на конъюнктурную деятельность, а задача среднесрочных моделей заключается в выборе политики развития и строительства в ближайшем будущем, долгосрочные модели предназначены для исследования условий длительного экономического роста. Долгосрочные модели являются, прежде всего, моделями теории роста, в том смысле, что они представляют собой инструмент для исследования будущего состояния общества в зависимости от стратегии его развития.

В последние годы появились серьезные научные прогнозы, рассчитанные на три десятилетия и даже полувековую перспективу, например, прогнозы корпорации ПрайсуотерхаусКуперс «Мир в 2050 г». (PricewaterhouseCoopers, 2006) и фирмы Голдман Сакс «Мечтая вместе со странами БРИК: путь в 2050 год». Однако, как правило, такие прогнозы по силам лишь крупным междисциплинарным исследовательским коллективам. Во многих странах мира сегодня разрабатываются подобные прогнозы на десятилетия, а то и на 30-50 лет вперед. В подобных прогностических проектах используются весьма упрощенные модели, которые вряд ли удовлетворяют современным требованиям.

4.9. Модель региональной социо-эколого-экономической системы на основе статистических данных (на примере Кемеровской области).

4.9.1. Информационная база для построения математической модели.

Первые глобальные модели являлись моделями роста экономики, подтвердившими гипотезу о несоответствии темпов и характера экономического роста имеющемуся ресурсному потенциалу. Рассматриваемая далее модель основывалась на концепции устойчивого развития.

Основные подходы к созданию концепции устойчивого развития были заложены в 1972 г. на Стокгольмской конференции по окружающей среде – первой всемирной встрече по проблемам экологии.

В 1987 г. в докладе «Наше общее будущее» Международная комиссия по окружающей среде и развитию уделила основное внимание необходимости «устойчивого развития» (от англ. sustainable development, которое буквально переводится как «согласованное, самоподдерживающее развитие»).

Решающее значение в формировании собственно концепции устойчивого развития сыграла Конференция ООН по окружающей среде и развитию, состоявшаяся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро. На основе ее решений в 1993 г. была создана комиссия ООН по устойчивому развитию, призванная следить за выполнением решений по экологическим вопросам.

Модель регионального устойчивого развития строилась с помощью методов эконометрики на основе статистических данных. Эконометрические

модели находят широкое применение на практике и особенно в исследованиях социально-экономических систем как на микро-, так и на макроуровнях. Преимуществом эконометрического подхода к моделированию развития динамических многокритериальных систем с секторной структурой является отсутствие грубых допущений, возможность учета большого числа факторов, от которых зависит текущее состояние системы, проверки теоретических положений относительно динамики показателей системы и выявление тенденций развития на эмпирическом материале (статистических данных региона).

Рассмотрим основные проблемы, возникающие при моделировании задачи устойчивого развития региональных систем с использованием статистических данных.

1. Проблема выбора адекватных показателей (индикаторов) устойчивого развития, которые позволили бы дать оценку эффективности управления на различных уровнях иерархии.

2. Не совсем удовлетворительное состояние статистических данных как в областных управлениях статистики, так и в статистических сборниках разного рода: имеющиеся временные ряды не позволяют отследить долговременную динамику развития, наблюдаются несовпадения одних и тех же данных по разным источникам, не отслеживаются многие важные показатели.

3. Недостаточное количество показателей, которые позволили бы учесть экологические факторы на макроэкономическом уровне.

4. Проблема разработки агрегированных показателей (индексов), состоящая в присвоении некоторых весов исходным показателям без утраты значимости и без излишней субъективности.

При определении параметров модели за основу брались некоторые из индикаторов устойчивого развития, предложенных Комиссией ООН по устойчивому развитию, а также ряд других индикаторов. Каждый набор индикаторов в системе поставлен в соответствие одному из разделов документа ООН «Повестка дня на XXI век».

Показатели (по соответствующим разделам «Повестки дня на XXI век») приведены в табл. 4.1.

Модель включает в себя три взаимосвязанные подмодели, каждая из которых будет содержать уравнения, описывающие динамику основных показателей в экономическом, социальном и экологическом секторах. Она является нелинейной моделью с управляющими параметрами, основанной на статистических данных

В качестве общих управляющих параметров модели для всех трех секторов системы рассматривались доли бюджета региона (субъекта РФ), направляемые в национальную экономику u_1 , жилищно-коммунальное хозяйство u_2 , охрану окружающей среды u_3 , образование u_4 , культуру u_5 , здравоохранение u_6 и социальную политику u_7 .

Таблица 4.1.

Раздел «Повестки дня на XXI век»	Фазовые переменные (показатели развития соответствующего сектора)
Социальный сектор	
«Борьба с бедностью»	Численность населения с доходом ниже прожиточного минимума, доходы населения
«Демографическая динамика»	Численность населения, число умерших за год, число родившихся (без мертворожденных), миграционный прирост
«Содействие образованию, подготовке кадров и информированности общества»	Удельный вес детей, обучающихся в общеобразовательных учреждениях (% от общей численности детей соответствующего возраста)
«Защита здоровья населения»	Число больничных учреждений
«Содействие устойчивому развитию поселений»	Число семей, состоящих на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях
Экологический сектор	
«Водные ресурсы»	Объем сброса загрязненных сточных вод
«Земельные ресурсы»	Посевные площади сельскохозяйственных культур по хозяйствам всех категорий
«Другие виды ресурсов»	Лесовосстановление
«Атмосфера»	Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников
Экономический сектор	
«Экономическое развитие»	Валовой региональный продукт, валовое накопление основных фондов
«Изменение характера потребления»	Производство тепловой энергии, добыча полезных ископаемых
«Финансовые ресурсы и механизмы»	Количество убыточных предприятий и организаций

4.9.2. Подмодель социального сектора

Рассмотрим демографическую динамику региона. Обозначим численность населения в год t через $x_1(t)$. Уравнение динамики численности населения имеет вид:

$$x_1(t) = x_1(t-1) + b(t) + m(t) - d(t), \quad (4.8)$$

где $b(t)$ – число родившихся в году t , $m(t)$ – миграционный прирост населения региона в году t , $d(t)$ – число умерших в году t . Перечисленные величины при этом будем считать известными, определяемыми путем прогнозирования с применением статистических данных.

Изучим показатели раздела «Борьба с бедностью» (табл. 4.1) построим уравнение регрессии для процента населения с доходом ниже прожиточного минимума. Данную величину обозначим через $x_2(t)$. На этот фактор наибольшее влияние оказывают бюджетные отчисления в сферы национальной экономики, жилищно-коммунального хозяйства и здравоохранения.

Эмпирическое уравнение связи строилось в следующем виде:

$$x_2(t) = e^{a_{21}x_2(t-1)}(a_{22} + a_{23}v_1(t) + a_{24}v_2(t) + a_{25}v_6(t)), \quad (4.9)$$

где $v_i(t) = u_i(t)I(t)$, $i = 1, \dots, 7$, – расходы бюджета в i -той сфере в год t .

Полученная зависимость демонстрирует, что скорость роста доли населения с доходом ниже прожиточного минимума прямо пропорциональна самой этой величине, при этом увеличение бюджетных отчислений в национальную экономику и жилищно-коммунальное хозяйство приводит к снижению данного параметра (в том числе, за счет переселения граждан из жилищного фонда, признанного непригодным для проживания, и/или жилищного фонда с высоким уровнем износа и создания новых рабочих мест). В качестве критерия качества для сферы борьбы с бедностью можно рассматривать введенную величину доли населения с доходом ниже прожиточного минимума, которая подлежит минимизации:

$$F_2(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T x_2(t) \rightarrow \min_{v(\cdot) \in V}, \quad (4.10)$$

где $v(\cdot) = \{v(0), v(1), \dots, v(T-1)\}$ ($v(t) = (v_1(t), \dots, v_7(t))$) – допустимое управление системы, V – множество всех допустимых управлений.

Для статистических данных по доходам населения $x_3(t)$ рассматривалась модель, где в качестве переменных принимались доли бюджетных отчислений в национальную экономику и жилищно-коммунальное хозяйство:

$$x_3(t) = a_{31}x_3(t-1) + a_{32}v_1(t) + a_{33}v_2(t) + a_{34}. \quad (4.11)$$

Зависимость (4.11) демонстрирует рост доходов населения с увеличением бюджетных отчислений в национальную экономику и снижением отчислений в жилищно-коммунальное хозяйство.

В качестве второго функционала качества для данного раздела можно ввести показатель среднедушевого дохода населения:

$$F_3(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T \frac{x_3(t)}{x_1(t)} \rightarrow \max_{v(\cdot) \in V}. \quad (4.12)$$

Перейдем к рассмотрению раздела «Содействие образованию, подготовке кадров и информированности общества». Определив зависимость процента детей, обучающихся в общеобразовательных учреждениях $x_4(t)$, от

бюджетных отчислений в сферы образования и социальной политики, получим следующее уравнение:

$$x_4(t) = a_{41}(x_4(t-1))^{0,5} + a_{42}(v_4(t))^{0,5} + a_{43}(v_7(t))^{0,5} + a_{44}, \quad (4.13)$$

Уравнение (4.13) свидетельствует о том, что увеличение отчислений в социальную политику приведет к возрастанию доли обучающихся детей, тогда как для бюджетных отчислений в сферу образования наблюдается обратная зависимость, которую можно объяснить реализацией программ развития профессионального образования и переходом детей на обучение в учреждениях начального профессионального образования на базе девяти классов.

Для повышения индекса образования в целях содействия устойчивому развитию общества необходимо ввести следующий функционал качества:

$$F_4(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T x_4(t) \rightarrow \max_{v(\cdot) \in V}. \quad (4.14)$$

Для раздела «Защита здоровья населения» выделим в качестве переменной число больничных учреждений в регионе $x_5(t)$. В данном случае при построении уравнений регрессии рассматривались конечные разности первого порядка для $x_5(t)$ (обозначим их через $\Delta x_5(t) = x_5(t) - x_5(t-1)$, $t = 2, \dots, 10$) и их зависимости от бюджетных отчислений в сферы здравоохранения и социальной политики. Соответствующее уравнение динамики имеет вид:

$$x_5(t) = x_5(t-1) + a_{51} \ln(v_6(t)) + a_{52} \ln(v_7(t)) + a_{53}. \quad (4.15)$$

Полученные знаки при коэффициентах (в частности, для Кемеровской области) свидетельствуют о повышении уровня здоровья населения при изменении отчислений в перечисленные сферы, включающих предупреждение некоторых видов заболеваний за счет физкультурно-оздоровительной работы, а также улучшении качества медицинского обслуживания населения в учреждениях здравоохранения, которое приводит к снижению частоты повторной обращаемости в больничные учреждения за медицинской помощью.

В разделе «Содействие устойчивому развитию поселений» обозначим через $x_6(t)$ число семей, состоящих на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях, и, рассматривая конечные разности первого порядка для $x_6(t)$, построим уравнение динамики в зависимости от бюджетных отчислений в национальную экономику, жилищно-коммунальное хозяйство и здравоохранение, которое будет иметь вид:

$$x_6(t) = x_6(t-1) + a_{61} \ln(v_1(t)) + a_{62} \ln(v_2(t)) + a_{63} v_6(t) + a_{64}. \quad (4.16)$$

Уравнение (4.16) демонстрирует снижение числа семей, нуждающихся в жилых помещениях, с ростом отчислений в национальную экономику (за счет мероприятий в области застройки территорий) и в жилищно-коммунальное хозяйство (за счет модернизации жилищно-коммунального комплекса, капитального ремонта жилищного фонда, переселения граждан из жилищного фонда, признанного непригодным для проживания, а также подпрограммы обеспечения жильем молодых семей). При увеличении же отчислений в здравоохранение количество семей, нуждающихся в жилых помещениях, напротив, увеличивается, что можно объяснить, в частности, увеличением рождаемости в таком случае.

В качестве критерия качества следует рассматривать суммарное число семей, состоящих на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях, на всем планируемом интервале времени, которое подлежит минимизации:

$$F_5(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T x_6(t) \rightarrow \min_{v(\cdot) \in V}. \quad (4.17)$$

4.9.3. Подмодели экологического и экономического секторов.

Перейдем к построению уравнений динамики экологического сектора региональной системы, который содержит разделы: «Водные ресурсы», «Земельные ресурсы», «Другие виды ресурсов», «Атмосфера».

Рассмотрим переменные раздела «Водные ресурсы» и исследуем зависимости конечных разностей первого порядка для объема сброса сточных вод $\Delta x_7(t)$ от бюджетных отчислений в сферы национальной экономики и охраны окружающей среды. Уравнение динамики в данном случае принимает следующий вид:

$$x_7(t) = x_7(t-1) + a_{71} \ln(v_1(t)) + a_{72} \ln(v_3(t)) + a_{73}. \quad (4.18)$$

Очевидно, при увеличении бюджетных отчислений в охрану окружающей среды и национальную экономику происходит сокращение сброса сточных вод, что можно объяснить реализацией программ «Экология и природные ресурсы» в рамках подраздела «Водные ресурсы» расходов областного бюджета.

В качестве критерия качества можно рассматривать суммарный сброс сточных вод, подлежащий минимизации на всем плановом отрезке времени:

$$F_6(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T x_7(t) \rightarrow \min_{v(\cdot) \in V}. \quad (4.19)$$

В разделе «Земельные ресурсы» обозначим через $x_8(t)$ площадь посевных земель в год t и рассмотрим зависимости конечных разностей первого порядка от бюджетных отчислений в сферы национальной экономики и образования. Уравнение динамики в данном случае будет иметь вид:

$$x_8(t) = x_8(t-1) + a_{81} \ln(v_1(t)) + a_{82} \ln(v_4(t)) + a_{83}. \quad (4.20)$$

Полученная зависимость объясняет увеличение посевных площадей с возрастом отчислений в национальную экономику (подраздел «Сельское хозяйство и рыболовство») и обратную зависимость с отчислениями в сферу образования, что может свидетельствовать о нежелании ехать в сельскую местность населения с высоким уровнем образования.

Рассмотрим далее раздел «Другие виды ресурсов», где введем переменную $x_9(t)$, обозначающую лесовосстановление в год t , и построим зависимости конечных разностей первого порядка от бюджетных отчислений в сферы национальной экономики и жилищно-коммунального хозяйства. Уравнение динамики будет выглядеть следующим образом:

$$x_9(t) = x_9(t-1) + a_{91}(v_1(t))^{a_{92}}(v_2(t))^{a_{93}}. \quad (4.21)$$

Уравнение (4.21) демонстрирует, что уменьшение бюджетных отчислений в национальную экономику и жилищно-коммунальное хозяйство будут давать положительный эффект на лесовосстановление (подраздел «Лесное хозяйство»).

В разделе «Атмосфера» обозначим через $x_{10}(t)$ объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, в год t , и построим уравнение динамики в зависимости от параметров, отвечающих за бюджетные отчисления в сферы национальной экономики, жилищно-коммунального хозяйства и охраны окружающей среды. Получим:

$$x_{10}(t) = x_{10}(t-1) + a_{10,1} \ln(v_1(t)) + a_{10,2}v_2(t) + a_{10,3}v_3(t) + a_{10,4}. \quad (4.22)$$

Уравнение (4.22) показывает, что выбросы уменьшаются с ростом отчислений в национальную экономику (в частности, за счет реализации региональной целевой программы «Экология и природные ресурсы Кемеровской области»), в жилищно-коммунальное хозяйство (программа технического развития отраслей жилищно-коммунального хозяйства) и в охрану окружающей среды.

Аналогично, как и для сброса сточных вод, в качестве критерия качества здесь будем рассматривать суммарные выбросы:

$$F_7(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T x_{10}(t) \rightarrow \min_{v(\cdot) \in V}. \quad (4.23)$$

Рассмотрим фазовые переменные сектора экономики, который включает разделы: «Экономическое развитие», «Изменение характера потребления», «Финансовые ресурсы и механизмы».

В разделе «Экономическое развитие» через $x_{11}(t)$ обозначим величину валового регионального продукта в год t , и построим уравнение взаимосвязи конечных разностей первого порядка с бюджетными отчислениями в сферы национальной экономики и здравоохранения. Таким образом, уравнение динамики ВРП примет следующий вид:

$$x_{11}(t) = x_{11}(t-1) + (a_{11,1} + a_{11,2}v_1(t))(a_{11,3} + a_{11,4}v_6(t) + a_{11,5}(v_6(t))^2). \quad (4.24)$$

Полученная зависимость демонстрирует увеличение объема ВРП с ростом отчислений в национальную экономику и его уменьшение при отчислениях в здравоохранение ниже, примерно, 5 млрд. руб. – для Кемеровской области (за счет мероприятий по энергосбережению в совокупности с неудовлетворительным уровнем здоровья населения).

В качестве критерия качества в этом разделе будем рассматривать параметр ВРП на душу населения, который подлежит максимизации:

$$F_8(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T \frac{x_{11}(t)}{x_1(t)} \rightarrow \max_{v(\cdot) \in V}. \quad (4.25)$$

В этом же разделе рассмотрим переменную, отвечающую за валовое накопление основного капитала $x_{12}(t)$, и построим уравнение зависимости конечных разностей первого порядка от бюджетных отчислений в национальную экономику. Окончательно уравнение динамики валового накопления основного капитала будет иметь следующий вид:

$$x_{12}(t) = x_{12}(t-1) + a_{12,1} e^{a_{12,2} v_1(t)}, \quad (4.26)$$

Очевидно, полученное уравнение свидетельствует об экспоненциальном росте валового накопления основного капитала с ростом бюджетных отчислений в национальную экономику.

Данную величину также будем максимизировать:

$$F_9(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T x_{12}(t) \rightarrow \max_{v(\cdot) \in V}. \quad (4.27)$$

Рассмотрим раздел «Изменение характера потребления». Обозначим через $x_{13}(t)$ производство тепловой энергии в регионе в год t и определим взаимосвязь параметра $\Delta x_{13}(t)$ с бюджетными отчислениями в национальную экономику и жилищно-коммунальное хозяйство. Итоговое уравнение динамики будет иметь следующий вид:

$$x_{13}(t) = x_{13}(t-1) + a_{13,1} \ln(v_1(t)) + a_{13,2} v_2(t) + a_{13,3}. \quad (4.28)$$

Приведенная зависимость демонстрирует сокращение производства тепловой энергии при увеличении отчислений в национальную экономику и жилищно-коммунальное хозяйство (за счет реализации региональной целевой программы «Обеспечение энергетической эффективности и энергосбережения на территории Кемеровской области»).

В этом же разделе обозначим через $x_{14}(t)$ объем добычи полезных ископаемых в год t (исходя из статистических данных о добыче полезных ископаемых в процентах к предыдущему году) и определим его зависимость от бюджетных отчислений в сферы национальной экономики и жилищно-коммунального хозяйства. Получим следующее уравнение динамики:

$$x_{14}(t) = a_{14,1} x_{14}(t-1) (v_1(t))^{a_{14,2}} (v_2(t))^{a_{14,3}}. \quad (4.29)$$

Зависимость (4.29) свидетельствует о сокращении добычи полезных ископаемых с увеличением отчислений в национальную экономику (за счет реализации региональной целевой программы «Экология и природные ресурсы Кемеровской области») и росте данного показателя с увеличением отчислений в жилищно-коммунальное хозяйство (за счет коммунальной энергетики).

Наконец, рассмотрим раздел «Финансовые ресурсы и механизмы», где введем переменную $x_{15}(t)$, отвечающую за количество убыточных предприятий и организаций в регионе в год t . Среди управляющих параметров здесь выделим бюджетные отчисления в национальную экономику. Уравнение динамики будет иметь вид:

$$x_{15}(t) = a_{15,1} \ln(x_{15}(t-1)) + a_{15,2} v_1(t) + a_{15,3}. \quad (4.30)$$

Полученное уравнение демонстрирует линейный рост убыточных организаций с уменьшением бюджетных отчислений в национальную экономику.

Данную величину следует минимизировать:

$$F_{10}(x^0, v(\cdot)) = \sum_{t=1}^T x_{15}(t) \rightarrow \min_{v(\cdot) \in V}. \quad (4.31)$$

К ограничениям модели можно отнести следующие очевидные условия:

$$\sum_{i=1}^7 v_i(t) \leq I(t), v_i(t) \geq 0, i = 1, \dots, 7, t = 1, \dots, T, \quad (4.32)$$

$$x_j(t) \geq 0, j = 1, \dots, 15, t = 1, \dots, T, x_j(t) \leq \mu_{24}, j = 2, 4, t = 1, \dots, T. \quad (4.33)$$

где $\mu_{24} = 100$.

Кроме того, для переменных, отвечающих за число больничных учреждений (x_5), площадь посевных земель (x_8), лесовосстановление (x_9), производство тепловой энергии (x_{13}) и добычу полезных ископаемых (x_{14}) введем дополнительные фазовые ограничения следующего вида:

$$\frac{x_j(t)}{x_1(t)} \geq \mu_j, j = 5, 8, \frac{x_{13}(t)}{x_1(t)} \leq \mu_{13}, x_9(t) \geq \mu_9, x_{14}(t) \leq \mu_{14}, t = 1, \dots, T, \quad (4.34)$$

где μ_j определяются экспертным путем. То есть число больничных учреждений и площади посевных земель на душу населения не должны быть меньше некоторой заранее заданной величины. С другой стороны, потребление электроэнергии на душу населения не должно превышать определенное значение. Лесовосстановление в соответствии с приведенными ограничениями не может быть меньше известной величины μ_9 , а добыча полезных ископаемых не должна превосходить некоторую норму μ_{14} .

Отметим, что при изучении различных сфер (экономической, экологической, социальной) исследователи часто попадают в «ловушку

разрешимости» (trap of tractability), выбирая вид монотонной зависимости: часто применяются линейные регрессионные модели, что обусловлено простотой и удобством их использования. С другой стороны, такие модели недостаточно адекватно отражают свойства исследуемого объекта, а полученные по ним решения не соответствуют наблюдаемой динамике. В данном параграфе были построены модели более сложной структуры, содержащие нелинейные взаимосвязи между переменными, продиктованные конфигурацией использованной статистической совокупности.

В качестве принципа оптимальности при нахождении оптимального решения в построенной выше модели принимается принцип максимизации взвешенной суммы критериев (4.10), (4.12), (4.14), (4.17), (4.19), (4.23), (4.25), (4.27), (4.31):

$$F(x(\cdot)) = \sum_{t=1}^T \left(-\lambda_2 x_2(t) + \lambda_3 \frac{x_3(t)}{x_1(t)} + \lambda_4 x_4(t) - \lambda_5 x_6(t) - \right. \\ \left. - \lambda_6 x_7(t) + \lambda_7 x_{10}(t) + \lambda_8 \frac{x_{11}(t)}{x_1(t)} + \lambda_9 x_{12}(t) + \lambda_{10} x_{15}(t) \right). \quad (4.35)$$

с весовыми коэффициентами λ_k ($\lambda_k > 0$, $k = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15$, $\sum_{k=2}^{10} \lambda_k = 1$),

определяемыми экспертным путем.

Наибольшее влияние на существование оптимальной траектории оказывают граничные значения таких параметров развития региональной системы, как количество убыточных организаций, объем сброса загрязненных сточных вод, посевная площадь сельскохозяйственных культур, численность населения, а также бюджет региона. При этом были определены зависимости возможных значений долей бюджетных отчислений: в охрану окружающей среды и образование – от отчислений в национальную экономику; в жилищно-коммунальное хозяйство – от отчислений в национальную экономику и охрану окружающей среды; в здравоохранение – от отчислений в национальную экономику и жилищно-коммунальное хозяйство; в социальную политику – от отчислений в образование и здравоохранение.

4.9.4. Модельный пример с использованием статистических данных по Кемеровской области.

В качестве демонстрационного примера построения стратегии и траектории устойчивого развития Кемеровской области ограничимся рассмотрением временного периода с 2000 по 2005 гг., поскольку статистические данные за этот период являются наиболее полными.

Сравнивая полученные результаты по долям бюджетных отчислений в различные сферы с реальными данными по Кемеровской области,

необходимо отметить, что рассчитанные по модели отчисления в национальную экономику демонстрируют более быстрый рост (рис. 4.7).

Колебания отчислений в жилищно-коммунальное хозяйство оказываются сдвинутыми во времени по сравнению с фактическими значениями и имеют меньшие значения (рис. 4.8).

Объемы отчислений в охрану окружающей среды для оптимальной траектории значительно превосходят средства, перечисленные в данную сферу фактически (рис. 4.9), причем максимальное значение данного показателя приходится на 2002 год, когда также значительно увеличились объемы отчислений в национальную экономику, жилищно-коммунальное хозяйство, здравоохранение и социальную политику.

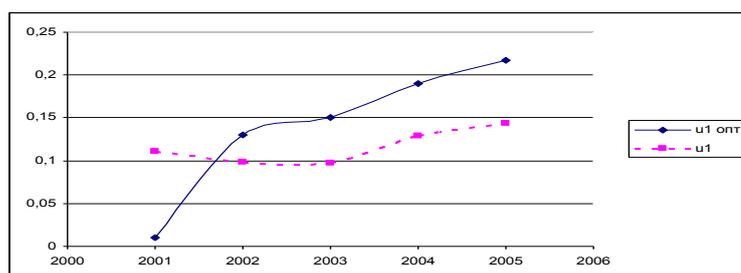


Рис. 4.7. Изменение долей расходов бюджета Кемеровской области в национальную экономику.

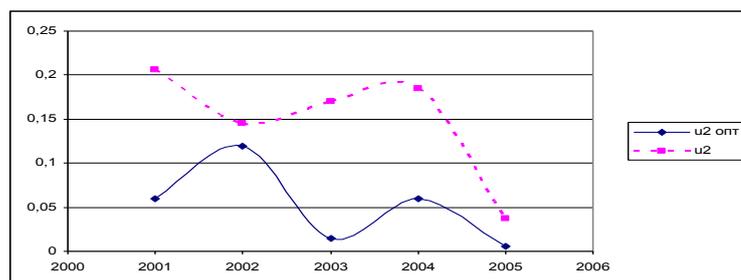


Рис. 4.8. Изменение долей расходов бюджета Кемеровской области в жилищно-коммунальное хозяйство.

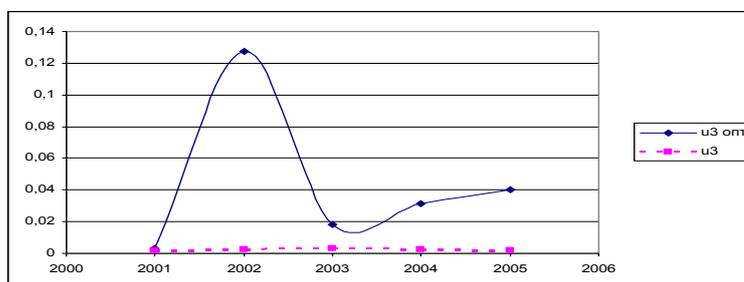


Рис. 4.9. Изменение долей расходов бюджета Кемеровской области на охрану окружающей среды.

Отчисления в сферу образования, в целом, ниже фактических, однако, в отличие от них, имеют устойчивую тенденцию к росту и к 2005 году их превосходят (рис. 4.10).

Отчисления в сферу культуры имеют аналогичную фактическим отчислениям динамику, однако несколько превышают их (рис. 4.11).

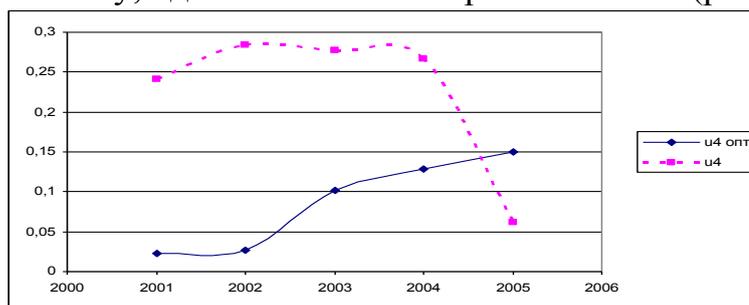


Рис. 4.10. Изменение долей расходов бюджета Кемеровской области в сферу образования.

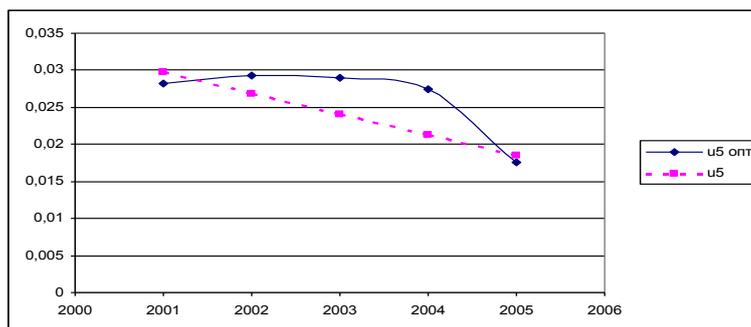


Рис. 4.11. Изменение долей расходов бюджета Кемеровской области в культуру.

Изменения объемов средств, направляемых в сферу здравоохранения, носят колебательный характер с тенденцией к росту, тогда как финансирование данной сферы в реальности было относительно устойчивым, хотя снижалось с течением времени (рис. 4.12).

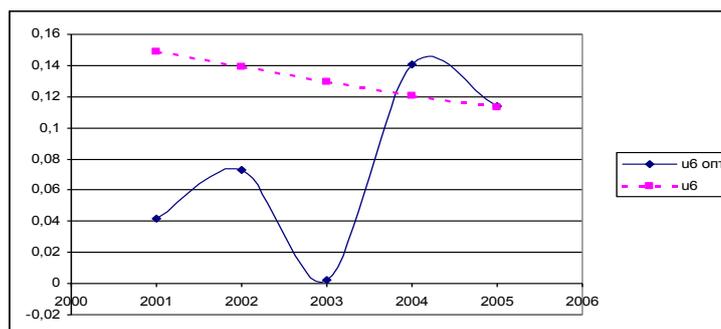


Рис. 4.12. Изменение долей расходов бюджета Кемеровской области в здравоохранение.

Изменения оптимальных расходов бюджета, направляемых в социальную политику, также носят колебательный характер с тенденцией к росту в конце рассматриваемого периода, в то время как фактические значения устойчиво снижаются. К 2005 году объемы оптимальных бюджетных отчислений в эту сферу также значительно превосходят реальные данные (рис. 4.13).

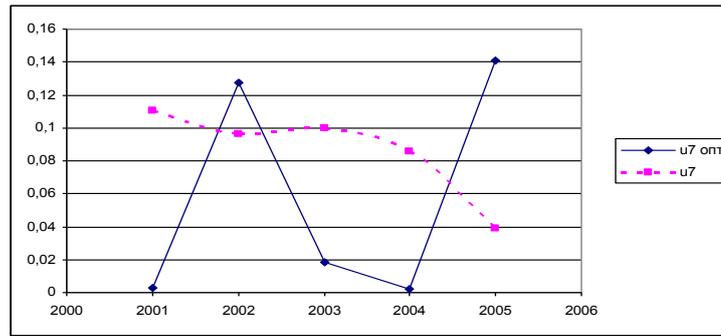


Рис. 4.13. Изменение долей расходов бюджета Кемеровской области в социальную политику.

Далее сравниваются полученные оптимальные значения переменных с реальными данными по Кемеровской области.

Численность населения снижается за счет высокого темпа смертности (являющегося неуправляемой переменной), однако не так стремительно, как это происходило в реальности (в основном, по причине увеличения миграционного прироста) (рис. 4.14).

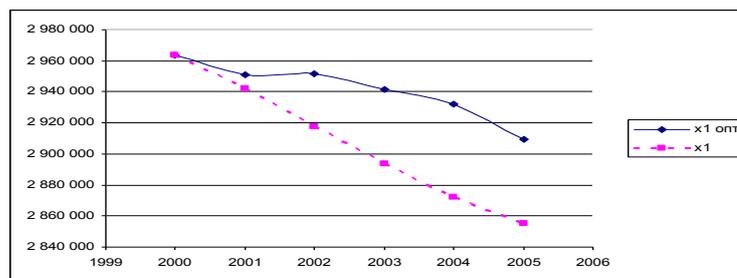


Рис. 4.14. Изменение численности населения Кемеровской области с течением времени.

Население с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума для оптимального сценария развития уменьшается быстрее, однако, начиная с 2003 года, темп снижения замедляется и приближается к фактическому (рис. 4.15).

В 2001 году рассчитанные денежные доходы населения оказываются ниже фактических, в 2002 году находятся примерно на одинаковом уровне, а с 2003 г. начинают расти значительно быстрее, чем на практике (рис. 4.16).

Удельный вес детей, обучающихся в общеобразовательных учреждениях, в обоих случаях носит колебательный характер, однако для расчетных значений амплитуда колебаний выше, и, в целом, значения данного показателя либо мало отличаются от фактических, либо значительно их превосходят (рис. 4.17).

Тенденции изменений числа больничных учреждений в обоих случаях носят схожий характер, но для оптимальной траектории сокращение оказывается менее резким (рис. 4.18).

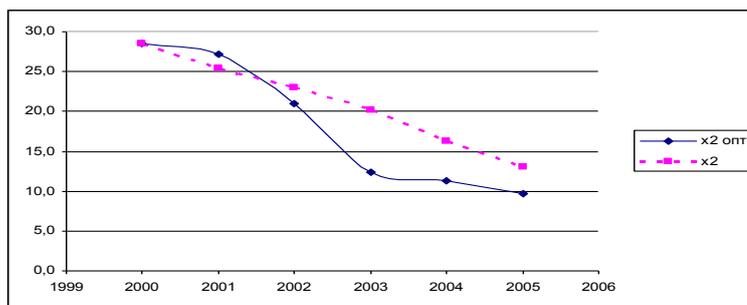


Рис. 4.15. Изменение процента населения Кемеровской области с доходом ниже прожиточного минимума.

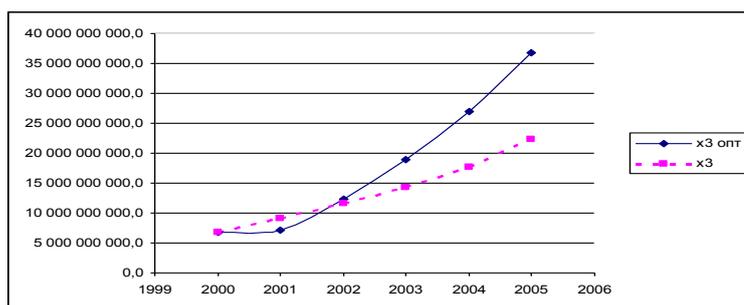


Рис. 4.16. Изменение денежных доходов населения Кемеровской области.

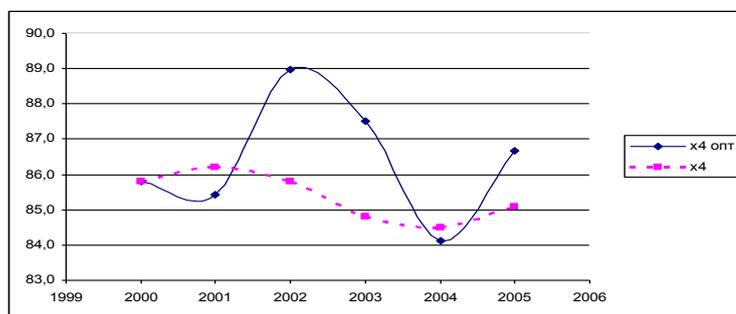


Рис. 4.17. Изменение доли детей Кемеровской области, обучающихся в общеобразовательных учреждениях.

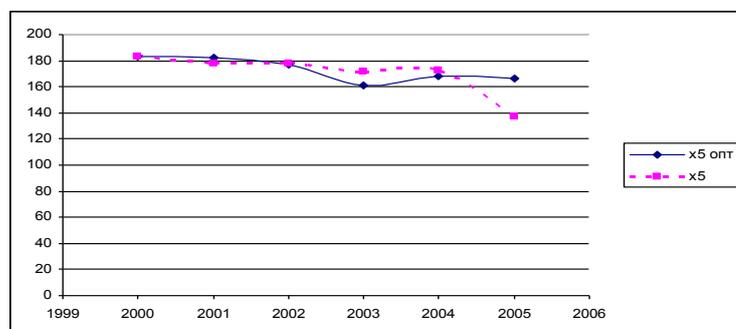


Рис. 4.18. Изменение числа больничных учреждений Кемеровской области.

Число семей, состоящих на учете на получение жилья, плавно сокращалось фактически, а для оптимального сценария наблюдается рост в 2001 г., после которого также следует снижение (рис. 4.19). Этот факт можно объяснить увеличившимся миграционным притоком населения.

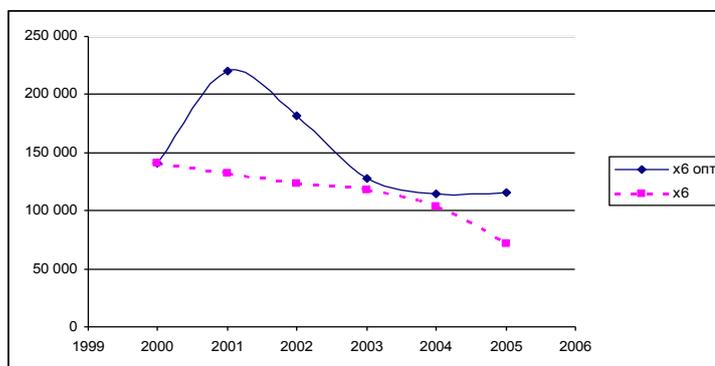


Рис. 4.19. Изменение числа семей Кемеровской области, состоящих на учете на получение жилья.

Перейдем к рассмотрению параметров, характеризующих экологическое состояние региона. Объем сброса загрязненных сточных вод для оптимального сценария развития носит примерно постоянный характер с небольшим темпом снижения, тогда как фактически уменьшение происходило несколько быстрее (рис. 4.20). Данное обстоятельство можно объяснить более высоким уровнем экономического развития региона при выборе оптимальной стратегии распределения бюджетных средств (см. ниже).

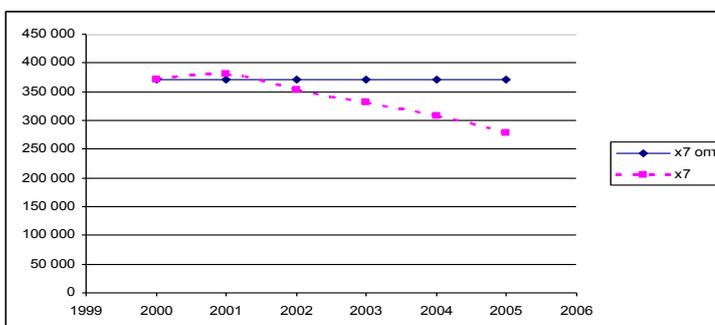


Рис. 4.20. Изменение объемов сброса загрязненных сточных вод Кемеровской области.

Наибольшее различие в характере изменения показателей во времени наблюдается для посевных площадей сельскохозяйственных культур по хозяйствам всех категорий, где расчетные и фактические тенденции носят противоположный характер. При этом для оптимального сценария развития площади посевных земель к 2002 году достигают некоторого приемлемого значения и остаются на данном уровне до конца расчетного периода (рис. 4.21).

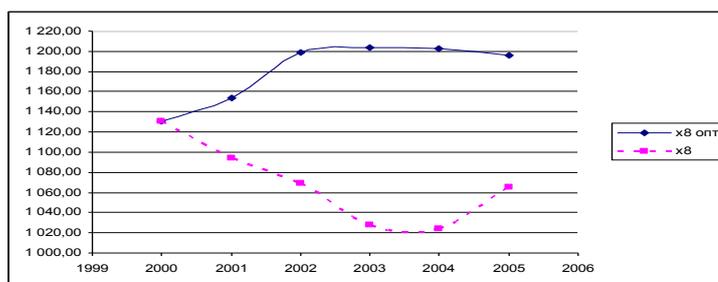


Рис. 4.21. Изменение посевных площадей сельскохозяйственных культур по хозяйствам всех категорий Кемеровской области.

Лесовосстановление для рассчитанной траектории также уменьшается, однако снижение происходит медленными темпами (рис. 4.22), и остается на уровне, значительно превосходящем минимально приемлемый (3097 га).

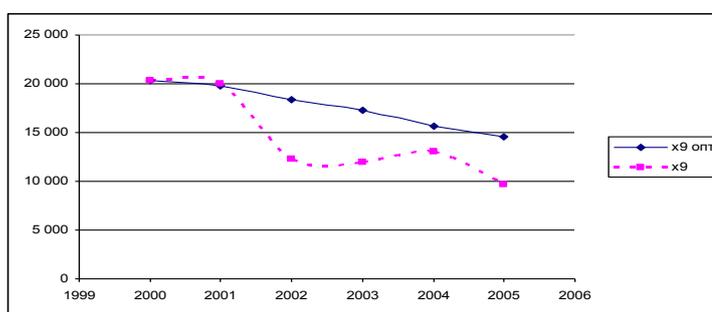


Рис. 4.22. Изменение лесовосстановления в Кемеровской области.

Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, также снижаются с 2001 г. в противоположность фактическим значениям, которые остаются примерно на постоянном уровне (рис. 4.23).

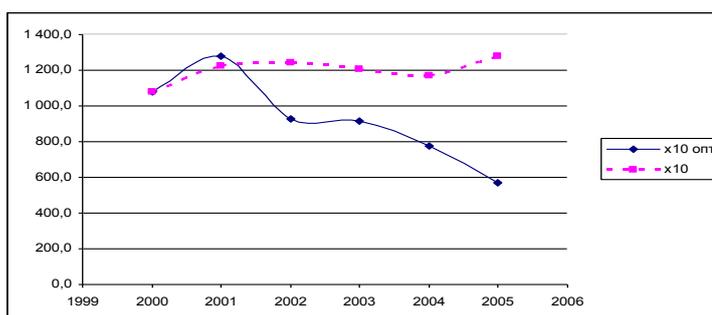


Рис. 4.23. Изменение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, в Кемеровской области.

Рассмотрим полученные показатели экономического развития региона. С 2002 г. валовой региональный продукт начинает расти значительно быстрее, чем происходило в действительности (рис. 4.24).

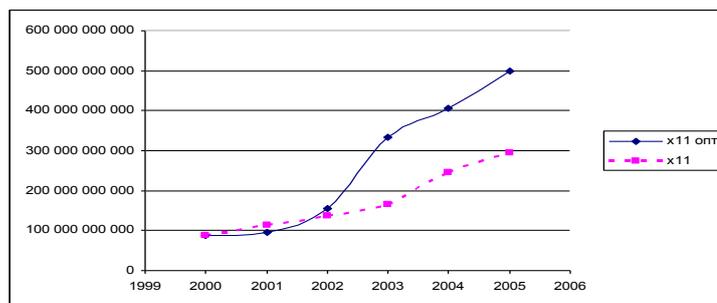


Рис. 4.24. Изменение валового регионального продукта Кемеровской области.

Аналогичная ситуация наблюдается и для показателя валового накопления основного капитала (рис. 4.25).

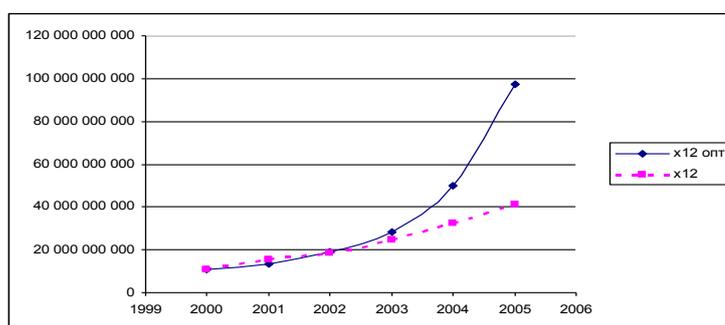


Рис. 4.25. Изменение валового накопления основного капитала Кемеровской области.

Производство тепловой энергии при этом по оптимальному сценарию развития превышает фактическое, но на всем рассматриваемом интервале времени находится примерно на постоянном уровне (рис. 4.26).

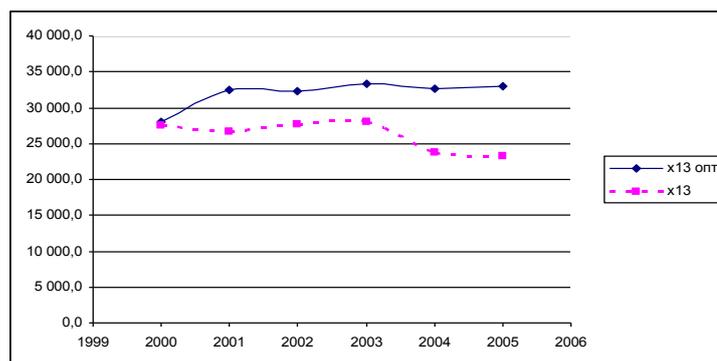


Рис. 4.26. Изменение производства тепловой энергии в Кемеровской области.

Сравним изменение объема добычи полезных ископаемых (в процентах к предыдущему году) для рассматриваемых траекторий. И в том, и в другом случае оно носит колебательный характер, однако для оптимальной траектории начинает наблюдаться тенденция к снижению к концу планового периода (рис. 4.27). Это объясняется экологической направленностью процесса развития.

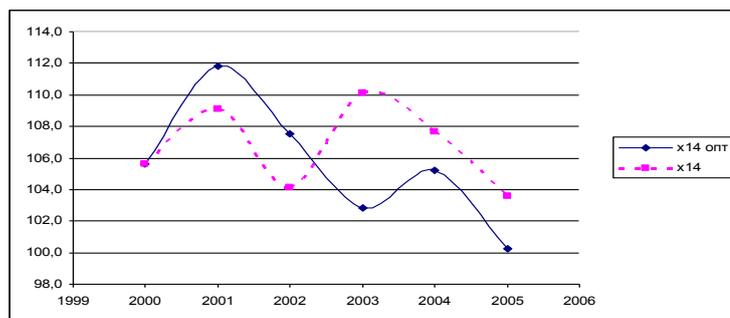


Рис. 4.25. Изменение добычи полезных ископаемых (в процентах к предыдущему году) в Кемеровской области.)

И, наконец, снижение количества убыточных организаций имеет похожий характер для обоих сценариев, но в расчетном случае оказывается смещенным назад во времени, за счет чего сокращение происходит быстрее (рис. 4.28).

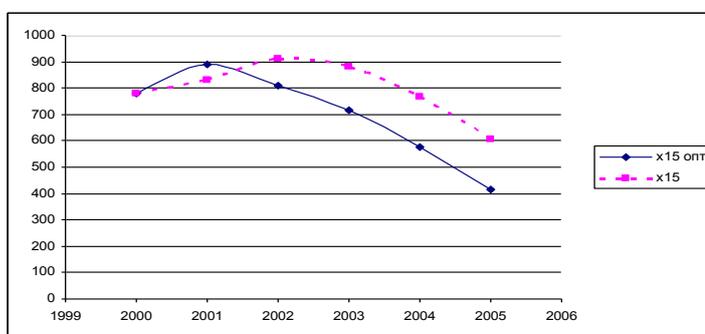


Рис. 4.28. Изменений количества убыточных организаций в Кемеровской области.

Полученные результаты продемонстрировали необходимость увеличения бюджетных отчислений в национальную экономику и охрану окружающей среды и более сбалансированного распределения расходов по всем остальным направлениям на рассматриваемом промежутке времени. В социальной сфере при этом наблюдается более медленное снижение численности населения и числа больничных учреждений, уменьшение доли населения с доходом ниже прожиточного минимума и общее увеличение денежных доходов населения. При этом увеличивается число семей, состоящих на учете на получение жилья, за счет повышения миграционного притока. В экологической сфере наблюдается примерно постоянный характер выбросов загрязненных сточных вод, значительное увеличение посевных площадей, меньший темп снижения лесовосстановления по сравнению с фактическим, и заметный спад выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников. Экономическое развитие характеризуется более быстрым ростом ВРП и валового накопления основного капитала к концу планового периода, примерно постоянным характером производства тепловой энергии и более быстрым темпом сокращения количества убыточных предприятий и организаций.

В этой главе были использованы следующие источники.

1. Акаев А.А., Садовничий В.А. Математическое моделирование глобальной, региональной и национальной динамики с учетом воздействия циклических колебаний .С. 5-67.
2. Данилов Н.Н., Иноземцева Л.П. Применение математических моделей в исследовании вопросов устойчивого развития региона // Факторы устойчивого развития регионов России. – Новосибирск: Изд-во «СИБ-ПРИНТ», 2008. – С. 11-56.
3. Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2007. – 342 с.
4. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – 168 с.
5. Чернова Е.С. Разработка методики исследования задач устойчивого развития региональных социо-эколого-экономических систем с применением математических моделей оптимального управления и вычислительного эксперимента: дисс. канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. – Кемерово, 2014. – 258 с.