

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тихоокеанский государственный университет»

Методические указания по проведению лабораторной работы:

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОЛОГИИ**

**Хабаровск**  
Издательство ТОГУ  
2014

# МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОЛОГИИ

Цель работы: знакомство с методами исследования в экологии, освоение методики моделирования экосистем с использованием орграфов

## Общие сведения

Экология - это комплексная наука. Признание экосистем предметом экологии и принцип эмерджентности неизбежно приводят к необходимости использовать в качестве методологической основы науки экологии системный анализ и междисциплинарный синтез явлений. **Системный анализ** – это направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объекта как системы. **Системный подход** в экологии состоит в определении составных частей экосистемы, установлении совокупности внутренних связей, а также связей между экосистемой и средой за ее пределами; нахождении законов функционирования и их изменений в результате внешних воздействий.

Экологи в своей работе пользуются широким ассортиментом разнообразных методов. Они распадаются на три основные группы.

1. Методы, с помощью которых собирается информация о состоянии экологических объектов: растений, животных, микроорганизмов, экосистем, биосферы.

2. Методы обработки полученной информации, ее свертки, сжатия и обобщения.

3. Методы интерпретации полученных фактических данных.

Методы сбора информации включают:

**1. Натурные наблюдения.** Любое экологическое исследование начинается с наблюдений, отличительной чертой которых является невмешательство наблюдателя в происходящие события. Такие наблюдения могут осуществляться невооруженным взглядом, что было характерно для экологии первой половины XIX века. В последние десятилетия экологические наблюдения ведутся с применением разнообразнейших приборов и технических средств. Это уже как бы и не наблюдение в бытовом смысле этого термина, а снятие информации о состоянии объектов.

В современной экологии приборное наблюдение - один из основных методов исследования. Путь к нему был достаточно длительным. Он шел от красочных описаний картин природы, прекрасные и не потерявшие значения, образцы которых можно видеть в работах А. Гумбольдта, А. Уоллеса, Ч. Дарвина, до современных компьютерных баз данных о видовом составе и параметрах среды обитания в тех или иных экосистемах. Для изучения свойств природной среды - воздуха, воды и почвы применяются самые разнообразные приборы и установки, к обслуживанию которых приходится привлекать специально подготовленные инженерные кадры. Специфичны и методы изучения живых организмов. Для их реализации необходимы специалисты биологи и микробиологи.

Особенностью современных экологических приборных наблюдений является их комплексность и долгосрочность, когда на одном и том же участке экосистемы в течение достаточно длительного времени ведутся наблюдения за живыми организмами и факторами среды обитания. Для реализации комплексных наблюдений организуются специальные стационары, размещающиеся в типичных и особенно характерных местоположениях так, чтобы они давали информацию о значительной территории или о типичной экосистеме.

Помимо комплексных наблюдений на стационарах может вестись глобальный мониторинг экосистемы или биосферы в целом. Но из-за трудностей организации и высокой стоимости глобального мониторинга он пока что сводится к регистрации 1-2, но особо важных параметров. Так, на серии стационаров был организован глобальный мониторинг концентрации углекислого газа в атмосфере, с помощью самолетов, спутников и специальных ракет проводится мониторинг состояния озонового экрана на нашей планете. Прогресса натурные экологические исследования достигли с развитием международных программ, которые предусматривали глобальные наблюдения за характерными экосистемами, исследования на специальных полигонах и их междисциплинарный синтез.

**2. Эксперименты.** Как междисциплинарная наука экология широко пользуется методом эксперимента. Его суть состоит в том, что в экосистему сознательно вносится какое-то, обычно одно, изменение и, спустя определенное время, сопоставляется состояние контрольного (он обязателен) и экспериментального участков экосистемы. Но такие классические однофакторные эксперименты в экологии мало реальны. Здесь более пригоден многофакторный эксперимент, когда изменяются значения сразу нескольких факторов, а состояние экосистемы в конце эксперимента оценивается по ее многим параметрам.

Обычно эксперименты делятся на полевые и лабораторные (модельные).

В естественных полевых условиях возможность экспериментатора контролировать внешние экологические факторы ограничена. Но **полевые** эксперименты имеют огромное значение в экологических исследованиях. Примером экологического эксперимента может служить внесение минеральных удобрений в замкнутый водоем с регистрацией размера первичной биопродукции и взаимоотношений разных групп организмов; искусственное вытаптывание и уплотнение почвы в лесах или на лугах для установления влияния рекреации (отдыха населения) на эти экосистемы и т.п. Широкую известность получили результаты комплексных полевых экспериментов, проведенных в 1956-64 годах в лесных биогеоценозах под руководством В.Н. Сукачева. В.Н. Сукачев в середине прошлого столетия провел, также ставшие классическими полевые модельные эксперименты по выращиванию отдельных видов высших растений при повышенной плотности их размещения, которые показали, что отмирание особей в таких случаях имеет гомеостази-

рующий характер, способствуя сохранению популяции. Всемирное значение имеют многочисленные эксперименты, осуществленные в 1964-1974 годах по так называемой Международной биологической программе (МБП). В ее реализации приняли участие ученые практически всех стран мира, и она дала очень важные результаты по установлению основных глобальных закономерностей биопродукционного процесса.

Немаловажную роль в экологии играют **лабораторные** или **модельные** эксперименты. Они проводятся в специальных лабораторных установках и состоят в выращивании отдельных видов растений или разведении животных при контролируемых экологических условиях. В результате таких экспериментов было получено немало интересных экологических данных и выводов. Классическими являются лабораторные эксперименты Г.Ф. Гаузе, выполненные в 1933-45 годах с инфузориями. В них впервые была выявлена роль плотности популяции и хищничества в рождаемости, смертности и итоговой численности особей. В **лабораторных** экспериментах можно обеспечить контроль большого числа факторов, исключив неконтролируемые. Но удовлетворительные результаты могут быть получены только в результате многофакторного эксперимента с предварительным планированием. Кроме того, многими учеными поднимается вопрос о том, в какой степени выводы, полученные в лабораторных условиях, можно применить к реальным экосистемам. Поэтому в экологии лабораторные эксперименты играют второстепенную роль.

Экология широко пользуется результатами **стихийных** экспериментов, которые "ставит" сама природа или они являются следствием производственной деятельности человека. Произошедшее в начале XX века извержение вулкана Кракатау привело к полному уничтожению растительного и животного мира на ряде островов в юго-восточной Азии. Эти острова были использованы для изучения естественного хода зарастания и заселения вулканических отложений. Немало полезной информации дает изучение массовых сплошных вырубок лесов, создание крупных водохранилищ и т.п.

В результате наблюдений и экспериментов в распоряжении эколога оказывается совокупность научных фактов. Но как научный факт нельзя рассматривать результат любого наблюдения. Важным критерием достоверности результатов наблюдений и экспериментов является их воспроизводимость. Она достигается, как правило, многократным повторением наблюдений и экспериментов. Результаты таких повторяющихся наблюдений или учетов в совокупности составляют так называемую выборку. Соответствующая статистическая обработка данных исследования позволяет оценить уровень статистической достоверности результатов и считать их научным фактом.

Определенным источником фактов для экологии являются литературные данные и служебная информация. Использование литературных данных вполне допустимо с учетом репутации автора и со ссылкой на него. Сложнее обстоит дело со служебной информацией. Она нередко "защищена"

и необходимо получение разрешения на знакомство с ней. С другой стороны всем известны случаи, когда служебная информация (особенно о качестве природной среды) преднамеренно искажалась. Население города Киева после Чернобыльской аварии не получало в нужное время достоверных сведений о загрязнении атмосферы и водоемов в городе и пригородах радиоактивными веществами. Полностью была искажена и скрыта от населения информация о выбросе радиоактивных веществ в начале 50-х годов от населения южного Урала. Такого рода случаи привели к тому, что на Украине и в других странах СНГ многие общественные движения ставят вопрос об организации независимой от государства службы экологического мониторинга.

**3. Моделирование.** В связи со сложностью экологических систем при их изучении часто используют модели. Модель – это имитация того или иного явления реального мира, позволяющая делать прогнозы. В качестве модели может выступать **материальная копия** объекта экологии, обычно в той или иной степени упрощенная. Например, моделью пруда может быть аквариум. На таких моделях получают немало полезной информации, но в общем их значение в экологии сравнительно ограничено. Реальные экосистемы - это многовидовые, комплексные объекты, и их материальные модели содержат слишком много упрощений, да и в таком случае они оказываются очень дорогостоящими. Получение на материальных моделях информации об устойчивости, особенностях развития экосистемы и т.п. требует длительного времени, так как временная продолжительность любого процесса в материальной модели и реальном объекте относятся как 1:1.

Другой класс материальных моделей представляют **реальные объекты** природы, специально выделенные для изучения в естественной природной обстановке. В этом случае говорят о "модельной особи, о "модельной популяции" и т.п.

Наиболее широко в экологии используют **абстрактные** модели. В этом случае моделью называют некоторое абстрактное описание того или иного объекта или явления реального мира, позволяющее анализировать его свойства. Преимущества абстрактных моделей состоят в том, что они сравнительно простыми и недорогими средствами позволяют анализировать поведение экологических систем и предсказывать характер их изменений при внесении в систему тех или иных нарушений.

Главное требование к абстрактным экологическим моделям - точность и достаточная общность. Разрешающая способность абстрактных моделей во многом зависит от числа выбранных для их конструирования элементов и признаков системы. Это непростой момент. Включение в модель очень большого числа компонентов затрудняет ее анализ, создает "шум". Напротив, редукция числа элементов до слишком малого их числа делает модель далекой от реальности.

Моделирование экологических объектов на основе абстрактных моделей базируется на ряде общих черт. Первоначально определяется объект моделирования - популяция, экосистема и т.п. Затем устанавливаются границы

объекта, определяется цель моделирования и на этой основе составляется перечень компонентов и связей, включаемых в модель. Следующий важный этап моделирования - это определение соотношений между компонентами модели. Результаты этого этапа моделирования показаны на примере упрощенной модели лесной экосистемы (рис. 1). Они могут иметь вид стрелок как это сделано на схематической модели. Очень важным этапом моделирования является количественная оценка всех параметров, участвующих в функционировании объекта. Для примера, приведенного на рис. 1, это могут быть оценки емкости почвы в отношении количества минеральных веществ, скорость минерализации органических веществ, размер биомассы растений, животных и микроорганизмов и т.п. На заключительном этапе соотношения между компонентами и процессами могут быть представлены в виде математического выражения и выражений. Все расчеты, связанные с изменениями количественных параметров модели, в настоящее время выполняют на ЭВМ.

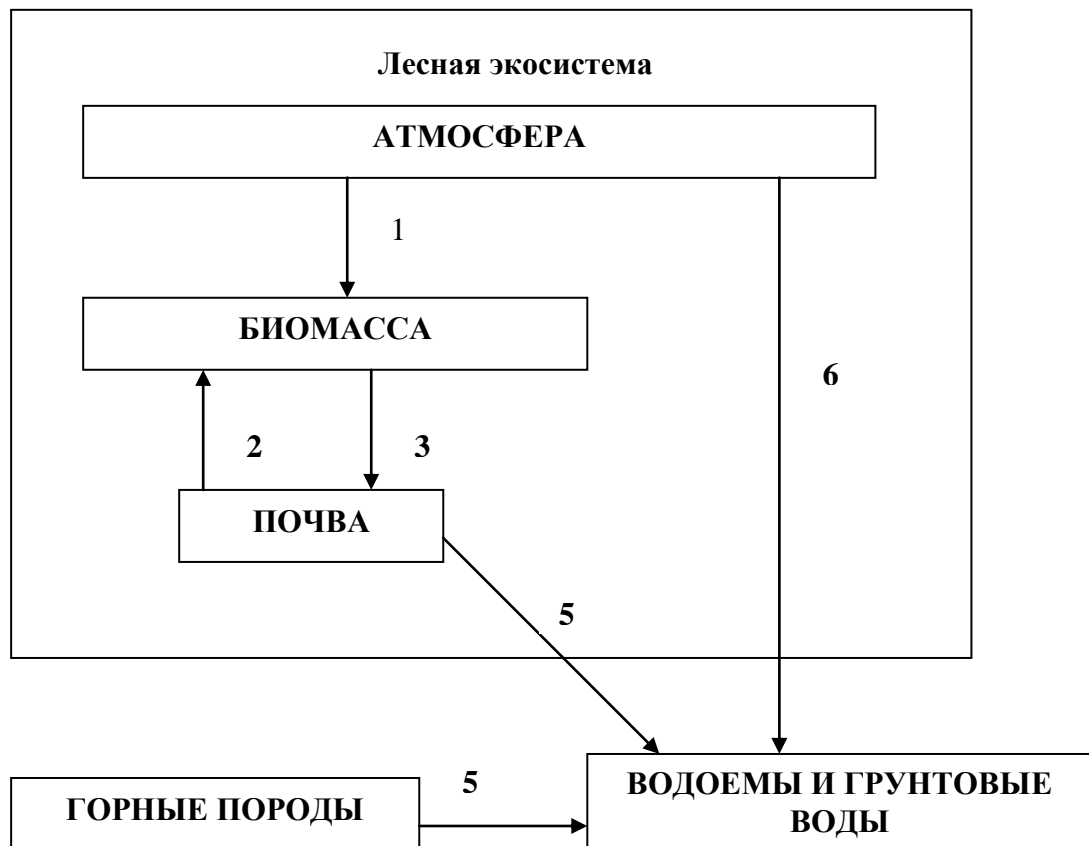


Рис. 1. Упрощенная графическая модель лесной экосистемы, показывающая миграцию элементов минерального питания. 1 - поступление минеральных веществ с осадками, 2 - поступление минеральных веществ из почвы, 3 - минерализация органических веществ и возврат минеральных веществ в почву, 4 - выветривание горных пород с обогащением почвы минеральными элементами, 5 - вымывание минеральных веществ из почвы и горных пород, 6 - поступление минеральных веществ в водоемы с осадками.

В ходе конструирования и исследования модели проверяется ее соответствие реальному объекту. Модель может усложняться путем добавления существенных, но первоначально пропущенных компонентов и связей или упрощаться за счет исключения маловажных для ее функционирования компонентов и процессов.

В зависимости от используемого аппарата абстрактные модели подразделяют на ряд видов (рис. 2).

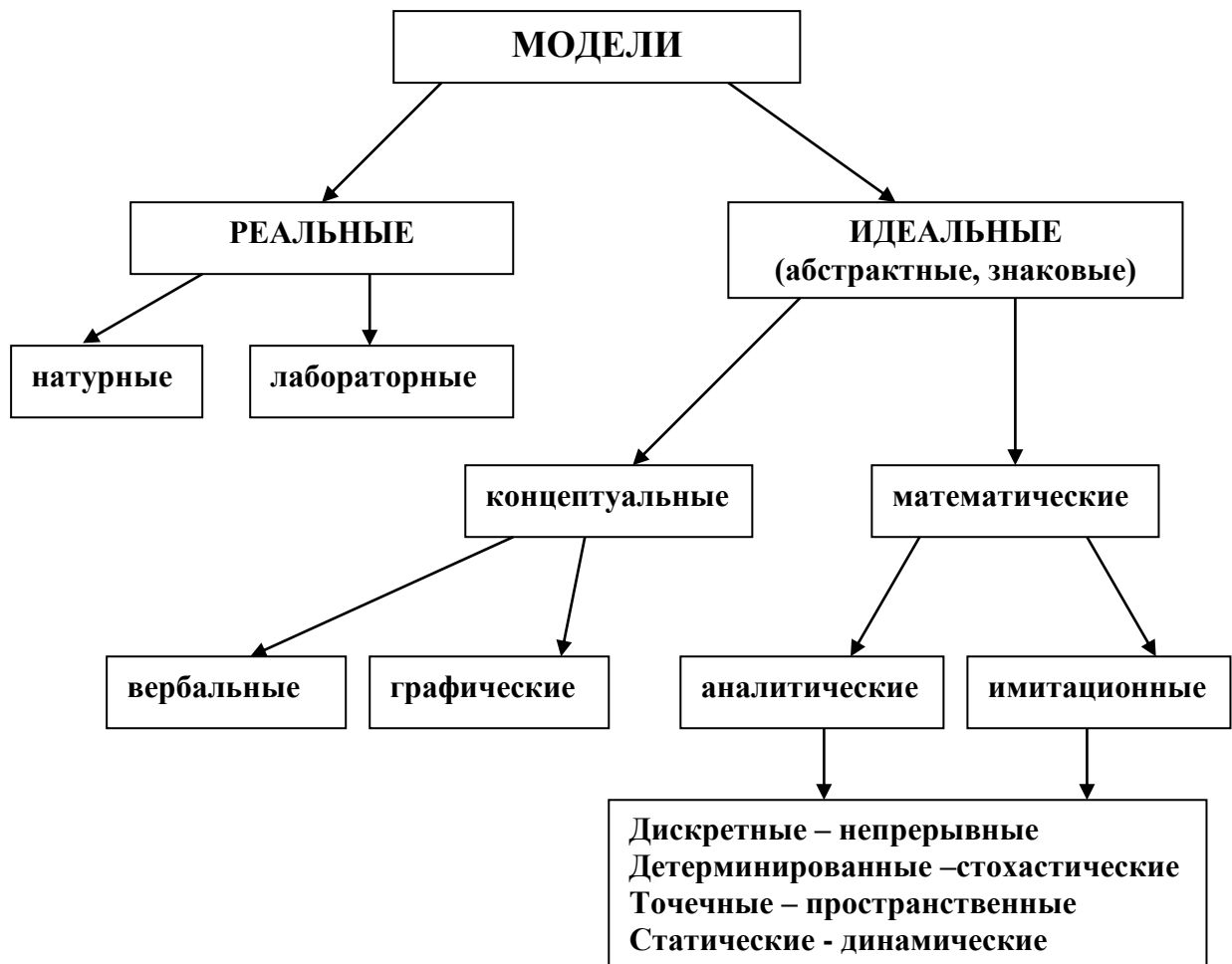


Рис. 2. Классификация моделей в экологии.

Основными видами абстрактных моделей являются:

1. **Вербальные модели** - это чисто словесное описание элементов и процессов экосистем. Оно, конечно, непригодно для целей исследования и прогнозирования систем, но в самом процессе моделирования вербальные модели играют очень важную роль. Чем ближе к реальности вербальная модель и чем точнее она охватила сущность экологической системы, тем более верными оказываются созданные на ее базе материальные или другие модели. Успех конструирования вербальных моделей непосредственно зависит от экологической грамотности исследователя и точного использования им терминов и понятий экологии.

2. **Графические модели** представляют собой схематические изображения компонентов системы и связей между ними, подобно тому, как это сделано на рис. 1.

3. **Математические модели** задают экологическую систему в виде одного или нескольких математических выражений. Так, выражение

$$y = y_0 e^{rt}$$

представляет собой простую математическую модель роста популяции. В этом выражении  $y$  - плотность популяции,  $y_0$  - исходная плотность популяции,  $r$  - константа, отражающая способность к увеличению размера популяции у данного вида,  $t$  - время,  $e$  - основание натуральных логарифмов. В данной модели рост популяции полностью определяется, детерминирован параметрами  $y_0$ ,  $r$  и  $t$ . Поэтому рассматриваемая разновидность моделей называется детерминистскими. Но биолого-экологические процессы редко имеют жесткую предопределенность. Чаще всего они зависят от случайных, стохастических колебаний значений какого-то одного или нескольких параметров данной системы. Так, стохастический характер может иметь освещенность в течение суток из-за непредсказуемого движения облаков, чисто случайным оказывается посещение насекомым-опылителем конкретного цветка и т.п. Введение стохастического компонента в математические модели, как оказалось, улучшает их соответствие реальности и повышает достоверность прогнозов. Модели такого рода называют стохастическими. Для их реализации в математические выражения включают переменные, значения которых имеют случайный характер и лежат в пределах некоторой амплитуды.

Использование математических моделей требует от эколога достаточно свободного владения математическим аппаратом. Это проблема образования, и при подготовке экологов курсы математики и моделирования оказываются обязательными. Расчетная часть в настоящее время решается за счет привлечения ЭВМ и профессиональных программистов.

Математические модели являются мощным инструментом современной экологии. Но метод абстрактного моделирования имеет и свои слабые стороны. Экологическая интерпретация математических выражений, полученных после преобразования исходных уравнений, часто очень непроста. Сложные математические модели крайне трудно решаемы, а простые сильно упрощают реалии природы и дают тривиальные результаты. Опыт работы по Международной биологической программе показал нецелесообразность моделирования целых экосистем. Метод моделирования целых экосистем требует больших затрат и много времени. Так, разработка модели низкотравной прерии в США заняла 8 лет, над ней работали 200 ученых из США и ряда зарубежных государств и общие расходы составили 10 млн. долларов. Целесообразнее моделировать отдельные подсистемы. К тому же очень большие системы, такие как биосфера, практически не моделируются из-за огромного числа связей имеющихся в них и высокой значимости случайных факторов.



## Моделирование экосистем с использованием орграфов

Основой решения многокомпонентных задач являются **ориентированные графы (орграфы)**. Начало теории графов было положено Л. Эйлером в 1736 г. в его знаменитом рассуждении о кенигсбергских мостах, но как самостоятельная дисциплина она сформировалась в 30-е годы XX века. Теория графов многогранна, так же как и разнообразно ее применение в технике, экономике, генетике, химии и др. отраслях науки.

Основы теории графов и некоторые предложения достаточно хорошо изложены в специальной литературе. При решении многокомпонентных задач рассматривается лишь определенный вариант теории графов — ориентированные графы. При этом большое внимание уделяется отображению в формируемых моделях эколого-экономических систем **обратных связей**, которые присутствуют в любой сложной системе. Благодаря наличию обратных связей в моделях, результаты моделирования (анализа и прогноза) оказываются более достоверными, чем при использовании математического аппарата, который эти обратные связи отобразить не способен. Наглядность и простота реализации аппарата решения многокомпонентных задач делают их доступными для широкого круга специалистов, не обладающих глубокими познаниями в области прикладной математики.

Геометрически ориентированный граф можно представить в виде набора вершин, обозначаемых кружками, и дуг, соединяющих эти вершины. *Дуга* задает направление от одной вершины к другой. На рис. 3 показан орграф из четырех вершин.

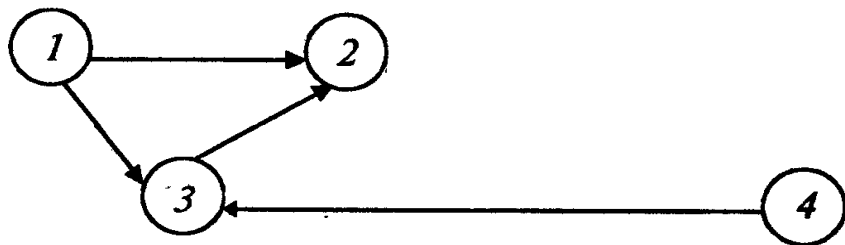


Рис. 3. Пример ориентированного графа

**Путем** в орграфе называется такая конечная последовательность дуг, в которой начало каждой последующей дуги совпадает с концом предыдущей. Дуги можно обозначить парой вершин, которые она соединяет. Например, от вершины 1 к вершине 2 ведет два пути: первый путь  $\{(1,2)\}$  и второй путь  $\{(1,3);(3,2)\}$ . Путь можно записать в виде последовательности вершин, через который он проходит. Например, второй путь можно записать следующим образом:  $\{1,3,2\}$ .

**Контуром** называется путь, начальная вершина которого совпадает с конечной. В орграфе, представленном на рис. 3, нет контура. Орграф с контуром, проходящим через вершины 2, 4 и 3, представлен на рис. 4.

Вершины, в которые не заходят дуги, называются **начальными**. Вершины, из которых не выходит ни одной дуги, называются **конечными**.

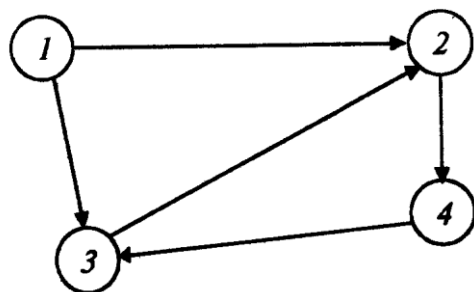


Рис. 4. Пример орграфа с контуром

**Матрицей смежности** вершин орграфа называется квадратная матрица, каждый элемент которой численно равен единице, если есть дуга, идущая от вершины  $i$  к вершине  $j$ . Если такой дуги нет, то элемент  $ij$  матрицы смежности равен нулю. При решении многокомпонентных задач используются орграфы, в которых любые вершины  $i$  и  $j$  может непосредственно соединять только одна дуга.

В табл. 1 показана матрица смежности для орграфа, представленного на рис. 4.

Таблица 1

Матрица смежности для орграфа, представленного на рис. 4

Показатель $i$	Показатель $j$			
	1	2	3	4
1	0	1	1	0
2				
3				
4				

Ориентированные графы - основа представления многокомпонентных систем. В качестве вершин используются показатели, а дуги указывают влияние изменения одного показателя на изменение другого показателя. Построенную модель можно сделать более информативной, если дугам орграфа приписать знак "плюс" или "минус". Знак "плюс" ставится в том случае, если при увеличении значения показателя, от которого идет дуга, показатель, к которому дуга приходит, увеличивается. Знак "минус" ставится в обратном случае. Полученный орграф называется **знаковым**. Поскольку на дугах знакового орграфа стоит +1 или -1, то этот коэффициент обозначим  $e_{ij}$ .

**Задание 1.** Заполните до конца таблицу смежности для орграфа, представленного на рис. 4. Первая строка таблицы заполнена в качестве примера

Орграф развития промышленного региона и состояния окружающей природной среды в регионе показан на рис. 5.

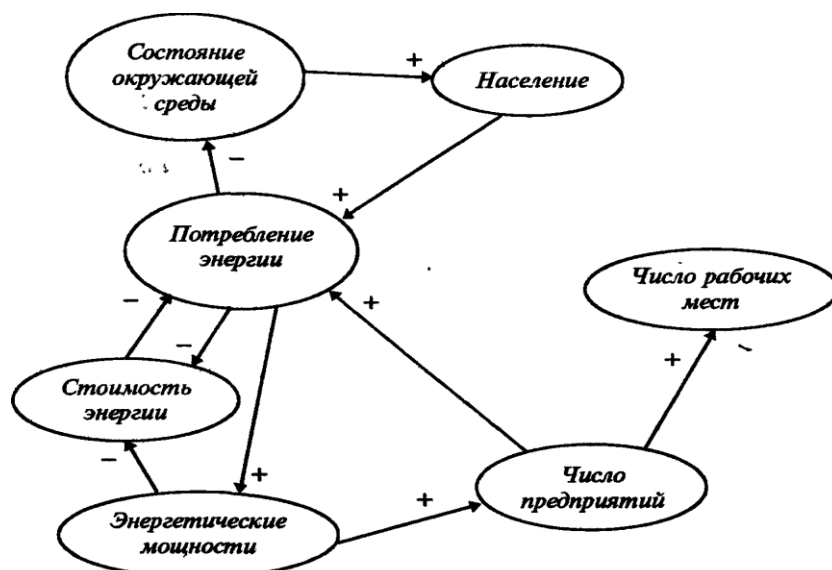


Рис. 5. Орграф развития промышленного региона и состояния окружающей природной среды

**Задание 2. Постройте орграф, отражающий проблему состояния окружающей среды и развития крупного промышленного центра (рис. 6).**

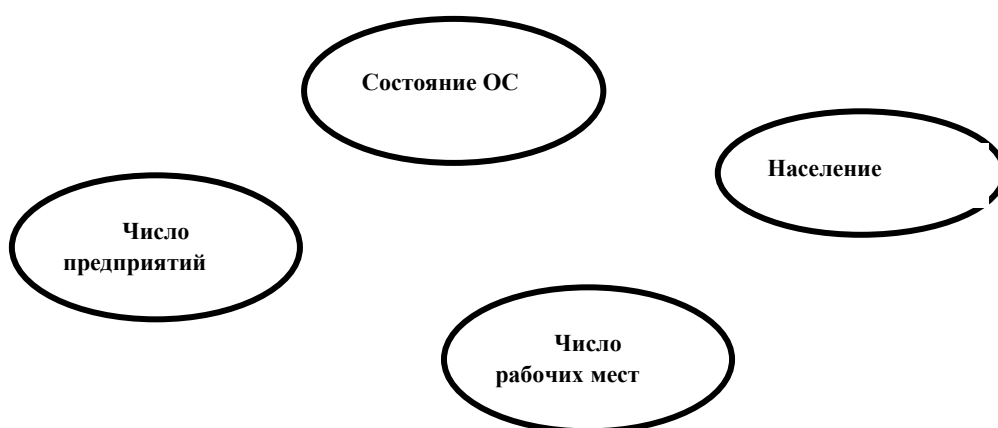


Рис. 6. Компоненты знакового орграфа для изучения развития промышленного центра и состояния окружающей природной среды

Основой моделирования многокомпонентных задач являются **импульсные процессы**. Сущность импульсного процесса состоит в том, что какой-либо вершине задается определенное изменение. Эта вершина актуализирует всю систему показателей, поэтому называется **активной** или **активизирующей**. Таких вершин может быть несколько — обычно исследователь сам должен указать активизирующие вершины и начальные изменения в этих вершинах. Предположим, что в модели, представленной знаковым орграфом на рис. 6, начальные значения всех показателей равны нулю, а активизирующая вершина —

**численность промышленных предприятий** с начальным изменением, равным 1. Значения в других вершинах будут меняться с каждым шагом имитации  $t$ , причем это изменение может быть определено согласно формуле:

$$v_j^t = v_j^{t-1} + \sum_{ij} e_{ij} \cdot p_i^t$$

$$p_i^t = v_i^t - v_i^{t-1}$$

**Задание 3. Выполните расчет изменений значений показателей рассматриваемой модели. Данные сведите в табл. 2**

Для ускорения выполнения расчетов составьте общие зависимости для каждой вершины. Первые четыре колонки таблицы заполнена в качестве примера, что позволяет Вам проверить свое понимание методики расчета.

Таблица 2.

Моделирование изменений показателей знакового орграфа (рис.6)

Показатель $i$	Номер итерации $t$													
	0		1		2		3		4		5		6	
	$v_i^t$	$p_i^t$	$v_i^t$	$p_i^t$	$v_i^t$	$p_i^t$	$v_i^t$	$p_i^t$	$v_i^t$	$p_i^t$	$v_i^t$	$p_i^t$	$v_i^t$	$p_i^t$
1. Состояние окружающей среды	0	0	-2	-2										
2. Население	+1	+1	+1	0										
3. Число предприятий	+1	+1	+2	+1										
4. Число рабочих мест	0	0	+1	+1										

Примечание: активирующие вершины – население и число предприятий.

**Задание 4. Постройте график изменения всех четырех показателей.**

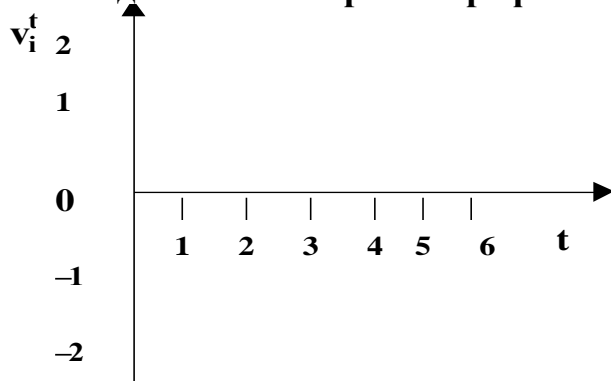


Рис. 7. График изменения показателей в соответствии с результатами моделирования на основе орграфа на рис. 6

В рассматриваемых моделях есть важнейшая особенность — контур в формируемом орграфе обеспечивает моделирование *обратной связи* — неотъемлемого элемента любой сложной эколого-экономической системы. Есть контуры, которые усиливают тенденцию к отклонению от начального состояния. Такие контуры называют *контурами положительной обратной связи*. Контуры, которые подавляют тенденцию отклонения от начального состояния, называют *контурами отрицательной обратной связи*. Например, контур, представленный на рис. 8, характеризует подавление тенденции отклонения от начального состояния.

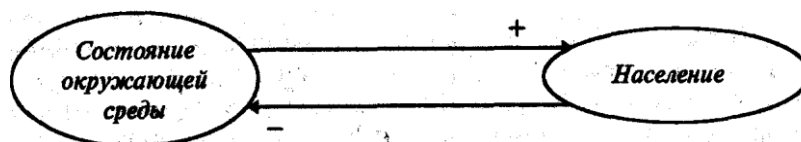


Рис. 8. Контур отрицательной обратной связи

Контур *положительной* обратной связи содержит *четное число дуг со знаком "минус"*, контур *отрицательной* обратной связи — *нечетное число дуг со знаком "плюс"*.

Наличие в модели многих контуров, усиливающих отклонение, предполагает *неустойчивость*. В то же время наличие многих контуров, противодействующих отклонению, также может приводить к неустойчивости за счет увеличения колебаний. Если колебания показателей затухают и система приходит в определенное состояние, характеризующееся определенным уровнем показателей, то данная система *устойчива*. Различают абсолютную устойчивость и импульсную устойчивость. *Абсолютная устойчивость* предполагает ограниченность значений в последовательности  $v_i^t, t=1,2,\dots$ . *Импульсная устойчивость* предполагает ограниченность значений в последовательности  $p_i^t, t=1,2,\dots$ .

Сфера применения орграфов еще больше расширяется, если использовать не знаковые, а взвешенные орграфы. Во *взвешенном орграфе* каждой дуге присваивается не знак, а коэффициент, больший или меньший единицы (со своим знаком). Импульсная или абсолютная устойчивость взвешенного орграфа предупреждает о том, что в системе что-то не в порядке, необходимо изменить структуру системы (добавить новые вершины, удалить или добавить дуги, изменить коэффициенты) или провести искусственное регулирование.

**Задание 5. Сделайте вывод об устойчивости рассматриваемой системы.**

**Задание 6.** Исходя из реальной ситуации, описанной ниже, постройте орграф, отображающий сброс сточных вод при развитии г. Сан-Диего и их воздействие на биологическую систему "водоросли *Macrocystis* — морские ежи". Постройте график изменения параметров. Ознакомьтесь с предложенными в г. Сан-Диего мероприятиями. Смоделируйте систему после внедрения мероприятий и сделайте вывод о целесообразности выбранных мероприятий.

Водоросли *Macrocystis* развиваются из одной парящей в планктоне клет-

ки, прикрепляются ко дну на глубине от 8 до 25 метров. Растение прочно прикрепляется ко дну своими ризоидами, а его листовидный таллом тянется к поверхности, удерживаемый в вертикальном положении пузырьками, наполненными газом. Зрелые водоросли образуют густые заросли и играют большую роль в общей экологии морских систем. Эти водоросли являются продуцентами, создают убежища для популяций рыб, из них изготавливают удобрения для сельского хозяйства.

По сравнению с другими водорослями *Macrocystis* живет долго — от 1 года до 10 лет. Гибель водорослей обуславливается штормами, высокой температурой воды, выеданием рыбой и морскими ежами. При гибели по той или иной причине водоросли восстанавливаются вновь. Взаимодействие между водорослями и морскими ежами представляет собой устойчивую систему, которую можно выразить с помощью следующего орграфа (рис. 9).

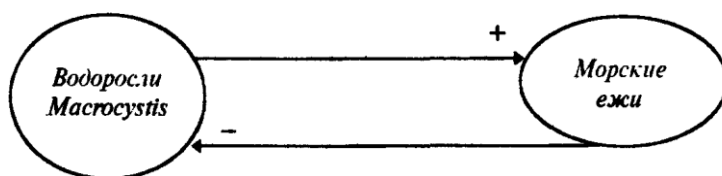


Рис. 9. Орграф стабильной системы "водоросли *Macrocystis* — морские ежи"

Импульсный процесс для такого орграфа порождает периодические колебания, что полностью согласуется с реальным процессом, происходящим на побережье.

Начиная с 1940 г. заросли водорослей *Macrocystis* на указанном участке побережья стали исчезать в результате сброса сточных вод, увеличивающегося по мере развития г. Сан-Диего. На свободных участках побережья оказалось огромное количество морских ежей. Обычно при исчезновении водорослей вслед за ними исчезали и морские ежи, благодаря этому заросли имели возможность восстанавливаться. Оказалось, что морские ежи могут питаться за счет сточных вод, которые несут взвешенные и растворенные органические вещества. Таким образом, биологическое равновесие было нарушено, и водоросли были обречены на вымирание.

**Отобразите данную ситуацию в виде знакового орграфа в соответствии с заданием 6. Постройте график изменения параметров. Подтверждают ли полученные графики фактические данные о катастрофическом уменьшении популяции водорослей?**

Для борьбы с морскими ежами природоохранные органы решили сбрасывать негашеную известь (окись кальция), а затем вновь заселять участки побережья молодыми водорослями. *Мероприятия имели разовый характер.*

**Продемонстрируйте такое решение в виде следующей модели, орграф которой изобразите на рисунке. Постройте график изменения параметров. Сделайте вывод о целесообразности разовых мероприятий. Предложите свои мероприятия.**

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

1. Изучите общие сведения о методах исследований в экологии.
2. Последовательно выполните задания 1-6.
3. Сделайте выводы о возможностях моделирования в экологии.

### Состав отчета

1. Цель работы.
2. Матрица смежности.
3. Знаковый оргграф для изучения развития промышленного центра и состояния окружающей природной среды.
4. Таблица и график моделирования показателей знакового оргграфа.
5. Выводы по заданиям 1-5.
6. Результаты выполнения задания 6.
7. Вывод по п. 3 «Порядка выполнения работы».

### Литература

1. Экология. Учебник для технических вузов /Л.И. Цветкова, М.И. Алексеев и др.; Под ред. Л.И. Цветковой. – М.: Изд-во АСВ; СПб: Химиздат, 1999. – 488 с.
2. Гирусов Э.В. и др. Экология и экономика природопользования: Учебник для вузов/Под ред. Проф. Э.В. Гирусова. – М.: Закон и право, ЮНИТИ, 1998.-455 с.
3. Зыков А.А. Основы теории графов.- М.: Наука. Гл. ред. Физ-мат. лит., 1987.- 384 с.