

## **1.4. Конспект лекций**

### **1.4.1. Виды агрономических исследований и основных элементов эксперимента**

#### **1. Понятия биометрии**

Содержанием биометрии является обработка данных наблюдений и экспериментов в биологических исследованиях, а ее методом – теория вероятностей и математическая статистика. Предмет биометрии составляют те или иные варьирующие по размеру (изменяющиеся, колеблющиеся в определенных пределах) признаки или свойства объектов совокупности. Биометрию можно использовать при планировании и обработке лишь тех биологических экспериментов и наблюдений, результаты которых могут быть подведены под теоретическое понятие статистической совокупности.

Биометрия (вариационная статистика) – представляет собой один из разделов высшей математики, который занимается разработкой методов изучения изменчивости признаков. Биометрия основывается на законе больших чисел и теории вероятности.

Биометрия – вариационно-статистический метод – применяется при анализе массовых данных в области биологии.

#### **2. Основные направления применения биометрии в генетике и селекции растений**

Внедрение в биологию математических методов, в том числе биометрии и статистики, как специфических разделов современной математики отражает необходимость интенсификации познания в эпоху научно-технического прогресса.

Развитие современного животноводства сопровождается накоплением большого количества информации по многим вопросам общей, прикладной генетики и селекции. В задачу науки входят классификация этих данных, их упорядочение и систематизация, научный анализ, завершающийся формулировкой практических предложений для дальнейшего развития и совершенствования той или иной отрасли растениеводства. Необходим своевременный анализ фенотипической и генетической изменчивости и наследуемости признаков, моделирование селекционного процесса в динамике по поколениям и прогноз дальнейшего развития селекционных признаков и увеличения генетического потенциала популяции в целом и отдельных видов растений, составляющих популяцию.

#### **3. История становления биометрии и значение статистических методов в биологических науках**

В широком смысле статистика – наука, изучающая методы сбора и интерпретации числовых данных. Это важная область практической деятельности людей, позволяющая не только собирать, обобщать и анализировать информацию, но и составлять прогнозы развития природных, социальных процессов и явлений, т.е. рассматривать их в динамике. Наполеон Бонапарт называл статистику бюджетом вещей.

Математическая статистика – наука сугубо теоретическая, абстрактная. Она изучает массовые явления безотносительно к специфике составляющих их элементов, например, закономерности числовых рядов. В приложении к биологии эту отрасль науки советский

ученый в области общей биологии, генетики, биометрии и селекции животных П.Ф. Рокицкий в 1967 г. предложил называть биологической статистикой (или биометрией) – эмпирической, конкретной наукой, изучающей опытные данные.

Трактовка термина «биометрия» не всегда была однозначной. Дело в том, что использование математики в биологии началось не сразу. Биология очень долго развивалась на основе лишь качественного анализа событий. Измерение как один из ведущих методов познания природы начал применяться только с первой половины XVII века. В начале XVIII века Реомюр пытался найти математические законы строения пчелиных сот, а за 30 лет до него Борели делал математические расчеты движения животных. Всю совокупность методов измерения живых организмов и происходящих в них процессов с использованием математических подходов в биологии и обозначали понятием «биометрия» (от греч. *bíos* – жизнь и *metréo* – измеряю). Термин ввел Фрэнсис Гальтон (1822–1911), который стоял у истоков развития биометрии как науки. Обучаясь в Кембриджском университете, он увлекся естествознанием, метеорологией, антропологией, наследственностью и теорией эволюции. В своей книге, посвященной природной наследственности, изданной в 1889 году, он впервые и употребил слово «*biometry*». В это же время он разработал основы корреляционного анализа.

Однако в стройную научную дисциплину биометрию превратил математик Карл Пирсон (1857–1936). В 1884 году Пирсон получил кафедру прикладной математики в Лондонском университете, а в 1889 году познакомился с Гальтоном и его работами. Большую роль в жизни Пирсона сыграл зоолог Ф. Велдон. Помогая ему в анализе реальных зоологических данных, Пирсон ввел в 1893 г. понятия среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации. Пытаясь математически оформить теорию наследственности Гальтона, Пирсон разрабатывает основы множественной регрессии, теории сопряженности признаков.

Следующий этап развития биометрии связан с именем великого английского статистика Рональда Фишера (1890–1962). Во время обучения в Кембриджском университете Фишер знакомится с трудами Менделя и Пирсона. После окончания университета Фишер работал статистиком на одном из предприятий, преподавал физику и математику в средней школе, а в 1933 году был приглашен на должность профессора в Лондонский университет. Фишер заложил основы теории планирования эксперимента, предложил ряд эффективных статистических методов (в первую очередь, дисперсионный анализ), естественно вытекающих из своеобразия биологического эксперимента, развил теорию малых выборок, начатую английским ученым Стьюдентом (В. Госсетом). Его заслуга в том, что он впервые показал, что планирование экспериментов и наблюдений и обработка их результатов – две неразрывно связанные задачи статистического анализа. Значительную роль в распространении биометрических идей и методов сыграли русские ученые В.И. Романовский, А.А. Сапегин, Ю.А. Филипченко, С.С. Четвериков и др.

На современном этапе развития биометрии для решения экспериментальных задач совершенствуются методы многомерной статистики, позволяющие одновременно оценить не только влияние нескольких разных факторов, но и взаимодействие между ними. Широкое распространение получили и непараметрические методы, не содержащие предположений о характере распределения случайной величины, но уступающие по эффективности параметрическим методам. В связи с запросами практики интенсивно разрабатываются методы изучения наследуемости, выборочные методы и изучение динамических процессов (временные ряды).

#### 4. Задачи изучения дисциплины и основные понятия

Задачами биометрии (биостатистики) являются:

1. Анализ явлений (процессов), характеризующихся наличием в них стохастических (случайных) элементов.
2. Прогноз (предсказание по вероятности) осуществления случайных явлений и процессов.

Биометрия, как и любая область науки, четко структурирована. Комплексный анализ процессов и явлений осуществляется по определенной схеме с использованием наиболее оптимальных средств и методов в каждом конкретном случае. В самом общем виде при обработке результатов экспериментов и наблюдений возникают несколько основных статистических задач: оценка параметров распределения; сравнение параметров разных совокупностей; выявление статистических связей между явлениями, процессами; факторный анализ (оценка влияния факторов на исследуемый признак). Решение этих задач осуществляется с применением разных групп методов, которые выбираются в зависимости от изучаемого явления и конкретного предмета исследования (связи, закономерности или развития).

Выделяют три этапа работы со статистическими данными:

1) статистическое наблюдение – массовый научно организованный сбор первичной информации об отдельных единицах изучаемого явления. Результат – подготовка информационной базы для статистических обобщений, для формулирования выводов об изучаемом явлении или процессе;

2) группировка и сводка материала – обобщение данных наблюдения для получения оценочных показателей явления. Этап предполагает распределение множества фактов (единиц) на однородные группы и подгруппы, итоговый подсчет по каждой группе и подгруппе и оформление полученных итогов в виде статистической таблицы;

3) обработка статистических данных и анализ результатов для получения обоснованных выводов о состоянии изучаемого явления и закономерностях его развития. В процессе статистического анализа исследуются структура, динамика и взаимосвязь общественных явлений и процессов, формулируются предположения и гипотезы, осуществляется их статистическая проверка, формулирование выводов и прогнозов.

Основные понятия этой науки. Совокупность единиц наблюдений, объединяемых в отношении некоторых общих условий для совместного изучения, называется **статистической совокупностью**. Число единиц совокупности составляет ее **объем**.

Совокупность подразделяют на **генеральную (общую)** и **выборочную**.

**Генеральная совокупность** ( $N$ ) – бесконечно большое множество относительно однородных единиц, составляющих ее содержание (теоретически  $N \rightarrow \infty$ ).

**Выборочная совокупность (выборка)** – часть генеральной, отобранная для совместного изучения. Объем выборки может быть и малым и большим ( $n_{min} = 2$ ).

**Выборочный метод** – это основной метод при исследовании статистических совокупностей, основанный на изучении выборки.

Преимущество этого метода перед сплошным в том, что он позволяет сократить время и затраты труда, а главное, получить информацию о таких совокупностях, сплошное обследование которых, практически невозможно.

*Основная задача* выборочного метода: получить информацию, которая наиболее точно позволит судить обо всей генеральной совокупности. А для этого *основными условиями* при отборе выборки являются:

- представительность (репрезентативность), которая достигается способом рендомизации;
- достаточность по объему. *Основное правило* – чем больше размах варьирования, тем больше должен быть объем выборки;
- принцип качественной однородности состава.

Нельзя объединять в одну совокупность растения разных сортов, необходимо делать выводы и рекомендации относительно какого-либо признака у сорта конкретно. При изучении закономерности модификаций нельзя использовать генетически неоднородный материал. При выборе оптимальных норм посева, способов, сроков посева семена анализируемой культуры должны быть чистосортными.

Статистическая совокупность может состоять не только из отдельных единиц, но и из групп разных по составу, но внутренне однородных (при сравнении сортов между собой и со стандартом). В таком случае это будет **статистический комплекс**.

## **5. Виды агрономических исследований**

*Уровни и виды исследований.* Исследования проводят на трех основных, взаимосвязанных уровнях: эмпирическом (экспериментальном), теоретическом и описательно-обобщающем.

На *эмпирическом уровне* исследований ставят эксперименты, накапливают факты, анализируют их и делают практические выводы. Эксперименты являются источником познания, критерием истинности гипотез и теорий.

В эксперименте объект изучают в тех условиях, которые планируются исследовать. Эти условия контролируют и регулируют, а результаты учитывают с достаточно высокой точностью. Эксперименты могут быть качественными, если в них учитывают наличие или отсутствие того или иного качественного показателя (поврежденные или не поврежденные морозами или вредителями, пораженные или непораженные болезнями растения) и количественными, если в них учитывают количественные показатели (рост растений, урожайность, % белка в зерне пшеницы).

На *теоретическом уровне* исследований синтезируются новые знания, формируются общие закономерности в определенной области.

*Теория* – это система обобщенных знаний, объяснение определенных явлений действительности. Результаты экспериментов в обобщенном виде становятся частью определенной теории. Критерием правильности теории является эксперимент, но теория не является суммой отдельных результатов эксперимента – это новая ступень познания. *Пример:* результаты исследований поглощения питательных элементов полевыми культурами являются основой для построения теории минерального питания растений.

На *описательно-обобщающем уровне* исследований эксперименты не проводят, а описывают явления, непосредственно происходящие в природе. *Пример:* наблюдения за ростом и развитием растений в зависимости от погодных условий, прохождением фенологических фаз, морозостойкостью. На основании таких наблюдений и обобщений делают выводы и рациональные предложения для производства, при этом используют такие формы мышления, как суждение и умозаключение.

*Суждение* – это форма мышления, когда утверждают или отрицают существование явления процесса. Суждение может быть объективным или ошибочным.

*Умозаключение* – форма мышления, когда из одного или нескольких связанных между собой суждений выводят новые знания. *Пример*: известно, что новый гибрид кукурузы имеет такое же качество как районированный сорт  $\Rightarrow$  умозаключение, что качество нового гибрида, устойчивость к болезням, вредителям, будут такими же, как у районированного сорта.

В зависимости от познавательной или практической цели научные исследования условно подразделяют на *фундаментальные* и *прикладные*. При определенных условиях одни могут переходить в другие, это свидетельствует о тесной взаимосвязи теории с практикой.

*Фундаментальные исследования* направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы. Результат – законченная система научных знаний и ориентация на использование их в определенной отрасли практической деятельности человека. *Пример*: изучение процессов фотосинтеза, расшифровка молекул РНК и ДНК.

*Прикладные исследования* в агрономии направлены на изучение факторов жизни растений и взаимосвязей между растениями и средой, на создание перспективных сортов и гибридов.

Главная задача – разработка эффективных приемов повышения урожайности сельскохозяйственных растений и улучшение качества продукции. Прикладные исследования проводят путем выполнения научно-исследовательских работ, в результате получают экспериментальные данные.

*Методология научных исследований*. Метод – это упорядоченная деятельность исследователя, направленная на получение новых знаний. Из общенаучных методов в агрономии чаще всего используют выдвижение гипотезы, эксперимент, наблюдения, анализ, синтез, моделирование.

*Гипотеза* – научное предположение, истинное значение которого является неопределенным. Если гипотезу выдвигают для развития знаний, то сначала высказывают определенные предположения, которые потом проверяют экспериментально. Если гипотеза выдвинута на основе уже известных знаний, то она является обоснованным предположением. Гипотезы проверяют в экспериментах. *Пример*: при выращивании пшеницы на разных уровнях минерального питания.

*Эксперимент* – метод познания, с помощью которого в искусственно созданных и контролируемых условиях изучают объекты и происходящие в них процессы. В одном эксперименте можно изучать несколько явлений – опыт многофакторный.

*Опыт* – ведущий метод исследования, включающий в себя наблюдения, строгий учет измененных условий и учет результатов. Характерная черта и главная особенность любого опыта – его воспроизводимость.

*Наблюдения* – это количественная или качественная регистрация различных сторон развития явления, констатация наличия того или иного его состояния, признака или свойства.

Цель наблюдений в агрономии – выявление лучших элементов агротехники, технологий, сортов, почв, способствующих повышению урожайности и качества продукции.

Между наблюдением и экспериментом с точки зрения теории познания есть принципиальная разница: наблюдение отражает внешний мир, идет извне в наш мозг, оно фиксирует факты, а эксперимент идет из нашего сознания, из мышления, он как бы гипотеза, ждущая проверки фактами. По сравнению с наблюдением опыт имеет большие преимущества, благодаря которым эксперимент стал господствующим методом всех естественных наук. Характерной особенностью эксперимента является предварительный мысленный эксперимент, направленный на создание соответствующей обстановки опыта. Анализ методологического исследования, с помощью которого исследуемый объект мысленно или физически расчленяют на составные части для детального изучения. *Пример:* опыт анализируют по каждой делянке, по повторностям, по вариантам. Для определения химического состава растения делят на части, которые затем анализируют специальными методами.

*Синтез* – соединение расчлененных и проанализированных частей в единое целое. Задача синтеза – на основании детального анализа получить необходимые данные для выводов и обобщений. *Пример:* анализируемые данные каждого повторения опыта  $\Rightarrow$  вычисляем среднее арифметическое по каждой делянке, варианту  $\Rightarrow$  анализ ведет к их объединению в опыте  $\Rightarrow$  выводы  $\Rightarrow$  рекомендации производству.

*Обобщение* – метод с помощью которого мысленно переходят от отдельных факторов, явлений и процессов к отождествлению в мыслях, от одного понятия суждения  $\Rightarrow$  к более общему. *Пример:* Обобщенные результаты для повторения  $\Rightarrow$  опыта  $\Rightarrow$  конкретного хозяйства  $\Rightarrow$  группы хозяйств.

*Классификация и характеристика основных методов в научной агрономии.* Методика проведения лабораторных и лизиметрических экспериментов. Основные требования к вегетационному опыту. Разработка методики и техники проведения вегетационных опытов. Фитотроны и их роль в агрономических исследованиях. Вегетационно-полевой метод и методика его проведения. Полевой опыт. Экспедиционный метод и его роль в агрономических исследованиях.

*Основные элементы методики полевого опыта.* Понятие о методике полевого опыта и слагающих ее элементах: число вариантов, число контролей и их частота, площадь, форма и ориентация делянок. Повторность, размещение повторений или блоков, делянок и вариантов. Защитные полосы, их назначение и размеры. Метод учета урожая и организация опыта по времени. Виды ошибок в полевом опыте и источники их возникновения. Влияние основных элементов методики полевого опыта на ошибку эксперимента.

## 1.4.2. Этапы планирования эксперимента и проведения наблюдений и учетов

### 1. Этапы планирования исследования (эксперимента)

Планирование опыта – это поиск оптимальных условий роста растений с целью повышения урожая и улучшения его качества. В научных опытах по агрономии в качестве объекта исследований выступает сельскохозяйственное растение, на которое действуют различные факторы окружающей действительности. Факторы, вызывающие изменчивость у растений, можно подразделить на управляемые, малоуправляемые и неуправляемые. К управляемым факторам можно отнести сорт, удобрение, пестициды, севообороты, способы обработки почвы и посева и т. п., к малоуправляемым – температуру воздуха, почвы, свет и т. п., к неуправляемым (дрейфующим) – факторы, влияющие на ход воспроизводства опыта (атмосферные осадки, морозы и др.).

Планирование опытов является важной и ответственной частью работы исследователя, обеспечивающей действие поставленных задач с необходимой точностью. Основная задача при планировании опыта – это поиск оптимальных условий роста растений для повышения урожая и улучшения его качества. Проведение опыта по заранее составленному плану позволяет:

- управлять экспериментом и резко повысить эффективность исследований;
- сократить затраты времени и материальных ресурсов за счет более четкой организации, высокой точности и оптимального числа опытов;
- определить форму статистического анализа результатов;
- построить четкую программу исследований.

Любое научное исследование включает в себя три основных этапа или периода:

- 1) подготовительный или собственно планирование;
- 2) проведение опытов, наблюдений, учетов и анализов;
- 3) статистическая обработка и обобщение полученных экспериментальных данных и передача их по целевому назначению.

Под планированием понимают выбор объекта исследований, постановку цели и задач исследования, разработку схемы эксперимента, выбор вида опыта и его оптимальной структуры.

Таким образом, планирование исследований – это целый ряд последовательных этапов работы. В структуре планирования опыта можно выделить два этапа.

Первый этап планирования включает:

- выбор объекта эксперимента и темы исследований;
- формулировку целей и задач исследования;
- определение условий проведения эксперимента;
- сбор и критический анализ научной информации о состоянии изученности исследуемого вопроса или проблемы в целом;
- определение актуальности и новизны исследований;
- выдвижение рабочей гипотезы или конкурирующей гипотезы и их обоснование.

Второй этап планирования предусматривает разработку программы исследования.

Наиболее важными моментами этого этапа являются следующие:

- определение названий разделов и вопросов экспериментальной работы, места, условий и сроков их проведения;
- разработка схемы и методики проведения опытов;
- выбор земельного участка под опыт;
- составление календарного плана выполнения всех видов работ;
- разработка и составление плана фенологических наблюдений, учетов и анализов с указанием сроков и частоты их проведения и объектов, а также сопутствующих наблюдений;

- составление финансового плана (если наблюдения исследований финансируются);
- составление годового и финансового отчета.

## 2. Требования к выбору объекта исследований в агрономии

Любой опыт – это по сути диалог между исследователем, ищущим ответ на поставленный вопрос, и объектом изучения – растением, отвечающим определенной реакцией на воздействие.

Объектом исследований в агрономии является растение.

Сельскохозяйственные растения характеризуются большим разнообразием биологических форм и индивидуальной изменчивостью в онтогенезе. Поэтому биологические объекты в отличие от таковых в естественнонаучных областях с трудом поддаются стандартизации, так как дисперсия (изменчивость) их свойств имеет как генетические, так и экологические причины.

Правильный выбор объекта исследований не только облегчает работу, но и способствует достижению успеха. Поэтому в документах опыта (полевой дневник, лабораторный журнал) необходимо фиксировать не только методику и условия постановки опыта, но и точную характеристику объекта исследований и его происхождение.

К сожалению, этой проблеме многие исследователи не уделяют должного внимания, несмотря на то, что правильный выбор объекта наполовину предрешает успех дела.

Главными критериями выбора объекта, на котором будут проводиться запланированные исследования, являются *удобство* для работы и *воспроизводимость* получаемых результатов.

Например, если бы финансовые затруднения не заставили Т. Моргана отказаться от опытов на морских свинках и обратить внимание на другой объект – муху дрозофилу, генетика, возможно, не стала бы так быстро лидером современной биологии.

Новый объект давал возможность получить новое поколение в течение месяца и тем самым резко ускорить работу.

Использование И. В. Мичуриным и Л. Бербанком неудобных с точки зрения генетики объектов плодовых культур помешало этим великим ученым понять глобальное значение законов Г. Менделя.

Выбранный объект исследования должен не затруднять, а облегчать решение поставленных задач. Он должен быть выбран с учетом вида опыта (лабораторный, вегетационный, полевой) и легко переносить его специфические условия.

Опыты в лаборатории, климокамере или теплице требуют выбора такого растения, которое легко переносило бы специфическую экологию помещения, было бы устойчивым к болезням и вредителям, распространенным в данных помещениях, где применение ядохимикатов нежелательно.

Полевые опыты следует проводить на адаптированных к местным условиям сортах, которые рекомендованы для возделывания в данной зоне.

Объект исследований не должен обладать широким полиморфизмом, за исключением особых случаев. Поэтому, если используется реестровый сорт, то он должен быть высокой репродукции, где выше вероятность генетической однородности. Семена сортов для опыта должны быть взяты не ниже элиты и только из зоны их районирования. Предпочтение нужно отдавать сортам и гибридам, которые характеризуются короткостебельностью, устойчивостью к вредителям и болезням, так как требуют меньших финансовых затрат и физических сил по уходу за ними.

Требование *воспроизводимости* довольно сложно выполнить в связи с тем, что объект исследования зачастую имеет сложную популяционную структуру и в процессе репродукции сильно изменяется, так как качество семян сильно зависит от условий года и места произрастания, в результате чего формируются семена с различными урожайными качествами.

Суть требования воспроизводимости состоит в том, что при повторении эксперимента или его продолжении мы должны использовать тот же самый объект, что на деле выполнить не так-то просто. Большинство сортов имеет сложную популяционную структуру и в процессе репродуцирования в различных зонах эти сорта между собой будут различаться различной частотой встречаемости генотипов. Вот почему для опытов семенной материал лучше всего получать от учреждений-оригинаторов.

На изменение структуры популяции объекта оказывают влияние следующие причины:

- неодинаковое действие (давление) естественного отбора на различные биотипы популяций;
- перекрестное опыление, имеющее место у большинства видов самоопылителей;
- механическое засорение.

При анализе отдельных растений полиморфизм образца может привести к тому, что в последовательном ряду проб или в парах (контроль-опыт) будут взяты различные по своим свойствам генотипы. В этом случае исследователь рискует принять различия между генотипами за эффекты изучаемых в опыте факторов. Поэтому в работах, связанных с анализом отдельных растений при небольших размерах учетной площади, необходимо использовать только чистые линии, которые являются потомством одного гомозиготного растения. В данном случае внутрилинейная изменчивость обусловлена экологической пестротой поля и условиями формирования семян внутри соцветия (матрикаральная разнокачественность). При работе с перекрестноопыляемыми культурами (кукуруза, рожь, свекла, клевер, люцерна, морковь и др.) лучше всего воспользоваться гибридными семенами, которые генетически однородны.

Таким образом, нельзя пользоваться для закладки опыта случайно подвернувшимся под руку семенным материалом. Необходимо для посева использовать только протравленные семена высоких репродукций, что гарантирует их высокую однородность и выравненность по хозяйственно-биологическим характеристикам.

### **3. Классификация, характеристика и перечень обязательных планируемых наблюдений, учетов и анализов в полевых опытах по изучению основных вопросов агрономии**

Проведение любого полевого опыта должно сопровождаться соответствующими ему анализами, наблюдениями и учетами. Наиболее важными (основными или обязательными) являются метеорологические наблюдения; определение агрофизических и агрохимических показателей плодородия почвы; учеты засоренности посевов и верхнего слоя почвы семенами и органами вегетативного размножения сорных растений; фитопатологические и энтомологические учеты; оценка посевов или насаждений по биометрическим показателям; учет урожая и анализ растениеводческой продукции и т. д.

В опытах с полевыми культурами все исследования разделяют на две группы. К первой относятся исследования условий жизни растений, а ко второй группе – исследования процесса формирования урожая растений. Их также подразделяют на:

Главные – это обязательные исследования, без которых нельзя обойтись исследователю (учет урожая с делянок и т. д.)

Второстепенные – те результаты, которые помогают раскрыть причинность результатов главных исследований (обильные осадки в июне провоцируют полегание озимых хлебов, что за счет усложнения уборки, резко снижает урожайность и т. д.).

При наблюдении за факторами и условиями жизни растений обязательными являются:

- метеорологические наблюдения (количество и интенсивность осадков; температура воздуха; направление и скорость ветра; атмосферное давление; относительная влажность воздуха; температура почвы; глубина промерзания почвы и др.);

- определение физических характеристик почвы (влажность; объёмная масса; строение пахотного слоя; структура; водопроницаемость; суммарное потребление влаги и коэффициент водопотребления посевами за период вегетации и др.);

- определение агрохимических показателей почвенной среды (сумма поглощенных оснований; обменная кислотность; гидролитическая кислотность; степень насыщенности основаниями; содержание нитратного и щёлочногидролизующего азота, подвижных форм фосфора и калия; содержание гумуса и т. д.);

- учет засоренности посевов и потенциальной засоренности почвы семенами и органами вегетативного размножения сорняков;

- фитопатологические учеты;

- энтомологические учеты и другие наблюдения.

При проведении наблюдений непосредственно за растениями исследуемых с.-х. культур обязательными являются:

- фенологические наблюдения;

- оценка посевов и учет биометрических показателей (визуальная оценка состояния посевов; оценка морозо- и зимостойкости озимых культур; определение засухоустойчивости растений; оценка устойчивости посевов к полеганию, пониканию, осыпанию зерна и прорастанию его в колосе; учет густоты посевов и насаждений; определение динамики роста растений; определение площади листовой поверхности);

- определение распространения корней в почве и учет их массы в отдельных слоях;

- учет засоренности посевов и потенциальной засоренности почвы семенами и органами вегетативного размножения сорняков;

- фитопатологические учеты;

- энтомологические учеты и другие наблюдения.

В опытах по изучению сроков посева изучаются процессы роста и формирования урожая, а из условий жизни растений – изучение лишь фитосанитарных условий (динамика засоренности и поражение растений возбудителями болезней и вредителями). Кроме фенологических наблюдений, учетов урожайности и анализа качества полученной продукции, в таких опытах обязательно определяют густоту всходов, основные биометрические показатели роста растений, полегание посевов, изучение развития вторичной корневой системы, в значительной степени зависимой от изучаемого агроприёма.

В опытах с удобрениями обязательно планируют изучение условий питания растений в основные периоды их роста и развития; определяют обеспеченность растений нитратным и аммиачным азотом, подвижными формами фосфора и калия; определяют кислотности почвы и интенсивности жизнедеятельности микроорганизмов (разложение льняного полотна); нитрификационную способность почвы; в продолжительных (стационарных) опытах, наряду с изучением основных агрофизических и агрохимических показателей плодородия почвы, изучают изменения гумусированности корнеобитаемого слоя почвы, распределение по профилю основных элементов питания, перемещение нитратов за пределы деятельности корневой системы растений, содержание в почве тяжелых металлов; при изучении системы основного удобрения планируют изучение условий перезимовки озимых культур; засоренности посевов и стойкости против полегания. Кроме учета биометрических показателей роста, урожайности и качества урожая, определяют также содержание нитратов в растениеводческой продукции и последствие удобрений на последующие культуры (с проведением тех же наблюдений и учетов, что и при изучении прямого действия внесенных удобрений).

В опытах по сортоиспытанию, которые можно проводить не только на государственных сортоиспытательных станциях, но и в других научных учреждениях и непосредственно в хозяйствах. При этом обязательно планируют такие исследования:

1. Учет густоты всходов и растений перед уборкой урожая, с учетом густоты продуктивного стеблестоя.

2. Фиксация фенологических фаз развития растений.
3. Определение морозо- и зимостойкости посевов (для озимых культур и многолетних трав).
4. Определение засухоустойчивости посевов (фиксация увядания листьев).
5. Учет динамики роста растений (с подсчетом количества, площади листьев, высоты и массы надземных органов).
6. Анализ выравненности посевов по высоте растений.
7. Определение стойкости растений к поражению болезнями и повреждению вредителями.
8. Определение устойчивости посевов против полегания, растрескивания бобов и стручков, осыпания и прорастанию зерна в колосе.
9. Анализ одновременности созревания урожая – для зерновых, масличных, семенников свеклы и многолетних трав и т. д.
10. Анализ показателей структуры урожая изучаемых культур: длина колоса, количество в нем колосков и зерен, масса зерна с колоса, высота растений (для колосовых культур) и т. д. для других.
11. Учет урожая основной и побочной (если она используется) продукции.
12. Анализ качества продукции по показателям: масса 1000 зерен; натура зерна или семян, средняя масса корнеплода или клубней; выходом семенного материала и его выравненностью; содержанием белка в зерне всех культур; клейковины в зерне продовольственной пшеницы; сахара в корнеплодах сахарной свеклы; крахмала в клубнях картофеля; масла – в семенах масличных культур; переваримого протеина – в кормовой продукции; лужистость семян подсолнечника и т. д.

Для проведения необходимых в опыте наблюдений, анализов и учетов руководствуются соответствующими методиками, изложенными в практикумах по земледелию, растениеводству, агрохимии, почвоведению, селекции, защите растений.

### 1.4.3. Виды изменчивости.

#### Статистические характеристики изменчивости

#### 1. Понятие совокупности и выборки.

Наблюдения, проводимые над объектом, могут охватывать всех членов изучаемой совокупности без исключения или могут ограничиться обследованием лишь некоторой части членов данной совокупности. В первом случае наблюдение называется сплошным или полным, во втором – частичным или выборочным. Сплошное наблюдение позволяет получать наиболее исчерпывающую информацию о групповом объекте. Однако сплошное наблюдение сопряжено с большими затратами времени и труда, а зачастую оно практически неосуществимо, да и не целесообразно. Предположим надо определить лабораторную всхожесть партии семян или подсчитать количество тлей на растениях. Поэтому вместо сплошного наблюдения чаще всего используется выборочное, по которому делают общее заключение.

Таким образом, всю группу объектов, подлежащую изучению, называют генеральной совокупностью, а ту часть, которая попала в изучение – *выборочной совокупностью* или *выборкой*. Объем генеральной совокупности теоретически ничем не ограничен, однако практически объем генеральной совокупности всегда ограничен и может быть различным в зависимости от объекта и задач исследований.

Объем выборки  $n$  может быть любым, но должен содержать не менее 2 единиц. Выборочный метод является основным при изучении статистической совокупности. Основной задачей выборочного метода является получение такой информации, которая позволит более точно судить о состоянии генеральной совокупности.

#### 2. Типы изменчивости

*Изменчивостью* или варьированием называется свойство условных единиц отличаться друг от друга в однородной совокупности. Изменчивость присуща всем объектам природы. У растений варьирующими признаками являются высота, количество и масса плодов, содержание питательных веществ и т.п. Варьирование возникает вследствие того, что растения даже одного сорта отличаются своей наследственностью, их формирование протекает в относительно различных условиях внешней среды.

Различают 2 типа изменчивости: количественную и качественную.

*Количественная изменчивость* – это такая изменчивость, при которой значение варьирующего признака имеет числовое выражение. Она бывает прерывистой (дискретной) и непрерывной. При прерывистой изменчивости значения признака выражаются только целыми числами; при непрерывной количественной изменчивости значение признака могут иметь любую величину в зависимости от точности, принимаемой для характеристики данного признака.

*Качественная или атрибутивная изменчивость* – это такая изменчивость, при которой значения признака не имеют числового выражения: окраска растений и их органов, форма листьев и плодов, структура поверхности листьев и плодов. Частным случаем качественной изменчивости является альтернативная изменчивость, когда признак может принимать только два взаимоисключающих друг друга значения, либо признак присутствует или отсутствует: больной – здоровый, остистый – безостый, с восковым налетом – без воскового налета, с опушением – без опушения и т.п. В опытах с качественной изменчивостью вместо измерения какого-либо показателя подсчитывают количество объектов с тем или иным признаком.

#### 3. Статистические характеристики количественной изменчивости.

Основными статистическими характеристиками количественной изменчивости являются:

*Средняя арифметическая* –  $\bar{x}$

*Дисперсия* –  $s^2$

*Стандартное отклонение* –  $s$

*Коэффициент вариации* –  $V$

*Ошибка выборочной средней* –  $s_x$

*Относительная ошибка выборочной средней* –  $s_x\%$

Средняя арифметическая  $\bar{x}$  – это обобщенная, абстрактная характеристика совокупности. Она не содержит полной информации о варьирующих объектах. При одинаковых средних характеризуемые признаки могут отличаться по величине вариации.

Различают *простую* и *взвешенную среднюю арифметическую*. Простая средняя арифметическая рассчитывается для выборок малого объема по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$$

где  $\sum X$  – сумма всех значений признака

$n$  – количество значений признака, или объем выборки.

*Взвешенная средняя арифметическая* рассчитывается для сгруппированных данных по формуле:

$$\bar{x} = \frac{f_1 \cdot x_1 + f_2 \cdot x_2 + \dots + f_n \cdot x_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \frac{\sum fX}{n}$$

где  $n$  – значение признака,

$f$  – частота встречаемости каждого признака,

$n$  – объем выборки.

Основное свойство средней арифметической заключается в равенстве суммы всех положительных и всех отрицательных отклонений от нее, т.е. сумма всех отклонений вариант равна 0.

**Дисперсия  $S^2$**  рассчитывается как отношение суммы квадратов отклонений среднего арифметического от каждого значения признака к числу степеней свободы. Для выборки малого объема она рассчитывается по формуле:

$$S^2 = \frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n - 1} =$$

где  $n-1$  – число степеней свободы, или количество варьирующих величин. Для сгруппированных отклонений:

$$S^2 = \frac{\sum f \cdot (X - \bar{x})^2}{n - 1} =$$

*Дисперсия показывает квадрат среднего отклонения значений признака  $X$  от средней арифметической.*

Вычисление дисперсии по основной формуле технически неудобно. Средняя арифметическая обычно представлена не целым, а дробным числом, поэтому отклонения значений признака от средней, а особенно квадраты их получаются многозначными, что затрудняет счетную работу и может привести к ошибкам. Поэтому разработано несколько способов вычисления дисперсии и среднего арифметического, которые значительно упрощают математические расчеты. Они основаны на том, что для получения суммы квадратов центральных отклонений, достаточно взять отклонения от любого произвольного

числа  $A$  (условная средняя) и произвести расчеты с ним. Если за  $A$  взять  $0$ , то сумму квадратов отклонения можно рассчитать по формулам:

$$\text{для не сгруппированных данных } \sum(X - x)^2 = \sum X^2 - (\sum X)^2 : n$$

$$\text{для сгруппированных данных } \sum(X - x)^2 = \sum f \cdot X^2 - (\sum f \cdot X)^2 : n$$

Размерность дисперсии равна квадрату размерности изучаемого признака, что достаточно неудобно, поэтому для статистической характеристики совокупности чаще используют стандартное отклонение.

**Стандартное отклонение  $s$** , или среднее квадратическое отклонение получают путем извлечения квадратного корня из дисперсии, т.е.

$$s = \sqrt{S^2}$$

*Стандартное отклонение показывает величину среднего отклонения значений признака  $X$  от средней арифметической.*

Дисперсия и стандартное отклонение служат основными мерами вариации изучаемого признака, они являются наиболее стабильными характеристиками рассеяния признака. Чем больше дисперсия или стандартное отклонение, тем больше изменчивость признака. Согласно закону нормального распределения вероятность встретить отклонения от средней арифметической на величину больше  $\pm 3$  стандартных отклонения составляет всего 0,3%. Поэтому утроенное значение стандартного отклонения принято считать предельной ошибкой отдельного наблюдения. Стандартное отклонение используется как самостоятельный показатель, а также служит основой для расчета других показателей.

**Коэффициент вариации  $V$**  – является относительным показателем изменчивости и представляет собой отношение стандартного отклонения к средней арифметической, выраженное в процентах:

$$V = \frac{s}{x} \cdot 100 =$$

Коэффициент вариации показывает степень изменчивости признака: изменчивость считается незначительной если коэффициент вариации не превышает 10%, средним – если он колеблется от 10 до 20 и значительной – если он более 20%.

Коэффициента вариации используется только в том случае, если признак имеет только положительные значения. Коэффициент вариации дает возможность сравнивать варьирование признаков разной размерности, например можно сравнивать варьирование высоты и массы, содержания азота и площадь листьев. При сравнении признаков с одинаковой размерностью коэффициент вариации может дать искаженное представление об изменчивости, например при разных значениях средних арифметических и одинаковых значения стандартного отклонения.

**Ошибка выборочной средней или ошибка выборки  $S_x$**  является мерой отклонения выборочной средней арифметической от средней генеральной совокупности. Ошибки выборки возникают вследствие неполной репрезентативности (представительности), т.к. не все возможные значения признака, имеющиеся в генеральной совокупности, попадают в выборку. Она свойственна только выборочному методу. Величина ошибки выборочной средней зависит от степени варьирования и от объема выборки. Ошибка выборочной средней прямо пропорциональна стандартному отклонению и обратно пропорциональна объема выборки, т.е.

$$S_x = \frac{s}{\sqrt{n}} =$$

Ошибка выборочной средней выражается в тех же единицах измерения, что и варьирующий признак и приписывается к соответствующим средним со знаком  $\pm$ , т.е.  $\bar{x} \pm S_x$ .

**Относительная ошибка выборочной средней  $S_x\%$**  – это ошибка выборки, выраженная в процентах от соответствующей средней:

$$S_x \% = \frac{S_x}{\bar{x}} \cdot 100$$

Относительную ошибку выборочной средней часто называют «точностью опыта». Результаты опыта считаются удовлетворительными, если ошибка выборочной средней не превышает 2-5%, если точность опыта выше 5% рекомендуется совершенствовать методику, а опыты с точностью более 7% браковать. Такой подход достаточно условен, т.к. значение относительной ошибки выборочной средней зависит не только от методического уровня исследований, но от особенностей биологического объекта, в нашем случае продуктивности культурного растения.

#### **4. Статистическими характеристиками качественной изменчивости являются:**

- *доля признака;*
- *показатель изменчивости;*
- *коэффициент вариации;*
- *ошибка выборочной доли.*

Доля признака характеризует относительную частоту встречаемости отдельной варианты (значения признака) в данной совокупности и обозначается через  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . Выражается доля признака в частях единицы или в процентах. Сумма всех долей признака в пределах совокупности равна 1 или 100%. Доля признака отражает вероятность появления данного признака в изучаемой совокупности и определяется как отношение численности каждого из членов ряда  $n_1, n_2, \dots, n_n$  к объему выборки  $N$ :

$$p_1 = \frac{n_1}{N}; \quad p_2 = \frac{n_2}{N}; \quad \dots; \quad p_n = \frac{n_n}{N}$$

При альтернативной изменчивости доля одного признака обозначается через  $p$ , другого - через  $q$ . Показатель изменчивости качественного признака  $s$  характеризует варьирование величин ряда относительно друг друга. При альтернативной изменчивости он определяется по формуле:

$$s = \sqrt{pq}$$

В зависимости от соотношения  $p$  и  $q$  значение показателя изменчивости изменяется от 0 до 0,5. Максимальная изменчивость качественного признака  $s_{\max}$  наблюдается при  $p=q=0,5$ . Если количество градаций признака больше двух, то показатель изменчивости определяется по формуле:

$$s = \sqrt{p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n}$$

где  $n$  – число градаций признака.

Значение максимальной изменчивости уменьшается с увеличением числа градаций признака.

**Коэффициент вариации качественного признака  $V$**  – это отношение показателя изменчивости признака к максимально возможной изменчивости, выраженное в процентах:

$$V = \frac{s}{S_{\max}} \cdot 100$$

Коэффициент вариации характеризует относительную степень изменчивости исследуемых признаков и используется для сравнительной оценки выравненности

различных совокупностей. Максимальное значение  $V$  равное 100% наблюдается при  $S=S_{\max}$ .

**Ошибка выборочной доли  $s_p$**  определяет меру отклонения доли признака выборочной совокупности  $p$  от доли его во всей генеральной совокупности  $P$ . Ошибка выборочной доли возникает как и ошибка выборочной средней вследствие неполной репрезентативности (представительности), т.к. не представляется возможным, а зачастую и нецелесообразно подсчитать частоту встречаемости признака в генеральной совокупности. Она свойственна только выборочному методу. Величина ошибки выборочной доли зависит от степени варьирования и от объема выборки. Вычисляется по формуле:

$$S_p = \frac{s}{\sqrt{n}} =$$

Как и при количественной изменчивости все значения  $p$  с вероятностью 95% укладываются в пределах двойной ошибки выборочной доли, а с вероятностью 99% укладываются в пределах тройной ошибки выборочной доли.

#### 1.4.4. Корреляционно-регрессионный и дисперсионный анализ

Корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализы - это основные статистические методы установления связи между величинами. Указанные анализы тесно взаимосвязаны, дополняют друг друга и решают общую задачу.

##### 1. Корреляционный анализ

Ещё в 6 веке до нашей эры Гиппократ обратил внимание на связь между телосложением и темпераментом людей, строением тела и предрасположенностью к тем или иным заболеваниям. Связь между варьирующими признаками обнаруживается на всех уровнях организации живого. Поэтому эту закономерность издавна стремились выразить в количественных выражениях.

Изучая изменчивость биологических объектов по отдельным признакам – высоте растений, продуктивной кустистости, озерненности колоса, физиологическим показателям и др. в ряде случаев важно знать, какова связь между вариацией двух или нескольких признаков, изменяются ли две переменные самостоятельно, независимо друг от друга, или варьирование одного признака в какой-то степени связано с изменчивостью другого.

В мире практически все в той или иной степени взаимосвязано. Трудно отыскать объект, существующий сам по себе.

Связи бывают двух категорий: **функциональные** и **корреляционные**. *Функциональная связь* наблюдается очень часто и закономерно, на основе *единого закона всеобщей связи*, когда одной переменной «X» соответствует определённое значение «Y» и эта зависимость – есть *функция*, (площадь круга зависит от радиуса, накал нити в электрической лампочке зависит от напряжения и т.д.).

Однако среди живых объектов такие связи встречаются очень редко. Основная причина в том, что каждый биологический признак, выражаясь математическим языком, является функцией многих переменных. На его проявление и величину оказывает влияние как генетические, так и средовые факторы, в т.ч., случайные, что и вызывает варьирование признака. Отсюда связь между ними приобретает не функциональный, а *статистический характер*, когда **определённому значению одного признака соответствует не одно значение, а целый вариационный ряд числовых значений другого признака**. Такая связь и называется **корреляцией** (лат. *correlatio* – соотношение, связь; впервые применил это слово Ж. Кювье в 1806 году, а в биометрию ввёл Ф. Гальтон в 1886 г.). Корреляционную связь нельзя обнаружить на единичных объектах, она наблюдается только при анализе совокупности.

В зависимости от направления, формы, количества взаимодействующих признаков и их типа корреляционная связь может быть **прямой** (положительной) и **обратной** (отрицательной), **линейной** и **криволинейной**, **парной** (простой) и **множественной** (сложной), **фенотипической** и **генотипической**.

Корреляционные связи можно изучить на групповых объектах методами математической статистики. Корреляционная связь бывает линейной и нелинейной, положительной и отрицательной. *Задача корреляционного анализа* состоит в установлении направления и формы связи между варьирующими признаками, измерению её тесноты и к проверке достоверности выборочных показателей корреляции.

Методы корреляционного анализа очень широко применяются в различных науках, в т.ч. и биологических. Селекционер изучает многообразные связи между морфо-биологическими, сортовыми, хозяйственно-ценными признаками растений (урожайностью и вегетационным периодом, высотой растений и количеством листьев, массой 1000 зерен и количеством зёрен в колосе или метелке, содержанием белка (крахмала) и урожайностью и т.д.). Генетик-селекционер учитывает корреляционные связи между наследуемыми

признаками родителей и гибридного потомства при проведении гибридологического анализа. Все это необходимо с целью правильного подбора родительских пар для скрещивания, определения наследуемости признаков у гибридного потомства, отбора константных форм по хозяйственно-ценным признакам и т.д.

*Сущность корреляции*, т.е. ее смысл, заключается в определении сопряженности вариации признаков, необходимости установить, насколько параллельно изменяются два (или более) признака.

## 2. Показатели корреляционной связи.

Корреляционный анализ позволяет дать качественную характеристику связи между признаками, т.е. оценить наличие связи, ее тесноту, форму и направление.

Определить связь можно различными способами в зависимости от цели и задачи исследования, типа корреляции и объема выборки.

Если исследователь ограничивается только установлением наличия связи, можно применить самый простой графический способ, т.е. графическое изображение зависимости признаков по исходным данным (рис. 2.1).

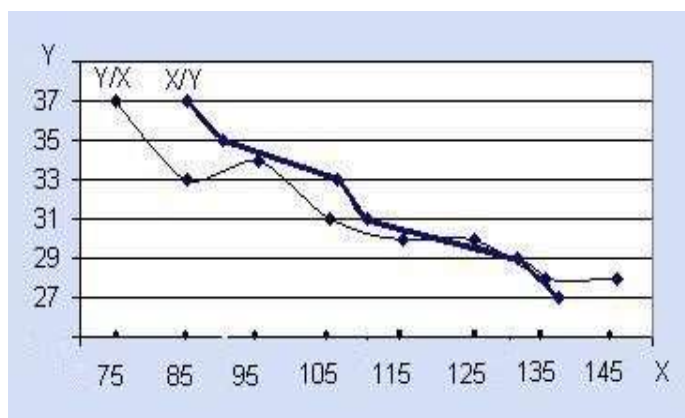


Рис. 2.1 – Связь между количеством зерен в метелке (x) и массой 1000 зерен (y) у риса

Однако он груб и не даёт точного измерения связи. Применяют его только при проведении предварительных исследований.

Другой способ установления корреляции основан на использовании *нормированных отклонений* по двум анализируемым признакам:  $t_x$  и  $t_y$ . Выражая отклонение отдельных вариантов от средней арифметической по обоим рассматриваемым признакам, одновременно можно сопоставлять их вариацию. Поэтому зависимость между нормированными отклонениями двух рядов признаков можно назвать *мерилом корреляционной связи*.

Коэффициент корреляции имеет смысл вычислять на компьютере (например, с помощью функции КОРРЕЛ в среде программы Excel или в программе Statistic), особенно при большом количестве промеров.

В агрономических исследованиях помимо парных связей довольно часто встречаются случаи сопряжения трех и более изменчивых признаков. В такой ситуации возникает необходимость изучить множественные связи между большим числом взаимодействующих переменных, выступающих как в виде целой системы коррелированных признаков организма, так и в форме совместного влияния сложной совокупности факторов на определенный комплексный признак.

Корреляция называется **множественной**, если на величину результативного признака одновременно влияют несколько факториальных признаков.

Часто в селекционно-генетических исследованиях устанавливают парные связи одновременно между многими признаками.

И в конечном итоге необходим анализ всех этих связей. Развитие корреляционного метода в приложении к анализу связей между большим количеством признаков называется **методом корреляционных плеяд**. Впервые он был разработан и предложен П.В. Терентьевым в 1928 году при изучении систематики земноводных и пресмыкающихся.

**Корреляционные плеяды – это сложная сеть корреляционных связей между многими признаками.** Анализируя эти связи, можно получить различные значения коэффициентов корреляции, одни из которых будут значимы, а другие нет, но для построения корреляционных плеяд учитываются только достоверные коэффициенты. Прежде чем применить метод корреляционных плеяд, составляют корреляционную матрицу – таблицу, объединяющую коэффициенты корреляции «все – со всеми», т.е. все возможные сочетания парных связей. Например, при изучении сопряженности девяти признаков озимой пшеницы можно получить 36 коэффициентов парной корреляции (рис. 2.2).

y \ x	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0,06	1							
3	-0,76	0,02	1						
4	-0,69	0,04	0,76	1					
5	-0,03	0,04	-0,20	0,48	1				
6	0,92	0	-0,57	-0,46	-0,09	1			
7	0,99	0,06	-0,71	-0,67	-0,05	0,92	1		
8	0,92	0,13	-0,59	-0,46	0,11	0,99	0,92	1	
9	0,98	0,07	-0,73	-0,59	0,12	0,94	0,98	0,94	1

Рис. 2.2 – Корреляционная матрица связей между структурными элементами урожайности озимой пшеницы

### 3. Регрессионный анализ

**Регрессионный анализ** – это раздел математической статистики, изучающий регрессионную зависимость между случайными величинами по статистическим данным. Цель регрессионного анализа состоит в определении общего вида уравнения регрессии, вычислении оценок неизвестных параметров, входящих в уравнение регрессии, проверке статистических гипотез о регрессионной связи.

При проведении экспериментов рекомендуется подбирать переменные, участвующие в экспериментах так, чтобы они были случайными, количественными и непрерывными. В этом случае для обработки результатов рекомендуется применять регрессионный анализ, обладающий свойствами сравнительной простоты и конструктивности.

Выделяются различные формальные задачи регрессионного анализа. Они могут быть простыми или сложными по формулировкам, по математическим средствам и трудоемкости.

Перечислим и рассмотрим на примерах те из них, которые представляются основными.

Первая задача – выявить факт изменчивости изучаемого явления при определенных, но не всегда четко фиксированных условиях.

Вторая задача – выявить тенденцию как периодическое изменение признака.

Третья задача – это выявление закономерности, выраженной в виде корреляционного уравнения (регрессии).

**Регрессия** – это зависимость среднего значения какой-либо величины от некоторой другой величины или от нескольких других величин. В отличие от чисто функциональной зависимости  $y=f(x)$ , когда каждому значению независимой переменной  $x$  соответствует одно определённое значение зависимой переменной  $y$ , при регрессионной связи одному и тому же значению независимой переменной (фактору)  $x$  могут соответствовать в зависимости от конкретного случая различные значения зависимой переменной (отклика)  $y$ .

Изучение регрессии основано на том, что случайные величины  $X$  и  $Y$  связаны между собой вероятностной зависимостью: при каждом конкретном значении  $X=x$  величина  $Y$  является случайной величиной с вполне определённым распределением вероятностей. Зависимость зависимой переменной – отклика от одной независимой переменной – фактора или нескольких факторов называется *уравнением регрессии*.

Уравнение вида  $y = a + b \cdot x$  находят теоретические значения результативного признака, подставляя в него фактические значения фактора  $x$ .

#### 4. Дисперсионный анализ

Методы дисперсионного анализа (д.а.) были разработаны Рональдом Фишером и применялись первоначально, в основном, для анализа результатов опытов в растениеводстве и животноводстве, но в дальнейшем выявилась возможность использования дисперсионного анализа во всех биологических науках, причем как при изучении материала взятого из природы (естественные условия) так и в любых экспериментах.

Дисперсионный анализ широко используют для планирования эксперимента и статистической обработки его данных. При дисперсионном анализе одновременно обрабатывают данные нескольких выборок (вариантов), составляющих единый *статистический комплекс*, оформленный в виде специальной рабочей таблицы. Структура статистического комплекса и его последующий анализ определяются схемой и методикой эксперимента.

Классификация методов дисперсионного анализа учитывает различные стороны научного исследования: количество изучаемых факторов, специальные методы исследования и размещения вариантов в опыте, количество градаций фактора и их характер.

Применение дисперсионного анализа предъявляет определённые требования к группировке выборочных данных (например, по высоте, по диаметру, по возрастному составу и т.д.). Важно, чтобы распределение было нормальным или близко к нормальному. При этом дисперсии выборочных групп должны не слишком отличаться друг от друга. Не менее важным является условие равенства объёмов выборок, что значительно облегчает дисперсионный анализ.

Признаки, изменяющиеся под воздействием каких-либо причин, называют результативными. Причины, вызывающие изменение признака называют факторами. Например, масса, линейный размер и т.п. – это признаки, на которые могут оказывать влияние различные факторы: питание, упражнения, удобрения и т.д. Факторы принято обозначать буквами латинского алфавита A, B, C, D. А признаки – X, Y, Z.

На признак оказывает влияние много факторов. В опыте обычно учитывается один, он называется регулируемым или организованным. Обычно каждый регулируемый фактор испытывают серийно, в виде нескольких испытаний или градаций. Градации обозначают индексами A1, A2, и т.д. число градаций фактора определяется условиями опыта: количеством сортов, дозами удобрений, и т.д. Результативные признаки тоже могут иметь свои градации, на которых испытывают действие регулируемых факторов.

При образовании статистических комплексов необходимо соблюдать два важных условия, гарантирующих правильное применение дисперсионного анализа.

1. Регулируемые факторы, действующие на признак, должны быть независимы друг от друга.

2. Выборки, входящие в статистический комплекс должны быть сделаны рандомизировано.

Форму статистического комплекса задают таблицей, строки её – число подразделений результативного признака, а столбцы – число градаций регулируемого фактора, или факторов.

Если на признак действует один регулируемый фактор, комплекс называется *однофакторным*. Если одновременно исследуется два, три, или большее число факторов, комплекс наз. двух-, трёх-, и многофакторным. Варианты могут располагаться по градациям комплекса равномерно, пропорционально и неравномерно, поэтому статистические комплексы называются равномерными, пропорциональными и неравномерными. Равномерные и пропорциональные комплексы называют ортогональными, а неравномерные – неортогональными.

В ортогональных комплексах соблюдается равенство  $DT = D_x + D_e$ . в *двухфакторных*:  $DT = DA + DB + DAB + D_e$ . В неортогональных это равенство нарушается. Это надо учитывать при планировании опытов.

После того как достоверно установлено влияние регулируемого фактора или факторов на результативный признак, при необходимости прибегают к сравнению групповых средних друг с другом или с какой-либо другой величиной, например с контролем, стандартом, установленной нормой и т.п. Разность между средними величинами, оценивают по t-критерию Стьюдента, т.е. по отношению указанной разности к её ошибке.