

1. Системы и их модели.

1.1. Определения системы, экосистемы и модели.

При изучении различных явлений и процессов удобно пользоваться наиболее общим понятием системы.

Системой называется множество связанных между собой элементов, обладающее свойствами, которых нет у составляющих ее частей.

Система, выполняющая некую функцию, называется **целенаправленной**.

Сложной системой будем называть систему, содержащую элементы различной природы и имеющую разнообразные связи.

Экологической системой называется любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами.

Экосистемы, как правило, являются сложными системами.

Формальное описание системы с учетом ее особенностей, важных для данного рассмотрения, называется **моделью**.

Процесс создания модели называется **моделированием**.

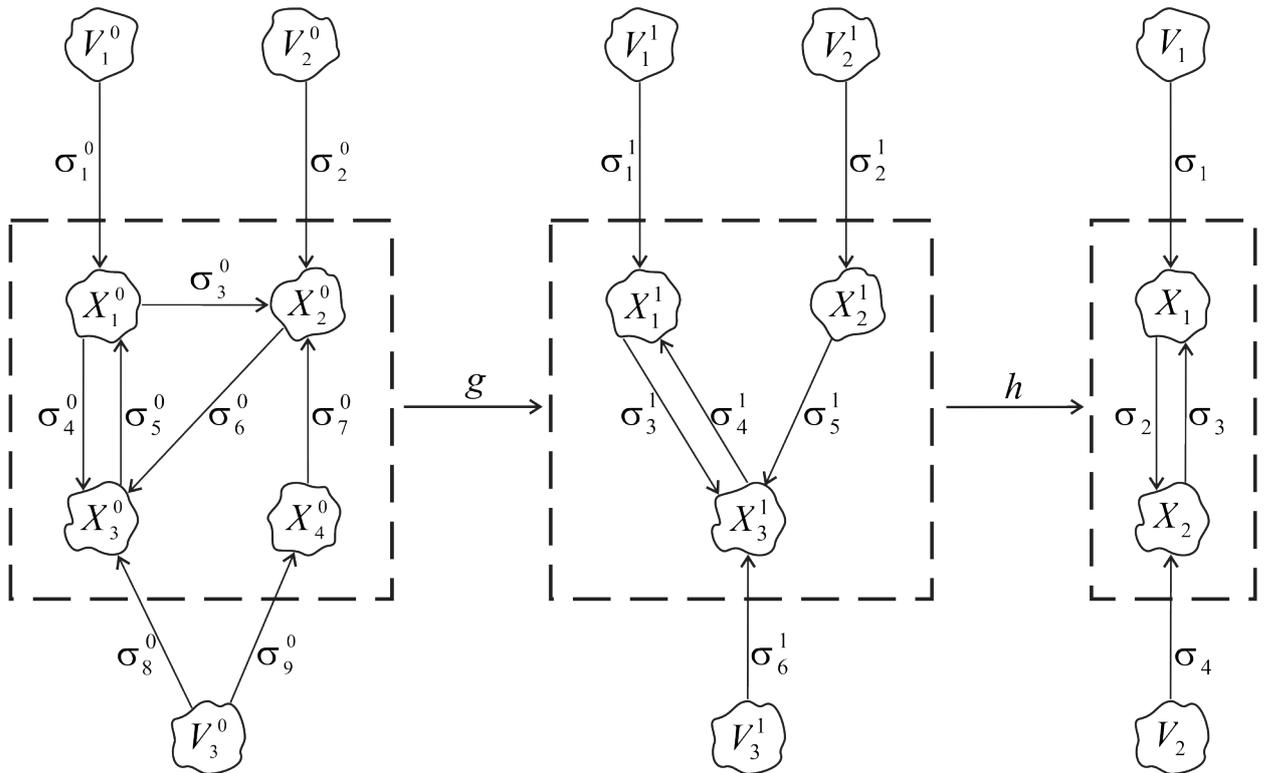


Рис. 1.1. Схема перехода от системы к модели.

Сущность моделирования заключается в создании образа системы – её модели с помощью композиции двух отображений – упрощающего и объединяющего. Упрощающее отображение сохраняет в модели элементы системы, важные с точки зрения создателя модели, удаляя остальные и связи,

ведущие к ним. Объединяющее отображение, не искажая структуры системы, объединяет в модели некоторые элементы системы с сохранением связей между ними.

Для пояснения понятия модели обратимся к рисунку 1.1, на котором система содержит элементы $X_1^0, X_2^0, X_3^0, X_4^0$ со связями $\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0, \dots, \sigma_9^0$, а внешняя среда системы образована тремя элементами V_1^0, V_2^0, V_3^0 . При построении модели в первом приближении из системы с помощью огрубляющего отображения g исключается элемент X_4^0 , а также связи $\sigma_3^0, \sigma_7^0, \sigma_9^0$ как несущественные в данном рассмотрении. В окончательном варианте модели гомоморфное отображение h сливает элементы X_1^1 и X_2^1 в элемент X_1 , связи σ_1^1, σ_2^1 – в связь σ_1 , а элементы внешней среды V_1^1, V_2^1 – в элемент V_1 .

1.2. Свойства моделей.

Основу моделирования составляют общесистемные принципы, приведенные ниже.

1. **Принцип множественности моделей** проявляется в наличии большого числа различных моделей одной и той же системы. С другой стороны, одна и та же модель может описывать совершенно разные системы. Например, модель экосистемы, состоящей из пяти видов – трав, птиц, насекомых, лис и лосей, можно построить в виде графа (рис. 1.2), вершины которого соответствуют различным видам, а дуги, проведенные из i -той вершины к j -той, показывают, что j -тый вид является жертвой i -того.

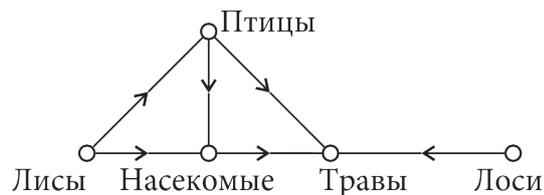


Рис. 1.2. Графовая модель экосистемы.

Эту же экосистему можно описать с помощью алгебраической модели – матрицы инцидентий (отношений) λ_{ij} , в которой $\lambda_{ij} = 1$, если вид i поедает вид j , и $\lambda_{ij} = 0$ – в противоположном случае (рис. 1.3).

$i \backslash j$	1	2	3	4	5
Птицы 1	0	0	1	1	0
Лисы 2	1	0	1	0	0
Насекомые 3	0	0	0	1	0
Травы 4	0	0	0	0	0
Лоси 5	0	0	0	1	0

Рис. 1.3. Алгебраическая модель экосистемы.

Более сложную модель экосистемы представляет так называемое квазилинейное дифференциальное уравнение

$$\frac{dx}{dt} = Ax + F(x,t) \quad (1.1)$$

где x – вектор плотностей видов, входящих в экосистему и зависящих от времени t , матрица A и функция $F(x,t)$ описывают динамику каждого из видов и взаимоотношения между ними.

С другой стороны, уравнение (1.1) может описывать систему химических реакций или экономическую систему.

2. Принцип omnipotentности факторов, существуют факторы, называемые omnipotentными, т.е. всемогущими, которые вчера и сегодня не играли никакой значимой роли в динамике той или иной системы, но которые могут оказывать на нее определяющее воздействие завтра. Классическим примером проявления omnipotentности можно считать все гидробиологические прогнозы развития водохранилищ, которые "не заметили" эффекта цветения водоемов (ни один прогноз!), хотя к их построению привлекались лучшие специалисты.

3. Принцип контринтуитивного поведения проявляется в выявлении у системы свойств, не описываемых моделью.

4. Принцип несоответствия точности и сложности формулируется следующим образом: понятия "точности" и "сложности" при прогнозировании структуры и поведения систем связаны обратной зависимостью – чем глубже анализируется реальная система, тем менее определены наши суждения о ее поведении.

5. Принцип несовместимости заключается в том, что описание данной системы с помощью одной модели неадекватно результатам, полученным с помощью другой. Модель обычно содержит в себе идею упрощения и не может полностью соответствовать изучаемой системе.

6. Принцип неопределенности заключается в постоянной недостаточности информации для построения модели, как можно более точно описывающей систему.

Таким образом, несмотря на то, что правдоподобных моделей одной и той же системы можно предложить несколько (первый принцип), ни одной из них нельзя безоговорочно доверять (второй принцип), как нельзя доверять и экспертам (третий принцип). Более того, высокие требования к точности описания системы вообще представляются недостижимыми (четвертый принцип). Результаты, полученные с помощью разных моделей одной системы, могут существенно различаться (пятый принцип), а для построения более точной модели может оказаться недостаточно информации (шестой принцип). Тем не менее, моделирование при соответствующей оценке точности полученных выводов является эффективным методом исследований.

1.3. Виды моделей.

Определим три основных вида моделей.

1. **Вербальные модели** – модели в виде словесного описания системы.

К ним относятся патенты, описания, акты испытаний, техническая документация, дневники экспериментов.

2. **Натурные модели** – модели, в определенной степени копирующие системы.

3. **Знаковые модели** – формализованное знаковое описание системы.

Математические модели, химические формулы, графы, графики, топографические карты – все это знаковые модели.

Знаковая модель – наиболее общее описание системы, которое абстрагируется от конкретного ее содержания и обладает, вследствие этого, рядом преимуществ перед другими видами моделей:

- 1) одна знаковая модель может описывать различные системы и явления;
- 2) из более сложной модели можно получить более простую;
- 3) компактность записи;
- 4) удобство для использования компьютера.

Конкретизация модели зависит от наполнения ее информацией. Модель, в которой хотя бы часть информации не фиксирована, называется **общей**.

Модель, наполненную информацией, назовем **конкретной**.

Наполнение информацией должно быть таким, чтобы модель описывала реальную систему. Утверждение, справедливое для общей системы, справедливо и для любой конкретной, полученной из общей.

Уровень общности модели может быть разным. Модели высокого уровня сложности называются **абстрактными**.

Дедуктивный – от общего к частному, и **индуктивный** – от частного к общему – **подходы** позволяют разделить процесс построения моделей на две составляющие. При дедуктивном моделировании модель получают из более общей, для которой имеется развитая теория. Проверка модели осуществляется соответствием общей модели или практике. При индуктивном моделировании модель строится на основе данных эксперимента. Таким образом получают принципиально новые модели и модели высокого уровня общности. Проверить индукционную модель можно только соответствием практике.

Процесс создания и эксплуатации модели включает в себя:

1. естественно-научную постановку задачи;
2. математическую формулировку задачи;
3. построение модели;
4. настройку модели;
5. проверку модели и исправления ее несоответствия практике (общей модели);
6. пробную работу и внесение изменений по отзывам на модель;

7. сопровождение эксплуатации с учетом изменений условий работы и в сервисе.

Математической моделью назовем систему математических соотношений, описывающую изучаемый объект или явление.

Виды математических моделей можно классифицировать по математическим особенностям и предметному содержанию.

Введем следующую классификацию математических моделей экосистем:

1. прогнозные модели (не содержащие управления);
2. модели регулирования качества окружающей среды (содержащие управление).

1.4. Понятие эколого-экономической системы.

Под **эколого-экономической системой (ЭЭС)** понимается система, содержащая две подсистемы – экономическую и экологическую, взаимодействующие в целях достижения устойчивого развития человеческой цивилизации (рис. 1.4).

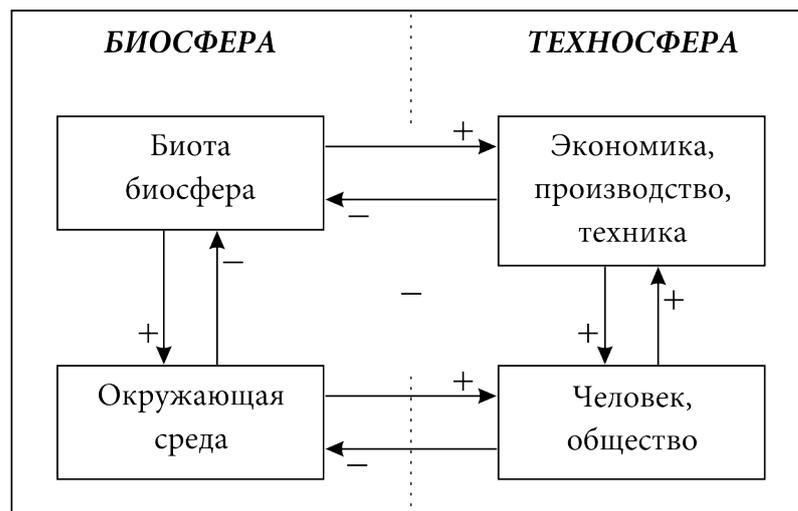


Рис. 1.4. Эколого-экономическая система.

Пусть $F(t)$ и $G(t)$ – функционалы, описывающие экономический потенциал и величину производственного загрязнения в ЭЭС. Тогда цель, стоящую перед системой, можно описать как развитие экономики при снижении темпов роста загрязнений окружающей среды:

$$\frac{dF}{dt} > 0, \quad \frac{dG}{dt} < 0. \quad (1.2)$$

Поставленная цель является трудно достижимой на данном этапе развития, поэтому менее сложная цель достигается с помощью задачи оптимизации – достижения максимума $F(t)$ и минимума $G(t)$:

$$F(t) \rightarrow \max, \quad G(t) \rightarrow \min. \quad (1.3)$$

В настоящее время осуществляется цель развития экономики при определенных экологических ограничениях (рис. 1.5):

$$\frac{dF}{dt} > 0, \quad |G(t)| \leq m. \quad (1.4)$$

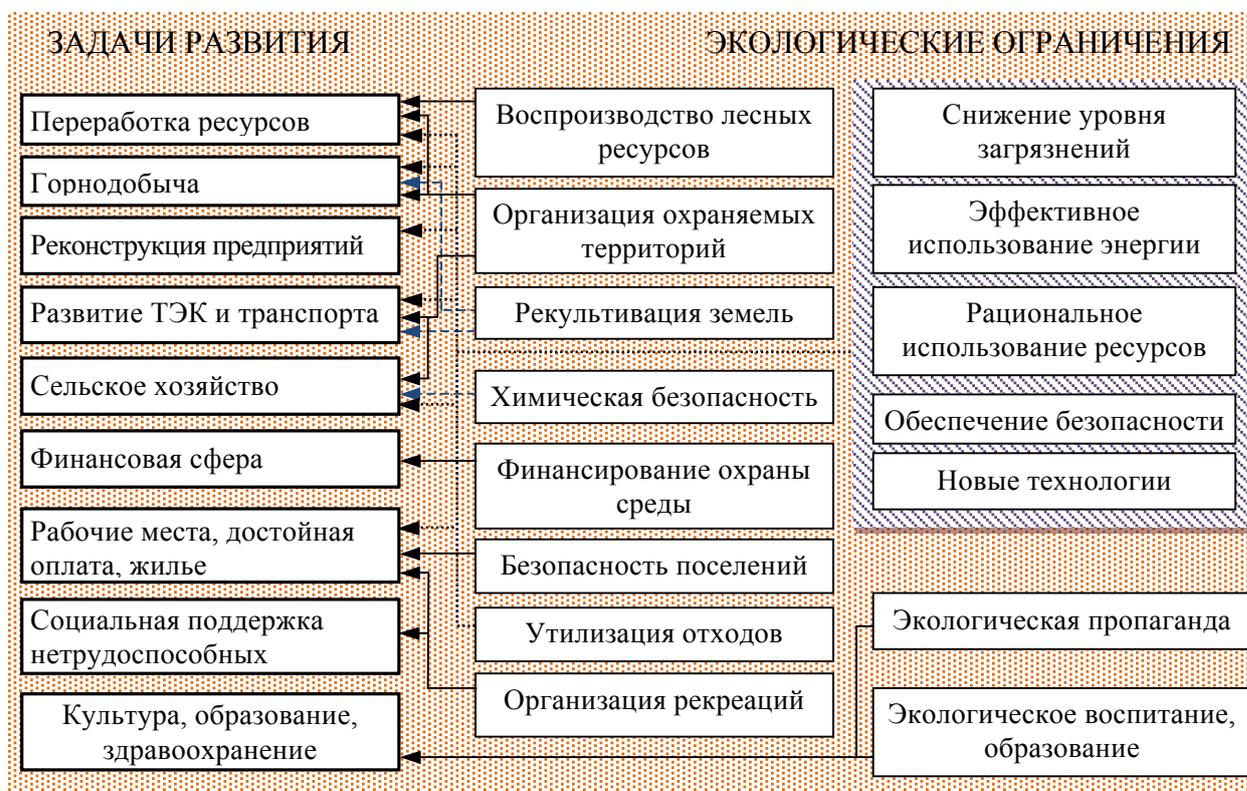


Рис. 1.5. Некоторые задачи развития экономики и существующие экологические ограничения.

1.5. Классификация эколого-экономических систем.

В экономике природопользования принята следующая классификация ЭЭС.

1. По чувствительности к внешнему воздействию и открытости. Системы с разнообразными внешними связями будут более реагировать на изменения во внешней среде. Системы с преобладанием внутренних функциональных связей менее подвержены внешнему влиянию. Степень открытости системы может быть разной и зависит от количества внешних связей.

2. По степени трансформации природной среды. Можно выделить следующие подвиды ЭЭС: естественные (особо охраняемые территории, практически незаселенные земли), антропогенно-преобразованные (сельскохозяйственные, лесные, курортные районы), искусственные (территории населенных пунктов, производственные комплексы, дороги).

3. По концентрации капиталовложений. ЭЭС с минимальной концентрацией капиталовложений: заповедники, национальные парки, леса,

луга и земли, на которых не ведется хозяйственная деятельность; территории с разведанными, но не разрабатываемыми запасами полезных ископаемых, территории с внутренними водотоками и водоемами. ЭЭС с низкой концентрацией капиталовложений – это сельскохозяйственные районы; эксплуатируемые леса; рекреационные зоны; внутренние водотоки и водоемы, бассейны которых используются в хозяйственной деятельности. Промышленные и селитебные ЭЭС имеют высокую концентрацию капиталовложений.

4. По виду хозяйственно-экономической деятельности выделяются аграрные, техногенные и урбанизированные ЭЭС.

5. По рациональности природопользования. Под рациональным природопользованием понимается система мероприятий, направленная на планомерное поддержание и приумножение природных ресурсов, улучшение производственных основ продуктивности почв, вод, воздуха, растений, животных. Нерациональное природопользование включает негативные процессы антропогенного воздействия на окружающую среду, приводящие к ее деградации и загрязнению.

1.6. Классификация эколого-экономических моделей.

Далее будут рассматриваться математические модели ЭЭС, которые мы разобьем на следующие классы.

1. Экономические модели, учитывающие экологические факторы.
2. Модели регулирования качества окружающей среды, в которых вводятся экологические ограничения с помощью экономических факторов.
3. Модели мировой и региональной динамики.

Модели первого типа могут быть как прогнозными, так и моделями регулирования, модели второго типа – это модели регулирования, модели третьего типа, как правило, дают прогноз развития ЭЭС в региональном или мировом масштабе.

Эколого-экономические модели используются в системах поддержки принятия решений по охране окружающей среды (рис.1.6).

Они разрабатываются в модулях «Прогноз» и «Регулирование» на основе данных, полученных в модулях сбора информации «Состояние» и «Воздействие», а также предоставленных независимой системой наблюдения «Мониторинг». Результаты моделирования хранятся в базе данных «Знания», а их применение отслеживается в модуле «Воздействие».

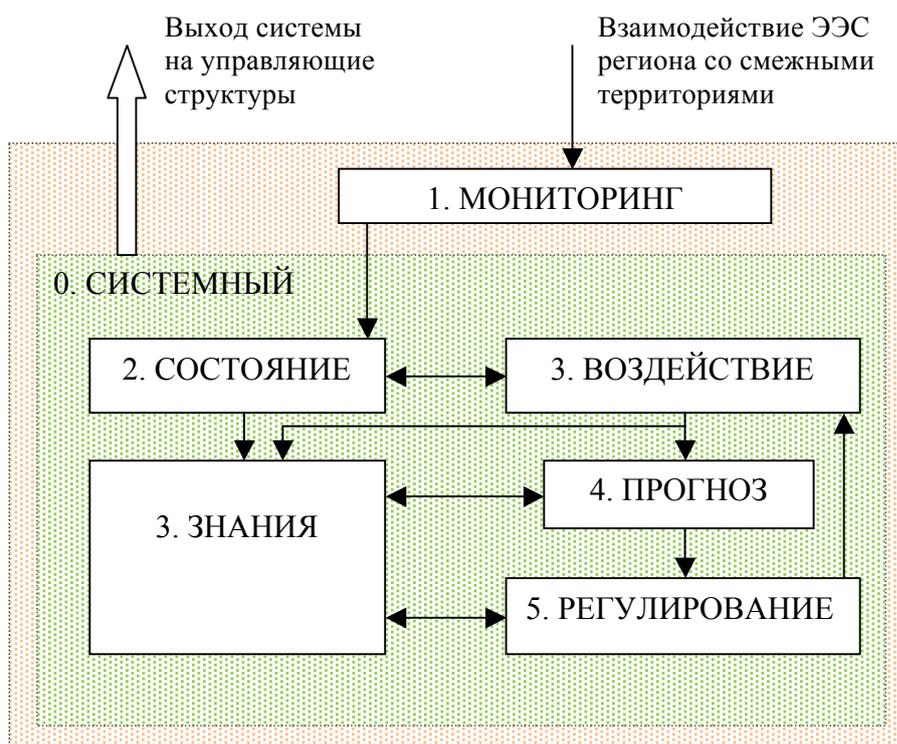


Рис. 1.6. Система поддержки принятия решений по охране окружающей среды.

В этой главе использованы следующие источники:

1. Красс М.С. Моделирование эколого-экономических систем. – М.: Инфра-М, 2013. – 272 с.
2. Поморцев О.А., Попов В.Ф., Толстихин О.Н., Трофимцев Ю.И. Двухкритериальность устойчивого развития и классификация экологических проблем // Вестник СВФУ, т. 10, № 1, 2013. – С. 14-20.
3. Толстихин О.Н., Трофимцев Ю.И. Экологический мониторинг. – Новосибирск: Наука, 1998. – 216 с.
4. Трофимцев Ю.И. Системные принципы: применения в экологии. Учебное пособие. – Якутск: Изд-во ЯГУ, 1994. – 90 с.
5. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 464 с.