

### 1.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Надорганизменные системы (популяции, биоценозы, экосистемы, биосфера), изучаемые экологией, чрезвычайно сложны. В них возникает большое количество взаимосвязей, сила и постоянство которых непрерывно меняются. Одни и те же внешние воздействия нередко приводят к различным, а иногда и к противоположным результатам. Это зависит от состояния, в котором находилась система в момент воздействия. На действие конкретных факторов предвидеть ответные реакции системы можно только через сложный анализ существующих в ней количественных взаимоотношений и закономерностей. Поэтому широкое распространение в экологии получило моделирование, особенно при изучении и прогнозировании природных процессов.

Термин «*модель*» - имеет целый ряд смысловых значений:

1) физическое (вещественно-натуральное) или знаковое (математическое, логическое) подобие (обычно упрощенное) реального объекта, явления или процесса; 2) уменьшенное подобие реального объекта; отличают действующую модель и только имитирующую форму чего-то (макет); 3) схема, изображение или описание какого-либо явления или процесса в природе и обществе.

В экологии под моделью довольно часто понимается материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект-оригинал, и его непосредственное изучение дает новые знания об объекте-оригинале. Модель неизбежно упрощает действительность и в то же время показывает особенно ярко элементы и связи, интересующие ученого.

Моделирование — метод исследования сложных объектов, явлений и процессов путем их упрощенного имитирования (натурного,

математического, логического). Основывается на теории подобия (сходства) с объектом-аналогом.

Требования, предъявляемые к моделям. Важнейшие требования к любой модели — ее подобие с моделируемым предметом и наличие следующих свойств:

— модель — это увеличенное (клетка) или уменьшенное (глобус) подобие объекта;

— модель может замедлить быстро протекающие процессы или ускорить медленно протекающие;

— модель упрощает реальный процесс, что дает возможность обратить внимание на главную сущность объекта.

**Виды моделей.** Модели принято делить на две группы: материальные (предметные) и идеальные (мысленные), рис. 1.2.1.

Из материальных моделей наиболее широко распространены в природопользовании физические модели. Например, при создании крупных проектов, таких, как строительство ГЭС, связанных с изменениями окружающей природной среды. Вначале строятся уменьшенные модели устройств и сооружений, на которых исследуются процессы, происходящие при заранее запрограммированных воздействиях.

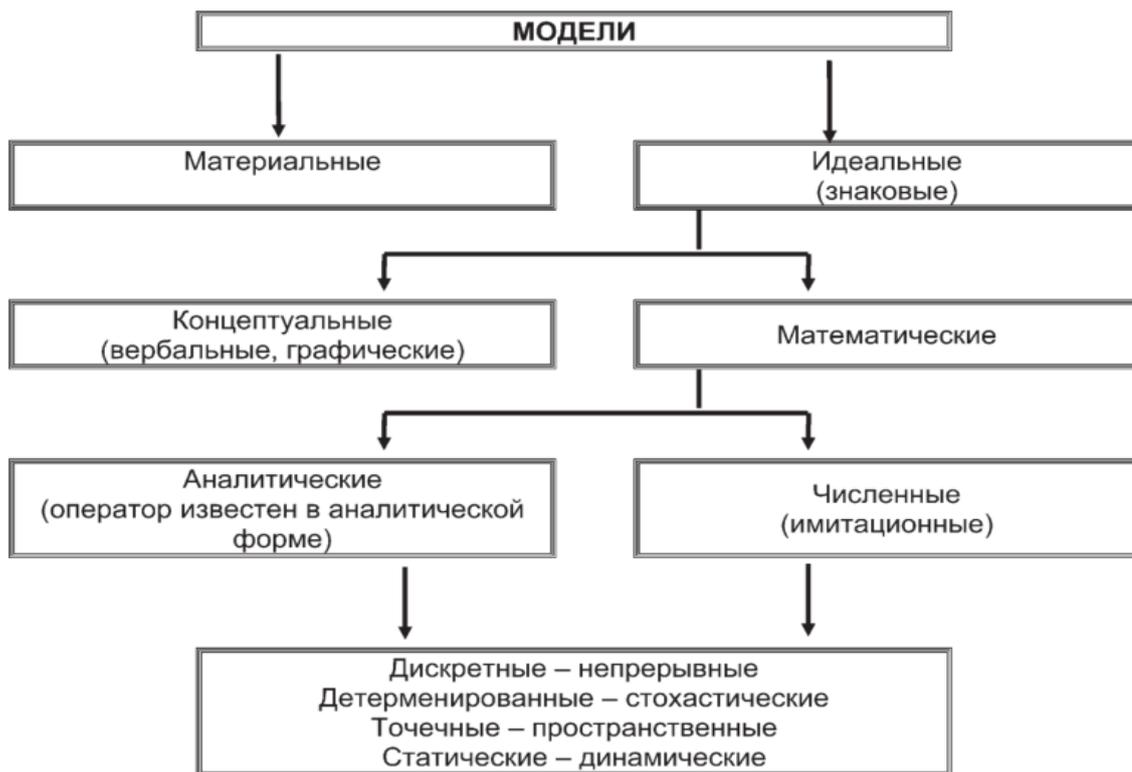


Рис. 1.2.1 Виды моделей

Во второй половине XX в. среди видов моделей в экологии все большее значение приобретают идеальные: математические, кибернетические, имитационные, графические модели.

Суть математического моделирования заключается в том, что с помощью математических символов строится абстрактное упрощенное подобие изучаемой системы. Далее, меняя значение отдельных параметров, исследуют, как поведет себя данная искусственная система, т. е. как изменится конечный результат.

Математические модели, строящиеся с применением ЭВМ, называют кибернетическими.

Исследования, в которых ЭВМ играет важную роль в самом процессе построения модели и проведения модельных экспериментов, получили название имитационного моделирования, а соответствующие модели — имитационных.

Графические модели представляют блоковые схемы (рис. 1.2.2) или раскрывают зависимость между процессами в виде таблицы-графика. Графическая модель позволяет конструировать сложные эко и геосистемы.

По Ю. Одуму (1986), моделирование обычно начинают с построения схемы или графической модели, часто представляющей собой блок-схему (см. рис. 1.2.2), где буквами  $P_1$  и  $P_2$  обозначены два свойства, которые при взаимодействии  $I$  дают некое третье свойство  $P_3$  (или влияют на него), когда система получает энергию от источника  $E$ . На схеме обозначены также пять направлений потоков вещества и энергии ( $F$ ), из которых  $F_1$  – вход, а  $F_6$  – выход для системы как целого.

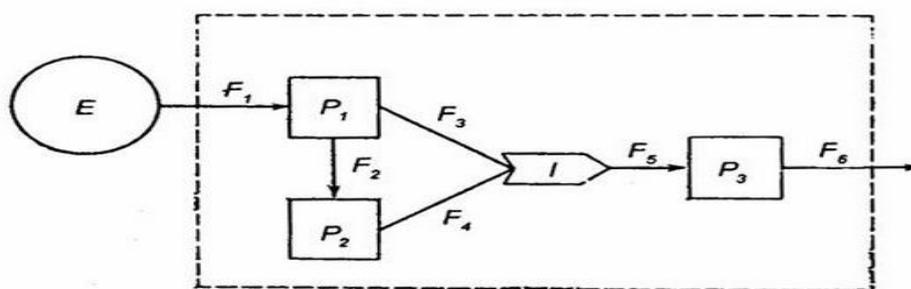


Рис. 1.2.2. Блоковая схема, на которой показаны четыре основных компонента, учитываемых при моделировании экологических систем (Ю. Одум, 1986):  $E$  — движущая сила;  $P$  — свойства;  $F$  — потоки вещества и энергии;  $I$  — взаимодействие.

Поэтому, в работающей модели экологической ситуации имеется как минимум четыре ингредиента или компонента:

- 1) источник энергии или другая внешняя движущая сила;
- 2) свойства, которые системные аналитики называют переменными состояний;
- 3) направления потоков, связывающих свойства между собой и с действующими силами через потоки энергии и вещества;
- 4) взаимодействия или функции взаимодействий там, где взаимодействуют между собой силы и свойства, изменяя, усиливая или

контролируя перемещение веществ и энергии или создавая качественно новые (эмерджентные) свойства.

По охвату территории все модели могут быть: локальными, региональными и глобальными.

В построении математических моделей сложных природных процессов выделяются следующие этапы.

1. Реальные явления, которые планируется смоделировать, должны быть тщательно изучены: выявлены главные компоненты и установлены законы, определяющие характер взаимодействия между ними. Если неясно, как связаны между собой реальные объекты, построение адекватной модели невозможно. На данном этапе нужно сформулировать вопросы, на которые ответ должна дать модель. Прежде чем строить математическую модель природного явления, надо иметь гипотезу о его течении.

2. Разрабатывается математическая теория, описывающая изучаемые процессы с необходимой деятельностью. На ее основе строится модель в виде абстрактных взаимодействий. Установленные законы должны быть облечены в точную математическую форму. Конкретные модели могут быть предоставлены в аналитической форме (системой аналитических уравнений) или в виде логической схемы машинной программы. Модель природного явления есть строгое математическое выражение сформулированной гипотезы.

3. Проверка модели — расчет на основе модели и сличения результатов с действительностью. При этом проверяется правильность сформулированной гипотезы. При значительном расхождении сведений модель отвергают или совершенствуют. При согласованности результатов модели используют для прогноза, вводя в них различные исходные параметры.

Структурные схемы являются разновидностью графических моделей. Графические модели раскрывают зависимость между процессами также в виде таблицы, диаграммы или графика. В качестве научной основы природопользования используется модель геосистемы (географической системы). Эта модель применяется в природопользовании для прогнозирования, а также с целью управления природопользованием посредством воздействия на один компонент для получения положительного эффекта от другого. Природная геосистема рассматривается обычно как сравнительно простая географическая модель, описывающая саморегулирующуюся систему. Целостность такой системы поддерживается взаимосвязью природных компонентов.

В более сложные модели в качестве нового элемента вводится человек (общество) и орган управления, который принимает и контролирует решения. Модель такой интегральной геосистемы представлена на рис. 1.2.3.

Человек способен не только приспособливаться к природной геосистеме, но и ее преобразовывать. Использование таких моделей является типичным при изучении систем типа «человек – среда». Используя данные модели, можно проследить цепочку: воздействия на природный комплекс изменения в окружающей среде последствия изменения природы для человеческой деятельности изменения деятельности в сторону оптимизации изменение оказываемого воздействия на окружающую среду и т. д.

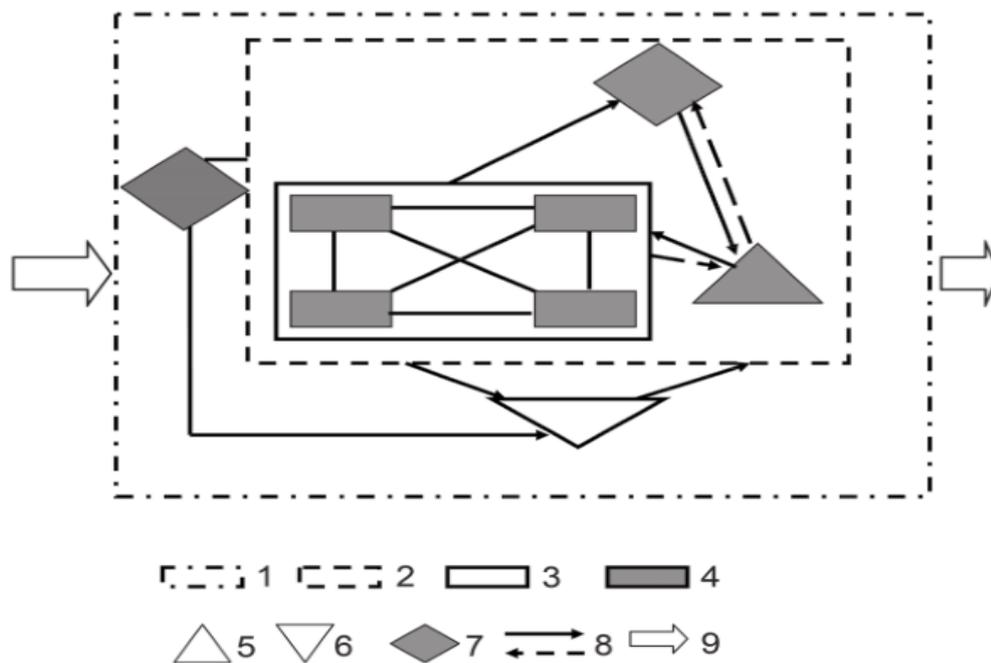


Рис.1.2.3. Модель интегральной геосистемы.

1. – граница интегральной геосистемы;
2. - граница природно-технической системы;
3. - граница природной системы;
4. – природные компоненты, элементы;
5. – технические элементы, подсистемы;
6. – население;
7. – орган управления, принимающий и контролирующий решения;
8. – связи между компонентами, элементами, подсистемами;
9. –связи на входе и выходе системы.

Система «общество – окружающая среда» настолько перенасыщена связями, что высказывалось мнение о крайней сложности самой формулировки проблем окружающей среды на уровне всей биосферы, что связано с огромными временными параметрами биосферы, не сравнимыми с жизненным циклом исследователей, с трудностью различения и сопоставления антропогенных и природных процессов и их масштабов. В сфере современной экологии объект и среда проникают друг в друга, и даже меняются местами в процессе обмена веществом, энергией, информацией, что объясняет результативность только целостно-системной методологии. Необходимость учета факторов неопределенности и стохастичности, как объективных свойств условий, сопутствующих процессу развития

экологических систем, связана с неполнотой и относительностью исходной информации о функционировании экосистем, результатов мониторинга и трудностями передачи информации с одного уровня иерархической структуры на другой и др.

Особенность современных человековключенных экологических систем является кризисность состояния, и, следовательно, для экологического моделирования имеет решающее значение предварительное определение критических точек, после достижения которых, процесс становится необратимым, хотя внешнее его течение еще может представляться благополучным. Еще одна особенность заключается в том, что адаптивность социоэкологических систем предполагает не только адаптивность природы к техногенным воздействиям, но и адаптивность общества к воздействиям факторов окружающей среды, т. е. общество выступает в качестве адаптивно-адаптирующей системы.

Подобное построение модели глобальной экосистемы и жизнеобеспечения человечества интегрирует в едином процессе экологического исследования междисциплинарный подход, в котором применяются наряду с информационно-статистическими эмпирические и социологические методы.

Они позволяют существенно расширить возможности практического исследования экологических систем и оценивания эффективности природоохранных технологий, объективно обрабатывать информацию, периодически обновлять сведения, осуществлять и интерпретировать результаты экологического мониторинга, оценивать действия экстремальных факторов внешней среды, последствий глобальных и локальных природных и техногенных катастроф.

В заключение можно сделать вывод о роли моделирования в экологических исследованиях и экологическом образовании. Использование терминов «модель», «математическая модель» и самих моделей для

познания экологических процессов ознаменовало шаг вперед по сравнению с классическим методологическим подходом, «поскольку модельные представления более свободно модифицируют достаточно жесткие законы поведения исследуемых объектов».

### 1.4.1. Классификация видов моделирования

В основу классификации видов моделирования можно положить различные признаки. В зависимости от характера изучаемых процессов в системе моделирование может быть разделено на детерминированное и стохастическое; статическое и динамическое; дискретное и непрерывное.

*Детерминированное моделирование* применяется для исследования систем, поведение которых можно абсолютно точно предвидеть. Например, путь, пройденный автомобилем, при равноускоренном движении в идеальных условиях; устройство, возводящее в квадрат число и т.п. Соответственно в этих системах протекает детерминированный процесс, который адекватно описывается детерминированной моделью. Стохастическое (теоретико-вероятностное) моделирование применяется для исследования системы, состояние которой зависит не только от контролируемых, но и от неконтролируемых воздействий или в ней самой есть источник случайности. К стохастическим системам относятся все системы, которые включают человека, например, заводы, аэропорты, вычислительные системы и сети, магазины, предприятия бытового обслуживания и т.п.

*Статистическое моделирование* служит для описания систем в какой-либо момент времени. Динамическое моделирование отражает изменение системы во времени (выходные характеристики системы в данный момент времени определяются характером входных воздействий в прошлом и настоящем). Примером динамических систем являются биологические, экономические, социальные системы; такие искусственные системы как завод, предприятие, поточная линия и т.п.

*Дискретное моделирование* применяют для исследования систем, в которых входные и выходные характеристики измеряется или изменяется во времени дискретно, в противном случае применяют непрерывное

моделирование. Например, электронные часы, электросчетчик – дискретные системы; солнечные часы, нагревательные приборы – непрерывные системы. В зависимости от формы представления объекта (системы) можно выделить мысленное и реальное моделирование.

При реальном (натурном) моделировании исследование характеристик системы проводится на реальном объекте, либо на его части. Реальное моделирование – наиболее адекватно, но его возможности, с учетом особенностей реальных объектов, ограничены. К реальному моделированию относят производственный эксперимент и комплексные испытания, которые обладают высокой степенью достоверности. Другой вид реального моделирования – физическое. При физическом моделировании исследование проводится на установках, которые сохраняют природу явления и обладают физическим подобием.

Мысленное моделирование применяется для моделирования систем, которые практически не реализуемы на заданном интервале времени. В основе мысленного моделирования лежит создание идеальной модели, основанной на идеальной, мыслительной аналогии. Различают два вида мысленного моделирования: образное (наглядное) и знаковое.

При образном моделировании на базе представлений человека о реальных объектах создаются различные наглядные модели, отображающие явления и процессы, протекающие в объекте. Например, модели частиц газов в кинетической теории газов в виде упругих шаров, воздействующих друг на друга во время столкновения.

При знаковом моделировании описывают моделируемую систему с помощью условных знаков, символов, в частности, в виде математических, физических и химических формул. Наиболее мощный и развитый класс знаковых моделей представляют математические модели.

**Математическая модель** – это искусственно созданный объект в виде математических, знаковых формул, который отображает и

воспроизводит структуру, свойства, взаимосвязи и отношения между элементами исследуемого объекта. Далее рассматриваются только математические модели и соответственно математическое моделирование.

*Математическое моделирование* – метод исследования, основанный на замене исследуемого объекта-оригинала его математической моделью и на работе с ней (вместо объекта). Математическое моделирование можно разделить на аналитическое (АМ), имитационное (ИМ), комбинированное (КМ).

При АМ создается аналитическая модель объекта в виде алгебраических, дифференциальных, конечно-разностных уравнений. Аналитическая модель исследуется либо аналитическими методами, либо численными методами.

При ИМ создается имитационная модель, используется метод статистического моделирования для реализации имитационной модели на компьютере.

При КМ проводится декомпозиция процесса функционирования системы на подпроцессы. Для тех из них, где это возможно, используют аналитические методы, в противном случае – имитационные.