

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПРИРОДЫ**

Канд.экон.наук Н.А.Ибраева
А.А.Алиева

В данной работе рассматривается эколого-экономические модели на более высоком уровне, с использованием современных методов математического моделирования и прогнозирования описывающие общих механизмов и закономерностей развития реальных систем природы, человек и общества.

Ведущие теории экономические развития сформировались, начиная с 50-х годов уходящего столетия, и все связаны с различными стадиями экономического роста /1/. В связи с этим в экономической литературе преобладали пять основных, иногда конкурирующих направлений анализа:

- модели линейных стадий роста (50-е г.г. – 60-е г.г.; оптимальные уровни инвестиций, сбережений и максимизация темпов экономического роста);
- модели структурных преобразований (70-е г.г.; переход к самоподдерживаемому росту через структурную эволюцию);
- модели внешней зависимости (70-е г.г.; революционная теория, объясняющая слаборазвитость Третьего мира зависимостью и господством богатых стран);
- неоклассические модели свободного рынка (80-е г.г.; акцент на позитивную роль свободных рынков, открытость экономически и приватизацию неэффективных государственных предприятий; отрицалось государственное вмешательство в экономику);
- новая модель роста (90-е г.г.; модификация и расширение традиционной теории роста).

Перечисленные, ставшие традиционными модели экономического роста развитых стран исчерпали себя, что отмечается в документах ООН и во многих выступлениях на международных конференциях. Эти модели развития и соответствующий им характер производства и потребления не являются устойчивыми для преуспевающих стран и не могут быть повторены бедными государствами. Главной причиной неадекватности моделей экономического развития жизненными реалиям

является их противоречивость законам рационального природопользования. Так, потребление природных ресурсов и объемы загрязнений на душу населения в развитых странах превышают аналогичные показатели в развивающихся странах в 20-30 раз. Для достижения всеми странами мира уровня развития и потребления передовых стран пришлось бы увеличить использование природных ресурсов и количество загрязнений в десятки раз, что невозможно в силу лимитированности ресурсов и естественных экологических ограничений /2/.

На рубеже столетий, в канун нового тысячелетия, формируется новая концепция устойчивого развития мировой экономики на основе соблюдения закономерностей природопользования. Устойчивое развитие – единственно приемлемая возможность решения глобальных проблем сегодняшнего дня. Устойчивое развитие удовлетворяет потребности современного поколения, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности; оно предполагает устойчивое рациональное использование ресурсов окружающей среды для удовлетворения потребностей нынешних и будущих поколений. Концепция экологически устойчивого развития рассматривается как предпосылка долговременного прогресса человечества, сопровождаемого преумножением капитала и улучшением экологических условий. Экотехнология должна заменить техногенный тип экономического развития – природоёмкий (природоразрушающий) тип развития при использовании искусственных средств производства без учета экологических ограничений. Характерные черты техногенного типа: быстрое и рациональное использование невозобновимых видов природных ресурсов (полезных ископаемых) и сверхэксплуатация возобновимых ресурсов (почвы, леса, вода и пр.) с интенсивностью, превышающей возможности их воспроизводства и восстановления.

Определение устойчивого развития, данное в докладе комиссии ООН под председательством Г.Х.Брундтланд («Наше общее будущее», 1987), «включает два ключевых понятия:

- понятие потребностей, в частности потребностей, необходимых для существования беднейших слоев населения, которые должны быть предметом первостепенного приоритета;
- понятие ограничений, обусловленных состоянием технологии и организацией общества, накладываемых на способность окружающей среды удовлетворять нынешние и будущие потребности».

Необходимость смены техногенного типа экономического развития на устойчивый тип во многом определяется теми ограничениями, которые сложились в экономике. Экологические лимиты обусловлены количественным исчерпанием и качественным ухудшением запасов природных ресурсов, загрязнением окружающей среды. Экономическое (инвестиционное) ограничение связано с несоизмеримостью затрат на добычу и использование природных ресурсов и получаемыми результатами; с каждым годом увеличивают удельные затраты природ-

ных ресурсов на единицу продукции. Социальные ограничения выражаются в ухудшении качества жизни, повышенной заболеваемости населения из-за загрязнения окружающей среды, росте национальных и миграционных проблем в связи с деградацией природной среды.

Устойчивому развитию должен соответствовать новый характер взаимодействия общества и природы /3/. В качестве методологических принципов теории взаимодействия «общество-природа» можно выделить:

- оптимальное соответствие общества и природной среды;
- естественное равновесие биосферы;
- компенсация соответственно значениям меры производимых у природы изъятий;
- экологическая чистота человеческой деятельности;
- комплексность и экологическая обоснованность принимаемых решений;
- обеспечение приоритета общественного интереса над частным.

В соответствии с переходом на устойчивое развитие кардинально меняются методология и методика планирования и прогнозирования общественного развития. В этой связи большой интерес представляют работы «Римского клуба». В докладе «Пределы роста» авторы обнародовали имитационную глобальную модель, в которую включили пять переменных величин: население, промышленное производство, спрос на продовольствие, спрос на невозобновимые ресурсы, положивших начало экосистемному подходу к составлению прогнозов социального развития. Всего «Римским клубом» опубликовано около двадцати докладов по различным аспектам глобального развития человечества. Они сыграли огромную роль в подготовке концепции устойчивого развития, которая принята Глобальным форумом «Рио-92».

В самом общем виде устойчивое развитие во времени с учетом основных параметров можно представить в виде:

$$F_t(L, K, P, I) \leq F_{t+1}(L, K, P, I),$$

где: $F_t(L, K, P, I)$ – функция устойчивого развития, L-трудовые ресурсы, K-искусственно созданный (физический) капитал, средства производства; P- природные ресурсы, I-институциональный фактор; $t \geq 0$.

Соотношение показывает необходимость сохранения и увеличения во времени некоторого агрегатного производственного потенциала, определяемого в основном тремя видами капитала. В связи с проблемой возможности замены природного капитала на искусственный возникла концепция критического природного капитала, который необходимо сохранять при любых вариантах экономического развития (ланд-

шафты, редкие виды растений и животных, озоновый слой, глобальный климат, эстетические качества природной среды и т.д.). При этом соотношение устойчивого развития может быть дополнено ограничением на истощение во времени критического природного капитала:

$$P_{ct} \leq P_{c,t+1}, \quad P_t = P_{ct} + P_{st},$$

где: P_t - природный капитал; P_{ct} - критический природный капитал;
 P_{st} - природный капитал, который можно заменить искусственным;
 $t \geq 0$.

Показателем эффективности природопользования в целом является показатель природоемкости, определяемый отношением объемов используемых природных ресурсов и конечной продукции, полученной на их основе. Измерение показателя природоемкости может стать одним из главных критериев перехода к устойчивому типу развития:

$$P_t / V_t \geq P_{t+1} / V_{t+1}$$

где: V_t - конечная продукция, $V_t = V_t(L, K, P, I)$.

Уменьшение природоемкости - это необходимое условие перехода к устойчивому развитию, однако, оно не является достаточным условием такого перехода. Необходим учет многих социальных, экологических, экономических условий и ограничений, которые еще не сформированы в силу глобальности и неизученности теории устойчивого развития.

На настоящем этапе перехода к устойчивому развитию создаются рамочные условия функционирования триады - природа, хозяйство-общество. Поэтому целесообразно расширить модель устойчивого развития введением ряда ограничений на социальные, природные и экономические нормативы, выработанные практикой природопользования:

$$\alpha_t \geq \alpha_{t+1} (\alpha_t \leq \alpha_{t+1}), \quad \alpha_t \leq \bar{\alpha}_t (\alpha_t \geq \bar{\alpha}_t)$$

где α_t - показатели состояния экономики, экологии и социального обеспечения, $\bar{\alpha}_t$ - нормативы.

Целевые ориентиры могут быть выражены в показателях, характеризующих качество жизни, уровень экономического развития и экологического благополучия. Наиболее приемлемы многокритериальные модели принятия решений. Модель (1)-(4) отражает закономерности устойчивого развития в общем виде, является нелинейной и динамической.

На перспективу можно выделить следующие критерии устойчивого развития:

- для возобновимых природных ресурсов обеспечение по крайней мере режима простого воспроизводства; для земельных ресурсов, например, сохранение площади наиболее ценных сельскохозяйственных угодий ($\sum S_i = const$, i – вид угодий) или уровня производства продукции земледелия ($V_{t+1} \geq V_t$);

- для невозобновимых природных ресурсов максимально возможное замедление темпов исчерпания их запасов путем замены на другие виды ресурсов, например, природных энергетических ресурсов на солнечную, ветровую и прочие альтернативные источники энергии ($Z_{t+1}/Z_t > 1$, где Z_t – запасы природных ресурсов);

- минимизация объема отходов на основе внедрения малоотходных и ресурсосберегающих технологий ($I_t \rightarrow \min$, где I_t – объем отходов);

загрязнения окружающей среды не должно превышать его современный уровень, предусматривается возможность минимизации загрязнения до экономически и социально приемлемого уровня ($q_{it} \rightarrow \min$ или $\sum_i \beta_i \cdot q_{it} \rightarrow \min$, где q_{it} – объем загрязнений i -го вида, β_i – коэффициент приведения различных видов загрязнения к суммарному загрязнению).

При изучении загрязнения атмосферы необходимо учитывать, что изменение гидрометеорологического режима влияет на процессы переноса и трансформации примесей, а наличие примесей в атмосфере кроме непосредственного ее загрязнения влияет на радиационный и термический режим атмосферы.

Для представления структуры математических моделей в экономико-гидродинамических задачах окружающей среды удобно ввести понятие функций, описывающих состояние рассматриваемой системы, и параметров. В совместной модели экономики и гидротермодинамики атмосферы и переноса примесей к функциям состояния можно отнести векторы экономических показателей, поля гидрометеоэлементов (составляющие вектора скорости, температура, давление, плотность, характеристики влажности) и концентрации различных примесей, к параметрам относятся экономические нормативы, наборы потребительских благ, поля начальных значений функции состояния, значения коэффициентов турбулентности, интенсивности искусственных и естественных источников тепла, мощности источников примесей, физико-географические характеристики. Численная модель, по существу, определяет конструктивно преобразование, ставящее в соответствие совокупности значений параметров совокупности значений параметров совокупность значений функций состояния. Основу моделей данного класса составляют законы рынка, законы сохранения массы, момента количества движения и энергии, которые вместе с законами экономики, термодинамики и химии описывают процессы, происходящее в эколо-

го-экономической системе. В математическом выражении — это многомерные системы дифференциальных уравнений в частных производных /4/. Назовем несколько практических задач, для решения которых применимы описанные региональные и локальные модели экономики, динамики и загрязнения атмосферы.

1. Слежение за состоянием загрязнения атмосферы и прогноз качества продукции, воздуха совместно с прогнозом полей метеозлементов.

2. Планирование наблюдательных экспериментов по оценке загрязнения продукции-атмосферы.

3. Управление интенсивностью действующих источников загрязнения, исходя из условий допустимой нагрузки на природную среду и стоимости регулирования.

4. Размещение источников на основе критериев, построенных по допустимым нормам загрязнения атмосферы и социально-экономическим факторам.

Глобальные проблемы природно-продуктовых систем связаны с потреблением природных ресурсов, загрязнением окружающей среды, повышением урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивностью водоемов и лесов и т.д. для решения задач снабжения населения продовольствием. Многие типы природно-продуктовых систем хорошо описываются с помощью моделей взаимодействия биологических популяций (модели Риденура, Гартмана, Холтона, Исенсена и др.)

Рассмотрим проблему эксплуатации природно-продуктовой системы; под такой системой будем подразумевать лесной массив, водный массив, степной участок, пустынную область и т.д. Предположим, что система может принимать конечное число состояний. Характеристикой состояний является набор чисел, определяющих состояние: для лесного массива — площадь, количество деревьев различных пород, возраст деревьев, наличие заболеваний и т.п. Без человеческого воздействия система будет последовательно переходить из состояния одного класса в состояние следующего класса в соответствии с некоторой матрицей переходов конечной цепи Маркова. Если в некоторый момент времени система находится в некотором состоянии соответствующего класса, то ее дальнейшее состояние зависит только от характеристик того состояния, в котором система находится, и от посторонних случайных факторов, и не зависит от того, каким образом она пришла в рассматриваемое состояние. Если же система испытывает антропогенное воздействие, то эволюцию системы естественно моделировать управляемым марковским процессом, причем выбор управления принадлежит человеку /5/. К таким управлениям в лесном массиве относятся рубка и посадка леса, сбор грибов, орехов, плодов, трав, лечение болезней массива, борьба с вредителями, тушение пожаров и т.п.

Смысл охраны окружающей среды состоит в том, чтобы система не выходила из множества состояний некоторого эргодического класса.

При управлении такой природно-продуктовой системой в каждом состоянии пользователь либо получает доход, либо тратит определенные суммы для ее охраны. Естественно поставить задачу получения максимального среднего дохода за один сезон за достаточно большой период времени эксплуатации системы. Для этой цели достаточно выбрать оптимальную стационарную стратегию, основное достоинство которой состоит в том, что в какой бы момент времени ни пришла система в некоторое состояние, всегда следует применять одно и то же управление; это упрощает процесс реализации таких стратегий. Область применения аппарата марковских управляемых процессов весьма обширна. Автором применена теория марковских процессов в управлении состоянием влагозапасов в почве для выхода на запланированные уровни урожайности сельскохозяйственных культур в зоне орошаемого земледелия; есть предпосылки использования этого аппарата в комплексном управлении водными ресурсами речного бассейна. Имеются обнадеживающие перспективы массового применения переходных вероятностей в целях Маркова для исследования и управления, природно-продуктовыми системами от элементарной (локальной) природно-продуктовой вертикали (орошаемое поле, лесной участок, водный массив и т.п.) до региональных, государственных, межстрановых, континентальных, мировых систем.

Эффективное средство исследования эколого-экономических сложных систем – имитационное моделирование. Имитационные математические модели описывают гидробиологические и прочих процессы экологических систем, устанавливают зависимости между показателями состояния систем и характеристиками внешнего воздействия на них при различных гипотезах о характере загрязнения и т.п. Оптимизационные модели, как правило, менее детально описывают сложных процессы загрязнения экосистем и их трансформацию, но позволяют выбирать из заданного набора природоохранных мероприятий наилучшие в смысле заранее определенного критерия. Опыт многих исследователей /6/ показывает, что для принятия обоснованных управленческих решений необходимо совместное использование имитационных и оптимизационных моделей. Первоначальный выбор природоохранных мероприятий осуществляется оптимизационными моделями («отсеивающими»). Поиск рационального решения сводится к итеративной процедуре, в которой оптимальные решения проверяются в имитационной модели. В случае неадекватности этих решений параметры оптимизационной модели корректируются и весь цикл повторяется. Имитационное моделирование – это искусственный эксперимент, при котором вместо проведения натуральных испытаний с реальным оборудованием проводятся опыты на математических моделях. Оно состоит из процесса разработки модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью понять поведение системы либо оценить различные стратегии ее функционирования, обеспечивающие достиже-

ние поставленной цели. Практически имитационное моделирование осуществляется на ЭВМ. Проблема построения имитационной модели – это проблема адекватного описания объективных законов реального мира. Самый трудный вопрос исследования реальной системы – сформулировать гипотезу о законе распределения случайных величин. Появление и развитие методов компьютерного имитационного моделирования стало возможным также и в результате развития метода статистических испытаний, позволившего моделировать случайные события и процессы, занимающие значительное место в природно-продуктовых системах.

Большинство экономических оценок, разработок экологических стратегий и даже собственно экологических исследований предполагают, если вмешательство будет прекращено, то система в конечном счете возвратится в свое исходное состояние. Однако фактически реакции на воздействия могут принимать множество различных форм, которые условно можно представить как фазовые портреты стабильности: устойчивое равновесие, устойчивый предельный цикл, нейтральные циклы, неустойчивое равновесие, ненулевое устойчивое равновесие /7/.

Современная наука разработала познавательные модели, раскрывающие механизм самоорганизации. Одной из них является синэргетика, дающая новый образ мира природы, человека и общества как открытых динамических систем, развивающихся по нелинейным законам. Оно раскрывает двойственную природу случайного, его созидающее и деструктивное начала /8/. Идеи самоорганизации высказывались в традиционной классической науке (рыночная экономическая теория Смита, эволюционная теория Дарвина и т.п.). Но только в 80-х годах нашего столетия с разработкой необходимого математического аппарата (теория вероятностей, нелинейная динамика, теория катастроф, системный анализ, топология, теория бифуркаций) стало возможным исследование открытых неравновесных систем. Описание общих механизмов и закономерностей развития реальных систем проводится на более высоком уровне, с использованием современных методов математического моделирования и прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.П.Тодаро. Экономическое развитие. –М., ЮНИТИ, 1997, с.77-97
2. С.Н.Бобылев, А.Ш.Ходжаев. Экономика природопользования. –М., ТЕИС, 1997, с.26-33
3. Э.В.Гирусов и др. Экология и экономика природопользования. –М., Закон и право, 1998, с.111-118
4. Актуальные проблемы прикладной математики и математического моделирования. Под ред. А.С.Алексева – Новосибирск, Наука, 1982, с.125-136

5. Э.Г.Давыдов. Исследование операций. –М., Высшая школа, 1990, с.373-374
6. Математическое моделирование в управлении водными ресурсами. Под ред. В.Г.Пряжинской. –М., Наука, 1988, с.17-22.
7. Экологические системы. Адаптивная оценка и управление. Под ред. К.С.Холинга. –М., Мир, 1981, с.36-41
8. В.А.Игнатова. Синэргетика как метод познания природы и общества //Экология и жизнь, 1999, № 2, стр.28-32

Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати

ТАБИҒАТ ЖҮЙЕСІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫ ДАМУЫНЫҢ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Экон.ғыл. канд. Н.А.Ибраева
А.А.Алиева

Қазіргі талаптарға сәйкес, математикалық модельдеу және болжамдау әдістерін пайдаланып табиғат, адам және қоғамның дамуын сипаттайтын жоғары деңгейдегі эколого-экономикалық моделі қарастырылған.