

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Б1.В.ОД.4.2 Моделирование лесных экосистем*

Направление подготовки: *35.06.02 Лесное хозяйство*

Направленность (профиль) программы: *Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация*

Квалификация: *Исследователь. Преподаватель-исследователь*

Форма обучения: *очная*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1.</b>	<b>Конспект лекций</b> Л-1 Введение в дисциплину Л-2 Состав, этапы и виды моделирования Л-3,4 Предмет и метод математической статистики Л-5,6 Основные характеристики и модели распределения Л-7,8 Планирование эксперимента и сбор данных Л-9,10 Моделирование состояния лесных экосистем	
<b>2.</b>	<b>Методические материалы по выполнению лабораторных работ .....</b>	
<b>3.</b>	<b>Методические материалы по проведению практических занятий .....</b>	
<b>3.1</b>	<b>Практическое занятие №1 Цели и задачи моделирования экосистем .....</b>	
<b>3.2</b>	<b>Практическое занятие №2 Моделирование в экологии .....</b>	
<b>3.3</b>	<b>Практическое занятие №3 Предмет и метод математической статистики ....</b>	
<b>3.4</b>	<b>Практическое занятие №4, 5 Работа с малой и большой выборками .....</b>	
<b>3.5</b>	<b>Практическое занятие №6, 7 Корреляция: связь между признаками .....</b>	
<b>3.6</b>	<b>Практическое занятие №8 Регрессионный анализ .....</b>	
<b>3.7</b>	<b>Практическое занятие № 9 Дисперсионный анализ .....</b>	
<b>3.8</b>	<b>Практическое занятие № 10 Моделирование состояния лесных экосистем...</b>	
<b>4.</b>	<b>Методические материалы по проведению семинарских занятий .....</b>	

## 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Л-1	Введение в дисциплину
Л-2	Состав, этапы и виды моделирования
Л-3,4	Предмет и метод математической статистики
Л-5,6	Основные характеристики и модели распределения
Л-7,8	Планирование эксперимента и сбор данных
Л-9,10	Моделирование состояния лесных экосистем

### Л-1 Введение в дисциплину

Сам по себе процесс моделирования в полной мере не формализован, большая роль в этом принадлежит опыту инженера. Но, тем не менее, рассматриваемый в теме процесс создания модели в виде шести этапов может стать основой для начинающих и с накоплением опыта может быть индивидуализирован.

Математическая модель, являясь абстрактным образом моделируемого объекта или процесса, не может быть его полным аналогом. Достаточно сходства в тех элементах, которые определяют цель исследования. Для качественной оценки сходства вводится понятие адекватности модели объекту и, в связи с этим, раскрываются понятия изоморфизма и изофункционализма. Формальных приемов, позволяющих автоматически, "бездумно", создавать адекватные математические модели, нет.

Окончательное суждение об адекватности модели дает практика, то есть сопоставление модели с действующим объектом. И, тем не менее, усвоение всех последующих тем пособия позволит инженеру справляться с проблемой обеспечения адекватности моделей.

Завершается тема изложением требований к моделям, которые были сформулированы Р. Шенноном на заре компьютерного моделирования тридцать лет назад в книге "Имитационное моделирование систем - искусство и наука". Актуальность этих требований сохраняется и в настоящее время.

Лес как объект хозяйственной деятельности человека одновременно является и объектом его научных исследований. Поскольку лесные насаждения — это сложные природные образования, то и научное их изучение требует от исследователя знания разнообразных методов анализа. Лес - составная часть географического ландшафта и состоит из совокупности разных видов деревьев, кустарников, трав, мхов, животных и микроорганизмов, разнообразно взаимосвязанных и влияющих друг на друга и на окружающую среду. Однако, лес следует рассматривать не только в пространстве, но и во времени, учитывая его собственное развитие. Эти динамические процессы являются результатом сложных взаимоотношений между составляющими его организмами (борьба за существование и естественный отбор, постоянное обновление и развитие, процессы обмена веществ и энергии).

Лес создает свою внутреннюю структуру и особую биологическую обстановку для животных и микроорганизмов. Здесь не только растения приспосабливаются друг к другу, но и животные к растениям. На все это оказывает влияние и условия внешней среды. Совокупность растений, животных и микроорганизмов, характеризующихся определенными отношениями между собой, приспособленностью к окружающей среде, называется биоценозом. Биоценоз, формируясь под влиянием взаимодействующих живых существ и условий среды, сам оказывает преобразующее действие на условия среды.

Вместе с условиями среды он образует единство, представляющее качественно новую составную часть природы. Такое единство между живыми организмами и средой их существования и есть биогеоценоз. По определению В.Н. Сукачева, «биогеоценоз - это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных условий (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и

энергией их между собой и с другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее противоречивое единство, находящееся в постоянном движении, развитии».

## **Л-2 Состав, этапы и виды моделирования**

Практика свидетельствует: самое лучшее средство для определения свойств объекта - натурный эксперимент, т. е. исследование свойств и поведения самого объекта в нужных условиях. Дело в том, что при проектировании невозможно учесть многие факторы, расчет ведется по усредненным справочным данным, используются новые, недостаточно проверенные элементы (прогресс нетерпелив!), меняются условия внешней среды и многое другое. Поэтому натурный эксперимент - необходимое звено исследования. Неточность расчетов компенсируется увеличением объема натурных экспериментов, созданием ряда опытных образцов и "доводкой" изделия до нужного состояния. Так поступали и поступают при создании, например, телевизора или радиостанции нового образца.

Однако во многих случаях натурный эксперимент невозможен.

Например, наиболее полную оценку новому виду вооружения и способам его применения может дать война. Но не будет ли это слишком поздно?

Натурный эксперимент с новой конструкцией самолета может вызвать гибель экипажа. Натурное исследование нового лекарства опасно для жизни человека. Натурный эксперимент с элементами космических станций также может вызвать гибель людей.

Время подготовки натурального эксперимента и проведение мероприятий по обеспечению безопасности часто значительно превосходят время самого эксперимента. Многие испытания, близкие к граничным условиям, могут протекать настолько бурно, что возможны аварии и разрушения части или всего объекта.

Из сказанного следует, что натурный эксперимент необходим, но в то же время невозможен либо нецелесообразен. Выход из этого противоречия есть и называется он "моделирование".

**Моделирование** - это замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала. Отсюда следует.

**Моделирование** - это, во-первых, процесс создания или отыскания в природе объекта, который в некотором смысле может заменить исследуемый объект. Этот промежуточный объект называется моделью. Модель может быть материальным объектом той же или иной природы по отношению к изучаемому объекту (оригиналу).

Модель может быть мысленным объектом, воспроизводящим оригинал логическими построениями или математическими формулами и компьютерными программами.

**Моделирование**, во-вторых, это испытание, исследование модели. То есть, моделирование связано с экспериментом, отличающимся от натурального тем, что в процесс познания включается "промежуточное звено" - модель.

Следовательно, модель является одновременно средством эксперимента и объектом эксперимента, заменяющим изучаемый объект.

Моделирование, в-третьих, это перенос полученных на модели сведений на оригинал или, иначе, приписывание свойств модели оригиналу. Чтобы такой перенос был оправдан, между моделью и оригиналом должно быть сходство, подобие.

Подобие может быть физическим, геометрическим, структурным, функциональным и т. д. Степень подобия может быть разной - от тождества во всех аспектах до сходства только в главном. Очевидно, модели не должны воспроизводить полностью все стороны изучаемых объектов. Достижение абсолютной одинаковости сводит моделирование к натурному эксперименту, о возможности или целесообразности которого было уже сказано.

Остановимся на основных целях моделирования.

**Прогноз** - оценка поведения системы при некотором сочетании ее управляемых и неуправляемых параметров. Прогноз – главная цель моделирования.

Объяснение и лучшее понимание объектов. Здесь чаще других встречаются задачи оптимизации и анализа чувствительности.

**Оптимизация** - это точное определение такого сочетания факторов и их величин, при котором обеспечиваются наилучший показатель качества системы, наилучшее по какому-либо критерию достижение цели моделируемой системой. Анализ чувствительности - выявление из большого числа факторов тех, которые в наибольшей степени влияют на функционирование моделируемой системы. Исходными данными при этом являются результаты экспериментов с моделью.

Часто модель создается для применения в качестве средства обучения: модели-тренажеры, стенды, учения, деловые игры и т. п.

Моделирование как метод познания применялось человечеством - осознанно или интуитивно - всегда. На стенах древних храмов предков южно-американских индейцев обнаружены графические модели мироздания. Учение о моделировании возникло в средние века. Выдающаяся роль в этом принадлежит Леонардо да Винчи (1452-1519).

Гениальный полководец А. В. Суворов перед атакой крепости Измаил тренировал солдат на модели измаильской крепостной стены, построенной специально в тылу.

Наш знаменитый механик-самоучка И. П. Кулибин (1735-1818) создал модель одноарочного деревянного моста через р. Неву, а также ряд металлических моделей мостов. Они были полностью технически обоснованы и получили высокую оценку российскими академиками Л. Эйлером и Д. Бернулли. К сожалению, ни один из этих мостов не был построен.

Огромный вклад в укрепление обороноспособности нашей страны внесли работы по моделированию взрыва - генерал-инженер Н. Л. Кирпичев, моделированию в авиастроении - М. В. Келдыш, С. В. Ильюшин, А. Н. Туполев и др., моделированию ядерного взрыва - И. В. Курчатов, А. Д. Сахаров, Ю. Б. Харитон и др.

Широко известны работы Н. Н. Моисеева по моделированию систем управления. В частности, для проверки одного нового метода математического моделирования была создана математическая модель Синопского сражения - последнего сражения эпохи парусного флота. В 1833 году адмирал П. С. Нахимов разгромил главные силы турецкого флота. Моделирование на вычислительной машине показало, что Нахимов действовал практически безошибочно. Он настолько верно расставил свои корабли и нанес первый удар, что единственное спасение турок было отступление. Иного выхода у них не было. Они не отступили и были разгромлены.

Сложность и громоздкость технических объектов, которые могут изучаться методами моделирования, практически неограниченны. В последние годы все крупные сооружения исследовались на моделях - плотины, каналы, Братская и Красноярская ГЭС, системы дальних электропередач, образцы военных систем и др. объекты.

Поучительный пример недооценки моделирования - гибель английского броненосца "Кэптен" в 1870 году. В стремлении еще больше увеличить свое тогдашнее морское могущество и подкрепить империалистические устремления в Англии был разработан суперброненосец "Кэптен". В него было вложено все, что нужно для "верховой власти" на море: тяжелая артиллерия во вращающихся башнях, мощная бортовая броня, усиленное парусное оснащение и очень низкими бортами - для меньшей уязвимости от снарядов противника. Консультант инженер Рид построил математическую модель устойчивости "Кэптена" и показал, что даже при

незначительном ветре и волнении ему грозит опрокидывание. Но лорды Адмиралтейства настояли на строительстве корабля. На первом же учении после спуска на воду налетевший шквал перевернул броненосец. Погибли 523 моряка. В Лондоне на стене одного из соборов прикреплена бронзовая плита, напоминающая об этом событии и,

добавим мы, о тупоумии самоуверенных лордов Британского Адмиралтейства, пренебрегших результатами моделирования.

Каждая модель создается для конкретной цели и, следовательно, уникальна. Однако наличие общих черт позволяет сгруппировать все их многообразие в отдельные классы, что облегчает их разработку и изучение. В теории рассматривается много признаков классификации и их количество не установилось. Тем не менее, наиболее актуальны следующие признаки классификации:

- характер моделируемой стороны объекта;
- характер процессов, протекающих в объекте;
- способ реализации модели.

#### 1.2.1. Классификация моделей и моделирования по признаку "характер моделируемой стороны объекта"

В соответствии с этим признаком модели могут быть:

- функциональными (кибернетическими);
- структурными;
- информационными.

Функциональные модели отображают только поведение, функцию моделируемого объекта. В этом случае моделируемый объект рассматривается как "черный ящик", имеющий входы и выходы. Физическая сущность объекта, природа протекающих в нем процессов, структура объекта остаются вне внимания исследователя, хотя бы потому, что неизвестны. При функциональном моделировании эксперимент состоит в наблюдении за выходом моделируемого объекта при искусственном или естественном изменении входных воздействий. По этим данным и строится модель поведения в виде некоторой математической функции.

Компьютерная шахматная программа - функциональная модель работы человеческого мозга при игре в шахматы.

Структурное моделирование это создание и исследование модели, структура которой (элементы и связи) подобна структуре моделируемого объекта. Как мы выяснили ранее, подобие устанавливается не вообще, а относительно цели исследования. Поэтому она может быть описана на разных уровнях рассмотрения.

Наиболее общее описание структуры - это топологическое описание с помощью теории графов.

Учение войск - структурная модель вида боевых действий.

#### 1.2.2. Классификация моделей и моделирования по признаку "характер процессов, протекающих в объекте"

По этому признаку модели могут быть детерминированными или стохастическими, статическими или динамическими, дискретными или непрерывными или дискретно - непрерывными.

Детерминированные модели отображают процессы, в которых отсутствуют случайные воздействия.

Стохастические модели отображают вероятностные процессы и события.

Статические модели служат для описания состояния объекта в какой-либо момент времени.

Динамические модели отображают поведение объекта во времени.

Дискретные модели отображают поведение систем с дискретными состояниями.

Непрерывные модели представляют системы с непрерывными процессами.

Дискретно-непрерывные модели строятся тогда, когда исследователя интересуют оба эти типа процессов.

Очевидно, конкретная модель может быть стохастической, статической, дискретной или какой-либо другой

Следует отметить, что лесные биогеоценозы характеризуются высокой изменчивостью в пространстве, поскольку условия микросреды в их границах всегда несколько отличаются друг от друга.

Большая вариабельность (изменчивость) признаков обусловлена и хозяйственной деятельностью человека. Изменение климатических и погодных условий, периодические их колебания могут еще больше увеличить вариабельность лесных биогеоценозов. Все это существенно затрудняет процесс исследований.

Большую помощь в этом оказывают статистические методы исследования, которые позволяют получить средние данные с определенной вероятностью и степенью достоверности.

### **Л-3,4 Предмет и метод математической статистики**

Моделирование лесных фитоценозов позволяет количественные изменения массовых явлений представить в виде конкретных математических моделей, тем самым повысить эффективность массовых наблюдений биологических явлений природы при научных исследованиях. Системный подход для моделирования сложных процессов в природе - одна из ведущих идей современного естествознания. Моделирование однородных статистических совокупностей раскрывает перед исследователями динамику причинно-следственных взаимосвязей между составными элементами и показывает, что за случайными явлениями стоят закономерности, которые доступны описанию точными математическими моделями.

При этом особое место занимают методы многомерной статистики, которые позволяют количественные изменения массовых явлений представить математическими моделями, дополнив их корреляционным, регрессионным, дисперсным и другими видами анализа.

При научных исследованиях биологических явлений природы наиболее эффективным является метод массовых наблюдений.

Для этого сначала производят большое количество наблюдений в природе, характеризующих те или иные явления. Собранный материал обрабатывают, анализируют, делают соответствующие выводы и устанавливают те или иные закономерности. Рассмотренный путь установления закономерностей называется прямым индуктивным методом, когда от отдельных фактов переходят к общим положениям. Статистический анализ массовых наблюдений дополняет и углубляет познания биологических явлений природы, позволяет объективно оценить полученные результаты и сделать обоснованные выводы с определенной степенью достоверности. Обработка материалов наблюдения без применения методов математической статистики является неполной и нередко приводит к неправильным выводам в отношении изучаемого явления. После создания математической модели начинается ее применение для исследования некоторого реального процесса. При этом сначала определяется совокупность начальных условий и искомых величин. Здесь возможны несколько способов работы с моделью: аналитическое ее исследование посредством специальных преобразований и решением задач; использование численных методов решения, например метода статистических испытаний или метода МонтеКарло, методами имитационного моделирования случайных процессов, а также посредством применения для моделирования компьютерной техники.

При математическом моделировании сложных систем надо учитывать сложность системы. Как справедливо отмечает Н. П. Бусленко, сложная система является многоуровневой конструкцией из взаимодействующих элементов, объединенных в подсистемы различных уровней. Математическая модель сложной системы состоит из математических моделей элементов и математических моделей взаимодействия элементов. Взаимодействие элементов рассматривается обычно как результат совокупности воздействий каждого элемента на другие элементы. Воздействие,

представленное набором своих характеристик, называется сигналом. Поэтому взаимодействие элементов сложной системы изучается в рамках механизма обмена сигналами. Сигналы передаются по каналам связи, располагающимися между элементами сложной системы. Они имеют входы и выходы. При построении математической модели системы учитывают ее взаимодействие с внешней средой. При этом обычно внешнюю среду представляют в виде некоторой совокупности объектов, воздействующих на элементы изучаемой системы. Значительную трудность представляет решение таких задач как отображение качественных переходов элементов и системы из одних состояний в другие, отображение переходных процессов.

Согласно Н. П. Бусленко, механизм обмена сигналами как формализованная схема взаимодействия элементов сложной системы между собой или с объектами внешней среды включает в себя следующие составляющие:

- процесс формирования выходного сигнала элементом, выдающим сигнал;
- определение адреса передачи для каждой характеристики выходного сигнала;
- прохождение сигналов по каналам связи и компоновка входных сигналов для элементов, принимающих сигналы;
- реагирование элемента, принимающего сигнал, на поступивший входной сигнал.

Таким образом, посредством последовательных этапов формализации, “разрезания” исходной задачи на части осуществляется процесс построения математической модели. Особенности кибернетического моделирования

Основы кибернетики заложил известный американский философ и математик профессор Массачусетского технологического института Норберт Винер (1894–1964) в работе “Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине” (1948 г.). Слово “кибернетика” происходит от греческого слова, означающего “кормчий”. Большая заслуга Н. Винера в том, что он установил общность принципов управленческой деятельности для принципиально различных объектов природы и общества.

Управление сводится к передаче, хранению и переработке информации, т.е. к различным сигналам, сообщениям, сведениям. Основная заслуга Н. Винера заключается в том, что он впервые понял принципиальное значение информации в процессах управления. Ныне, по мнению академика А. Н. Колмогорова, кибернетика изучает системы любой природы, способные воспринимать, хранить и перерабатывать информацию и использовать ее для управления и регулирования. Существует известный разброс в определении кибернетики как науки, в выделении ее объекта и предмета. Согласно позиции академика А. И. Берга, кибернетика представляет собой науку об управлении сложными динамическими системами.

Основу категориального аппарата кибернетики составляют такие понятия, как “модель”, “система”, “управление”, “информация”. Неоднозначность определений кибернетики связана с тем, что разные авторы делают акценты на ту или иную базовую категорию. Например, акцентирование на категории “информация” заставляет рассматривать кибернетику как науку об общих законах получения, хранения, передачи и преобразования информации в сложных управляемых системах, а предпочтение категории “управление”— как науку о моделировании управления различными системами.

Подобная неоднозначность вполне правомерна, ибо она обусловлена полифункциональностью кибернетической науки, выполнением ею многообразных ролей в познании и практике. При этом акцентирование интересов на той или иной функции заставляет видеть всю науку в свете этой функции. Такая гибкость кибернетической науки говорит о ее высоком познавательном потенциале.

Современная кибернетика представляет собой неоднородную науку. Она объединяет в себе совокупность наук, которые исследуют управление в системах различной природы с формальных позиций.

Потоки вещества, энергии, информации воздействуют на “входы” элемента, формируют на его состояния и обеспечивают функционирование на “выходах”. Количественной мерой взаимодействия “входа” и “выхода” выступает интенсивность, которая представляет собой соответственно количество вещества, энергии, информации на единицу времени. Причем это взаимодействие непрерывное или дискретное. Теперь можно строить математические функции, которые описывают поведение элемента.

Кибернетика рассматривает систему как единство управляющих и управляемых элементов. Управляемые элементы называются управляемым объектом, а управляющие управляющей системой. Структура управляющей системы строится по иерархическому принципу. Управляющая система и управляемая (объект) связаны между собой прямыми и обратными связями

а кроме того, каналами связи. Управляющая система по каналу прямой связи воздействует на управляемый объект, корректируя воздействия на него окружающей среды. Это приводит к изменению состояния объекта управления и он меняет свое воздействие на окружающую среду. Заметим, что обратная связь может быть внешней, как это показано на рис. 23, или внутренней, которая обеспечивает внутреннее функционирование системы, ее взаимодействие с внутренней средой.

Кибернетические системы представляют собой особый вид системы. Как отмечает Л. А. Петрушенко, кибернетическая система удовлетворяет, по крайней мере, трем требованиям: “1) она должна иметь определенный уровень организованности и особую структуру; 2) быть поэтому способной воспринимать, хранить, перерабатывать и использовать информацию, т.е. представлять собой информационную систему; 3) обладать управлением по принципу обратной связи. Кибернетическая система — это динамическая система, представляющая собой совокупность каналов и объектов связи

и обладающая структурой, позволяющей ей извлекать (воспринимать) информацию из своего взаимодействия со средой или другой системой и использовать эту информацию для самоуправления по принципу обратной связи”.

Определенный уровень организованности означает:

- интеграцию в кибернетической системе управляемой и управляющей подсистем;
- иерархичность управляющей подсистемы и принципиальную сложность управляемой подсистемы;
- наличие отклонений управляемой системы от цели или от равновесия, что приводит к изменению ее энтропии. Это предопределяет необходимость выработки управленческого воздействия на нее со стороны управляющей системы.

Информация — основа кибернетической системы, которая ее воспринимает, перерабатывает и передает. Информация представляет собой сведения, знания наблюдателя о системе, отражение ее меры разнообразия. Она определяет связи между элементами системы, ее “вход” и “выход”.

#### **Л-5,6 Основные характеристики и модели распределения**

Системное моделирование представляет собой совокупность конкретных разновидностей моделирования, наиболее важные среди которых:

- атрибутивное, направленное на систематизацию информации о свойствах объектов. При этом используются различного рода классификации, матрицы, таблицы, которые позволяют систематизировать свойства объектов, выделить главные и второстепенные;
- структурное, обеспечивающее представление структуры объекта или процесса моделирования;
- организационное, предполагающее изучение организации системы;
- функциональное, ориентированное на построение и исследование функций изучаемого явления;

- структурно-функциональное, ставящее своей целью исследование взаимосвязи структуры и функции изучаемого объекта или процесса;
- витальное, направленное на представление и изучение тех или иных этапов жизненного пути системы.

Системное моделирование не ограничивается удовлетворением простого любопытства по отношению к модели. Оно очень прагматично. Его важнейшим назначением выступает не просто получение знаний о системе, а ее оптимизация. Это поиск оптимума характеристик системы в соответствии с некоторыми критериями оптимальности. Математика оперирует понятием “оптимума функции”. Оптимум функции  $f(x)$  на множестве  $M$  есть частное значение  $f(x_0)$  этой функции, удовлетворяющее одному из соотношений:  $f(x_0)$  больше и равно  $f(x)$  для всех  $x$  из  $M$  (глобальный максимум) или для всех  $f(x_0)$  меньше и равно  $f(x)$  для всех  $x$  из  $M$  (глобальный минимум). Точка оптимума функции  $f(x)$  на множество  $M$  является одной из точек экстремума этой функции на множестве  $M$ .

Системное моделирование ориентировано на поиск в системной модели оптимальных характеристик в целях преобразования по принципам оптимальности реальных объектов практической деятельности людей.

Возможности математического моделирования. Для любого объекта моделирования свойственны качественные и количественные характеристики. Математическое моделирование отдает предпочтение выявлению количественных особенностей и закономерностей развития систем. Это моделирование в значительной мере абстрагируется от конкретного содержания системы, но обязательно учитывает его, пытаясь отобразить систему посредством аппарата математики. Истинность математического моделирования, как и математики в целом, проверяется не путем соотнесения с конкретной эмпирической ситуацией, а фактом выводимости из других предложений.

При научных исследованиях биологических явлений природы наиболее эффективным является метод массовых наблюдений. Для этого сначала производят большое количество наблюдений в природе, характеризующих те или иные явления. Собранный материал обрабатывают, анализируют, делают соответствующие выводы и устанавливают те или иные закономерности. Рассмотренный путь установления закономерностей называется прямым индуктивным методом, когда от отдельных фактов переходят к общим положениям. Статистический анализ массовых наблюдений дополняет и углубляет познания биологических явлений природы, позволяет объективно оценить полученные результаты и сделать обоснованные выводы с определенной степенью достоверности. Обработка материалов наблюдения без применения методов математической статистики является неполной и нередко приводит к неправильным выводам в отношении изучаемого явления.

### **Л-7,8 Планирование эксперимента и сбор данных**

Для наглядности научного исследования и при большой выборке (25-30 и более единиц наблюдения) исходные опытные данные группируются в вариационный ряд. Вариационный ряд показывает число повторений значений признака, по которому изучается статистическая совокупность.

Вариационный ряд имеет варианты, интервалы, численности и частности.

Варианта - это признак, по которому изучается статистическая совокупность (диаметр, высота, протяженность безсучковой зоны и т.д.). Интервал - величина (шаг) ступени (класса) или какой-либо градации.

Численность - это число единиц наблюдения.

Частность - это процентное отношение численности интервала от общего количества единиц наблюдения. При составлении вариационного ряда важно правильно установить

число интервалов, зависимое от количества единиц наблюдения. Здесь можно воспользоваться формулой:

$$k = \sqrt[3]{n} + 3,322 \lg n, \quad (1.8)$$

где  $k$  - число интервалов;

$n$  - численность выборки.

Для удобства можно воспользоваться следующими продержками:

Численность: 2 5 - 4 0 41 - 6 0 61 - 1 0 0 101 - 2 0 0 > 201

Количество интервалов: 5 - 6 6 - 8 7 - 1 0 8 - 1 2 9 - 1 5

После определения числа интервалов рассчитывают их величину, т.е. шаг ступени. Для этого разность между максимальным и минимальным значением вариационного ряда делят на число интервалов:

$$\frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} \quad (1.9)$$

где  $x_{\max}$  - максимальная варианта,

$x_{\min}$  - минимальная варианта.

Величину интервала следует округлять до целых единиц. Округление шага ступени приводит к увеличению или уменьшению количества интервалов при разности по ним вариант. Для правильного построения вариационного ряда необходимо чтобы фактическое количество ступеней не отличалось более чем на две от расчетного.

Для установления пределов класса, необходимо начиная от минимальной варианты последовательно прибавлять шаг ступени. При этом значение нижнего предела первой ступени можно принимать меньше минимальной варианты, так, чтобы среднее значение класса было целым числом. Среднее значение интервала иначе называют ступенью вариационного ряда - это полу сумма предельных значений интервала. Значение вариант разносятся по ступеням, т.е. группируются в классы. Рабочая запись осуществляется, как правило, способом конвертов (так «называемая точковка»). Сначала ставятся точки по углам будущего квадрата (цифры 1-4), затем точки поочередно соединяют линиями по сторонам квадрата (цифры 5-8). Цифру 9 и 10 записывают, соединяя противоположные углы:

Цифра 123456789 10

Рабочая . . . . ; : : i ; n Л n и запись

При количестве вариантов более десяти в пределах класса эту операцию повторяют снова. После группировки вариант по классам рассчитывают основные статистические показатели.

1.2.1 Вычисление статистических показателей вариационного ряда непосредственным способом. Среднее значение здесь определяется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (1.10)$$

$$\bar{x} = \frac{1 \cdot 4 + 2 \cdot 5 + 3 \cdot 6 + 4 \cdot 7 + 5 \cdot 8 + 6 \cdot 9 + 7 \cdot 10}{4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10} = \frac{14 + 10 + 18 + 28 + 40 + 54 + 70}{49} = \frac{214}{49} = 4,367$$

Среднее квадратичное (основное) отклонение вычисляется

как формуле. Основную ошибку, коэффициент изменчивости, точность и

достоверность среднего значения определяют также как и при малой выборке.

Пример:

Имеются измерения диаметров 32 деревьев:

14,5 16,6 18,1 19,5 20,1 21,7 22,2 22,6 23,8 26,4 26,8 26,2 27,1 28,5 30,1 29,7 30,3 30,9 31,5 32,1 33,7 34,4 37,3 29,8 30,4 31,7 33,2 34,7 33,9 39,4 41,1

Необходимо рассчитать основные статистические показатели методом сгруппированных данных.

$$k = 1 + 3,322 \sqrt[3]{n} = 1 + 3,322 \sqrt[3]{49} = 6$$

$$k = 6$$

$$14,5 + 4 = 18,5 = 16,5$$

Для вычисления основных статистических показателей непосредственным способом строится вспомогательная таблица

Сначала рассчитается средний диаметр:  $m = 3 + v h + jvk - ii v b . = = ^ = 28,6\text{см};$

Далее необходимо определить среднеквадратичное отклонение:

В таком случае основная ошибка среднего значения составит:  $t ., = - Д = = \text{---} = 1,09 * 1,1 \text{ CM. } V I > 5,66$

Коэффициент изменчивости:

$C = \text{---} 100\% = 100 = 21,57 \%$ .

$M_{28,6}$

Поскольку значение коэффициента вариации находится в пределах 10...30% , то изменчивость признака средняя.

Точность опыта по другой формуле:

$P = ^ " 1 0 0 \% = t_m = 3,8 \%$  .

$M_{28,6}$  Точность опыта высокая (т.к. менее 5%). Для определения надежности суждения следует найти показатель достоверности  $t \backslash$

$M_{\text{---}} = 2 M = 2 6 2$

$t_m 1,09$

Средний диаметр определен достоверно, т.к.  $t$  равен 26,2, что больше четырех ( $/ > 4$ ).

Вывод: Средний диаметр насаждения составляет  $28,6 \pm 1,1$  Изменчивость признака средняя. Точность опыта высокая, а полученные результаты достоверны.

1.2.2 Вычисление статистических показателей вариационного ряда с использованием начальных моментов способом произведений. Тот же пример можно решить по способу моментов. Этот прием облегчает целый ряд сложных статистических расчетов.

Среднее значение по данному способу вычисляется по формуле:

где  $\chi_i$  - начальная варианта (условно-принятая для вычисления начальных моментов);

$h$  - величина интервала;

$m_i$  - первый начальный момент.

Начальным моментом статистической величины называется сумма произведений тех или иных степеней вспомогательных отклонений (от  $x_0$ ) на соответствующую численность, деленная на сумму всех численностей. Начальные моменты вычисляются по формуле:

где  $t a$  - начальный момент некоторой степени  $a$  (обычно до четвертой степени);  $x_i$  - варианты ряда распределения;  $x_0$  - начальное значение;

$n$ , — численности интервала;  $\sum$  - сумма численностей.

Среднее квадратичное отклонение рассчитывается по формуле. Для расчетов следует оформить вспомогательную таблицу.

$M = \chi_i \pm \psi , ( 1. 12)$

За начальное значение лучше выбрать варианту на середине ряда распределения. Правильность выбора начального значения определяется величиной первого начального момента (чем меньше его значение, тем вернее выбрано начальное значение).

Заполнив графы таблицы, рассчитывая значения по формулам, приведенным для каждого столбца, следует рассчитать начальные моменты. Первый и третий начальные моменты следует обязательно приводить со знаком «плюс» или «минус». Установив первый начальный момент можно рассчитать среднее значение:

$M = x_0 \pm im_1 = 28 + 4 0,156 = 28,624 * 28,6 \text{ CM.}$

Основное отклонение:

$a = i y_{jm} 2 - t \{ = 4 - ^ 2,406 - 0,1562 - Б,17 \text{ CM.}$

Таким образом, рассчитанные среднее значение и основное отклонение аналогичны результатам, полученным ранее непосредственным способом. Оставшиеся статистические показатели находятся по формулам, описанным в разделе 1.2.1.

1.2.3 Центральные моменты. Для характеристики вариационного ряда используют такие показатели как мера косости и мера крутости. Для их определения необходимо произвести расчет центральных моментов. Центральным моментом статистической величины называется сумма произведений тех или иных степеней центральных отклонений (от  $M$ ) на соответствующую численность, деленная на сумму всех численностей.

Для расчета центральных моментов используют начальные моменты, оперируя следующими соотношениями:

$$M_1 = 0; \quad (1.15)$$

$$M_2 = \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum x_i^2 - \left( \frac{1}{n} \sum x_i \right)^2; \quad (1.16)$$

$$M_3 = \frac{1}{n} \sum x_i^3 - 3M_2 M_1 + 3M_1^2 M_2; \quad (1.17)$$

$$M_4 = \frac{1}{n} \sum x_i^4 - 4M_3 M_1 + 6M_2^2 - 3M_1^2 M_2; \quad (1.18)$$

где  $M_1, M_2, M_3, M_4$  — соответственно первый, второй, третий и четвертый центральные моменты,

$m_1, m_2, m_3, m_4$  — соответственно первый, второй, третий и четвертый начальные моменты.

Таким образом, подставив значения начальных моментов

рассчитанных ранее ( $m_1 = +0,156$ ;  $m_2 = 2,406$ ;  $m_3 = -0,031$ ;  $m_4 = 14,031$ ) в формулы, получим центральные моменты:

$$M_1 = m_1 - 0 = 0,156 - 0 = 0,156;$$

$$M_2 = m_2 - 3m_1^2 = 2,406 - 3 \cdot 0,156^2 = 2,406 - 0,073 = 2,333;$$

$$M_3 = m_3 - 3m_2 m_1 + 3m_1^3 = -0,031 - 3 \cdot 2,406 \cdot 0,156 + 3 \cdot 0,156^3 = -0,031 - 0,113 + 0,001 = -0,143;$$

$$M_4 = m_4 - 4m_3 m_1 + 6m_2^2 - 3m_1^4 = 14,031 - 4 \cdot (-0,031) \cdot 0,156 + 6 \cdot 2,406^2 - 3 \cdot 0,156^4 = 14,031 + 0,191 + 35,282 - 0,001 = 14,403.$$

## Л-9,10 Моделирование состояния лесных экосистем

Любая биологическая система представляет собой сложный, большой, слабо детерминированный и эволюционирующий объект исследования. Экосистемы в значительной мере соответствуют подходу, развиваемому школой И. Пригожина [Пригожин, Стенгерс, 1986], согласно которому в развитии любой системы чередуются периоды, в течение которых ее состояние может быть characterized то как "в основном детерминированное", то как "в основном случайное", когда дальнейшее поведение становится в высокой степени неопределенным. Эту гипотезу можно распространить и на пространственную координату, в связи с чем некоторые участки поверхности могут восприниматься исследователем как нестационарные или "неправильные". Поэтому, вообще говоря, признаки, наблюдаемые нами в экосистеме, связаны с описываемой ими сущностью статистически, принимая во внимание, что детерминистская связь является частным случаем статистической, т.е. связью с вероятностью равной 1.

Специфика биологии как науки заключается в том, что она имеет дело с наиболее сложными объектами живой природы. Ж. Моно в своей книге "Необходимость и случайность" утверждает, что "биологические явления нужно описывать не в терминах необходимости, а в терминах случайности". Но беда биологии состоит вовсе не в переходе на язык вероятностных представлений: здесь нет еще ничего страшного, в чем убеждает пример физики. Неприятный сюрприз, как писал В.В. Налимов [1979], состоит в том, что, признав случайной природу изменчивости, мы, к своему большому удивлению, лишены возможности использовать привычный вероятностный подход.

Ведь статистическое описание возможно, когда по результатам наблюдений, сделанным над малой выборкой, удастся получить некоторое представление о поведении всей возможной последовательности явлений. А, в случае с биологической

изменчивостью, наблюдения над краткой последовательностью событий не позволяют высказать каких-либо суждений о дальнейшем поведении системы. Усредненные характеристики, в отличие от физики и других "точных наук", имеют слишком общее и условное значение, поскольку важны отдельные явления во всем их индивидуальном проявлении (вне зависимости от того, какова вероятность их появления). Ситуация в биологии, увиденная глазами математика, такова. На некотором поле элементарных событий с весьма малой вероятностью заданы некоторые существенные по своим последствиям события. Если одно из них реализуется, то сразу же возникает другое поле событий с иным распределением вероятностей. Отсюда ясно, что некие маловероятные явления могут дать толчок к другим явлениям, развивающимся теперь уже на новом поле событий. Сложность биологического мира такова, что он не может быть описан короче, чем с помощью прямой записи всех наблюдаемых явлений. По меткому выражению украинского кибернетика А.Г. Ивахненко, "Лучшей моделью кошки будет другая кошка".

Но так ли безнадежна ситуация, когда компактное описание биологических систем, охватывающее всю сложность их поведения, оказывается невозможным. Развивая теорию И. Пригожина о диссипативных структурах, В.П. Казначеев и Е.А. Спирин [1991] выдвинули гипотезу о сосуществовании и взаимодействии двух форм пространственно-временной организации живого вещества. Первую форму они определили как поток, характеризуемый устойчивой неравновесностью и эволюционирующий в сторону большей равновесности. Вторая форма предполагает реализацию состояния неустойчивой равновесности в отдельных элементах общего потока. При этом некоторые компоненты могут находиться в критических (переходных) состояниях, когда самое незначительное воздействие может вызывать весьма существенное изменение – бифуркацию [Свирижев, 1987; Арнольд, 1990].

Важнейшая гносеологическая особенность биологических систем состоит в том, что происходящие в них явления идут как бы на двух уровнях. Один – "поверхностный", когда явления протекают в некоторых установившихся или медленно эволюционирующих внешних условиях (по Н.Н. Моисееву [1990] – "дарвинский" процесс, обусловленный медленным накоплением новых количественных особенностей), другой – "глубинный", организменный, клеточный или генно-молекулярный, который включается в действие, когда резко изменяются условия существования экосистемы (квазидарвинский или бифуркационный процесс).

Например, события, протекающие в изучаемом водном объекте, при спокойном режиме его существования могут быть, на некотором приемлемом уровне адекватности, описаны в сжатой форме с помощью системы дифференциальных уравнений,

Составляющими этих уравнений являются, предположим, скорости, с которыми одни биологические виды поедают другие. Но, когда условия существования в этом водном объекте резко изменяются, модель, описывающая трофические явления на поверхностном (схематическом) уровне, оказывается бесполезной.

Таким образом, можно выделить два принципиально различных механизма, определяющих динамику экосистемы: адаптационный и бифуркационный. Зная характеристики среды, можно со значительной точностью прогнозировать тенденции в изменении параметров системы, функционирующей по адаптационному механизму: экосистема будет двигаться по некоторой траектории внутри ограниченного коридора в направлении вектора стабилизации. Однако существует некоторое критическое значение внешнего воздействия, приводящее к качественному изменению организации системы: порождается множество путей дальнейшего развития, выбор которых непредсказуем и зависит от сочетания случайных обстоятельств и флуктуаций внешней среды в момент бифуркационного перехода.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ – не предусмотрено РУП**

## **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **3.1 Практическое занятие №1 (2 ч).**

**Тема:** Цели и задачи моделирования экосистем

#### **3.1.1 Задание для работы:**

1. Понятия «модель», «моделирование»
2. Формы представления данных и виды моделей
3. Этапы моделирования

#### **3.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

1. Входной контроль
2. Обсуждение вопросов заданий и краткое конспектирование основных моментов.
3. Подведение итогов занятия
4. Домашнее задание

**3.1.3 Результаты и выводы:** рассмотрены понятия «модель», «моделирование», формы представления данных и виды моделей; этапы моделирования. Моделирование – разработка и исследование модели и распространение полученной информации на оригинал. Математические модели являются абстрактными, т. к. строятся с помощью схем, графиков, символов и т. д. основные этапы моделирования – определение целей и задач; построение модели; проверка адекватности модели.

### **3.2 Практическое занятие № 2 (2 ч).**

**Тема:** Моделирование в экологии

#### **3.2.1 Задание для работы:**

1. Понятие об экосистеме
2. Структура и связи в экосистемах
3. Принципы функционирования экосистем
4. Устойчивость и развитие экосистем
5. Особенности лесных экосистем

#### **3.2.2 Краткое описание проводимого занятия:**

1. Проверка домашнего задания
2. Обсуждение вопросов задания и краткое конспектирование основных моментов
3. Выполнение задания по теме занятия
4. Подведение итогов занятия
5. Домашнее задание

**3.2.3 Результаты и выводы:** рассмотрены понятие об экосистеме; структура и связи в экосистемах; принципы функционирования экосистем; устойчивость и развитие экосистем; особенности лесных экосистем. Экосистема – совокупность организмов и неорганических компонентов окружающей их среды, в которой может осуществляться круговорот веществ. Основной принцип функционирования экосистем – получение ресурсов и избавление от отходов происходит в рамках круговорота всех элементов. Выделяют трофическую, пространственную, экологическую структуру экосистем. Основные свойства экосистем – динамика и саморегуляция. Основа устойчивости – биологическое разнообразие. Лес – сложная экосистема, элементарная экосистема в лесу – насаждение (биогеоценоз).

### **3.3 Практическое занятие № 3 (2 ч).**

**Тема:** Предмет и метод математической статистики

#### **3.3.1 Задание для работы:**

1. Наблюдение и эксперимент
2. Измерение случайной величины
3. Статистики рядов распределения и их определение

#### **3.3.2 Краткое описание проводимого занятия:**

1. Проверка домашнего задания
2. Обсуждение вопросов задания и краткое конспектирование основных моментов
3. Выполнение задания по теме занятия
4. Подведение итогов занятия
5. Домашнее задание

**3.3.3 Результаты и выводы:** рассмотрены такие методы познания как наблюдение и эксперимент; измерение случайной величины и определение статистик рядов распределения. Статистическая обработка данных – это их сбор, обобщение, представление, анализ и интерпретация. В лесной науке наиболее эффективным является метод массовых наблюдений. Определение статистических характеристик позволяет дополнить исследования лесных экосистем, объективно оценить полученные данные и сделать обоснованные выводы. Основные статистики – среднее значение, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, ошибка среднего значения, точность опыта.

### **3.4 Практическое занятие № 4, 5 (4 ч).**

**Тема:** Работа с малой и большой выборками:

#### **3.4.1 Задание для работы:**

1. Группировка результатов наблюдений и измерений
2. Представление выборочных совокупностей и расчет их параметров

#### **3.4.2 Краткое описание проводимого занятия:**

1. Проверка домашнего задания
2. Обсуждение вопросов задания и краткое конспектирование основных моментов
3. Выполнение задания по теме занятия
4. Подведение итогов занятия
5. Домашнее задание

**3.4.3 Результаты и выводы:** рассмотрены группировка результатов наблюдений и измерений; представление выборочных совокупностей и расчет их параметров. Выборка – совокупность явлений, включающая множество проявлений исследуемой закономерности. Малая выборка включает до 30 единиц наблюдений. Большая выборка – 30 и более наблюдений. При статистической обработке данных точность получаемых результатов возрастает с возрастанием количества наблюдений.

### **3.5. Практическое занятие № 6, 7 (4 ч).**

**Тема:** Корреляция

#### **3.5.1 Задание для работы:**

1. Коэффициент корреляции и его определение
2. Корреляция при изучении лесных экосистем

#### **3.5.2 Краткое описание проводимого занятия:**

1. Проверка домашнего задания
2. Обсуждение вопросов задания и краткое конспектирование основных моментов
3. Выполнение задания по теме занятия
4. Подведение итогов занятия
5. Домашнее задание

**3.5.3 Результаты и выводы:** изучен коэффициент корреляции и его определение; особенности корреляционного анализа при изучении лесных экосистем. Все явления взаимосвязаны. Закономерности связей проявляются в массе явлений. Корреляционная связь – связь, при которой разным значениям одной переменной соответствуют значения другой переменной. Связь между двумя признаками – парная корреляция, между многими – множественная. В лесной науке широко используется корреляционный анализ – связь таксационных характеристик и запаса древесины, связь между таксационными характеристиками дерева или древостоя и др.

### **3.6 Практическое занятие № 8 (2 ч).**

**Тема:** Регрессионный анализ

#### **3.6.1 Задание для работы:**

1. Регрессия
2. Коэффициент и уравнение регрессии и их определение
3. Использование регрессионного анализа при изучении лесных экосистем.

#### **3.6.2 Краткое описание проводимого занятия:**

1. Проверка домашнего задания
2. Обсуждение вопросов задания и краткое конспектирование основных моментов
3. Выполнение задания по теме занятия
4. Подведение итогов занятия
5. Домашнее задание

**3.6.3 Результаты и выводы:** рассмотрены регрессия, коэффициент и уравнение регрессии и их определение; использование регрессионного анализа при изучении лесных экосистем. Регрессионный анализ – исследование влияния одной или нескольких независимых переменных на зависимую переменную; основная задача – выравнивание опытных данных при помощи аналитических уравнений. Регрессионный анализ является основой математического моделирования.

### **3.7 Практическое занятие № 9 (2 ч).**

**Тема:** Дисперсионный анализ

#### **3.7.1 Задание для работы:**

1. Задачи дисперсионного анализа
2. Однофакторный, двухфакторный и многофакторный анализ данных
3. Использование дисперсионного анализа при изучении лесных экосистем

#### **3.7.2 Краткое описание проводимого занятия:**

**3.7.3 Результаты и выводы:** рассмотрены задачи дисперсионного анализа; однофакторный, двухфакторный и многофакторный анализ данных; использование

дисперсионного анализа при изучении лесных экосистем. дисперсионный анализ – выявление влияния различных факторов на варьирование признака; по количеству изучаемых факторов подразделяется на однофакторный, двухфакторный и многофакторный. При изучении лесных экосистем используют при выявлении типов условий местообитания на рост древесных пород и т. п.

### **3.8 Практическое занятие № 10 (2 ч).**

**Тема:** Моделирование состояния лесных экосистем

#### **3.8.1 Задание для работы:**

1. Системный подход к моделированию лесных экосистем
2. Основы системного анализа
3. Модели динамики древостоев

#### **3.8.2 Краткое описание проводимого занятия:**

**3.8.3 Результаты и выводы:** рассмотрены системный подход к моделированию лесных экосистем, основы системного анализа и модели динамики древостоев. Моделирование позволяет количественные изменения лесных экосистем представить в виде математических моделей, что расширяет возможности изучения. В лесной науке в моделировании широко используется системный подход, т. е. лес рассматривается как комплекс взаимосвязанных элементов (система).

## **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОВЕДЕНИЮ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ – не предусмотрено РУП**