



Б.А.ДОСПЕХОВ

**МЕТОДИКА
ПОЛЕВОГО ОПЫТА**

Б. А. ДОСПЕХОВ

МЕТОДИКА ПОЛЕВОГО ОПЫТА

(С ОСНОВАМИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ)

**Второе издание, переработанное
и дополненное**

Допущено Главным управлением высшего
и среднего сельскохозяйственного образо-
вания Министерства сельского хозяйства
СССР в качестве учебника для агрономи-
ческих факультетов сельскохозяйственных
вузов



ИЗДАТЕЛЬСТВО «КОЛОС»

Москва — 1968

От автора

При подготовке второго издания книга существенно переработана и дополнена с учетом пожеланий, высказанных в рецензиях и письмах преподавателей институтов и научных работников. Более подробно изложены современные методы размещения полевых опытов, основой которых является рендомизация, направленная на устранение систематических ошибок, искажающих эффекты вариантов. Даны схемы случайного (рендомизированного) размещения вариантов, которыми можно пользоваться в экспериментальной работе с полевыми, овощными и плодовыми культурами. Дополнительно введен раздел о постановке опытов в колхозах и совхозах, на сенокосах и пастбищах, рассмотрены особенности полевого опыта при работе с отдельными культурами, кратко описана методика наблюдений и учетов в период вегетации, статистическая оценка данных вегетационного опыта, пробит-анализ и др. Вместе с тем некоторые второстепенные разделы и статистические таблицы опущены.

Как и предыдущее издание, книга предназначена для студентов сельскохозяйственных институтов. Она может быть использована также работниками опытных станций, аспирантами, агрономами и другими специалистами, ведущими экспериментальную работу.

При подготовке второго издания автор получил существенную помощь и ценные указания от профессоров В. Е. Егорова, И. С. Шатилова и И. И. Гунара и заведующего отделом методики полевого опыта Всесоюзного научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения В. Н. Перегудова.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность профессорам Н. И. Осадчему и К. Ф. Рубину за просмотр рукописи и ценные замечания при подготовке ее ко второму изданию, а также преподавателям и научным сотрудникам, приславшим свои отзывы на книгу и оказавшим тем самым большую помощь в работе над ее переработкой.

Агрономия — комплексная наука. Она занимается разработкой теоретических основ и агротехнических приемов дальнейшего повышения продуктивности культурных растений и улучшения качества урожая. Для решения этой проблемы необходимо постоянное расширение научных знаний, изыскание способов направленного изменения растений, выведение новых форм и сортов сельскохозяйственных культур, наиболее приспособленных к условиям среды, и изменение условий среды в соответствии с потребностями растений. Это достигается научно-исследовательской работой, изучением биологии культурных растений и приемов возделывания, изысканием новых возможностей повышения продуктивности земледелия.

В связи с большой комплексностью изучаемых объектов в научной агрономии используются разнообразные методы исследования, заимствованные из области точных наук — химии, математики, физики, физиологии, а также свои специфические методы. К основным методам агрономического исследования относятся лабораторный, вегетационный, лизиметрический и полевой методы, которые в сочетании с наблюдениями за растениями и условиями внешней среды представляют важнейшие инструменты научной агрономии. Среди них главным является опыт в поле. Полевой опыт завершает поисковое исследование, количественно оценивает агротехнический и экономический эффект нового способа или приема возделывания растений и дает объективные основания для передачи и внедрения научного достижения в сельскохозяйственное производство.

С того времени, как человек начал возделывать растения, постепенно стали накапливаться разрозненные эмпирические наблюдения над ростом растений и их урожаями, то, что мы теперь называем народным опытом, который долгое время был единственным источником сельскохозяйственных знаний.

Научная агрономия начала развиваться под влиянием непосредственных запросов материального производства. С ростом потребностей в продуктах питания и уменьшением свободных для освоения земель практическое земледелие уже не могло на основании одних эмпирических знаний удовлетворить потребности все увеличивающегося населения в пищевых ресурсах. Необходимо было более детальное изучение растений и их отношения к условиям среды, нужны были научный метод изучения вопросов, интересующих земледельца, и люди, владеющие этим методом. Так создавались

объективные условия зарождения научной агрономии и формирования ее в самостоятельную науку. Постепенно опытная агрономия завоевала для экспериментальной работы небольшие полевые участки — опытные поля, затем возникли опытные станции, научные институты и другие сельскохозяйственные учреждения.

Мысль о необходимости развития научной агрономии в нашей стране высказывалась давно. Значение эксперимента в земледелии, как и в других отраслях материального производства, подчеркивал еще М. В. Ломоносов. Ему принадлежит набросок проекта об учреждении «Коллегии по сельскому хозяйству», которая занималась бы изучением сельского хозяйства и организацией опытных участков в различных зонах страны.

Однако в условиях крепостной России идеи М. В. Ломоносова не были реализованы. Лишь в год его смерти (1765) было создано Вольное экономическое общество для поощрения земледелия и домостроительства в России. Деятельность этого общества была разнообразной: издание трудов, сбор сведений о состоянии сельского хозяйства и применявшихся способах восстановления плодородия почвы, выписка из-за границы различных семян для опытов, объявление конкурсов за удачные опыты по применению удобрительных веществ и др. Обществом издана первая инструкция по постановке и проведению полевых опытов.

Первые опытные поля стали создаваться в 20-х годах прошлого столетия. В 1821 г. Московское общество сельского хозяйства, возникшее в 1818 г., организует Бутырский опытный хутор. Здесь под руководством М. Г. Павлова, читавшего курс сельского хозяйства в Московском университете, вели сравнительное изучение севооборотов, полевых культур, испытывали сельскохозяйственные машины и орудия. Бутырский хутор проводил опытную работу в области сельского хозяйства до 20-х годов нынешнего столетия.

На развитие агрономической науки в России большое влияние оказала высшая школа. В 1848 г. Горыгорецкая земледельческая школа, основанная в Могилевской губернии в 1836 г., была преобразована в первое высшее сельскохозяйственное учебное заведение — Горыгорецкий земледельческий институт. В 1862 г. были открыты Ново-Александровский институт сельского хозяйства и Рижское политехническое училище с сельскохозяйственным отделением. В университетах с 1863 г. введено преподавание агрономической химии, а с 1883 г. были восстановлены кафедры агрономии. В начале 90-х годов ими руководили видные деятели сельскохозяйственной науки: в Петербурге — первый в России доктор земледелия А. В. Советов; в Москве — А. Н. Сабинин; в Харькове — А. Е. Зайкевич; в Одессе — П. Ф. Бараков; в Киеве — С. М. Богданов.

В 1865 г. в Москве была открыта Петровская земледельческая и лесная академия (ныне Московская ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева), ставшая центром научной сельскохозяйственной мысли в стране.

Создание разносторонней высшей агрономической школы в центре России сыграло важную роль в развитии сельскохозяйственного образования и сельскохозяйственной науки. С открытием академии связано интенсивное развитие русской научной агрономии, появление оригинальных исследований, начало широкой самостоятельной разработки русского земледелия, усиление связей общего естествознания и чисто агрономических дисциплин. В академии формировались основные направления и школы научной агрономии и зоотехнии, обосновывались возможности внедрения достижений науки в производство.

Зарождение опытного дела в современных его формах и применение экспериментального метода к изучению вопросов сельского хозяйства связано с именами Д. И. Менделеева, К. А. Тимирязева, А. И. Энгельгардта, И. А. Стебута, А. Е. Зайкевича, П. А. Костычева, Д. Н. Прянишникова и других ученых.

Хотя научные учреждения по сельскому хозяйству (опытные поля и станции) начали создаваться в России давно, но развитие их до Великой Октябрьской социалистической революции проходило очень медленно. Достаточно сказать, что к 1913 г. насчитывалось всего немногим более ста опытных учреждений, где работало меньше 1000 научных работников. Опытное дело было бессистемным и слабо-организованным, достижения научной агрономии, недоступные для мелких крестьянских хозяйств, использовались только немногими крупными частновладельческими хозяйствами.

Октябрьская революция внесла коренные изменения в развитие народного хозяйства и науки. Была широко развернута научно-исследовательская работа по сельскому хозяйству, стали внедряться в производство механизация, селекционные сорта, минеральные удобрения, ядохимикаты и другие средства повышения продуктивности растений.

Организации научно-исследовательской работы по сельскому хозяйству в молодой Советской республике большое внимание уделял В. И. Ленин. Всестороннее развитие сельскохозяйственного производства, механизацию его, внедрение новых приемов обработки почвы, новых сортов и культур он считал важнейшей общегосударственной задачей. На IX Всероссийском Съезде Советов (1921 г.) В. И. Ленин указал на необходимость организации в стране единого центра для руководства сельскохозяйственной наукой. Позднее была создана специальная комиссия, которая пришла к заключению, что нужно организовать особое учреждение — Всесоюзную исследовательскую академию по сельскому хозяйству.

В 1929 г. создана Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина (ВАСХНИЛ) и ряд институтов, на которые была возложена организация и методическое руководство опытным делом в сельском хозяйстве нашей страны.

В настоящее время существует следующая система (типы) исследовательских учреждений по сельскому хозяйству.

1. Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина с ведущими (головными) институтами.
2. Отраслевые научно-исследовательские институты и станции по важнейшим культурам.
3. Зональные научно-исследовательские институты.
4. Государственные комплексные опытные станции, организуемые во всех областях.
5. Государственные селекционные станции.
6. Государственные сортоиспытательные участки.
7. Опытные-показательные хозяйства и опытные поля.

Кроме специальных научно-исследовательских учреждений, научную работу по сельскому хозяйству ведут также около 100 высших сельскохозяйственных учебных заведений с разветвленной сетью научных учреждений — опытными станциями, лабораториями, опытными полями и учебно-опытными хозяйствами.

В 1965—1966 гг. в нашей стране создана агрохимическая служба и организовано около 200 производственных агрохимических лабораторий в различных зонах страны. Главная задача агрохимической службы — разработка научно обоснованных рекомендаций по распределению и эффективному использованию удобрений на основе результатов точных полевых опытов с удобрениями и агрохимических анализов почв.

Характерная особенность советской научной агрономии — тесная связь теоретических исследований с запросами производства и внедрение ценных результатов в практику: новых сортов и гибридов, новых приемов агротехники, всего передового, что способствует прогрессу сельского хозяйства.

Руководить сельским хозяйством в современных условиях — значит прежде всего изучать достижения науки и применять их, вести опытную работу непосредственно на производстве. Сейчас как никогда нужны агрономы-экспериментаторы, хорошо знакомые с достижениями сельскохозяйственной науки во всем мире и владеющие методикой полевого эксперимента.

МЕТОДИКА ПОЛЕВОГО ОПЫТА

§ 1. МЕТОДЫ НАУЧНОЙ АГРОНОМИИ

Каждая наука, опираясь на всеобщий диалектический метод научного познания, применяет целый комплекс присущих ей специальных, частных методов исследования, а также и те методы, которые используются другими науками. К ним относятся такие общие способы и приемы научного познания, как наблюдение и эксперимент, индукция и дедукция, анализ и синтез, обобщение и абстрагирование, гипотеза, моделирование, математические методы и многие другие.

Научное исследование, т. е. изучение и объяснение закономерностей развития явлений в любой области науки, может быть теоретическим или экспериментальным. Явления, изучаемые научной агрономией, так многообразны и сложны, что получение точного теоретического решения вопроса часто затруднительно или порой невозможно. Поэтому многие исследования в области агрономии комплексные, и трудно провести грань между теоретическим и экспериментальным исследованием.

Первоосновой, источником теоретических исследований служит наблюдение, опыт, а обобщение экспериментальных данных развивает теорию. В большинстве случаев эксперимент является единственно надежным способом решения поставленной задачи и контроля правильности теоретических выводов, основой познания и критерием истины.

В основе любого теоретического и экспериментального исследования лежит общий метод познания — метод диалектического материализма, вскрывающий наиболее общие законы развития природы и общества. Агрономическая наука, опираясь на диалектический метод познания, при разработке теоретических основ и новых практических приемов повышения продуктивности растений пользуется общепринятыми приемами научного исследования — наблюдением и экспериментом (опытом), которые соответственно своеобразию объекта научной агрономии имеют специфические особенности и проводятся по определенной методике.

Наблюдения — это количественная или качественная регистрация интересующих исследователя сторон развития явления, констатация наличия того или иного его состояния, признака или свойства. Для наблюдения и регистрации тех или иных свойств или состояний явления применяют разнообразные средства измерений, вплоть до самых совершенных.

На метеорологических станциях, например, систематически ведут наблюдения за температурой воздуха и почвы, осадками,

направлением и силой ветра, влажностью воздуха и почвы. Мы можем наблюдать за засоренностью посевов, наличием в почве питательных веществ и влаги, морозостойкостью и засухоустойчивостью различных сортов, работой сельскохозяйственных машин и т. п. Во всех этих и подобных им случаях наблюдение дает нам количественную или качественную характеристику явления, но не вскрывает его сущности. В ряде случаев этого вполне достаточно для установления связи между отдельными явлениями, признаками или свойствами и позволяет предвидеть эти явления, а следовательно, в некоторых случаях оказывать на них определенное влияние. Однако чаще всего наблюдение в агрономии не является самостоятельным приемом исследования — эксперимента, который иногда называют активным наблюдением.

Используя данные наблюдений или опытов и сопоставляя между собой изменения двух или большего числа интересующих явлений, их признаков или свойств, мы можем установить между ними сопряженность, взаимоотношение. Такая взаимосвязь, или соотношение, носит название корреляции. Если при изменении одного явления в определенном направлении, например при увеличении осадков, в других явлениях, например урожаях, происходят изменения не совершенно беспорядочные, а также в определенном направлении — увеличиваются в засушливых районах или уменьшаются во влажных районах, то мы говорим, что между этими явлениями имеется корреляционная связь.

Корреляция может быть прямой, когда с увеличением одного из двух интересующих нас признаков наблюдается увеличение второго, и обратной, когда с увеличением одного признака другой уменьшается.

Установление корреляционных связей помогает вскрывать сущность явления, его причины, знание которых дает возможность управлять явлениями.

Эксперимент, опыт — это такое изучение, при котором исследователь искусственно вызывает явления или изменяет условия так, чтобы лучше выяснить сущность явления, происхождение, причинность и взаимосвязь предметов и явлений. Опыт — ведущий метод исследования, включающий в себя наблюдения, корреляции, строгий учет измененных условий и учет результатов. *Характернейшая черта и главная особенность любого точного научного опыта — его воспроизводимость.*

Опыт лишь в редких случаях может быть применен как метод получения предварительных данных. Он почти всегда связан с предварительными наблюдениями, в результате которых создается та или иная гипотеза, которую исследователь и намеревается доказать с помощью опыта. Ставить опыты, не зная, что именно требуется доказать, что установить, в подавляющем большинстве случаев значит заниматься бесполезным делом.

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, ищущая проверки фактами, практикой.

По сравнению с наблюдением опыт имеет большие преимущества, благодаря которым эксперимент стал господствующим методом исследования всех естественных наук. Так, экспериментатор может сам воссоздать нужное ему явление, не дожидаясь, когда оно наступит в природе, может расчленять явления (анализ) и вновь объединять их (синтез), создавать надлежащие сопутствующие условия опыта, которые позволяют глубже изучать явления, понять причину их и следствие.

«Опыт, — говорил И. П. Павлов, — как бы берет явление в свои руки и пускает в ход то одно, то другое и таким образом в искусственных, упрощенных комбинациях определяет истинную связь между явлениями. Иначе сказать, наблюдение собирает то, что ему предлагает природа, опыт же берет от природы то, что он хочет. И сила биологического опыта поистине колоссальна» *.

Наиболее характерной особенностью эксперимента, отличающей его от наблюдения и корреляции, является предварительный мысленный эксперимент, направленный на создание соответствующей обстановки опыта. Эта предварительная работа почти всегда самая трудная часть опыта, она требует от исследователя большой эрудиции и творческого воображения. Необходимо мысленно представить весь ход эксперимента, убрать все лишнее, мешающее изучению явления.

Экспериментатор должен уметь сосредоточить все свое внимание на исследуемой проблеме — продолжительно и упорно думать о ней. Когда Ньютона спросили, как он сделал свои открытия, он ответил: я постоянно думал о них. Правда, иногда приходится слышать утверждения, что великие открытия — дело случая: упало яблоко — открыл закон всемирного тяготения, забрался в ванну — гидростатический закон, увидел отпечатки птичьих лап на песке — китайские иероглифы. На самом же деле «непроизвольные» мысли были подготовлены всей предшествующей умственной работой; решение уже созрело, и нужен был самый незначительный повод для того, чтобы оно выявилось с полной ясностью.

Экспериментатор должен преодолевать в себе привычку к routine-мышлению, подходить ко всему с вопросом, развивать любознательность. Это необходимо не только потому, что тот, кто много спрашивает, многому научится, но и для творческой деятельности, самостоятельного мышления, критического отношения ко всему.

Важнейшие и неотъемлемые качества истинного экспериментатора — отсутствие чувства непреложности авторитетов и догма-

* И. П. Павлов. Полное собрание трудов, т. II, М. — Л., изд. АН СССР, 1916, стр. 357.

тизма, признание сложности изучаемых объектов, осторожность и скромность в утверждениях. Это не означает, однако, что на каждом шагу следует ставить под сомнение все ранее установленное и проверенное точным опытом, наоборот, наука действует методом дальнейшего развития, а не отбрасывания уже достигнутого, но в поиске новых знаний исследователь должен обязательно учитывать возможные ошибки своих предшественников и современников. Часто это настолько важно, что выяснение возможных ошибок является условием развития науки. Каждый сам может повторить опыты и убедиться, соответствуют ли действительности его выводы.

Экспериментатор всегда ищет новые пути, всегда находится на краю неизвестного, и если то или иное мнение существует давно, как общепринятое, если прием применяется всегда и всеми, это для исследователя не может служить доказательством его рациональности. В тех научных коллективах, где ко всему подходят критически, проявляют пылливость и любознательность, где не существует непреложности авторитетов, возникают научные школы, творческие коллективы, стоящие на передовых рубежах мировой науки.

И, наконец, экспериментатор должен обладать большой работоспособностью и настойчивостью. Недаром говорят: «гений — это терпение». Ч. Дарвин указывал, что его успех как исследователя определяется сложными и разнообразными условиями, среди которых самые важные — любовь к науке, бесконечное терпение при размышлении над определенной темой, наблюдательность, достаточная доля изобретательности и здравого смысла.

В научной работе по полеводству, овощеводству и плодоводству используют в основном три специфических для агрономии метода исследования: лабораторный, вегетационный и полевой. Каждый из них имеет свои приемы исследования — наблюдения и эксперименты в условиях специальных лабораторий, вегетационных домиков, фитотронов и в естественной полевой обстановке.

Общее для лабораторного и вегетационного методов состоит в том, что наблюдения и эксперименты проводят в искусственных, строго контролируемых условиях. Например, в настоящее время в лабораториях искусственного климата (фитотронах) стало возможным довольно точно определять воздействие отдельных факторов внешней среды и их различных сочетаний на рост и развитие растений. Наблюдения и эксперименты при полевом методе проводят в естественной полевой обстановке с многими непрерывно меняющимися независимо от экспериментатора условиями. Здесь внешние факторы воздействия на растения могут сочетаться самым различным и часто совершенно непредвиденным образом, а поэтому невозможно выделить и рассмотреть роль каждого фактора в отдельности. Так, урожай в полевом опыте является синтезом всех условий возделывания, он отражает и интегрирует действие всех внешних и внутренних факторов и их различных сочетаний. Поэтому, несмотря на внешнюю кажущуюся простоту, полевой метод исследова-

ния - наиболее сложный биологический метод познания жизни растений и его требований к условиям внешней среды.

В современных условиях для решения основных, фундаментальных проблем земледелия, от которых зависит дальнейшее повышение продуктивности культурных растений, необходимы объединенные усилия квалифицированных коллективов научных сотрудников и специалистов, эффективное использование в процессе исследования всего арсенала познавательных средств науки. Поэтому наряду с использованием общих логических форм познания (индукции и дедукции, анализа и синтеза, гипотез и т. д.), а также традиционных, специфических для земледелия и уже доказавших свою эффективность приемов и методов исследования во все возрастающей степени применяются новые физико-химические, математические, кибернетические и другие приемы и методы, заимствованные из смежных наук. Это позволяет во все возрастающих масштабах проводить аналитико-синтетическое изучение сложных явлений в сельскохозяйственном производстве. Оно направлено на познание причин явления и разработку научно обоснованной теории. Весь процесс аналитико-синтетического изучения условно можно разбить на следующие основные этапы.

1. Выявление и анализ необходимости в исследовании, изучение доступной информации (литературы), зарождение идеи и построение логического плана работы.

2. Получение фактического материала (наблюдениями, экспериментами, использованием литературы и т. п.), необходимого для аналитического расчленения явления и изучения его в целом.

3. Выдвижение рабочей (научной) гипотезы — определенной предположения о возможной причине изучаемого явления, удовлетворительно объясняющей имеющиеся факты.

4. Экспериментальная проверка основных положений рабочей гипотезы точными, решающими опытами, постепенное превращение гипотезы в обоснованную научную теорию, формулирование основных принципов или законов, которыми может воспользоваться практика.

Таков общий ход исследования. В действительности же экспериментатору нередко приходится возвращаться назад к тому или иному этапу и по несколько раз, иногда изменяется и порядок главных разделов работы. Часто на заключительном этапе выясняется недостаток фактического материала для аналитического расчленения явления или выявляются ошибки, решающие опыты могут не подтвердить гипотезу и т. д. Это требует пополнения аналитической части работы, модификации гипотезы или выдвижения новой, а следовательно, и ее проверки.

Другой метод изучения и доказательства, которым пользуется агрономическая наука, называют эмпирическим или методом «проб и ошибок». Единичными или массовыми опытами — пробами — устанавливают агротехнический и экономический эффект от изучаемого приема или сложного агрокомплекса без выяснения

сущности явления. Этот метод эффективен тогда, когда исследование новой проблемы только начинается, имеется много путей поиска и необходимо быстро получить исходные данные о внешних проявлениях изучаемого явления. И хотя метод «проб и ошибок» ограничен и без осмысливания, без теории, т. е. без аналитико-синтетического изучения, обычно не приводит к крупным успехам, он может давать ответы на многие практические вопросы до разработки теории.

Применение эмпирического метода исследования обычно связано с трудоемким накоплением большого количества опытных данных и с большой сложностью их систематизации и использования. Однако эмпиризм как метод научного поиска в биологических, сельскохозяйственных и других науках далеко не изжил себя, и многие важные и сложные научно-технические проблемы приходится решать грубым эмпирическим или полумэмпирическим путем.

ЛАБОРАТОРНЫЙ МЕТОД

Лабораторные методы исследования, т. е. изучение культурных растений и условий их выращивания в специально оборудованных агрохимических, биохимических, цитологических, бактериологических и других видах лабораторий, широко применяются научной агрономией. Эти методы являются предметом важнейших агрономических дисциплин и подробно рассматриваются в курсах агрохимии, земледелия, растениеводства, селекции и генетики, микробиологии, физиологии и т. д. Поэтому здесь ограничимся лишь замечаниями общего характера.

Лабораторные методы могут иметь самостоятельное значение, но чаще всего они являются составной и нередко очень важной частью более широких агрономических исследований. Например, при проведении полевых и вегетационных опытов правильная организация и осуществление лабораторных анализов почв и опытных растений позволяют понять и объяснить сущность изучаемых явлений, сделать обоснованные выводы. В зависимости от целей и задач исследования удельный вес лабораторных методов в общем объеме исследовательских работ может быть различным. Однако во всех случаях правильно выполненные лабораторные исследования помогают установить закономерности и сущность явления, понять ход процессов и на основании этого предвидеть, предугадать действие тех или иных факторов на урожай.

Применение лабораторных методов исследования помогает расчленить сложное явление на факторы и изучить отдельно растение, почвенные, бактериологические, метеорологические и другие условия. При этом в научной агрономии используют специфические для смежных наук (физиология растений, биохимия, почвоведение, микробиология и т. п.) методы исследования, направленные на выяснение сложных взаимосвязей различных факторов, действующих на процессы формирования урожая. Таким образом, лабора-

торные методы исследования являются важным составным звеном аналитико-синтетического изучения для познания причин явления и разработки научно обоснованной теории. Поэтому нельзя противопоставлять лабораторные методы вегетационному и полевому — и те и другие с наибольшей для данного исследования целесообразностью и эффективностью должны использоваться в процессе познания культурных растений и их отношения к условиям возделывания. Конечно, на разных этапах исследования может преобладать то один, то другой метод, но в целом все приемы и методы познания культурных растений должны применяться в тесном взаимодействии, в неразрывном единстве.

В практике агрономических исследований, особенно при проведении полевых опытов, часто применяют лабораторные методы определения агрофизических и агрохимических свойств почвы, химического состава культурных растений и оценки качества урожая. Все эти методы хорошо разработаны и описаны в специальных руководствах *.

Здесь необходимо обратить внимание на одно важное обстоятельство, которое нужно учитывать при планировании лабораторных исследований. Результаты этих исследований будут правильно характеризовать изучаемый объект только в том случае, когда проба почв или растений, т. е. небольшая выборка, взятая для анализа, представляет, характеризует всю изучаемую совокупность. Ошибки, допущенные при образовании выборки, не могут быть компенсированы высокой точностью аналитической работы и полностью обесценивают данные иногда очень сложных и дорогостоящих лабораторных исследований. Это ставит перед экспериментатором ответственную задачу по правильному отбору проб для анализов, чему, к сожалению, иногда не придается существенного значения.

Например, очень часто при проведении полевых опытов берут смешанные пробы почв или растений только с одного повторения, а анализы в лаборатории осуществляют в 2—4-кратной повторности. Параллельные анализы, как правило, совпадают, и это принимают за хорошую точность определения. Между тем совпадение параллельных анализов характеризует лишь внутрिलाбораторную ошибку определения. Она не может быть использована для оценки существенности разниц между вариантами опыта, так как в другом его повторении масштабы этих различий могут быть иными или получены совершенно диаметрально противоположные результаты.

Поэтому, чтобы на основании лабораторного анализа сделать правильный вывод, необходимо так планировать отбор проб в поле-

* Агрохимические методы исследования почв. М., изд. АН СССР, 1965; А. В. Петербургский. Практикум по агрономической химии. М., Сельхозиздат, 1963; А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М., изд. «Высшая школа», 1961; С. А. Воробьев и др. Практикум по земледелию. М., изд. «Колос», 1967.

пом или вегетационном опыте, чтобы они характеризовали все или по крайней мере несколько повторностей. В этом случае данные анализов по повторностям будут указывать на изменчивость изучаемого признака или свойства и могут служить для объективной оценки существенности различий по вариантам опыта.

Правильное применение лабораторных методов в агрономических исследованиях требует хорошего знания теоретических основ биологии, химии, физики и смежных с ними наук, методики полевого и вегетационного опытов, а также техники лабораторных работ. Часто совершенно неправильно считают, что ценные аналитические результаты могут быть получены только при использовании дорогого и сложного оборудования. Искусство экспериментатора состоит именно в том, чтобы достичь цели при помощи самых обыкновенных средств и аппаратуры.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД

Сущность вегетационного метода исследования состоит в том, что растения выращивают в вегетационных сосудах, в искусственной, но агрономически обоснованной обстановке, регулируемой экспериментатором. Для вегетационных опытов применяют самые разнообразные сосуды — стеклянные, глиняные, из оцинкованного железа, пластических и других материалов. В качестве субстрата для выращивания растений используют почву, песок или воду. Во время опыта сосуды с растениями помещают в специально построенные вегетационные домики, теплицы или лаборатории искусственного климата. Это делается для того, чтобы защитить растения от неизучаемых или неблагоприятных факторов и выявить значение того или иного фактора жизни в возможно более чистом виде, сделать расчлененный анализ, который в сложной природной обстановке провести нельзя. Особенно большое значение вегетационные опыты имеют при изучении питания растений.

В зависимости от субстрата, на котором выращиваются растения, различают вегетационные опыты с почвенными, песчаными, водными и стерильными культурами. Каждый из этих методов направлен на решение различных задач. Так, опыты на искусственных (беспочвенных) средах позволили разрешить ряд важных вопросов по физиологии растений, которые имеют большое значение для практической агрономии. Установлено, например, значение различных элементов в питании растений, механизм их поглощения, концентрации, взаимодействия и сочетания, антагонизм ионов и т. д.

Метод выращивания растений в искусственной среде — на растворе химически чистых солей — впервые ввел в практику исследований немецкий ученый В. Кноп в 1859 г. К. А. Тимирязев в 1896 г. на Всероссийской нижегородской выставке, демонстрируя опыты с водными культурами, говорил: «В настоящее время, соблюдая известные предосторожности, мы можем заменить почву этой совер-

лично прозрачной средой и, выращивая в водном растворе самые разнообразнейшие растения, доводить их до таких же нормальных размеров, каких они достигают в самой плодородной почве» *.

Действительно, в настоящее время метод выращивания растений без почвы, который назван гидропоникой, что по-гречески значит «действие воды», получает все более широкое распространение при культуре овощей в теплицах, парниках и открытом грунте. Для производства метод водной культуры впервые предложил У. Герике (США) в 1929 г. Вскоре его опыты были повторены во Франции, Италии, Англии и Греции. В нашей стране опыты по гидропонике начались в 1939 г. в Ленинградском государственном университете под руководством профессора В. А. Чеснокова. За последние годы работы по гидропонике значительно расширились. Их ведут на овощной опытной станции Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева, в Научно-исследовательском институте овощного хозяйства и в ряде других научных учреждениях по сельскому хозяйству. Метод производственной водной культуры успешно осуществляется в некоторых колхозах и совхозах в нашей стране, а также за рубежом — в США, Франции, Бельгии, Японии, Индии и других странах.

Основное преимущество гидропоники заключается в возможности полного управления питанием растений, что особенно ценно при интенсивной культуре в защищенном грунте. Для крупных производственных установок наиболее приемлемой оказалась водно-гравийная культура. Гравий с частицами диаметром 2—15 мм, дробленый шлак, щебень и другие материалы, применяемые вместо почвы, обладают достаточной поглотительной способностью для того, чтобы сделать состав питательной среды более устойчивым, а также предохранить корневую систему от подсыхания и обеспечить благоприятные условия ее аэрации. В соответствии с заданным режимом гравий в резервуаре, где выращиваются растения, автоматически затопляется (орошается) сверху или снизу питательным раствором. Затопление продолжается несколько минут, затем растущий автоматически выпускается. После полива корни находят влагу и питательные вещества в жидкой пленке на частицах гравия, а свежий воздух — в пустотах среди них.

Пример успешной разработки способа производственной гидропонии достаточно убедительно показывает большую роль научного метода исследования и его значение для практического сельского хозяйства. Он поучителен в том отношении, что хотя вегетационные опыты на искусственных средах проводятся в далекой от естественных условий обстановке, но именно этому методу мы обязаны современными представлениями о механизме питания растений и именно он предвосхитил одно из достижений сельскохозяйственной науки нашего времени — гидропонику.

* К. А. Тимирязев. Избр. соч., т. III. М., Сельхозгиз, 1949, стр. 119.

Вегетационные опыты с почвенными культурами несколько ближе стоят к полевым условиям, чем опыты на искусственных средах, так как в качестве субстрата для выращивания растений здесь используется почва. Такие опыты очень удобны для изучения влияния какого-либо определенного фактора на развитие растений при постоянстве остальных условий; они позволяют быстрее выявить факторы, лимитирующие урожай, способствуют пониманию результатов проведенных полевых опытов и могут указать правильное направление для постановки новых, за которыми пока остается последнее слово в оценке агротехнических приемов. Данные вегетационных опытов с почвенными культурами не могут дать полной характеристики полевых (естественных) условий, но они незаменимы при решении многих практически важных вопросов. Достаточно указать, что метод вегетационного опыта с почвенными культурами используется для определения содержания в почве усвояемых растениями питательных веществ, оценки химических и микробиологических методов определения в почве количества усвояемых веществ и решения других вопросов, имеющих важное практическое значение.

Преобладающее большинство исследователей по полеводству считают, что результаты вегетационных опытов нельзя непосредственно переносить в полевую обстановку. Это положение часто бывает справедливо, и его можно иллюстрировать следующим примером. Известно, что на черноземах внесение азота в полевых условиях менее эффективно, чем фосфора, между тем в вегетационных опытах наибольший эффект дают азотные удобрения. Однако это несколько не умаляет значения вегетационного метода исследования, который представляется очень удачным для расчлененного и глубокого количественного анализа изучаемого явления и должен широко использоваться в этих целях.

При разработке ряда вопросов в научной агрономии пользуются лизиметрическим методом. Он отличается от вегетационного тем, что исследование жизни растений и свойств почвы проводят в поле, в специальных лизиметрах, где почва отгорожена со всех сторон (с боков и снизу) от окружающей почвы и подпочвы. Основное условие, определяющее конструкцию лизиметра, — приспособления, позволяющие изучать просачивание воды и растворенных в ней веществ. Мощность слоя в лизиметре может варьировать в широких пределах — от глубины пахотного слоя до 1—2 м.

Лизиметрические опыты используют в земледелии, почвоведении, физиологии, агрохимии и селекции для выяснения таких важных вопросов, как водный баланс под различными сельскохозяйственными культурами, вымывание и перемещение питательных веществ атмосферными осадками, определение транспирационных коэффициентов в естественной обстановке и др. Основной признак, по которому различают лизиметры, заключается в способе заполнения их почвой: их делят на лизиметры с почвой естественного строения и лизиметры с насыпной почвой. Материалы, из которых

изготавливают лизиметры, могут быть очень разнообразными: делают бетонные и кирпичные лизиметры объемом 1—2 м³, в расчете на длительное использование; металлические — с радиусом от 10 до 40—50 см и так называемые лизиметрические воронки диаметром 25—50 см. Могут быть и другие конструкции лизиметров.

В лизиметрах значительно легче вести учет влаги и питательных веществ в почве и растениях, растущих на ней. Однако полное отделение почвы в лизиметре от нижележащих слоев ее создает в них, несомненно, совершенно иной пищевой, водный и воздушный режим, чем в обычных полевых условиях.

Дальнейшее сближение условий проведения сельскохозяйственного эксперимента с полевой обстановкой наблюдается в вегетационно-полевых опытах. Эти опыты проводят в поле в цилиндрических или квадратных сосудах без дна. Почва в сосудах отгорожена здесь только с боков (на глубину 20—30 см) и все время находится в контакте с подпочвой при естественном увлажнении и аэрации.

Вегетационно-полевые опыты могут быть использованы для решения самых разнообразных вопросов земледелия — оценки эффективности удобрений, плодородия различных генетических горизонтов почвы, взаимоотношений растений в смешанных посевах и т. п. Важно отметить, что такие опыты могут быть заложены как на специально выделенном участке, так и среди поля в условиях климата той зоны, в которой развиваются растения в естественной обстановке. Кроме того, проведение вегетационно-полевых опытов не требует соответствующей материальной базы и специального оборудования, необходимых при постановке вегетационных и лизиметрических опытов, что делает их незаменимыми при работе в условиях производства.

Для боковых стенок сосудов используют оцинкованное железо, плотную бумагу, картон, гибкую фанеру, покрытые тонким слоем парафина, и другие материалы. Техника закладки опыта следующая: В поле выбирают выровненную площадку, однообразную в почвенном отношении, и намечают схему расположения сосудов. В местах размещения сосудов лопатой удаляют пахотный слой почвы, а подпочву перекапывают на глубину 10—15 см, тщательно перемешивают и уплотняют до естественного состояния. В соответствии со схемой опыта в выемку устанавливают сосуды, врезая их в подпочву на глубину 3—5 см. Промежутки между смежными сосудами засыпают почвой. Затем сосуды набивают почвой в соответствии со схемой опыта. Готовят почву и набивают сосуды так же, как и при закладке вегетационных опытов. Над поверхностью почвы оставляют бортик сосуда высотой 1—2 см.

Более подробно с методикой и техникой вегетационных опытов можно ознакомиться по специальным руководствам *.

* А. В. Соколов, А. И. Ахромейко и В. Н. Панфилов. Вегетационный метод. М., Сельхозгиз, 1939; Агрохимия. Под ред. акад. В. М. Ключевского и проф. А. В. Петер-Бурдесского. М., изд. «Колос», 1967; Агрохимические методы исследования почв. М., изд. АН СССР, 1960; Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами. М., изд. «Наука», 1967.

Особенность полевого опыта как важнейшего метода экспериментального изучения основных вопросов полеводства, отличающая его от других методов исследования (наблюдений, вегетационных и лизиметрических опытов), состоит в том, что культурное растение изучается вместе со всей совокупностью почвенных, климатических и агротехнических факторов, очень близких к производственным, или непосредственно в производственных условиях. Только полевой опыт может установить связь между урожаем и средствами воздействия на него. Кроме того, существует ряд вопросов, которые вообще не могут быть изучены вне полевой обстановки, вне полевого опыта, например система обработки почвы и ухода за растениями, севооборот, применение удобрений в севообороте, сочетание удобрений и гербицидов с другими агротехническими приемами, механизация уборки, урожайность различных сортов и т. д.

Полевой опыт связывает теоретические исследования в агрономии с сельскохозяйственной практикой. Результаты полевых опытов, подкрепляющие выводы теоретического исследования и обобщения практических наблюдений, могут быть достаточно убедительным основанием для широкого внедрения новых средств повышения урожаев — агротехнических приемов, новых сортов, удобрений и др.

Как бы ни были ценны наблюдения, результаты вегетационных и лизиметрических опытов, прежде чем сделать выводы из них и рекомендации для производства (если вообще такие могут быть предложены), они должны быть проверены в условиях сравнительного полевого опыта. Все это делает полевой опыт основным, важнейшим методом исследования в полеводстве, который поэтому будет в дальнейшем предметом нашего изучения.

В философском понимании опыт — это часть общественно-производственной деятельности людей, направленной на раскрытие объективных законов материального мира с целью овладения и подчинения тайн природы власти человека. В техническом понимании опыт — это такое изучение, при котором исследователь искусственно воспроизводит явления природы или изменяет условия так, чтобы лучше выяснить сущность явления, происхождение, причинность и взаимосвязь предметов и явлений.

Попытаемся конкретизировать понятие сельскохозяйственного полевого опыта, изложить основные требования методики полевого опыта.

Полевой сельскохозяйственный опыт — исследование, осуществляемое в полевой обстановке на специально выделенном участке. Основной задачей полевого опыта является установление различий между вариантами опыта, количественная оценка действия факторов жизни, условий или приемов возделывания на урожай растений и его качество.

Любой полевой опыт включает опытные и контрольные варианты. Под опытным вариантом понимают изучаемое растение, сорт, условие возделывания, агротехнический прием или их сочетание. Вариант, с которым сравнивают опытные варианты, называют контролем или стандартом. Совокупность опытных и контрольных вариантов, объединенных общей идеей, составляет с х е м у опы та.

Ценность результатов полевого опыта зависит от соблюдения определенных методических требований. Важнейшие из них следующие: 1) типичность опыта, 2) соблюдение принципа единственного различия, 3) проведение опыта на специально выделенном и выравненном по плодородию участке, 4) учет урожая, достоверность и точность полевого опыта.

Под типичностью полевого опыта понимают соответствие условий его проведения почвенно-климатическим (природным) и агротехническим условиям данного района или зоны. Любой полевой опыт должен отвечать требованию почвенно-климатической типичности. Совершенно очевидно, что нет смысла изучать приемы повышения плодородия почв в опыте, расположенном на песчаных почвах, если результаты работы предполагается использовать на глинистых почвах. Что касается второго требования, а именно, соответствия условий проведения опыта агротехническим, производственным условиям, то оно в различных полевых опытах выполняется по-разному. Полностью это требование выдерживается в полевых опытах, которые проводятся непосредственно в производственной обстановке. Однако в ряде случаев, особенно на первых этапах исследования (ограниченное количество семян, нового вида гербицида, удобрения и т. д.), это требование выполняется не полностью и полевой опыт проводится в некотором отрыве от типичных производственных условий.

В понятие типичность для агротехнического полевого опыта входит также требование проводить исследования с районированными (или перспективными) сортами и типичными для данной зоны культурами. Агротехнические опыты с экологически не приспособленными культурами и сортами теряют ценность, потому что районированные сорта и типичные культуры могут по-иному реагировать на изучаемые приемы и, следовательно, нельзя распространять выводы из подобных опытов на обычные производственные условия.

К типичности относится также требование проведения полевого опыта при общем высоком уровне агротехники; опыты при низком уровне агротехники не имеют производственной ценности. Часто неоправдан выбор некультуренной почвы для полевого опыта, особенно с удобрениями. Это хотя и дает результаты, производящие большое впечатление, но не соответствует практическим условиям обычных старопахотных почв. Совершенно очевидно, что на бедных землях изучаемые в опыте удобрения будут более эффективными даже при более низком общем уровне урожаев. Поэтому достоверность выводов из опытов, проведенных на окультуренных почвах

при высоком уровне агротехники, значительно выше и применимость результатов таких опытов шире, чем тех, которые ставятся на неокультуренных землях при низком уровне агротехники.

При постановке полевых опытов необходимо соблюдать единство всех условий, кроме одного — изучаемого. Это очень важное и обязательное требование методики называют **принципом единственного различия**. Он должен строго соблюдаться в опытной работе. Например, в полевом опыте с дозами азотных удобрений единственным различием по вариантам будут дозы. Все остальные условия опыта (почвенные условия, предшественник, способы обработки почвы, сорт, посев, уход и т. д.) во всех вариантах должны быть тождественными, одинаковыми. Без соблюдения этого требования методики нельзя правильно установить эффективность изучаемых доз удобрений.

Опыт, поставленный по принципу единственного различия, имеет как минимум два варианта; все условия получения урожая в обоих вариантах должны быть совершенно одинаковы, тождественны, за исключением одного «единственного», которое в одном варианте имеется, а в другом отсутствует. Например, в одном варианте вносят удобрения, а в другом нет, все же остальные условия в обоих вариантах одинаковы. В опытах, поставленных по принципу единственного различия, варианты могут отличаться качественно (наличие или отсутствие) или количественно (разные дозировки) только одним условием, которое рассматривают как эффект действия изучаемого фактора.

В опыте, поставленном по этому методу, вариантов может быть не только два, а много. В этом случае необходимо, чтобы все варианты отличались друг от друга лишь по одному признаку или варианты можно было сопоставлять друг с другом парами, которые также должны различаться единственным признаком.

Несмотря на несложные принципиальные подходы к постановке опытов по принципу единственного различия в практике опытного дела как при разработке схемы, так и при постановке и истолковании результатов полевого опыта, возникают значительные затруднения. Следует иметь в виду, что полное сохранение равенства всех условий, кроме изучаемого, оказывается невозможным из-за тесной связи и взаимозависимости между разными факторами жизни растений и почвы и действующими на них агротехническими приемами. Например, при изменении глубины обработки почвы изменяется ее влажность, температура, воздушный режим, биологическая деятельность и пищевой режим. Но значит ли это, что принцип единственного логического различия (только глубина обработки) неверен? Нет, не значит. Ведь для того чтобы признать изменение в результате опыта как следствие тех изменений, которые произошли в изучаемом факторе, вовсе не нужно постоянное равенство в состоянии всех других неизучаемых условий в течение всего опыта, а достаточно, чтобы такое равенство имелось до опыта, т. е. до того момента, когда внесены изменения в изучаемый фактор. Изменения

же, которые происходят под его влиянием в неизучаемых условиях, необходимо рассматривать как функции произведенного изменения в изучаемом факторе.

Принцип единственного логического различия — неперменное условие научного эксперимента. Но единственное различие не следует понимать механически, под этим принципом понимается главное, изучаемое различие. Поясним это примером. Предположим, в опыте сравниваются два сорта пшеницы, которые вследствие биологических особенностей по-разному реагируют на изменение густоты посева. Казалось бы, что для сравнения урожайности двух сортов необходимо применять одинаковую норму высева. Однако если сравниваемые сорта по биологическим особенностям (способности куститься и т. д.) требуют различной густоты посева, то их нельзя высевать одинаковой нормой, так как при этом один из сортов оказался бы в заведомо невыгодных для сравнения условиях. Более правильно сравнивать урожай не при одинаковых, а наиболее соответствующих, оптимальных для каждого сорта нормах высева. Сходные вопросы возникают и в других случаях — в отношении сроков посева, уборки, обработки почвы, удобрения и т. д. Во всех этих случаях принцип единообразия должен пониматься как принцип целесообразности и оптимальности.

Требование проведения полевого опыта на специально выделенном участке с хорошо известной историей — это логическое следствие требования принципа единственного различия. Оно также обязательно для любого полевого опыта. В практике опытного дела это требование методики нередко игнорируют, опыты закладывают на участках, история которых неизвестна, в связи с чем результаты таких опытов невозможно понять, интерпретировать и тем более использовать. Требование методики проводить опыты на специально выделенном участке чаще всего нарушается производителями. Им кажется гораздо проще и убедительнее ставить опыты не на специально выделенном однообразном участке, а на целых полях севооборота, с заведомо разной историей и неодинаковыми условиями; такие опыты, особенно единичные, не могут дать удовлетворительных результатов. Нельзя называть полевым опытом какие бы то ни было испытания приемов агротехники или сортов, если их проводят на случайных участках, с отсутствием элемента сравнения.

Требование учета урожая, достоверности и точности. Урожай и качество сельскохозяйственных растений — главный объективный показатель при характеристике изучаемых в опыте вариантов. В результате учета урожая, который отражает и интегрирует действие на растение всех условий возделывания, становится возможным количественно установить влияние тех факторов, которые изучаются в данном опыте. Однако данные учета урожая и оценки его качества могут иметь реальный смысл и объективно отражают изучаемое явление только в том случае, если опыт достоверен по существу. *Под достоверностью опыта по существу понимают логически правильно построенную схему и методику проведения опыта.*

соответствие их поставленным перед исследованием задачам, правильный выбор объекта и условий проведения данного опыта. Совершенно очевидно, что опыты, проведенные по неправильно разработанной схеме и методике, при несоответствующих данному исследованию условиях или с нарушением методики и техники, т. е. опыты, недостоверные по существу, искажают эффекты изучаемых вариантов и не могут использоваться для их сравнительной оценки. Такие опыты следует браковать.

Опыты, соответствующие поставленной в исследовании задаче, т. е. пригодные, достоверные для ее решения, характеризуются статистическими (математическими) показателями точности и существенности. Статистическая обработка результатов опыта позволяет определить границы возможных случайных колебаний полученных данных и установить наличие существенных различий между средними урожаями по вариантам опыта. Конечно, основой для сравнительной оценки сортов или агротехнических приемов является агрономический анализ полученных показателей; статистическая обработка не заменяет, а дополняет его и дает общую количественную характеристику совершенства и точности полевого опыта. Математические показатели точности и существенности экспериментальных данных позволяют в сжатой, исчерпывающей и ясной форме изложить результаты исследования, не приводя всех исходных данных, которые нередко могут быть очень обширными и громоздкими.

Для характеристики точности полевого опыта в агрономической практике используют обобщенный статистический показатель, который называется ошибкой средней или ошибкой опыта. Чем меньше случайных ошибок, тем выше точность опыта, и наоборот. Основные причины возникновения случайных ошибок — неоднородность плодородия почвы опытного участка, индивидуальная изменчивость растений, механические повреждения и повреждение растений болезнями и вредителями, технические ошибки проведения опыта. Эти причины называют случайными. Они имеются при проведении любого опыта, их нельзя устранить полностью, но можно свести к некоторому минимуму совершенствованием методики и техники эксперимента.

Таким образом, любой полевой опыт, который является биологическим методом исследования растений в очень сложной обстановке, содержит в себе некоторый элемент случайности, т. е. изменчивость получаемых данных обусловлена в какой-то степени неизвестными нам причинами — случайными ошибками, погрешностями. Случайное варьирование опытных данных — постоянный спутник полевых опытов, и ни в одном из них, как бы тщательно он ни проводился, нельзя получить абсолютно точные данные.

Математическая статистика дает методы количественного определения величины случайных ошибок, совокупность которых при большом числе наблюдений подчиняется закону нормального распределения, а при ограниченном числе параллельных наблюдений —

закону t -распределения Стьюдента. На основании этих законов распределения случайных ошибок дается оценка результатам полевого опыта и, в частности, устанавливается, насколько существенны различия между средними показателями, например урожаями по вариантам.

Характерная особенность случайных ошибок — их тенденция взаимно погашаться в результате приблизительно одинаковой вероятности как положительных, так и отрицательных значений, причем малые значения встречаются чаще, чем большие. Благодаря такой тенденции к взаимному погашению разнонаправленных случайных ошибок при обобщении данных и выведении средних показателей погрешности уменьшаются по мере увеличения числа наблюдений. Поэтому наличие большой ошибки и, следовательно, недостаточная точность указывают на необходимость увеличения повторности в последующих полевых опытах при проведении их в данных условиях.

Среднюю ошибку (s_x) полевого опыта вычисляют по формуле:

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}},$$

где s — стандартное отклонение;

n — число наблюдений, повторностей в полевом опыте.

Формула показывает, что ошибка опыта прямо пропорциональна стандартному отклонению, которое дает представление о наиболее вероятной средней ошибке отдельного, единичного наблюдения, и обратно пропорциональна корню квадратному из числа наблюдений, повторностей.

В практике опытной работы для характеристики точности полевых опытов используют не абсолютный, а относительный показатель ошибки средней, т. е. $s_x\%$. Он и получил название точности опыта. Если средний урожай обозначить через x_0 , величину случайной ошибки средней через s_x , то точность полевого опыта математически можно выразить в виде следующего соотношения:

$$s_x\% = \frac{s_x}{x_0} 100.$$

Таким образом, надежность, устойчивость средних урожаев в полевом опыте будет повышаться с уменьшением показателя точности и, наоборот, снижаться с увеличением $s_x\%$.

Требование к точности опыта зависит от целей, задач опыта и условий его проведения. Оно определяется величиной ожидаемого эффекта, типом опыта, ответственностью выводов (например, при районировании сортов, рекомендаций доз ядохимикатов, лечебных препаратов). Поэтому все еще широко распространенное представление о единой, общепринятой для всех полевых опытов точности в 5% недостаточно обоснованно. Совершенно очевидно, что экспериментатор должен стремиться к получению максимально точных

и сравнимых данных. Однако исследования, в которых ожидаются большие прибавки урожая от изучаемых приемов, могут иметь меньшую точность, чем опыты, в которых изучаются тонкие различия. От основных, стационарных и многолетних опытов необходимо требовать большей точности, чем от разведочных, ориентировочных исследований. Лишь в качестве ориентировочных критериев можно считать, что для агротехнических опытов допустима точность 4—7%, для опытов в сортоиспытании — 2—4%, для микрополевых, вегетационных и лизиметрических опытов, полевых и лабораторных анализов желательна точность 1—3%. Если средняя ошибка опыта выше указанных пределов и не позволяет экспериментатору доказать различия между вариантами, необходимо в последующих опытах совершенствовать методику и технику исследования.

Мы рассмотрели одну группу ошибок полевого опыта — случайные ошибки, которые неизбежны при проведении любого биологического эксперимента. Однако, кроме случайного варьирования, в полевом опыте часто наблюдается систематическое варьирование опытных данных, обусловленное одной или несколькими причинами, действующими в определенном направлении. Основную особенность систематических ошибок составляет их однонаправленность, т. е. они завышают или занижают результаты опыта. Это приводит к тому, что такие ошибки в отличие от случайных не имеют свойства взаимопогашения и, следовательно, целиком входят как в показания отдельных наблюдений, так и в средние показатели.

Различают три вида систематических ошибок: 1) систематическая ошибка, распространяющаяся на все варианты полевого опыта (сплошная систематическая ошибка); 2) систематическая ошибка, распространяющаяся на варианты одного или нескольких целых повторений (блоков); 3) систематическая ошибка, затрагивающая лишь отдельные варианты опыта.

Сплошная систематическая ошибка хотя и искажает результаты опыта, но не нарушает сравнимости вариантов, так как распространяется на все показатели, сдвигая их целиком в ту или другую сторону. Если экспериментатору удастся установить наличие и величину сплошной систематической ошибки (например, систематическое завышение площади учетной делянки в результате неправильного измерения), в этом случае она может рассматриваться как поправка к измерению.

Второй вид систематических ошибок также не оказывает существенного влияния на сравнимость вариантов. Систематическое варьирование связано здесь с неодинаковым плодородием почвы разных повторений. Оно может быть вычленено из общего варьирования математической обработкой опытных данных методом дисперсионного анализа и, следовательно, не будет оказывать влияния на точность эксперимента и сравнимость вариантов между собой.

Более серьезны и опасны систематические ошибки третьего вида,

натрагивающие не все, а только отдельные варианты полевого опыта. Эти ошибки могут и не оказывать влияния на точность опыта, но они нарушают сравнимость вариантов, т. е. искажают наиболее существенную часть его результатов, а именно — объективную оценку эффектов изучаемых вариантов. Поэтому экспериментатор должен стремиться к тому, чтобы в полевом опыте такие «несплошные» систематические ошибки не возникали.

Кроме случайных и систематических ошибок при всяком исследовании можно допустить еще одну категорию ошибок — грубые ошибки. Они возникают чаще всего в результате небрежного и неумелого выполнения работ. Например, исполнитель опыта по небрежности дважды внес удобрения на одну и ту же делянку, перепутал делянки при взвешивании урожая, неправильно записал его вес и т. д. Подобные ошибки ни при каких условиях не могут быть «погашены», компенсированы, и остается только забраковать испорченные делянки, варианты, повторения или весь опыт. Избегать грубых ошибок можно продуманной и тщательной организацией полевого опыта.

§ 2. ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Планирование и организация полевого опыта, т. е. выбор темы, определение задачи и объекта исследования, выбор вида опыта, типичного земельного участка и разработка методики проведения опыта, предопределяют успех исследовательской работы. Ошибки, допущенные на этом этапе, не могут быть исправлены в последующем даже самым тщательным проведением опытной работы и применением совершенных методов статистической обработки результатов. Поэтому вопросам планирования и организации надо уделять не меньше внимания, чем технике закладки и проведения полевого опыта.

ВИДЫ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

Полевые опыты делятся на две большие группы: 1) агротехнические, 2) опыты по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур.

Основной задачей агротехнических опытов — сравнительная объективная оценка действия различных факторов жизни, условий, приемов возделывания или их сочетаний на урожай сельскохозяйственных культур и его качество. К этой группе относятся, например, полевые опыты по изучению обработки почвы, предшественников, удобрений, способов борьбы с сорняками, болезнями и вредителями, норм и сроков посева и т. д.

Опыты по сортоиспытанию, где сравниваются при одинаковых условиях генетически различные растения, служат для объективной оценки сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. На основании этих опытов наиболее урожайные, ценные по каче-

ству и устойчивые сорта и гибриды районировуют и внедряют в сельскохозяйственное производство.

Полевые опыты по сортоиспытанию проводят научно-исследовательские институты и опытные станции, ведущие селекционную работу. Кроме того, в стране имеется широкая специальная сеть сортоучастков Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при Министерстве сельского хозяйства СССР. В сортоиспытательную сеть включено более 1500 сортоиспытательных участков, размещенных по всей территории страны. Сортоиспытательные участки дают оценку новым сельскохозяйственным сортам и гибридам постановкой сравнительных полевых опытов по единой методике государственного сортоиспытания. В качестве основных показателей различий между сортами используются урожайность и качество продукции.

В зависимости от количества изучаемых факторов, длительности проведения и охвата почвенно-климатических условий полевые опыты могут подразделяться на однофакторные, многофакторные, краткосрочные, многолетние, географические, массовые и др.

Если в опыте изучается действие только одного фактора, то такие опыты называют однофакторными или простыми. Их ставят по методу единственного различия, т. е. все условия в опыте, кроме изучаемого, например сорта растений, глубины вспашки, способа посева и т. п., должны быть тождественными. Опыты, в которых изучается действие и взаимодействие двух или нескольких факторов (приемов), называют многофакторными или сложными. Характерной особенностью такого опыта является то, что в нем изучается не один, а несколько факторов или приемов возделывания (например, удобрения, способы обработки, гербициды), причем определяется не только действие, но и взаимодействие изучаемых факторов.

Многофакторный опыт включает несколько (минимум два) однофакторных опытов, построенных по принципу единственного различия. Кроме того, многофакторный опыт содержит все возможные сочетания между изучаемыми факторами простого опыта. Сопоставляя количественно (по методу остатка) эффект от совместного действия факторов на результативный признак с суммой эффектов от этих же факторов при раздельном применении, определяют эффект от взаимодействия изучаемых приемов. Например, в двухфакторном опыте (Н. Ф. Дерезицкий, 1963) получены следующие прибавки урожая початков кукурузы (в ц с 1 га): от удобрений без полива 5; от полива без удобрений 32; от внесения удобрений и полива 67, т. е. на 30 ц с 1 га больше, чем сумма прибавок первых двух вариантов ($67 - 5 - 32 = 30$). Следовательно, при совместном применении удобрений и полива в дополнение к действию их самих возникает третья причина, влияющая на урожай, которую называют взаимодействием; оно может быть как положительным, так и отрицательным. Когда факторы действуют независимо друг от друга, эффект от взаимодействия не проявляется.

К краткосрочным опытам относят такие, которые проводят в течение 1—3 лет для оценки действия или в крайнем случае одного последствия изучаемого приема. Однако для проведения и изучения многих важнейших агротехнических приемов или агрокомплексов, например севооборот, монокультура, система удобрения и обработки, известкование, систематическое внесение удобрений и др., необходимо несколько лет или ротаций севооборота. Кроме того, иногда бывает очень важно установить взаимосвязь между эффективностью изучаемого приема и условиями разных лет.

Во всех этих и подобных им случаях ставят многолетние опыты. Такие опыты составляют особо важную группу методов агрономического исследования и направлены на оказание серьезной научной помощи сельскому хозяйству. Многолетние опыты могут быть стационарными и нестационарными. Первые закладывают и проводят в течение длительного времени на одном и том же месте, вторые закладывают ежегодно на новых участках и проводят также в течение длительного периода.

Основная задача стационарного многолетнего опыта — изучение действия, последствия и взаимодействия систематически осуществляемых агротехнических приемов или комплексов их на продуктивность растений и плодородие почвы. Результаты таких опытов вносят существенные изменения в наши представления, сложившиеся на основе наблюдений и краткосрочных опытов.

Особенно важное научное и практическое значение имеют многолетние опыты с систематическим внесением удобрений. В нашей стране насчитывается несколько десятков таких длительных стационарных опытов. Среди них самый длительный — опыт, заложенный в 1912 г. по инициативе академика Д. Н. Прянишникова профессором А. Г. Дояренко на бывшем опытном поле кафедры земледелия Петровской (ныне Тимирязевской) академии. В этом многофакторном опыте, который продолжается и в настоящее время, изучаются удобрения, известкование, севооборот и монокультуры. Более чем 30 лет проводит опыты с бессменным хлопчатником Ак-Кавакская опытная станция (Узбекская ССР); вопросы сравнительной эффективности различных удобрений изучаются в многолетних опытах Долгопрудной, Соликамской опытных станций и других учреждений.

Из зарубежных многолетних опытов следует указать на 125-летние (с 1842 г.) опыты Ротамстедской опытной станции в Англии с удобрением бессменных культур, длительные опыты с бессменной рожью, заложенные в 1878 г. в Галле (ГДР), 70-летние опыты по сравнительной оценке органических и минеральных удобрений в Аскове (Дания) и др.

Если опыты одинакового содержания проводят одновременно в нескольких различных географических и почвенно-климатических условиях и такие опыты объединены общей темой, их называют географическими. Основная задача географических опытов — проследить за действием изучаемого приема в различных

почвенно-климатических условиях. Известны, например, географические опыты Всесоюзного института растениеводства (ВИР), позволившие установить закономерности в изменении химизма растений в зависимости от условий среды; широкую сеть географических опытов с сортами (около 2000 пунктов) имеет Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур; географические опыты с удобрениями проводит Всесоюзный институт удобрений и агропочвоведения (ВИУА). Все эти опыты решают важную народнохозяйственную задачу — дают научное обоснование для правильного размещения культур, сортов и удобрений по территории нашей страны.

В практике агрономических исследований все виды полевых опытов применяют в двух основных модификациях. Первая из них называется лабораторно-полевым опытом, вторая — полевым опытом в производственной обстановке. В лабораторно-полевым опыте достигается соответствие условий его проведения почвенным и климатическим условиям района или зоны, но допускается некоторый отрыв от производственных условий. В связи с этим лабораторно-полевые опыты дают возможность получить лишь количественную агротехническую эффективность агроприема или сорта, которая определяется прибавкой урожая или улучшением качества. Цель полевого опыта в производственной обстановке — наибольшее приближение условий исследования к типичной производственной обстановке. Поэтому такие опыты наряду с агротехнической эффективностью могут дать и производственную, или экономическую, оценку изучаемых приемов или их сочетаний.

Некоторый (большой или меньший) отрыв лабораторно-полевых опытов от типичной производственной обстановки обусловлен тем, что эти опыты направлены на выявление новых закономерностей, познание сущности явления, разработку новых агроприемов, оценку новых сортов и т. п., т. е. того, чего еще нет в производстве, а следовательно, и трудно испытать в типичных хозяйственных условиях. Например, оценка эффективности совершенно новых видов удобрений, гербицидов, небольшой партии семян нового сорта и т. п. Лабораторно-полевые опыты — это как бы первая ступенька к сближению условий исследования с условиями производства.

Проведение полевых опытов в соответствии с требованиями методики — дело нелегкое, оно требует большого внимания, затрат средств и большого терпения. В связи с этим такие опыты должны проводиться тогда, когда в этом действительно есть необходимость, например для разработки принципиально новых приемов агротехники или их сочетаний, сравнения эффективности новых удобрений, гербицидов или способов их применения, оценки новых сортов и т. п.

Методом полевого опыта широко пользуются в исследовательской работе все звенья научных учреждений по сельскому хозяйству. Более сложные опыты лабораторно-полевого типа проводят, как правило, высшие звенья научно-исследовательских учреждений —

научные институты, опытные станции, а также сельскохозяйственные высшие учебные заведения; полевые же опыты в производственных условиях — преимущественно опорные пункты институтов и опытных станций, опытно-показательные хозяйства, колхозы, совхозы и учебно-опытные хозяйства вузов.

Часто полевой опыт в производственной обстановке, различные производственные испытания, например, новых сортов или сельскохозяйственных машин в колхозах (совхозах) не совсем правильно называют производственным опытом. Как известно, *производственный сельскохозяйственный опыт — это комплексное, научно поставленное исследование, которое проводится непосредственно в производственных условиях и отвечает конкретным задачам самого материального производства, его постоянного развития и совершенствования.* Из определения следует, что цели производственного эксперимента значительно шире, чем любого вида полевого опыта. В его задачу входит изучение агротехнической и экономической эффективности системы агрономических и организационно-хозяйственных мероприятий, а не отдельных приемов или элементов этой системы. Поэтому экспериментирование проводится большими производственными единицами — бригадами, хозяйствами или группой хозяйств.

В настоящее время для решения многих проблем необходимо не только проведение большого числа полевых, вегетационных опытов и лабораторных исследований, но и постановка производственных опытов, требующая совместных творческих усилий больших коллективов работников науки и производства. Следует, однако, отметить, что методика производственного опыта и его использование в современном земледелии находятся пока что в стадии развития. Созданные для широкого производственного экспериментирования специальные опорно-показательные хозяйства используются для этой цели еще недостаточно, хотя они имеют возможность осуществлять массовые производственные опыты большой практической важности.

ПЛАНИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Развитие науки и внедрение ее достижений в практику — один из основных источников повышения народного благосостояния. За 50 лет Советской власти наука в нашей стране превратилась в неотъемлемую составную часть общественного строя, достижения отечественной науки известны всему миру. С каждым годом масштабы научно-исследовательских работ и ассигнования на науку продолжают расти. Быстро увеличивается численность научных кадров и эффективность науки. Современное поколение ученых составляет 1/10 суммарной численности всех ученых, когда-либо живших на Земле, а более 90% всей научно-технической информации, выработанной человечеством, накоплено в XX веке. В 1964 г. в сфере науки СССР было занято 2,5 млн. человек, а в будущем, по расчетам ряда ученых (Н. Н. Семенов, П. Л. Капица и др.), половина челове-

ства будет тем или иным путем участвовать в созидательном научном труде.

В наши дни наука решает сложные народнохозяйственные проблемы и в их разработке, в сражении с нераскрытыми тайнами природы участвуют не отдельные лица, не «опытники-одиночки», а большие творческие коллективы ученых разных областей. Все это выдвигает на первый план задачу организации и планирования научных исследований, от правильного решения которой в значительной степени зависит производительность и эффективность научного труда.

Планировать научные исследования очень сложно. Трудность обусловлена многогранностью задачи, наличием многих неизвестных факторов, необходимостью сочетать дисциплину труда и условия всестороннего развития творческой инициативы исследователей, возможностью проявлений субъективизма (В. М. Столетов, 1966). Особенно большая сложность задачи, которую приходится решать при планировании исследования, заключается в том, что только на основании предвидения ценности конечных результатов исследования для практики, для жизни, необходимо правильно сформулировать и выбрать основные направления научного поиска. От этого зависит решающая доля успеха работы научного коллектива и каждого из его участников. Дж. Бернал пишет, что гораздо труднее увидеть и сформулировать проблему, чем найти ее решение. Для первого требуется воображение, для второго только умение.

По свидетельству ряда выдающихся отечественных и зарубежных ученых, современный этап научного прогресса характеризуется тремя основными стратегическими направлениями исследования: 1) энергетика и промышленное сырье, как основа промышленного производства; 2) создание и дальнейшее совершенствование счетно-решающих машин; 3) более глубокое понимание природы биологических процессов, как основы сознательного вмешательства в жизненно важные биологические явления. На этих направлениях концентрирует внимание в настоящее время все больше и больше научных работников.

В любой области научных исследований формулировка основных направлений поиска является очень важной и ответственной задачей ученых-организаторов, способных объединить знания и усилия ученых многих, зачастую отдаленных специальностей. Конечно, невозможно с высокой степенью вероятности установить эффективность избранного направления исследования, и в этом смысле есть благодарные и неблагодарные темы, когда при одном и том же объеме затраченного труда, энергии и выдумки можно сделать ценное открытие и можно ничего не добиться, попав на пустую породу. И хотя даже отрицательный результат исследования не считается в науке бесполезным и «неудачи служат подпорками успеха», конечно, каждому хочется иметь положительный результат (Е. И. Регирер, 1966).

Правильное определение направления исследования не устраняет, однако, те трудности в научном поиске, которые встречаются при выборе возможных путей и методов решения проблемы. Поэтому конечный успех исследования будет определяться творческими усилиями всех участников научного коллектива, их числом и способностью вести целеустремленную настойчивую работу в избранном направлении.

Научному исследованию в сельском хозяйстве, так же как и в других областях, предшествует подготовительный период. Он включает: 1) выбор темы, определение задачи и объекта исследования; 2) изучение и критический анализ истории и современного состояния вопроса; 3) создание рабочей гипотезы; 4) составление программы и методики исследования. Эта часть работы, которую можно назвать планированием исследования, пожалуй, самая трудная и ответственная.

Вопросов, которыми может заняться исследователь, чрезвычайно много, важно уметь выделить наиболее перспективные из них. Первый и основной источник тем для исследования — прямые заказы сельскохозяйственного производства. Часто опытные учреждения получают такие заказы, но нередко они могут отсутствовать. Это не означает, однако, что научный работник должен ждать заданий от сельскохозяйственных органов. Наоборот, он должен сам выявлять потребности практики в тех или иных научных изысканиях, систематически изучать производство и уметь заглянуть в его будущее. Это и дает возможность экспериментатору наметить наиболее перспективные темы для научной разработки.

Тема для будущего опыта может быть получена также в результате проверки какого-нибудь ранее проведенного исследования, но на новом материале с применением новых методов исследования или намечена при тщательном изучении ранее проведенных работ. В основу темы могут быть положены, например, систематические или случайные наблюдения за сельскохозяйственными процессами и растениями, имеющие теоретическое и практическое значение. И, наконец, наиболее легкий путь выбора темы для начинающих исследователей — получение ее от высококвалифицированного руководителя или заимствование из тематического плана научных работ по сельскому хозяйству, который ежегодно публикуется. Эти темы не будут, конечно, оригинальными, но, включаясь в их разработку, можно научиться правильно экспериментированию, умению самостоятельно составлять схему, намечать методику, закладывать и проводить опыты, находить оригинальное решение проблемы.

Тема исследования должна быть определенной, четко ограниченной, а не расплывчатой, характерной (типичной) для сущности исследования и соответствовать материальной базе. Многие хорошо задуманные исследования часто не могли быть выполнены, так как отсутствовала необходимая материальная база: машины, приборы, оборудование и специальные приспособления.

Следующий важный этап подготовительного периода — изучение литературы по данному вопросу и создание рабочей, или предопытной, гипотезы. Опыты никогда нельзя закладывать, пока полностью не изучены предшествовавшие исследования. В этом отношении полезно помнить военное правило: время, затраченное на разведку, редко бывает потрачено впустую. Один только критический анализ литературного материала может иногда дать частичное или полное решение вопроса. Например, Д. И. Менделеев открыл периодический закон не на основе своих экспериментов, а в результате глубокого анализа и обобщения данных, полученных другими исследователями.

При изучении литературы главное внимание должно быть обращено не столько на руководства или даже совсем не на руководства и учебники, сколько на монографии, журнальные и научные статьи, диссертации, научные отчеты и другие первоисточники. Чтобы найти нужные материалы, полезно ознакомиться с библиографией, реферативным журналом по данной отрасли знаний, а также со списками литературных источников, которые обычно помещаются в конце научных работ. Переходя от одной работы к другой, от одного списка к другому, удастся достаточно полно выявить исследования, предложенные по данному вопросу.

К анализируемым работам нельзя подходить предвзято. Часто в незаметном скромном исследовании, в короткой статье встречается больше правильных положений и оригинальных мыслей, чем в сложных исследованиях и хорошо изданных толстых книгах.

Чтобы быть на уровне современных требований научно-технического прогресса, специалист должен систематически затрачивать не менее 25% своего времени на ознакомление с научно-технической информацией; знания, полученные ранее, не развиваемые и не дополняемые, очень быстро обесцениваются, примерно на 10% в год. Одним из результатов недостаточного освоения литературы является тенденция к росту повторных изобретений. В США и Англии, например, подсчитано, что от 10 до 20% научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ можно было бы не проводить, если бы имелась информация об уже выполненных аналогичных работах. В СССР из каждой тысячи поступивших в последние годы заявок на изобретения только 240—280 признаются новыми (Г. М. Добров, 1966).

Очень многие научные работники нашей страны знают иностранные языки, что позволяет пользоваться зарубежной научной информацией. Однако быстрое развитие науки, быстрота и обширность информации делают проблему дальнейшего преодоления лингвистических барьеров, особенно для начинающих исследователей, очень актуальной. Достаточно указать, что, по данным ЮНЕСКО, в 1957 г. мировая печатная научная информация была распределена по языкам следующим образом: английский — 60%, русский — 11, немецкий — 11, французский — 9, японский — 3, испанский — 2, все остальные — 4% (Г. М. Добров, 1966).

Предварительная работа с литературой служит необходимой предпосылкой при планировании любых исследований. В результате анализа литературных данных должно быть получено четкое представление о том, что по данному вопросу выяснено и твердо установлено, что осталось неясным, вызывает сомнения и требует проверки и, наконец, что осталось совершенно нерешенным. Знание литературы дает возможность создать рабочую гипотезу, разработать программу и методику исследования.

Рабочая гипотеза — это научное предположение о развитии явлений, на котором основывается объяснение ожидаемых в опыте результатов. Она строится на основании всех ранее установленных закономерностей изучаемого явления и тех новых идей (предположений), которые вносит исследователь в данную проблему. При построении рабочей гипотезы не надо бояться новизны, оригинальности идей, надо следовать новыми путями.

К. А. Тимирязев так определяет значение научной гипотезы: «Гипотеза должна быть только попыткой объяснить явление на основании имеющихся налицо данных. Она представляет только связанное изложение наличного в данный момент запаса фактов, следовательно, по самой своей природе изменчива. Вероятных объяснений факта много, возможных еще больше, истина одна. Умение из массы возможных объяснений факта сразу выхватить единственное истинное — дар немногих избранных умов; масса научных деятелей достигает истины более кропотливым путем исключения возможных и вероятных объяснений до тех пор, пока не наткнется на истину. Это единственный верный путь, каждый шаг на котором составляет приобретение.

Таким образом, гипотеза, даже ложная, приносит свою долю пользы: в случае ее опровержения остается одним возможным объяснением менее, ограничивается число остающихся объяснений, суживается круг, приближающий нас к единственному центру — к истине. В том заслуга всякой гипотезы, в том ее оправдание» *.

У экспериментатора с большим знанием фактов в исследуемой области и одаренного творческими способностями даже обычные всеми наблюдаемые факты вызывают новые мысли и гипотезы, которые служат в дальнейшем отправным пунктом для постановки опыта. Не случайно известный биохимик Сент-Дьерди как-то сказал, что открытие совершается тогда, когда ты видишь то, что видят все, и при этом думаешь о том, о чем никто не думает.

Без выдвижения и последующей экспериментальной проверки гипотез невозможно проникнуть в сущность явлений. Вся история развития науки с этой точки зрения есть история формирования все новых и новых гипотез, отбрасывания неверного в них и приближения ко все более правильному познанию действительности путем превращения оправдывающихся гипотез в теории. Яркие

* К. А. Тимирязев. Избр. соч., т. I, М., Сельхозгиз, 1948, стр. 391—392.

примеры плодотворной роли гипотез в познании дает нам на каждом шагу современное естествознание.

Стержнем рабочей гипотезы служит то новое, оригинальное, что вносит исследователь в данную проблему в виде предположения. Оригинальные мысли экспериментатора, его предположения — это самое ценное, что есть в его работе. Рабочая гипотеза, созданная на основе учета всего, что сделано раньше по данной проблеме и на основании личного опыта, составляет душу научного исследования. Работа без гипотезы — это и есть то, что называют обычно ползучим эмпиризмом, простой констатацией фактов без попытки рационального их объяснения.

В период быстрого развития науки, когда заметно ускорились темпы смены и преемственности научных концепций, особенно убедительно звучат слова И. В. Мичурина: «Мои последователи должны опережать меня, противоречить мне, даже разрушать мой труд, в то же время продолжая его. Из только такой последовательно разрушаемой работы и создается прогресс» *.

Здесь выражена важный принцип подготовки научной смены, которого сейчас придерживаются многие крупные исследователи. Качественно новые идеи, а не серии однотипных исследований по установленным ранее идеям и методикам учителей «с именем», характеризуют современный творческий научный коллектив, отличительная особенность которого — чувство «переднего края», свободный творческий обмен мнениями, терпеливое отношение к поискам новых путей в науке, признание неполноты своих знаний, внимательное отношение к «еретикам в науке» — ученым, не придерживающимся господствующих в данном коллективе взглядов и стремящимся решить ту же проблему на основе иных гипотез и другими методами.

Английский философ Френсис Бэкон, которого К. Маркс называл родоначальником английского материализма и всей опытной науки новейшего времени, уже в начале XVII в. на первое место в развитии науки выдвинул значение методически поставленного эксперимента. Эмпириков, ограничивающихся только накоплением и перечислением фактов, Бэкон сравнивает с муравьями, суетливо переносящими тяжести; догматиков, разрабатывающих «научные» системы силами одного только разума, — с пауками, ткущими паутину. Ученый же экспериментатор должен быть подобен пчеле, которая терпеливо, с заранее известной целью (гипотеза) собирает нектар на растениях (опыт) и перерабатывает его своими силами (разум) в мед.

Итак, эксперименту, этому важнейшему этапу научной работы, должно предшествовать возможно полное изучение фактов по данному вопросу и построение гипотезы (чисто умственная работа), которая и служит отправным пунктом для составления схемы решающего опыта. Это требует умения делать правильные логические

* И. В. Мичурин. Соч., т. IV, М., Сельхозгиз, 1948, стр. 402.

исключения, предположения о ходе изучаемых явлений и фантазировать, т. е. вообразить то, чего мы еще не знаем, но что может быть. Без этого научное исследование обычно не дает хороших результатов.

Рабочая гипотеза должна соответствовать общим теоретическим предпосылкам и тем научным данным, для объяснения которых она выдвигается, быть применимой к достаточно широкому кругу явлений, обладать логической простотой и принципиальной проверяемостью. Соблюдение этих условий не превращает гипотезу в доказанное положение, однако при отсутствии их она не может претендовать на роль научной.

Следует отметить, что между научной гипотезой и теорией есть существенное различие. Гипотеза по мере развития знаний может быть отвергнута в главном. Теория по мере развития науки уточняется или ограничивается, но сохраняет свои главные положения и в той или иной форме входит в сокровищницу абсолютной истины, постигаемой человечеством.

Заключительный этап подготовительного периода исследовательской работы — разработка программы, в которой намечаются способы проверки рабочей гипотезы. Программа исследования — это проект намеченного хода эксперимента, в котором указывают точные границы опытной работы, схемы опытов, описывают сопутствующие условия проведения опытов и наблюдения, приводят методику и основные элементы техники эксперимента.

Предвидеть все детали будущего исследования не так просто, поэтому в процессе работы программу обычно дополняют и изменяют. Однако это несколько не умаляет значения программы исследования, без которой легко отклониться от истинного пути, вести работу «без руля и ветрил» и открывать уже открытое.

Особое внимание при составлении программы следует обратить на выбор методики исследования. Излагая намеченную программу, необходимо указать: а) методы исследования (наблюдения, вегетационные опыты, полевые опыты и т. д.), количество наблюдений, опытов и мотивы их выбора; б) фактор времени, т. е. количество времени, необходимое для проведения наблюдений и опытов; в) методы статистического анализа экспериментального материала.

Наиболее сложный вопрос, который приходится решать исследователю при составлении программы, — это схемы будущих опытов. Каждая реальная схема возникает в результате упорной творческой работы исследователя и служит воплощением его научного кругозора и знания потребностей сельского хозяйства, его способностей к научному решению поставленных вопросов. Именно поэтому трудно дать исчерпывающие рекомендации по составлению схем опытов.

При построении схем однофакторных опытов с несколькими градациями изучаемого фактора, например норм и сроков посева, доз удобрения или глубины обработки почвы и т. п., обычно не возникает затруднений. Необходимо так составить схему опыта,

чтобы она позволяла получить кривую урожаев при различных градациях изучаемого фактора. Практически в опыте не требуется большого числа вариантов с различными градациями; интервалы между нормами высева, дозами удобрений или глубиной обработки почвы должны быть достаточно велики, чтобы разница в урожаях между ближайшими градациями превосходила ошибку опыта. Поэтому обычно достаточно иметь в таких однофакторных опытах четыре-шесть градаций.

Однако чаще всего в полевом опыте одновременно изучают два фактора или больше. Например, действие удобрений (первый фактор), обработки почвы (второй фактор) и полива (третий фактор) или сортов, предшественников и гербицидов. В подобных случаях наиболее правильным построением схемы многофакторного опыта будет такое, которое включает все возможные сочетания изучаемых факторов. Схемы, построенные таким образом, называют факториальными или ортогональными.

Примером наиболее простой факториальной схемы может служить опыт с изучением двух факторов, которые испытываются в двух градациях. Такой факториальный опыт, который обозначается 2×2 или 2^2 , имеет четыре варианта. Например, при изучении двух видов удобрений (азотных и фосфорных) схема факториального опыта может быть следующей: 1) 0; 2) N; 3) P; 4) NP. Если в этот опыт мы включим третий фактор, допустим калий, и также в двух градациях, то получим факториальную схему $2 \times 2 \times 2$, или 2^3 . В опыте с тремя факторами при двух градациях каждого из них (наличие или отсутствие) будет восемь вариантов:

- | | |
|------|--------|
| 1) 0 | 5) NP |
| 2) N | 6) NK |
| 3) P | 7) PK |
| 4) K | 8) NPK |

Эта так называемая восьмерная схема, предложенная для изучения различных видов удобрений Жоржем Виллем, является полной (ортогональной), так как в ней имеются все возможные сочетания из трех основных видов удобрений. При факториальном построении опыта получают сведения не только о действии каждого вида удобрения, но и их взаимодействии при совместном внесении. Полная схема дает возможность получить максимум того, что может дать опыт. Поэтому там, где нет особых препятствий к проведению опыта по факториальной схеме, ей нужно отдать безусловное предпочтение.

Стремление сократить схему опыта исключением практически неинтересных вариантов ведет к потере значительной части информации, очень необходимой для понимания результатов опыта, и противоречит современной теории многофакторного опыта, требующей включения в него всех сочетаний факторов, хотя бы некоторые из них и не имели практического значения. Это, разумеется, не означает, что необходимо во что бы то ни стало включать все факторы и доходить в этом отношении до абсурда. Если число их больше

преж, вполне целесообразно общую схему опыта разбить на ряд частных схем, связав их переходными вариантами.

В качестве второго примера полной факториальной схемы 2³ приведем схему опыта по испытанию обработки почвы, гербицидов и удобрений.

1. Обычная обработка без удобрений и гербицидов.
2. Обычная обработка + удобрения.
3. Обычная обработка + гербициды.
4. Обычная обработка + удобрения + гербициды.
5. Новая обработка, без удобрений и гербицидов.
6. Новая обработка + удобрения.
7. Новая обработка + гербициды.
8. Новая обработка + удобрения + гербициды.

Но такому же принципу могут быть построены схемы других многофакторных опытов.

Применение полных ортогональных схем очень полезно и необходимо при выяснении взаимодействия различных факторов, например органических и минеральных удобрений, удобрений и обработки, известкования, удобрений и севооборота и т. п.

Взаимодействие факторов может быть положительным, когда прибавка урожая от совместного применения их больше, чем сумма прибавок от действия каждого фактора в отдельности, и отрицательным, когда прибавка от совместного действия факторов меньше суммы их. Взаимодействия нет, если сумма прибавок урожая от отдельного влияния факторов равна прибавке от их совместного действия.

Совершенно очевидно, какое огромное значение имеют исследования, направленные на разработку такого сочетания приемов, которое может способствовать положительному взаимодействию факторов. Чаще всего оно проявляется при сочетании разноименных факторов, и, наоборот, сочетание факторов, действующих в одном направлении, часто приводит к отрицательному результату, который указывает на практическую целесообразность раздельного применения данных факторов. Все это свидетельствует о том, что при планировании многофакторных опытов в комплекс необходимо включать разноименные факторы.

Таким образом, использование полной ортогональной схемы в полевом опыте позволяет одновременно решать разные вопросы и значительно увеличивает ценность результатов, давая возможность получать сведения о взаимодействиях изучаемых факторов. Последнее невозможно выявить при постановке отдельных опытов классическим путем, т. е. при проведении только однофакторных опытов, например одних для сортов, других для удобрений, третьих для норм высева. Действительно, если в многофакторном опыте установлено, что различные виды обработки дают разные результаты на удобренной и неудобренной почве или различные сорта дают сходные результаты в широком диапазоне воздействий удобрений и обработки, это означает, что установлены очень важные для

данных условий факта, которые невозможно было бы назвать при постановке трех однофакторных опытов (с обработкой почвы, сортами и удобрениями).

Существенный недостаток ортогональной схемы, особенно при изучении более чем трех факторов, — ее громоздкость, однако преимущества столь велики, что сокращать схему следует лишь в том случае, если есть веские препятствия к ее осуществлению.

При окончательном оформлении схемы однофакторного или многофакторного полевого опыта обычно ограничиваются обсуждением следующих основных положений: а) какие новые данные предполагается получить в результате проведения опыта (рабочая гипотеза опыта); б) соблюдается ли в схеме принцип единственного логического различия и принцип ортогональности (соблюдение принципа ортогональности означает такое построение схемы многофакторного опыта, которое предусматривает испытание всех возможных сочетаний изучаемых факторов); в) правильно ли выбран контрольный вариант, опытное растение или группа растений, сопутствующие условия эксперимента (фон) и методы его реализации в натуре (вегетационный, лабораторно-полевой опыт и т. д.); г) достаточна ли запланированная точность опыта для оценки существенности предполагаемых разностей между средними и соответствует ли намеченный метод статистического анализа экспериментальных данных структуре, схеме и условиям проведения опыта.

Необходимо помнить, что точный сельскохозяйственный опыт требует затраты большого труда и средств. Задачи опыта должны быть четкими и ясными. Если же цель опыта сводится к неопределенным пожеланиям и экспериментатор не может удовлетворительно ответить на сформулированные выше вопросы, значит, время для научного опыта еще не настало.

Не меньшее внимание при составлении программы должно быть обращено на методику исследования, т. е. совокупность способов, приемов исследования. Методика должна давать четкий ответ на вопросы: как, какими способами проводится запланированное исследование. При правильной методике получают достоверные выводы, ошибочная, наоборот, ведет к ошибкам в исследовании, к накоплению данных, из которых никаких выводов сделать нельзя. Развитие науки и методики неотделимо.

Планирование эксперимента завершается составлением рабочего плана исследования, в котором достаточно полно, но лаконично излагаются все этапы опытной работы, указывается количество опытов, затраты времени и средств для достижения основной цели исследования.

При разработке программы и плана исследования важно правильно определить место опыта в севообороте. Увязка однолетних, временных опытов с севооборотом не представляет особых трудностей. Такие опыты закладывают в том поле севооборота, которое обычно отводят под опытную культуру в производственных условиях, а остальные поля служат для учета последствий изучения

приемов и выращивания флоры. Сложнее разместить в севообороте почвенные опыты, например по изучению влияния предшествующей культуры на эффективность агротехнических приемов, оных действия и последствия систематического применения удобрений, пестицидов, гербицидов и т. п. В подобных случаях необходимо тщательно продумать и детально разработать методику развертывания опыта на территории и во времени.

В опытной сети получили распространение следующие системы резервирования многолетних опытов в севообороте.

1. Схема опыта развертывается сразу на всех полях специально разработанного для данного исследования севооборота, что дает положительный выигрыш во времени. Однако в первые годы приходится размещать культуры не по тем предшественникам, которые предусмотрены по севообороту, а некоторые культуры (озимые, люцерна, люцерн) нельзя ввести в первые годы исследования.

2. Схема опыта развертывается постепенно, при ежегодном вхождении в опытный поля севооборота. Постепенное развертывание и усложнение схемы позволяют правильно размещать культуры по предшественникам, но затягивают полную закладку опыта, особенно если используется севооборот с длинной ротацией.

3. Опыт закладывают на 3—4 полях севооборота, что упрощает его проведение и дает возможность в одном севообороте заложить одновременно несколько стационарных опытов или иметь в натуре только те поля, которые необходимы для данного эксперимента.

Очень часто объектом изучения является севооборот. В этом случае севооборот с полным набором полей представляет один опытный вариант, и если, например, ставится задача сравнить несколько севооборотов по продуктивности, то необходимо выделить специальный земельный участок для размещения всех полей изучаемых севооборотов (вариантов) в соответствующей повторяемости.

ВЫБОР И ПОДГОТОВКА ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА ДЛЯ ОПЫТА

Земельный участок для будущего опыта должен соответствовать тем условиям, в которых предполагается использовать результаты опыта: свойствам, плодородию и рельефу почв, распространенным в данном районе или даже в других районах, близких по природным условиям. Это первое и важнейшее требование к земельному участку и полевому опыту называется типичностью или репрезентативностью. Результаты опыта, проведенного на не типичной для данного хозяйства, зоны или района почве, в исключительных условиях агротехники, например при очень низком или слишком высоком ее уровне, не могут быть перенесены в обычные условия сельскохозяйственного производства. Из этого, однако, не следует, что опыты должны проводиться при уровне агротехники, свойственном рядовому хозяйству в данное время; правильнее применять

более высокую агротехнику, на которую можно рассчитывать ко времени внедрения в производство изучаемого в опыте приема.

Второе требование к опытному участку — однородность его почвенного покрова, обеспечивающая достаточную точность результатов опыта. Это требование нельзя рассматривать как абсолютное, оно, естественно, будет меняться в зависимости от зоны и цели опыта. Оно не означает, как это неправильно понимают некоторые исследователи, отказа от постановки полевых опытов на пестрых, комплексных почвах, а указывает на необходимость в подобных случаях более тщательно выбирать участок и стремиться к тому, чтобы он был достаточно выравнен для таких условий.

Однородность почвы не имеет значения с точки зрения эффективности изучаемого приема, но при заметной пестроте никакая методика и статистическая обработка не могут обеспечить низкую ошибку опыта, а это снижает достоверность результатов, так как и значительные различия часто могут быть обусловлены только варьированием почвенной пестроты, а не действием изучаемого приема.

Выделить однородный земельный участок для полевого опыта часто бывает довольно трудно. Поэтому, чтобы правильно выбрать участок, отвечающий основным требованиям методики, необходимо тщательно изучить его историю, провести почвенное обследование, внимательно изучить рельеф, микрорельеф, засоренность и учесть ряд возможных случайных факторов.

История опытного участка. На участках, хозяйственная история которых не известна, закладывать опыты нельзя. Необходимо убедиться, что в течение последних 3—4 лет на этом участке ежегодно высевали одну культуру, применяли единую систему удобрения, обработку почвы и т. д., хотя по годам обработка, удобрение и предшественники могут быть различными. Однообразными на всем участке особенно должны быть те агротехнические приемы, которые резко и на длительный период изменяют плодородие почвы, например известкование, систематическое внесение минеральных (особенно фосфорных) удобрений, периодическое унавоживание или однократная заправка почвы большими дозами органических удобрений, углубление пахотного слоя, дренаж, посев бобовых культур и т. п.

Желательно, чтобы сам экспериментатор в течение нескольких лет следил за историей будущего опытного участка и не допускал разнообразия агротехнических приемов на отдельных его частях. Если он не имел такой возможности, необходимо собрать достоверные сведения и убедиться в том, что в последние 3—4 года земельный участок был занят сплошь одними и теми же однообразно возделываемыми культурами. Это требование особенно важно для опытов, которые закладываются в производственных условиях.

Результаты опытов, проведенных на полях с неизвестной историей, теряют всякую ценность потому, что нельзя установить, к каким хозяйственным условиям они могут быть применимы,

а также потому, что понимание полученных в опыте результатов часто невозможно без ясного представления об истории земельного участка. Поэтому первое, что необходимо сделать при выборе его для опыта, это совершенно точно установить его однородность не менее чем за последние 3—4 года.

При отсутствии таких участков иногда можно использовать под опыт поле, отдельные части которого возделывали по-разному. В этих случаях необходимо, чтобы все варианты одного или нескольких повторений опыта обязательно располагались в пределах участков с однородной историей.

При выборе опытного участка следует обратить внимание на случайные факторы, которые могут нарушить однородность условий будущего опыта. В частности, не следует располагать опыты ближе чем в 50—100 м от жилых домов, животноводческих построек, сплошного леса или ближе 25—30 м от отдельных деревьев; плотные изгороди и проезжие дороги не должны быть ближе 10—20 м от опытного участка.

Необходимо также учесть все другие возможные причины случайной пестроты опытного участка: следы земляных работ, бывшие дороги, стоянки скота, места вывозки навоза, остатки строений, бывшие токи, старые оросители, арыки и т. д. Указанные случайные факторы почвенной неоднородности на участке недопустимы, так как они оказывают очень длительное последствие на плодородие почвы.

Почва опытного участка. Когда установят, что по своей истории земельный участок удовлетворяет предъявляемым требованиям, начинают изучать его почву. Без изучения ее нельзя говорить о почвенной типичности опыта и вообще нельзя решить вопрос, принадлежит ли почва опытного участка к почвенной разности, широко распространенной в зоне деятельности опытного учреждения. Чтобы правильно решить этот вопрос, необходимо воспользоваться почвенной картой, а при ее отсутствии провести детальное изучение почвы. Строго говоря, выводы из большинства опытов, поставленных на определенной почвенной разности, можно делать только для этой разности, хотя и имеется ряд приемов, действие которых обычно сохраняется в достаточно широком диапазоне почвенных разностей (например, порядок сортов по урожайности, сроки посева, химические способы борьбы с сорняками). Следовательно, почва опытного участка должна быть представлена в зоне или районе, где закладывается опыт, на значительных площадях.

Почва опытного участка должна быть однообразной. При значительной пестроте почв приходится довольствоваться однородностью почвы в пределах каждого отдельного повторения.

Для определения почвенной разности, степени однородности почвы и глубины залегания грунтовых вод проводят детальное почвенное обследование, применяя обычные методы — почвенные разрезы, прикопки, на основании которых составляют почвенную карту в масштабе 10—50 м в 1 см. Основные задачи почвенного обследо-

ния заключаются в том, чтобы дать почвенную характеристику опытного участка в целом и помочь наилучшим образом расположить опыт (в пределах одной почвенной разности) или, если это невозможно, разместить в пределах одной разности все варианты одного или нескольких целых повторений.

Чтобы иметь полную характеристику почвы и составить почвенную карту, описывают почвенные разрезы и прикопки и определяют: 1) тип почвы, 2) ее механический состав, 3) глубину вскипания, 4) мощность гумусового горизонта и содержание гумуса, 5) содержание подвижных форм азота, фосфора и калия, 6) поглощательные свойства и кислотность почвы, 7) ее водно-физические свойства.

Однако, каким бы детальным ни было почвенное обследование, оно не может выявить микропестроту почв. Поэтому очень важно наблюдать за состоянием культурной или дикой растительности будущего опытного участка в течение нескольких лет. Такое наблюдение позволяет выявить, где расположены пятна с наиболее бедной и плодородной почвой, а также учесть степень и равномерность засоренности почвы. Сильно засоренные земли, особенно с явно выраженными пятнами злостных сорняков (пырея, осота и др.), могут быть использованы под опыты (кроме опытов по борьбе с сорняками) лишь при соответствующей предварительной подготовке участка. Изучение пестроты плодородия и засоренности опытного участка систематическим осмотром посевов во время вегетации очень доступно при постановке опытов в производственных условиях.

В условиях опытного учреждения иногда в предшествующий опыту год может оказаться полезным провести рекогносцировочный (разведочный) посев на тех самых делянках, которые будут использоваться в опыте, учесть урожай и применить статистический метод анализа. Более подробно о значении и технике рекогносцировочных посевов будет сказано ниже.

Взятые при обследовании основные образцы исходных почв надо сохранить для того, чтобы иметь возможность проследить в будущем, как изменяются их свойства под влиянием изучаемых приемов. Особенно важно иметь это в виду при закладке стационарных многолетних опытов.

Рельеф опытного участка. Требования к рельефу земельного участка, отводимого под опыт, зависят от целей исследовательской работы и изучаемого растения. Чтобы опыты с какой-либо культурой были типичны, необходимо располагать их на том элементе рельефа, на котором они обычно возделываются. Для большинства опытов предпочтителен ровный или с небольшим однообразным уклоном участок (1—2,5 м на 100 пог. м). В опытах с самотечным орошением некоторый уклон обязателен; наилучшие условия для увлажнения почвы создаются при уклоне от 0,005 до 0,01.

Склон опытного участка должен быть односторонним и равномерным. Особенно строго надо придерживаться этого требования

в условиях орошаемого земледелия. При неравномерном уклоне нельзя равномерно увлажнить почву, в результате чего эффекты вариантов могут быть искажены.

Нежелательно расположение опыта на склонах, обращенных к разным странам света, с резким изменением крутизны, с наличием замкнутых понижений. При расположении опытного участка на склоне необходимо, чтобы форма склона позволяла размещать опытные делянки вдоль него, а не поперек.

Если опыты ставятся на сравнительно крутых склонах, например опыты по изучению влияния склонов различной крутизны и экспозиции, опыты по эрозии и т. п., то целесообразно располагать отдельные повторения на разных уровнях склона или закладывать их на длинных вытянутых вдоль склона делянках, которые учитывают дробно, отрезками, расположенными на разных уровнях склона. Следует подчеркнуть, что при закладке опытов на крутых склонах необходимо стремиться к тому, чтобы опыт имел небольшое число вариантов.

Для изучения рельефа участка в условиях опытного учреждения производят его подробную нивелировку для составления плана с горизонталями через 0,1—0,2 м. В условиях производства приходится пользоваться значительно более грубыми планами, с горизонталями не чаще чем через 1 м, или даже определять направление и крутизну склона на глаз.

Данные нивелировки, нанесенные на почвенную карту, служат одним из основных пособий при планировании размещения повторений и делянок, а в условиях орошения план с горизонталями составляет основу для специальной планировки опытного участка.

Кроме макрорельефа, при выборе земельного участка необходимо учитывать микрорельеф (блюдца, бугорки, мелкие ложбинки, спальные и развальные борозды). Особенно строгие требования нужно предъявлять к микрорельефу земельных участков, предназначенных для опытов с орошением напуском. Здесь приходится проводить планировку поверхности механизмами, а иногда и вручную для ликвидации впадин и бугорков.

Подготовка и изучение участка. Предварительное изучение хозяйственной истории и обследование почвы дают некоторое ориентировочное, но далеко не достаточное представление о земельном участке.

Для более детального изучения однородности почвы необходимо воспользоваться растением, как наиболее чувствительным пока реагентом на плодородие. Этой задаче и служат специальные методы изучения и подготовки земельного участка, так называемые уравнивательные и рекогносцировочные, или разведочные, посевы. В условиях производства подготовка и изучение участка включают обычно один, реже два уравнивательных посева. В опытных учреждениях последний по счету уравнивательный посев учитывают дробно, отдельными, возможно малыми делянками. Такой посев называют рекогносцировочным.

В настоящее время нет серьезных объективных причин отказываться от уравнительных, а если необходимо, и рекогносцировочных посевов в условиях производства и продолжать ставить многочисленные опыты на полях, совершенно не проверенных по своей однородности и не подготовленных специально к закладке опыта. Если такие посевы до сих пор редко проводятся опытниками в хозяйствах, то это объясняется не недостаточной их разработанностью, а недостаточной организованностью, вследствие чего о земельном участке начинают думать только тогда, когда пришло время закладывать опыт. Такая практика постановки научных опытов в условиях производства недопустима как с точки зрения их точности, так и достоверности выводов. Если экспериментатор дорожит точностью своей работы и желает получить результаты, достоверные по существу, то он обязан изучить и подготовить земельный участок под опыт заранее. Это требование обязательно для всех полевых опытов. Без его соблюдения невозможна быстрая научная разработка важнейших вопросов современного земледелия.

Уравнительным посевом называют сплошной посев какой-либо культуры, проведенный на всей площади выбранного участка для повышения однородности почвенного плодородия. Уравнительный посев отличается от обычного хозяйственного только тем, что обработку почвы, удобрение и возделывание культуры на площади будущего опыта проводят на более высоком агротехническом уровне, тщательно и однообразно.

Уравнительными посевами, особенно если их применяют в течение нескольких лет, можно в некоторой степени устранить пестроту земельного участка, вызванную последствием агротехнических приемов, по-разному применявшихся в прошлом на различных частях поля. Наибольший эффект выравнивание дает в том случае, когда из года в год уравнительные посевы проводят при высоком уровне агротехники. При низком же уровне агротехники выравнивание плодородия под влиянием уравнительных посевов если и происходит, то крайне медленно.

Необходимо, однако, ясно представлять, что последствие таких агротехнических приемов, как известкование, внесение навоза, систематическое применение минеральных удобрений, особенно фосфорных, углубление пахотного слоя и т. п., а также различия почвы, обусловленные развитием самих почвенных процессов, которые слишком долго продолжались и вызвали в почве сильные изменения, невозможно устранить уравнительными посевами. Основная задача таких посевов — устранить пестроту, вызванную неэффективными приемами, и провести тщательную борьбу с сорняками. Последнее особенно важно, а поэтому земельный участок,готавливаемый для опыта, иногда бывает целесообразно занять паром или пропашной культурой, а затем в зависимости от зоны, где закладывают опыт, — какой-либо зерновой культурой.

Кроме некоторого выравнивания пестроты и борьбы с сорняками, уравнильные посевы имеют еще одну важную задачу — создание надлежащего фона для будущего опыта (определенная обработка, удобрение, предшественник и т. д.). Поэтому приемы возделывания культур в уравнильном посеве должны быть согласованы с программой будущего опыта. Действительно, было бы непростительной ошибкой вносить большие дозы удобрений на участках, предназначенных под опыты с удобрениями, или проводить глубокую вспашку там, где намечено изучать способы углубления пахотного слоя.

Наибольшее значение уравнильных посевов заключается в том, что систематическая глазомерная (органолептическая) оценка выравнинности растений такого посева служит важнейшим и решающим критерием для суждения о пригодности земельного участка под опыт в условиях производства. При некотором навыке она дает возможность выделить участки, более однородные по плодородию, и забраковать совсем непригодные, например участки с сильной и непонятной пестротой стеблестоя, с пятнами злостных сорняков и т. д. При отсутствии органолептической оценки пестроты почвенного плодородия невозможно быть уверенным в достоверности результатов будущего опыта по существу.

Рекогносцировочный, или разведывательный, посев — это сплошной посев одной культуры, предшествующий закладке опыта и проводимый для выявления степени однородности почвенного плодородия на площади опыта путем дробного учета урожая одинаковыми, обычно малыми, делянками. Таким образом, рекогносцировочный посев развивает и детализирует глазомерную оценку пестроты уравнильного посева. Органолептическая оценка выравнинности плодородия заменяется здесь более объективным количественным дробным учетом урожая культуры уравнильного посева.

Сущность дробного учета заключается в том, что урожай культур уравнильного посева учитывают отдельными небольшими делянками, что и дает возможность количественно установить характер пестроты плодородия участка. Следовательно, рекогносцировочный посев — это последний по счету уравнильный посев, сопровождаемый дробным учетом урожая. Тысячи дробных учетов урожая, проведенных в нашей стране и за рубежом на разнообразных почвах и во всех климатических областях земного шара, показали, что урожай на делянках однообразно возделываемого земельного участка всегда в той или иной степени отличаются по своей величине. Аналогичное варьирование всегда наблюдается и в урожаях повторных делянок любого варианта полевого опыта.

Результаты дробного учета уравнильного посева служат основой для разработки методики опыта применительно к данному земельному участку. Они позволяют выделить под опыт более выравненные участки, установить оптимальный размер, расположение и повторность делянок.

Для рекогносцировочных посевов наиболее пригодны яровые зерновые (овес, ячмень, пшеница), а также некоторые пропашные культуры (картофель, корнеплоды).

Величину и форму делянки для дробного учета устанавливают, исходя из общеметодических соображений в соответствии с культурой, методом учета урожая и техническими возможностями. Во всяком случае, размер делянок для дробного учета не должен быть больше размера ориентировочно проектируемых делянок будущего опыта. При учете урожая часто ограничиваются взвешиванием общей массы или учетом хозяйственной части урожая (зерна, клубней, корнеплодов и т. п.). Практика работы показывает, что для дробного учета можно использовать самоходный комбайн. При урожаях зерна 18—20 ц с 1 га и выше удается удовлетворительно раздельно обмолачивать делянки размером 75—100 м², т. е. комбайн дает возможность довольно просто и быстро провести дробный учет урожая делянками примерно того размера, каким закладывают большинство агротехнических полевых опытов.

Данные дробного учета используют главным образом в двух направлениях. Во-первых, дробный учет урожая позволяет выделить в пределах земельного участка более однородные его части меньшего размера и выключить резко выделяющиеся пятна. Во-вторых, он дает возможность рассчитать повторность будущего опыта в пределах каждой отдельной однородной части участка и определить наиболее желательные размеры и форму делянок путем наложения на дробный учет условных опытов.

Для решения первого вопроса результаты дробного учета урожая лучше всего изобразить графически, нанеся данные на план различной штриховкой делянок, соответствующей разной величине урожая, или вычерчивая вариационную кривую. Пример изображения пестроты плодородия различной штриховкой показан на рисунке 1.

На плане хорошо виден характер пестроты почвенного покрова, что позволяет выделить в его пределах более однородные участки меньшего размера, на которых целиком располагают самостоятельные опыты или планируют расположение опыта таким образом, чтобы целые его повторения располагались в пределах более или менее однородной площадки.

Судить о характере пестроты почвенных условий можно также по вариационной кривой, на которую нанесены данные дробного учета урожая. Чем больше полученная эмпирическая кривая соответствует теоретической кривой нормального распределения показаний (кривой Гаусса), тем однороднее участок по плодородию. Когда же какие-либо причины вызывают значительное отклонение эмпирической кривой от кривой нормального распределения и получаются сильно асимметричные, двух-или многовершинные кривые, то это в большинстве случаев свидетельствует о неоднородности земельного участка, о том, что он представляет не одну, а несколько совокупностей, например несколько почвенных разностей, или

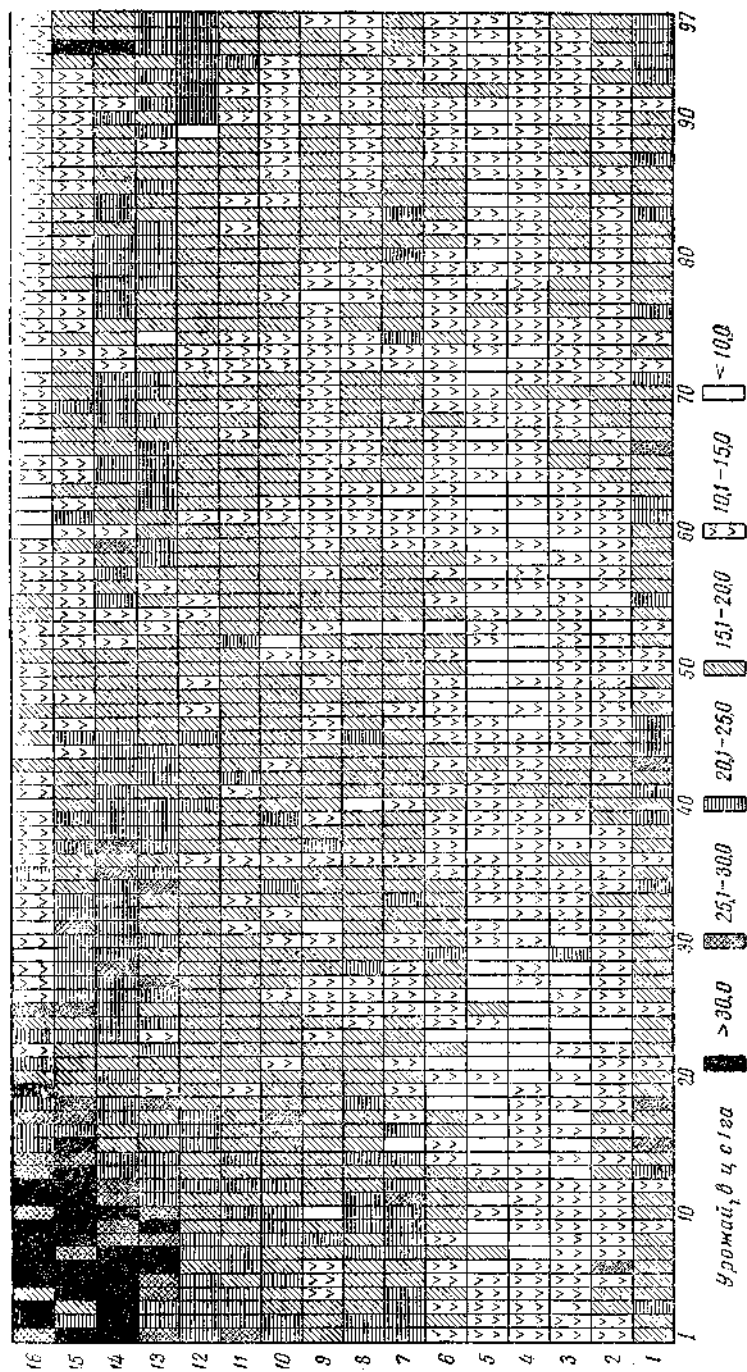


Рис. 1. Результаты пробного учета овса в учхозе «Михайловское» Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева в 1966 г. (площадь учетной делянки 100 кв. м, количество делянок 1552).

имеет разную хозяйственную историю и т. п. Например, если данные дробного учета, изображенные на рисунке 1, нанести на график, то получается сильно асимметричная кривая, указывающая на неоднородность почвы.

Если распределение урожаев дробного учета приближается к нормальному, это указывает на достаточную однородность плодородия почвы и возможность использования участка для закладки опытов. Очень часто эмпирическая кривая не совпадает с теоретической, особенно на комплексных почвах. В таких случаях бывает достаточным, чтобы варьирование урожаев было близко к закономерности нормального распределения внутри участков меньшего размера, которые и используют для закладки целого опыта или его отдельных (обязательно целых!) повторений.

Убедившись в том, что выбранный участок отвечает своему назначению, т. е. позволяет удовлетворительно разместить опыт, приступают к дальнейшей обработке данных дробного учета урожая. Основная задача следующего этапа — установление повторности, размера и формы делянок. Для этого материалы дробного учета обрабатывают методами математической статистики.

Попытки некоторых исследователей использовать данные дробных учетов однолетних культур для интерполяции будущих урожаев в опыте, т. е. внесения в них соответствующих поправок, оказывались чаще всего неудачными. Вычисления корреляции между урожаями делянок дробного учета посевов следовавших друг за другом культур показали, что в одних случаях она была положительной, в других — равна нулю и в третьих — отрицательной. Причин такой неопределенной корреляции очень много, а поэтому на основании данных дробного учета иногда очень трудно предсказать относительные урожаи отдельных делянок в последующие годы, порядок их может меняться.

Вот некоторые примеры таких случаев. В опытах Ротамстедской станции (Англия) в течение 50 лет учитывали урожай на двух неудобренных делянках. Урожай одной из них ежегодно принимали за 100, а второй выражали в процентах от первой. За этот период урожай второй делянки колебался в пределах 90—196% от первой. В длительных опытах ТСХА колебание урожаев ржи, овса и картофеля на двух неудобренных делянках за 50-летний период было не менее значительным, при этом отклонения наблюдались как в сторону превышения, так и приуменьшения (рис. 2).

В работах Шатиловской опытной станции, где для рекогносцировочных посевов на одном поле использовались разные растения в течение шести лет, были получены подобные данные. Все это указывает на то, что очень трудно, основываясь на данных дробных учетов, предсказать относительные урожаи однолетних культур на отдельных делянках в последующие годы.

Выделить наиболее одинаковые по плодородию участки, установить по возможности правильный размер, форму и расположе-

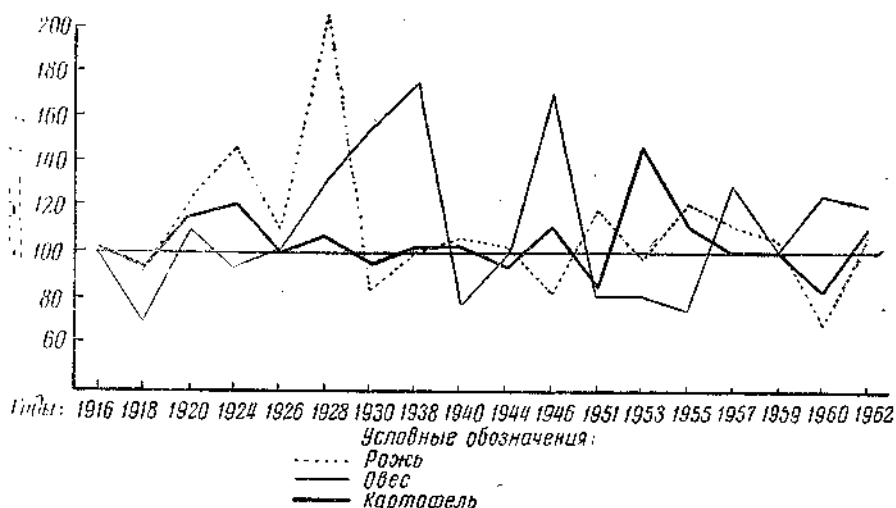


Рис. 2. Урожаи ржи, овса и картофеля на неудобренных делянках длительного опыта ТСХА (контроль № 11 в процентах к контролю № 4).

ние делянок будущего опыта, рассчитать необходимую повторность делянок, исходя из заданной точности, — в этом основной смысл и значение дробных учетов урожая однолетних культур.

Наиболее надежный способ решения вопроса о форме и размере делянок, повторности и системе расположения вариантов — наложение на дробный учет так называемых условных опытов с различной повторностью и делянками разной величины и формы. Результаты условных опытов обрабатывают методом дисперсионного анализа и рассчитывают ошибки средних арифметических для тех фактических опытов, которые планируют заложить на данном участке. Используя эти расчеты, фактические опыты закладывают, ориентируясь на один из оптимальных вариантов условного опыта и учитывая цели и задачи эксперимента, технические условия его проведения и заданную точность.

Для многолетних полевых и особенно плодовых и ягодных культур имеются большие возможности использовать дробные учеты урожая, так как на каждой учетной делянке остается не только почва, но и те же самые растения, и здесь обычно обнаруживается более тесная корреляция между урожаями в учетах, следующих друг за другом.

Дробные учеты урожаев дали значительный материал для разработки основных положений методики полевого опыта. Используя органолептическую оценку уравнительных посевов и опираясь на эти общие теоретические положения, квалифицированный экспериментатор на практике достаточно удовлетворительно решает вопросы методики будущего опыта — определяет форму, размер, пов-

торность и расположение делянок, не прибегая к дробному учету уравнительных посевов. Большое значение при этом имеет учет опыта предшествующей исследовательской работы в данном районе или зоне.

Отсутствие дробного учета рекогносцировочного посева не может служить препятствием применению правильной методики полевого опыта. Поэтому не случайно в нашей стране и за рубежом высказываются обоснованные сомнения в целесообразности новых дробных учетов, которые сопряжены со значительными материальными расходами, а камеральные вычисления статистических показателей представляют большую и сложную работу.

Действительно, чтобы определить пригодность данного поля для закладки полевых опытов и разработать их методику, вовсе не обязательно иметь статистически разработанные данные дробного учета. Для этой цели вполне достаточно провести почвенное обследование и нивелировку, изучить историю поля и дать визуальную оценку изменчивости плодородия на уравнительном или хозяйственном посеве.

Часто, особенно в опытах с однолетними культурами, бывает значительно выгоднее увеличивать повторность опытов на новых землях, чем проводить дробный учет рекогносцировочных посевов. Результаты первых опытов позволяют судить о степени пестроты поля по плодородию и определить необходимую повторность последующих опытов. В настоящее время, когда методика постановки опытов в полеводстве достаточно хорошо разработана, проведение новых дробных учетов рекогносцировочных посевов будет вполне оправдано лишь в особых, специальных случаях, например при закладке многолетних стационарных опытов.

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДИКИ НА ТОЧНОСТЬ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Под методикой полевого опыта подразумевают совокупность слагающих ее элементов: число вариантов, площадь делянок, их форму и направление, повторность и систему размещения делянок на территории, метод учета урожая и организацию опыта во времени. Правильное сочетание всех элементов методики обеспечивает максимальную точность и типичность опыта, т. е. его репрезентативность в конкретных условиях. Планируя опыт, никогда не следует забывать о том, что урожай должен быть учтен, как правило, в сжатые сроки прямым методом, т. е. со всей учетной площади каждой делянки.

Основная задача рационального сочетания основных элементов методики — возможное уменьшение различий в исходном плодородии сравниваемых делянок, обусловленных пестротой почвенного покрова. Чтобы правильно решить вопрос о методике конкретного опыта (наметить величину, форму и направление делянок, повторность и систему расположения вариантов), необходимо озна-

воспользоваться с влиянием каждого элемента методики на точность полевого опыта.

Число вариантов. Под опытным вариантом понимают изучаемое растение, сорт, условие возделывания, агротехнический прием или их сочетание. Один или несколько вариантов, с которыми сравнивают опытные варианты, называют контролем или стандартом. Совокупность опытных и контрольных вариантов составляет схему опыта.

Число вариантов в схеме любого опыта — обычно заранее заданная величина, которая всецело определяется его содержанием и задачами. Число вариантов, очевидно, не может оказывать влияния на типичность опыта, но может существенно сказаться на его точности, так как при прочих равных условиях опыт с большим числом вариантов будет занимать большую площадь. Увеличение числа вариантов в опыте сверх 12—16, как правило, значительно снижает точность опыта (табл. 1).

Таблица 1
Зависимость точности опыта от числа вариантов
(по Н. Ф. Деревницкому, 1962)

Картофель		Сахарная свекла	
число вариантов	точность опыта, $s_{\bar{x}}$ %	число вариантов	точность опыта, $s_{\bar{x}}$ %
2	6,4	2	3,4
3	6,5	3	3,9
4	6,8	4	4,5
6	6,9	6	4,6
9	7,2	9	4,8
12	7,9	12	5,1
16	8,7	18	5,3
24	8,9	27	5,4
32	9,9	36	5,7
48	13,4	54	5,9

Точность опыта сначала медленно, а затем при увеличении числа вариантов сверх 10—12 резко уменьшается. Характерно, что при более крупных делянках увеличение числа вариантов значительно сильнее снижает точность опыта, чем при делянках меньшего размера.

С увеличением числа вариантов увеличивается площадь под опытом, возрастает пестрота почвенного плодородия и расстояние между сравниваемыми вариантами, так как в этом случае труднее уложить опыт или его отдельные повторения в пределах однородной по почвенному плодородию площадки. Все это и ведет к увеличению ошибки опыта и понижению его точности. Кроме того, при сложных схемах попарные сравнения вариантов между собой

становятся очень неравноточными, так как расстояния между разными вариантами могут очень сильно отличаться друг от друга, что в значительно меньшей мере наблюдается при небольшом числе вариантов, когда попарные сопоставления приблизительно равноточны. В связи с этим при разработке схемы и планировании опыта необходимо крайне осторожно увеличивать число вариантов и стремиться к тому, чтобы было не более 10—12 вариантов и 60—64 делянок.

Опыт с большим числом вариантов, например 16—20, требует, как правило, специальных методов постановки. Следует отметить, если вариантов очень мало, например 2—3, необходима более высокая повторность, чтобы иметь достаточное число наблюдений для правильной оценки ошибки опыта.

Иногда сравнительная оценка большого числа вариантов в одном опыте неизбежна, например при сортоиспытании или постановке многофакторных опытов. В этих случаях часто бывает целесообразно большую схему разделить на несколько малых, логически самостоятельных опытов (серий), связав их одним или несколькими одинаковыми, стандартными, вариантами, или использовать специальные методы постановки опыта. В селекционных учреждениях, особенно на первых этапах селекции, для сравнительной оценки большого набора сортов часто применяют стандартный метод закладки полевого опыта. В государственном сортоиспытании, а также в географической сети опытов с удобрениями в подобных случаях рекомендуется последовательный и шахматный метод размещения вариантов, включая контрольные делянки по одной на каждые 8—10 опытных вариантов схемы. За рубежом наиболее простым и широко используемым методом испытания большого набора вариантов является метод решетки. К сожалению, он мало применяется в нашей опытной сети, несмотря на явные преимущества его по сравнению со стандартным методом.

Площадь делянки. Полевой опыт ставят на делянках, имеющих определенный размер и форму. Делянки служат для размещения на них изучаемых и контрольных вариантов. Часто размеру делянки в опытном деле придается значительно большее значение, чем он того заслуживает. Увлечение большими делянками (до 1 га и больше), наблюдавшееся у нас в тридцатых годах, кроме снижения точности исследований и увеличения затрат на проведение опытов, ничего не принесло и быстро пошло на убыль. Во всех странах в практике опытной работы крупные делянки, характерные для начальной стадии развития опытного дела, постепенно вытесняются более мелкими, позволяющими проводить исследования экономнее, быстрее и в большем объеме.

Теоретически можно ожидать, что увеличение площади делянки может иметь определенное значение постольку, поскольку на небольшой площади может разместиться малое число растений и индивидуальные различия их не будут компенсированы числом. Поэтому чем крупнее высеваемое растение, тем больше должна быть

минимальная площадь делянки, но когда размер ее превышает площадь, на которой может располагаться нужное число растений, дальнейшее увеличение не может иметь для точности опыта существенного значения.

Большое число дробных учетов рекогносцировочных посевов, проводившихся в разных странах, показало, что точность опыта повышается по мере увеличения размера делянки примерно до 100 кв. м, дальнейшее же ее увеличение незначительно повышает, а за некоторым пределом даже снижает точность опыта. Дело в том, что с увеличением размера делянки возрастает общая площадь опыта, и он выходит за пределы выбранного для него однородного участка. Перекрыть макропестроту почвы увеличением размера делянки практически невозможно, так как для этого площадь под опытом должна возрасти до сотен, а может быть, и тысяч гектаров.

Довольно распространенное мнение о преимуществе крупных делянок основано на многочисленных исследованиях результатов дробных учетов. К сожалению, в большинстве этих исследований допущена методическая ошибка. Она заключается в том, что при сравнении не выдержан принцип единственного различия. С увеличением абсолютного размера делянок пропорционально уменьшается их число, так как урожай всегда сравнивают со средним урожаем участка рекогносцировочного посева одного и того же размера, и остается невыясненным, отчего повышается точность: от увеличения площади каждой делянки или от уменьшения их числа. Если эти же данные обработать правильно, т. е. с соблюдением принципа единственного различия, они согласованно показывают, что увеличение размера делянки сначала снижает, а затем или не оказывает существенного влияния на ошибку опыта, или даже увеличивает ее.

На рисунке 3 представлены новейшие данные, полученные И. Шаниным (1965) в трехлетних опытах с зерновыми культурами. Увеличение площади учетной делянки достигалось здесь ее удлинением при неизменной ширине. В опытах было одинаковое число вариантов (7—8) и одинаковая шестикратная повторность.

Уменьшение ошибки опыта при увеличении размера делянки с 10 до 30 кв. м происходит очень быстро, затем ошибка снижается

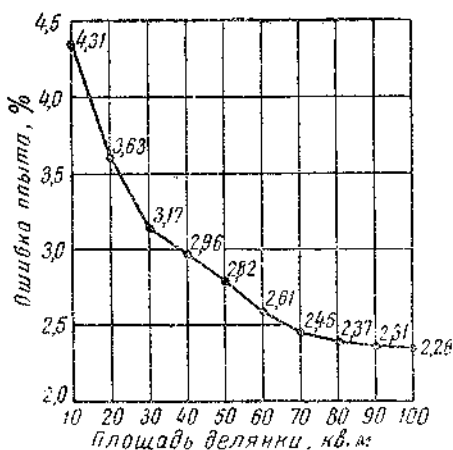


Рис. 3. Влияние увеличения площади делянки на ошибку опыта (по Шанину).

менее значительно, а увеличение делянки свыше 70 кв. м практически не сопровождается повышением точности опыта. Важно отметить, что при работе с шестикратной повторностью и на небольших делянках площадью 10—40 кв. м точность полевого опыта вполне удовлетворительна и находится в пределах 2,96—4,31%.

Размер опытной делянки для различных видов полевого опыта в каждом конкретном случае будет меняться в зависимости от назначения и задачи опыта, культуры, степени и характера пестроты почвенного покрова, агротехники и от того, какими орудиями, машинами предполагается пользоваться и возможна ли одновременная обработка всех делянок или их придется обрабатывать раздельно. Целесообразно проектировать делянки, допускающие проведение всех полевых работ с максимальной механизацией, включая и уборку урожая. Поэтому предел, меньше которого не должна быть площадь делянки, определяется возможностью нормально проводить все агротехнические работы.

В практике опытного дела нашей страны наиболее широко используются делянки размером 50—200, а на первоначальных этапах исследовательской работы 10—50 кв. м. Делянки меньше 10 кв. м обычно применяют в так называемых микрополевых опытах, например при селекции растений, когда очень важно экономить посевной материал.

При установлении размера делянки следует учитывать особенности агротехники опытных растений: ширину междурядий, густоту стояния и т. п. Для пропашных культур минимальный размер делянки должен быть достаточным, чтобы исключить влияние изменчивости отдельных растений на точность опыта. В литературе чаще всего указывается как минимум 80—100 растений; по данным некоторых исследователей, для картофеля достаточно иметь 40—50 и для кукурузы — 60 учетных растений на делянке. Общее правило таково, что чем больше выращивается растений на единице площади, тем меньше может быть площадь делянки. Так, у льна достаточно хорошая точность опыта достигается при площади учетной делянки 20—25 кв. м, у зерновых — 40—60, а у пропашных — 50—100 кв. м.

Следует указать, что вопрос о размере опытной делянки нельзя рассматривать изолированно от степени и характера пестроты почвенного покрова. В одном из исследований А. Мудра (1958) точность опыта по мере увеличения площади делянки на выравненном по плодородию участке заметно и закономерно возрастала, тогда как на невыравненном участке изменялась незначительно (табл. 2). Аналогичные данные были получены в исследованиях И. Шанина (1965).

Следовательно, на пестрых по плодородию участках увеличение размера делянок не является эффективным способом повышения точности опыта. В этих случаях необходимо использовать другие пути и, в частности, увеличивать число повторностей.

Таблица 2

**Изменения ошибки опыта при увеличении
размера делянки в зависимости
от выравнинности почвы по плодородию
(по Мудра, 1958)**

Кукуруза на выравненной почве		Пшеница на пестрой почве	
размер делянки (в кв. м)	ошибка опыта (в %)	размер делянки (в кв. м)	ошибка опыта (в %)
1	19,6	1	30
2	17,7	2	28
4	15,2	4	27
8	9,8	6	26
10	7,5	8	25
12	6,3	10	25
16	3,8	12	24
20	2,9	16	23
25	2,3	25	22
33	1,8	32	22
50	1,3	48	22

На основании многолетней практики отечественных и зарубежных опытных учреждений можно считать, что при прочих равных условиях учетную площадь делянки полевого опыта целесообразно устанавливать в пределах 50—100 кв. м. Отклонение в ту или иную сторону от указанных размеров определяется в основном опытной культурой, техническими условиями и удобством проведения опыта, его задачами и агротехникой.

Как исключение, можно привести пример селекционеров, которые на первых стадиях селекционной работы, когда имеется ограниченное количество семян, с успехом используют делянки размером 0,5—2 кв. м, а в малых сортоиспытаниях — 5—10 кв. м и при очень тщательной обработке получают высокую точность опыта. Конкурсное сортоиспытание проводят обычно уже на делянках площадью 50—100 кв. м и редко 200 кв. м. Большую часть агротехнических опытов, не требующих отдельной обработки делянок, закладывают обычно на делянках 50—200 кв. м. При изучении способов обработки почвы или других приемов, требующих раздельного применения машин и орудий на каждой делянке, размер ее приходится иногда увеличивать до 300 и даже 1000 кв. м.

Плодовые и овощные культуры имеют довольно высокий нижний предел площади делянки: она должна быть достаточной, чтобы индивидуальная (генетическая) изменчивость растений не оказывала существенного влияния на ошибку опыта. Например, в опытах с плодовыми на каждой делянке размещается 6—10 и более деревьев, а кустарниковых ягодников — 10—20. В подобных случаях площадь делянки может значительно отклоняться от 100 кв. м.

Таким образом, полевые опыты следует ставить на делянках сравнительно небольшого размера, дающих возможность нормально проводить все агротехнические работы. На таких делянках гораздо легче достичь большой точности и типичности, они удобнее и требуют меньше затрат средств и труда, чем крупные делянки. Крупная делянка имеет преимущество перед небольшой только при проведении многолетних опытов, когда возникает необходимость изучать новые факторы или приемы, не предусмотренные при закладке опыта. В подобных случаях большую делянку можно разделить (расщепить) на несколько более мелких и заложить на них дополнительные варианты или ввести новый фон для изучения эффективности уже имеющихся вариантов. В связи с этим многолетние опыты целесообразно закладывать на делянках 200—300 кв. м, с тем чтобы при необходимости расщепления каждая из них имела площадь 50—100 кв. м.

При проведении опытов в условиях производства нет объективных оснований к значительному увеличению размера делянок. Площадь делянки должна быть такой, чтобы можно было выполнять все полевые работы, достаточно типичные для агротехники и уровня механизации передовых хозяйств данного района. Поэтому размер делянок опытов, заложенных в производственных условиях, варьирует в широких пределах — от 100 до 3000 кв. м и больше.

Если говорить о минимально допустимом размере делянок для опытов в условиях производства, то они ничем не отличаются от тех, которые названы выше. Здесь следует отметить, что метод полевого опыта должен использоваться для научной разработки новых приемов, а не внедрения уже разработанных способов возделывания, поэтому большой размер делянок не достоинство, а скорее наоборот; применение крупных делянок (более 1000 кв. м) часто лишает опыт точности и достоверности, не говоря уже об увеличении материальных и трудовых затрат, необходимых для проведения опыта на больших площадях.

Характерным примером постепенного отказа от работы на крупных делянках может служить закладка полевых опытов с использованием авиации. Минимальная площадь делянки, обеспечивающая нормальную работу самолета при внесении удобрений, обработке посевов гербицидами и ядохимикатами, чаще всего составляет 1—5 га. По существующей с 1933 г. методике обрабатываемые с самолета крупные делянки должны размещаться на расстоянии не менее 75—100 м друг от друга или от необрабатываемых (контрольных) делянок аналогичного размера. Такой размер делянок, особенно при нескольких вариантах опыта и достаточной повторности, ведет как к увеличению расстояний между сравниваемыми вариантами, так и к увеличению общей площади под опытом. Это ухудшает сравнимость вариантов, нарушает принцип единообразия при проведении агротехнических работ, крайне затрудняет правильный учет урожая и вынуждает экспериментатора прибегать

и недопустимому выборочному методу учета урожая пробными площадками (метровками). Результат этого — резкое снижение точности и достоверности опыта по существу.

С 1955—1956 гг. сотрудники Государственного научно-исследовательского института Гражданского Воздушного Флота (В. М. Ясьин и др.) начали применять новый и более эффективный метод постановки авиационных полевых опытов. Сущность его сводится к следующему. На участках, которые в соответствии со схемой опыта будут обрабатываться с самолета (варианты опыта), выделяют по 4—6 делянок прямоугольной или удлиненной формы размером от 20 до 100 кв. м. Их в период обработки покрывают водонепроницаемым материалом, например полиэтиленовой пленкой. Эти обработанные делянки и будут контрольными. Рядом с ними выделяют опытные делянки такого же размера и формы, что дает возможность максимально приблизить сравниваемые варианты и получить точные и достоверные данные.

Итак, теоретически нет оснований для рекомендации закладывать полевые опыты на делянках большого размера. Однако нельзя говорить и о каких-то раз навсегда установленных и единственно правильных нормативах. Конкретная площадь делянки определяется изучаемым приемом, характером пестроты почвы, способами посева, ухода, уборки и т. д. При современном уровне механизации опытных работ, когда экспериментатор вынужден приспособлять методику опыта к использованию машин и орудий, ему часто приходится необоснованно увеличивать размеры делянок. Нередко это снижает качество и производительность научной работы. Поэтому создание и серийное производство малогабаритной техники для экспериментальных работ в поле — один из важных факторов повышения производительности и эффективности сельскохозяйственных исследований.

Когда приходится выбирать между крупными делянками, позволяющими механизировать все полевые работы в опыте, и делянками небольших размеров, требующих малогабаритной техники, а при ее отсутствии — применения ручного труда, то предпочтение следует отдавать первым. Это особенно справедливо при закладке опытов в колхозах и совхозах, где ручная уборка и обмолот часто могут привести к очень большим потерям урожая.

Защитные полосы. Различают боковые и концевые защитные полосы. Боковые защитки выделяют вдоль длинных сторон делянок для исключения влияния растений соседних вариантов, которое тем значительнее, чем больше растения различаются по своему развитию. Особенно сильно влияние соседних вариантов проявляется в опытах с удобрениями, способами обработки почвы, предшественниками и орошением. В большинстве случаев ширину боковой защитной полосы, которую убирают перед уборкой учетной площади, устанавливают в пределах 0,5—1,5 м. Иногда, например в опытах с орошением или с различными гербицидами (при опрыскивании), ширину защитной полосы приходится

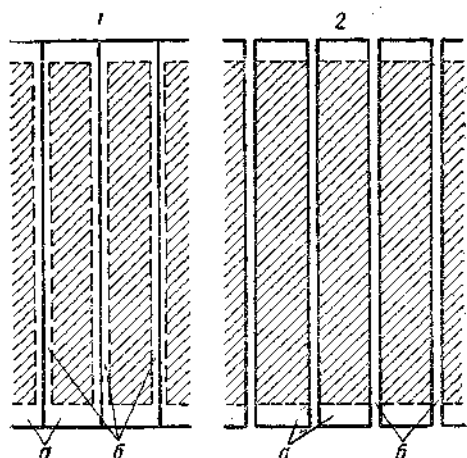


Рис. 4. Схема опытной и учетной делянки (последняя заштрихована):

1 — учетная делянка с концевыми (а) и боковыми (б) защитками; 2 — учетная делянка без боковых защиток: а — концевые защитки; б — незасеянные дорожки между делянками.

Схема посевной и учетной части делянки, боковых и концевых защиток показана на рисунке 4.

Направление делянки. Точность опыта во многом зависит от направления делянок, т. е. от ориентации их на опытном участке. Сравнение изучаемых вариантов будет правильным, если опытные делянки располагать длинной стороной в том же направлении, в каком сильнее всего изменяется плодородие почвы. В этом случае все варианты будут поставлены в одинаковые условия сравнения и оценка их эффективности будет неискаженной. При любой другой ориентации делянок они в разной степени будут охватывать изменчивость плодородия земельного участка, что отрицательно скажется на точности опыта и затруднит объективную оценку его результатов (рис. 5).

Известно, что особенно сильно плодородие почвы и другие условия выращивания растений меняются вдоль склона. Поэтому при расположении опыта на склоне направление длинных сторон делянок надо ориентировать вдоль, а не поперек склона. По такому же принципу закладывают опыт на полях с полезными лесными полосами: делянки располагают длинной стороной перпендикулярно к лесной полосе.

При закладке опытов на выровненных по плодородию участках направление делянок не оказывает влияния на точность опыта и определяется техническими условиями проведения эксперимента.

Форма делянки. Говоря о форме делянки, обычно имеют в виду отношение ее длины к ширине. Делянки называют квадратными

увеличивать до 2—3 м и более.

В опытах по сортоиспытанию влиянием растений соседних делянок пренебрегают и боковые защитные полосы не выделяют. Для разграничения изучаемых сортов между делянками оставляют узкие незасеянные полосы шириной 20—40 см.

Концевые защитки шириной не менее 2 м выделяют для предохранения учетной части делянки от случайных повреждений.

Кроме того, для разворота машин и орудий с обоих концов делянок выделяют защитные полосы шириной не менее 5 м.

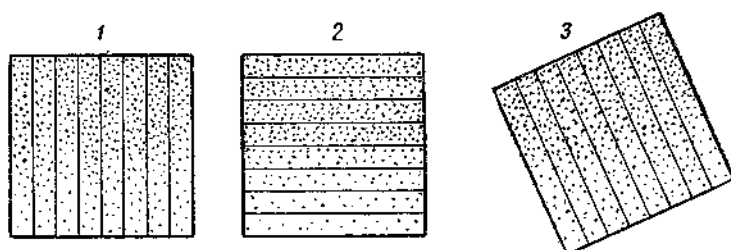


Рис. 5. Правильное (1) и неправильное (2 и 3) направление делянок в опыте (изменение плодородия почвы показано различной густотой точек).

при отношении сторон, равном 1 (10×10 м или 5×5 м); прямоугольными при отношении длины к ширине больше 1, но меньше 10 (5×20 м или 4×20 м); удлинненными при отношении более 10 ($2,5 \times 40$ м или 4×60 м).

Данные рекогносцировочных посевов позволили установить, что длинные узкие делянки полнее охватывают пестроту земельного участка и обеспечивают большую точность опыта, чем квадратные (табл. 3).

Таблица 3

Влияние формы делянки на точность опыта

Данные, по которым установлена зависимость	Отношение сторон	Коэффициент вариации, %
Дробный учет яровой пшеницы Безенчукской опытной станции	1:1,0	7,2
	1:6,0	5,3
Дробный учет озимой ржи Вознесенской опытной станции	1:1,3	7,0
	1:3,0	6,1
	1:12,0	5,8
Дробный учет сахарной свеклы Ивановской опытной станции	1:4,2	5,1
	1:17,3	4,6
	1:69,4	3,4
Дробный учет зерновых Полтавской опытной станции	1:4,0	12,4
	1:36,0	5,1
Дробный учет пшеницы Христиндиса (Англия)	1:1,1	12,2
	1:4,0	10,6
	1:9,0	10,3
	1:16,2	8,3
	1:36,0	8,8
	1:144,0	7,9

Результаты дробных учетов других культур также свидетельствуют о снижении коэффициента вариации и повышении точности опыта при удлинении делянок. Эффект от удлиннения наиболее сильно проявляется при отношении сторон в пределах 1:10—1:15. Дальнейшее удлиннение не дает существенных положительных

результатов и бывает целесообразным лишь с точки зрения технического удобства, например в сортоиспытании, при постановке опытов со сроками, способами и нормами посева и др.

Удлиненная форма оказывается наиболее рациональной при больших размерах делянок и при закладке опыта на склоне, когда можно ожидать заметного изменения плодородия почвы. В последнем случае длинные узкие делянки необходимо располагать вдоль склона так, чтобы каждая из них захватывала все его элементы.

Существенным недостатком вытянутых делянок по сравнению с прямоугольными и квадратными является их большой периметр. Это требует выделения большой площади для устранения краевых эффектов. В зависимости от характера опыта делянками необходимо иметь рамку защитных полос, причем площадь этих неучетных защиток на удлиненных делянках будет значительно больше, чем на делянках прямоугольной и квадратной формы. Например, квадратная делянка площадью 100 кв. м имеет периметр 40 м, прямоугольная такой же площади (с соотношением сторон 1 : 10) — около 75 м и удлиненная (1 : 100) — 202 м. Если принять, что на делянке необходимо выделить краевые защиты шириной 0,5 м, то на них уйдет соответственно 19; 35,4 и 100% площади 100-метровой делянки. Для делянки 400 кв. м неучетная площадь будет равна соответственно 9,8; 12,3 и 50,1%. Отсюда ясно преимущество квадратной и прямоугольной форм делянок для экономии площади под опытом. Обычно считается приемлемой такая форма делянок, которая позволяет использовать под учет более 75% всей площади и менее 25% выделять под защиты.

В большинстве стационарных полевых опытов с площадью делянок от 20 до 200 кв. м применяют делянки, у которых длина превосходит ширину в 5—10 раз; опыты на делянках большего размера обычно ставят при более широком соотношении сторон, а именно, длина превышает ширину обычно в 10—20 раз. Для удобства проведения работ (обработка почвы, посев, уход, уборка и т. п.) ширину делянки целесообразно устанавливать кратной ширине рабочих захватов сельскохозяйственных машин, особенно посевных и уборочных.

Точность опыта, заложенного на прямоугольных или квадратных делянках, часто бывает не ниже, чем на вытянутых. Эффект от более вытянутой формы делянок наиболее сильно проявляется при больших их размерах, в сложных схемах, когда расстояние между делянками квадратной формы может быть очень значительным. В опытах с небольшим числом вариантов (8—10) и размером делянок около 100 кв. м достаточно высокая точность получается и при прямоугольных или квадратных делянках. Только при больших схемах опыта и величине делянки более 100—200 кв. м имеет смысл придавать ей удлиненную форму с соотношением длины к ширине больше 10.

Квадратная форма делянки предпочтительнее прямоугольной и вытянутой в опытах, где смежные варианты могут сильно влиять

друг на друга. Например, при внесении ядохимикатов в виде растворов и дустов ветер может сносить их на соседние делянки. Поэтому необходимо выделять большие боковые защитные полосы, что ведет к нежелательному сокращению учетной площади делянок или увеличению общей площади опытного участка. В этих случаях преимущество в экономии опытной полезной площади безусловно принадлежит делянкам квадратной формы.

При изучении химических средств борьбы с болезнями и вредителями необходимо также иметь в виду, что из центра делянки квадратной формы вредителям и грибам труднее мигрировать на соседние варианты, так как путь их длиннее, чем из центра прямоугольной и вытянутой делянки.

Что касается формы опытного участка, то здесь безусловно следует отдать предпочтение форме, близкой к квадрату. В этом случае при любой системе расположения делянок расстояние между вариантами опыта бывает минимальное и сравнимость их между собой лучшая.

Повторность опыта. Выше отмечалось, что данные полевого опыта получаются с теми или иными случайными ошибками, обусловленными невыравненностью почвенного плодородия, индивидуальными различиями растений, случайными повреждениями и поражением их болезнями и вредителями, а также ошибками технического порядка. Согласно теории случайных ошибок, положительные и отрицательные ошибки возникают при проведении опытов одинаково часто, и при большом числе повторных наблюдений они могут компенсироваться. Следовательно, чтобы получить возможно точное представление об истинном урожае растений того или иного варианта, необходимо делянку с этим вариантом повторить несколько раз. *Повторностью опыта на территории называют обычно число одноименных делянок каждого варианта.*

Средние урожаи, вычисленные по результатам нескольких повторных делянок, всегда более устойчивы и точны, чем поделаноchnые. Поэтому повторность опыта — необходимый и наиболее действенный прием повышения точности и достоверности полевого опыта. Повторные делянки дают возможность полнее охватить каждым вариантом схемы пестроту опытного участка. Кроме того, средние арифметические данные одноименных делянок дают более правильное представление об урожае со всей его площади.

Многочисленные дробные учеты урожая показали значительное повышение точности опыта при увеличении повторности делянок (рис. 6). Особенно сильно точность опыта повышается при увеличении повторности до 4—6-кратной; дальнейшее повышение повторности сопровождается менее значительным уменьшением ошибки.

Увеличение числа повторных делянок сильнее уменьшает ошибку опыта, чем соответствующее увеличение площади делянки при неизменной повторности. Преимущество метода повышения точности полевого опыта увеличением повторности по сравнению с увеличением площади делянки обычно более существенно, чем это

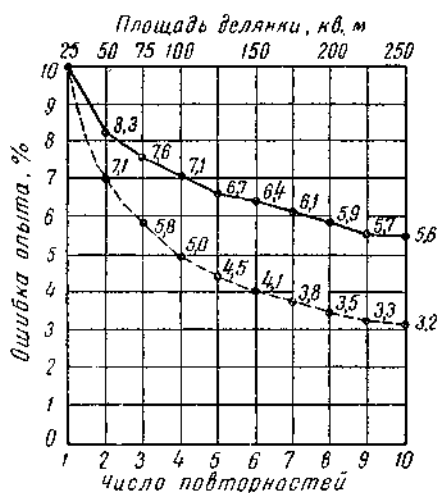


Рис. 6. Влияние увеличения площади делянки без повторности и увеличения повторности при неизменной площади делянки (25 кв. м) на ошибку опыта (по Ремеру):

сплошная линия — увеличение площади делянки; пунктирная линия — увеличение числа повторностей.

можно видеть на рисунке 6, так как данные, представленные здесь, относятся к случаю, когда общая площадь опыта остается неизменной и не выходит за пределы достаточно однородного по плодородию земельного участка. Если же она выходит за эти пределы, что неизбежно при увеличении площади делянок, то дальнейшее повышение размера делянок не только не снижает, а, наоборот, может даже увеличить ошибку опыта. Увеличение же повторности и в этом случае дает положительный результат.

Эффективность повторности особенно четко проявляется, если целые повторения, т. е. весь набор изучаемых вариантов опыта, располагать в пределах даже сильно различающихся, но достаточно однородных внутри

себя частей земельного участка. Различия в плодородии почвы между отдельными повторениями — систематическая ошибка опыта — не нарушают сравнимости вариантов. Она может быть элиминирована статистической обработкой результатов опыта по методу дисперсионного анализа и не скажется на точности эксперимента.

Кроме увеличения точности, повторность, и это особенно важно, дает возможность количественно определить величину случайных ошибок, что позволяет установить математическую существенность (достоверность) различных сравнений. Без повторности невозможно дать оценку точности и достоверности конкретного опыта, а поэтому повторность одноименных делянок нужно считать обязательным условием для полевого опыта независимо от места и условий его постановки. Работа с большими делянками в условиях производства не освобождает от необходимости повторности. «Работа без повторностей, — замечал Д. Н. Прянишников, — подобна хождению с завязанными глазами или плаванью без компаса»*.

Необходимая повторность будущего опыта при установленной площади делянки определяется в основном двумя величинами — пестротой земельного участка (V) и заданной точностью опыта ($s_x\%$). Пестроту почвенных условий устанавливают по данным

* Д. Н. Прянишников, Избр. соч., т. I, М., Сельхозгиз, 1952, стр. 635.

дробного учета или глазомерной оценкой уравнительного посева. При отсутствии таких данных используют литературные сведения и результаты предшествующей работы в аналогичных условиях.

Показатель точности опыта устанавливает исследователь; величина этого показателя зависит от масштаба тех различий, которые предполагается получить между вариантами. Чем больше предполагаемый эффект от изучаемых приемов, тем меньше может быть точность, и, наоборот, для доказательства незначительных различий между вариантами необходима более высокая точность. Так, если эффект от изучаемых приемов выражается цифрами, например более 25% контроля, то для доказательства существенности таких прибавок достаточно точность в пределах 6—8%; если же эффект равен 15—25%, то необходима точность 5—6%; прибавки 10—15% требуют точности 3—5%, а при прибавках, равных 6—10%, необходимая точность должна быть около 2—3%.

При установлении желательной точности опыта необходимо ориентироваться на наименьшие прибавки урожая, помня, что разница меньше 5% полевым опытом обычно не улавливается; для оценки таких различий целесообразно использовать другие методы, например вегетационный или лизиметрический опыт.

Большую часть полевых опытов проводят, как правило, при 4—6-кратной повторности. Это позволяет получить достаточно высокую точность — около 2—4%. В практике опытной работы 6—8-кратную повторность применяют в опытах, которые закладывают на небольших делянках (10—20 кв. м) и недостаточно выровненных земельных участках; повторность свыше 8-кратной используют только в исключительных случаях.

Ни один сколько-нибудь серьезный полевой опыт, требующий точных сравнений, не следует ставить менее чем в 4-кратной повторности. Двух-трехкратная повторность может быть допустима в предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытах, а также в опытах, которые проводят одновременно в нескольких пунктах по единой согласованной методике. Нельзя закладывать сравнительные полевые опыты без повторностей и использовать результаты подобных сравнений в качестве каких-либо аргументов.

По данным В. Н. Перегудова, в большей части проанализированных им полевых опытов (более 1000) значение коэффициента вариации V для делянок площадью 100 кв. м колебалось в пределах 5—25% при средней величине около 10%. На окультуренных участках и при тщательном проведении опыта можно ожидать значение V около 5—8%. Для делянок размером 300—500 кв. м многие авторы считают за норму $V = 5—6\%$. Эти величины и служат обычно первыми придержками для приближенного определения коэффициента вариации будущего опыта, если нет данных дробного учета.

Кроме того, при планировании опыта у исследователя обычно уже имеются данные прежних опытов, проведенных в сходных условиях и на делянках, почти равных по размеру. Статистическая

обработка этих данных позволяет определить ошибку опыта s без повторности (стандартное отклонение), выразив которую в процентах к среднему урожаю опыта, получают коэффициент вариации V , необходимый для расчета повторности планируемого опыта.

Например, для заданной точности опыта $s_x = 4\%$ и коэффициента вариации $V = 8\%$, полученного в опыте, проведенном в сходных условиях, необходимо:

$$n = \left(\frac{V}{s_x/0} \right)^2 = \left(\frac{8}{4} \right)^2 = 4 \text{ повторности.}$$

Результаты всякого полевого эксперимента очень сильно зависят от метеорологических условий года. Поэтому в подавляющем большинстве случаев для получения надежных результатов наряду с повторностью в пространстве (на площади) необходимо повторять полевые опыты во времени. Это не только повышает достоверность выводов, но и дает возможность получить очень ценную дополнительную информацию об эффективности изучаемых приемов в отдельные годы — сухие, нормальные, влажные и т. п. Кроме того, многие наиболее важные агротехнические приемы (удобрения, предшественники, углубление пахотного слоя и др.) имеют длительное последствие, для учета которого также возникает необходимость в повторении опыта во времени.

По продолжительности опыты делят на краткосрочные и многолетние. Повторность во времени краткосрочного опыта, необходимая для получения достаточно достоверной характеристики изучаемого приема за ряд лет, зависит от задачи исследования и от того, как сложатся метеорологические условия, но при планировании таких опытов нельзя рассчитывать на получение исчерпывающего ответа менее чем за три года.

Исследования в севооборотах, наблюдения за такими медленно протекающими явлениями, как изменение запасов гумуса или плодородия почвы в результате применения различных агротехнических приемов, разработка системы удобрения или обработки почвы и другие исследования требуют закладки стационарных многолетних опытов по тщательно разработанному плану. Такие опыты могут быть осуществлены только в условиях стационарных опытных учреждений и должны быть направлены на разрешение наиболее важных и перспективных вопросов земледелия.

Если планируется многолетний опыт по оценке эффекта от действия или последствия того или иного фактора в зависимости от условий погоды, то продолжительность его во времени не должна быть меньше по крайней мере десяти лет.

§ 3. МЕТОДЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

Существует много способов пространственного размещения вариантов и повторений на площади. Характерная особенность наиболее распространенных методов размещения опыта в том, что делянки

с полным набором всех вариантов схемы объединяют территориально в компактную группу, составляя определенным образом организованное повторение, которое занимает часть площади участка. Повторение, взятое в отдельности, представляет в сущности самостоятельный опыт и позволяет делать все возможные сравнения между вариантами.

В условиях полевого опыта различия в плодородии почвы внутри повторений обычно значительно меньшие, чем между повторениями. Это и послужило основой для введения метода организованных повторений и отказа от метода неорганизованных повторений, т. е. размещения делянок на всей площади без территориального объединения их в повторения. В настоящее время подавляющее большинство опытов ставят методом организованных повторений, так как выделить под опыт идеально выравненный земельный участок, где не имелось бы более или менее резких различий между отдельными частями его, практически очень трудно.

В опытной работе применяют два способа размещения повторений: сплошное, когда все повторения объединены территориально, и разбросанное, когда повторения по одному или по несколько расположены в разных частях поля или даже в различных полях и опытный участок не имеет одной общей границы (рис. 7). Ко второму способу расположения повторений чаще всего прибегают вынужденно при отсутствии в одном месте достаточного земельного участка, где можно было бы разместить все повторения в непосредственной близости друг от друга, например в районах с очень невыровненным рельефом, при поливе затоплением по «чекам» и т. п. Однако повторения иногда разбрасывают умышленно, например при проведении опытов в производственных условиях, когда необходимо оценить изучаемый прием в разнообразных почвенных и агротехнических условиях. В этом случае несколько одинаковых опытов без повторений располагают на участках с различными по механическому составу и плодородию почвам, в разных севооборотах и при неодинаковом уровне агротехники. Число опытных участков соответствует числу повторностей опыта.

Обычно все повторения полевого опыта размещают на одном опытном участке, т. е. применяют сплошное расположение их. Повторения на опытном участке могут располагаться в один, два, три или больше рядов

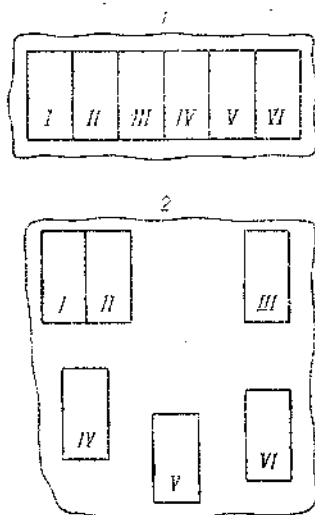


Рис. 7. Сплошное (1) и разбросанное (2) расположение шести повторений полевого опыта.

(ярусов, поясов). Одноярусное расположение наиболее просто и желательно с точки зрения техники проведения опыта. Его и применяют обычно в несложных опытах с небольшим числом вариантов и количеством делянок в пределах 20—25. Делянки нарезают при этом перпендикулярно длинной стороне участка. Многоярусное расположение повторений применяют при большом числе вариантов и делянок в опыте.

Что касается методов размещения вариантов на делянках внутри повторений, то здесь существует значительное разнообразие, которое, однако, может быть сведено к сравнительно ограниченному числу типичных случаев.

Можно выделить три основные группы методов размещения вариантов в повторении: стандартные, систематические и случайные (рэндомизированные). Стандартные методы характеризуются более частым, через 1—4 опытных варианта, расположением контрольного, стандартного, сорта или приема. При систематических и случайных методах число делянок в каждом повторении равно числу вариантов схемы. Систематические методы предусматривают неизменный и заранее установленный по воле экспериментатора порядок расположения вариантов в каждом повторении. При случайных современных методах порядок вариантов определяется путем рэндомизации, т. е. размещения их внутри каждого повторения по жребию, когда каждый вариант имеет равную вероятность, равный шанс попасть на любую часть участка, на любую делянку, тогда как при систематическом такая возможность исключена.

Следует отметить, что всякое систематическое расположение может быть просто превращено в случайное, и наоборот.

Основная задача любой системы размещения — наибольший охват каждым вариантом опыта всего разнообразия почвенного плодородия опытного участка и создание возможно одинаковых условий для сравнения вариантов. Чем лучше выполняется эта задача, тем репрезентативнее, точнее, будет опыт и, следовательно, достовернее суждения экспериментатора об эффективности изучаемых приемов. Наоборот, выборка будет нерепрезентативной (непредставительной), если делянки расположены так, что отдельные варианты попадают в несравнимые условия. Если, например, при изучении химических или других способов борьбы с сорняками все изучаемые делянки расположить в середине участка, а контрольные — по краям, то будет допущена грубейшая ошибка выборки, по которой нельзя сделать правильных выводов.

При выборе метода размещения полевого опыта особенно важно учитывать: 1) величину и характер изменчивости плодородия почвы земельного участка; 2) число изучаемых вариантов; 3) технические условия закладки и проведения опыта; 4) квалификацию, подготовку персонала, ответственного за проведение опыта данным методом.

СТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ

Эти методы характеризуются более частым расположением контрольных (стандартных) вариантов. Простейшие стандартные методы предусматривают размещение контрольных делянок через одну или через две изучаемые. Первый из них называется ямб-методом, второй — дактиль-методом. Иногда полевые опыты закладывают с расположением стандарта через три и более опытных варианта (рис. 8). В опытной работе наибольшее распространение из стандартных методов получил способ размещения контрольных вариантов через два изучаемых.

В качестве стандарта для всех изучаемых вариантов или группы их берут один и тот же сорт или агротехнический прием и с ним сравнивают урожай рядом расположенных опытных вариантов. Таким сравнением через соседний стандарт стараются устранить влияние неоднородности плодородия почвы опытного участка.

Стандартные методы основаны на том, что плодородие опытного участка изменяется постепенно, систематически. Между урожаями ближайших делянок часто существует известная корреляционная связь, и урожай их более сравнимы между собой. Чем в большей степени изменение плодородия опытного участка будет соответствовать этому предположению, тем более эффективными будут стандартные методы, и, наоборот, при выравнивании или пестроте участка, изменяющейся случайно, эти методы не имеют преимуществ перед другими и лишь усложняют работу.

В стандартных методах каждый изучаемый вариант сравнивают со своим контролем, урожай которого вычисляют способом линейной интерполяции, находя промежуточные значения функции на основании предположения о постепенном изменении плодородия почвы земельного участка.

Так, при размещении опыта ямб-методом, когда стандарт располагают через один опытный вариант, урожай интерполированного контроля, т. е. урожай, который был бы получен на опытной делянке, если бы на ней не применяли изучаемый прием, равен полусумме урожаев двух примыкающих к опытному варианту контро-

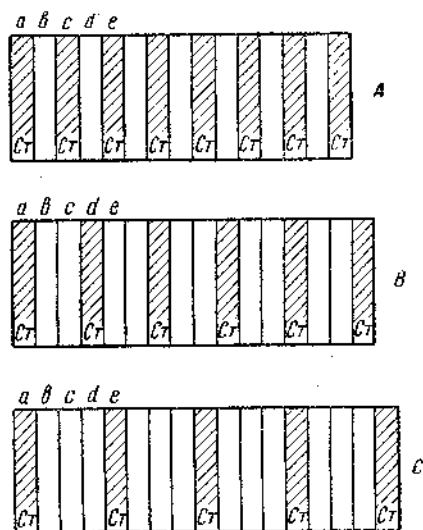


Рис. 8. Стандартный способ размещения вариантов;

А — стандарт через опытную делянку (ямб-метод); В — стандарт через две опытные делянки (дактиль-метод); С — стандарт через три опытные делянки.

лей. С этим интерполированным урожаем и сравнивают урожай опытного варианта. Например, контроль для делянки b (рис. 8А) будет равен $\frac{a+e}{2}$, а для делянки $d = \frac{c+e}{2}$ и т. д.

При работе дактиль-методом, когда стандарт располагают через два опытных варианта, интерполированный контроль для делянки b (рис. 8, В) будет равен $\frac{2a+d}{3}$, а для делянки $c = \frac{a+2d}{3}$.

Если стандарт располагают через три опытных варианта, то урожай интерполированных контролей вычисляют следующим образом: для делянки b (рис. 8, С) он будет равен $\frac{3a+e}{4}$; для делянки $c = \frac{a+e}{2}$; для делянки $d = \frac{a+3e}{4}$.

Аналогично вычисляют значение интерполированного контроля для всех остальных опытных вариантов. Когда не наблюдается закономерности в изменении урожаев контролей, то во всех стандартных методах контроль для опытных вариантов можно вычислять как полусумму из двух ближайших стандартов. Сравнение с интерполированным и средним контролем значительно точнее, чем обычно рекомендуемое (П. Н. Константинов) и иногда еще используемое в опытной работе сравнение только с парным, т. е. примыкающим к опытному варианту, стандартом.

Полевые опыты стандартными методами закладывают на сильно удлиненных делянках, располагая повторения в один, реже в два и более ярусов. Опытные варианты в каждом повторении размещают систематически, в последовательности, установленной экспериментатором. При двухъярусном расположении порядок вариантов в повторениях разных ярусов изменяют так, чтобы не было территориального совпадения одноименных опытных вариантов в вертикальном направлении (рис. 9, 10).

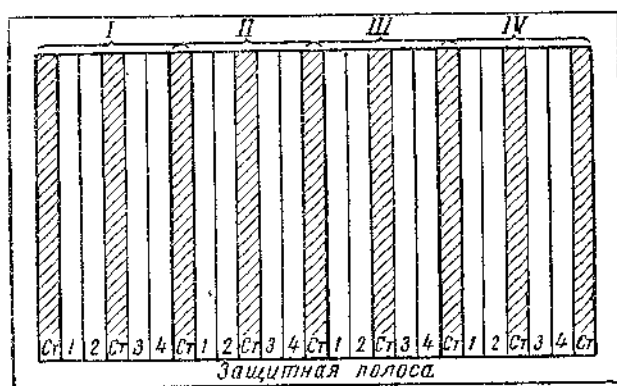


Рис. 9. Схема расположения опыта дактиль-методом в один ярус.

Одной из модификаций стандартного дактиль-метода служит так называемый парный метод (П. Н. Константинов). Контроль располагают здесь так же, как и при дактиль-методе, но сравнивают опытный вариант с примыкающей, парной, стандартной делянкой. Форма делянки рекомендуется сильно вытянутая с соотношением сторон 1 : 50 и больше.

После посева опытные и стандартные делянки делят на 10—20 симметричных частей (парцелл) площадью 10 или 20 кв. м. Во время вегетации на парцеллах ведут тщательное наблюдение за растениями и при каких-либо нарушениях в равномерности их развития делают выключку данной и симметричной ей парцеллы парных делянок, даже в том случае, если состояние растений на ней совершенно нормальное. В учет попадает одинаковое количество парцелл как с контрольной, так и с парной опытной делянки (рис. 11).

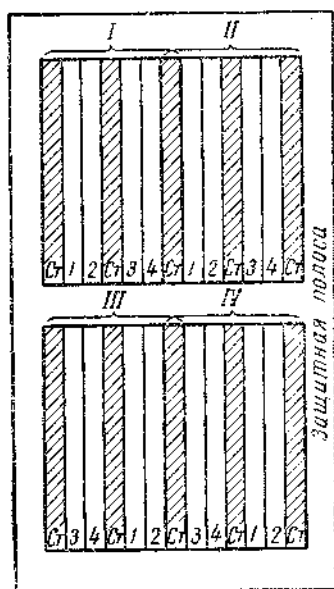


Рис. 10. Схема расположения опыта дактиль-методом в два яруса.

В оценке парного метода (как и вообще стандартных методов) существуют значительные расхождения. Исследования некоторых авторов (В. Н. Перегудов, К. Н. Зайцев, Н. Ф. Деревицкий и др.) показывают, что по точности особых преимуществ парный метод перед обычным методом организованных повторений не имеет. Простая разбивка опытных и стандартных делянок на парцеллы не заменяет действительной роли повторности одноименных делянок. Использование урожаев с парцелл при математической обработке результатов искусственно занижает фактическую ошибку опыта и приводит к неправильной оценке эффективности изучаемых сортов или агротехнических приемов.

Слабое место парного метода — простор для субъективизма и произвольной браковки, что ведет к серьезным ошибкам, искажению истинных результатов. Кроме того, при больших схемах сильно затруднена сравнимость опытных вариантов между собой. Утверждение (П. Н. Константинов) о возможности закладывать опыты парным методом без повторностей или с минимальной двукратной повторностью и обходиться упрощенной математической обработкой данных лишено научной аргументации.

За последние два десятилетия парный метод в том виде, как его настойчиво рекомендовал П. Н. Константинов, а именно с разбивкой делянок на 10—20 симметричных парцелл, применялся крайне

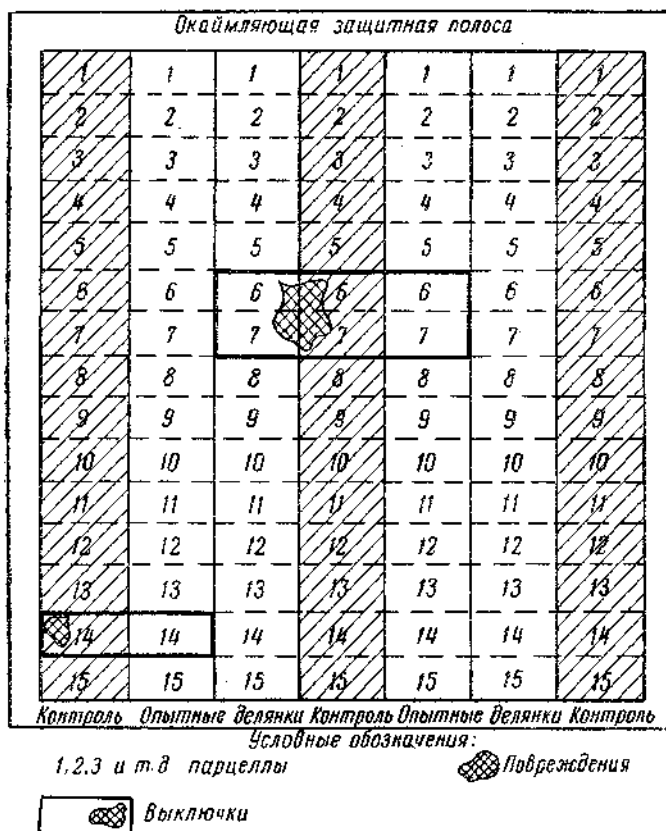


Рис. 11. Парный метод расположения вариантов.

редко. Часто парным или парно-стандартным методом называют ухудшенный вариант дактиль-метода, когда делянки не разбивают на парцеллы и сравнивают опытные варианты только с примыкающим, парным, стандартом, а не с интерполированным или средним контролем.

В мелкоделяночных опытах, когда необходима высокая точность в определении прибавок урожая, может быть использовано много-рядное размещение всего опыта с шахматным расположением стандартных вариантов. В этом случае контроли в рядах располагают через одну или две делянки и сдвигают на одну в каждом следующем ряду. Оценка эффективности изучаемого приема или сорта в данном случае получается очень точная, так как каждый опытный вариант сравнивается со средним из четырех (рис. 12 а) или трех (рис. 12 б) окружающих контролей (для большинства опытных вариантов в крайних рядах из двух или трех контролей).

Существует много других стандартных методов (Шаде, метод приведения А. М. Левшина, Е. Костецкого, расположение контролей по ходу шахматного коня и др.), которые, однако, не нашли сколько-нибудь широкого применения в опытной работе.

Стандартные методы размещения полевого опыта иногда подкупают простотой и предполагаемой возможностью устранить влияние пестроты плодородия почвы и тем самым свести к минимуму ошибки эксперимента. Кажется, что стандарт, расположенный возле каждого изучаемого варианта, даст наиболее точную оценку эффективности сорта или агротехнического приема. Однако практика применения и сравнительной оценки стандартных методов выявила их существенные недостатки.

Во-первых, не всегда наблюдается прямая корреляционная зависимость между урожаями рядом расположенных делянок. В этом легко убедиться по многочисленным данным дробных учетов рекогносцировочных посевов (см. рис. 1 на стр. 47).

Во-вторых, очень трудно сравнивать опытные варианты, далеко расположенные друг от друга, что бывает при большом числе (свыше 10—12) изучаемых вариантов.

В-третьих, большая громоздкость методов и нерациональное использование земельной площади, особенно при большом числе изучаемых вариантов. Действительно, при размещении стандарта через два опытных варианта около 40%, а через один — более 50% всей площади опыта занято стандартными делянками. Стандартный макет-метод при двукратной повторности потребует даже несколько большей площади, чем трех-четыrehкратная обычная повторность, которая в этом случае дает большую надежность и точность опыта.

Отмеченные выше недостатки стандартных методов не способствовали широкому распространению их в опытной работе в нашей стране и за рубежом. Господствующим является расположение вариантов случайным и систематическим методом обычных повторений.

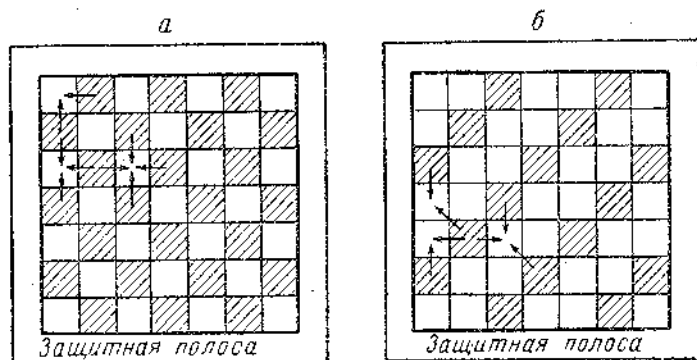


Рис. 12. Шахматное расположение стандартов через один (а) и два (б) опытных варианта.

Стандартные методы иногда используются селекционерами. Например, на первых ступенях отбора, когда из-за недостатка семян нельзя иметь делянку нужной величины и соответствующую повторность, применение стандартных методов вполне обосновано. Размещая стандарт (лучший районированный сорт той же культуры) через один или два испытуемых, систематически проводя визуальное сравнение со стандартом, можно достаточно объективно выявить наиболее перспективные линии.

Стандартные методы используются и в агротехнических опытах, например при изучении способов обработки почвы, когда необходимо иметь делянки большого размера. При постановке полевых опытов на больших площадях в условиях производства также иногда целесообразно использовать стандартные методы.

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Систематическое размещение — это такое территориальное расположение полевого опыта, когда порядок следования вариантов в каждом повторении определяется экспериментатором, т. е. не случайно. Имеется много способов размещения вариантов по этому методу. Наиболее простым является последовательное расположение вариантов в один ярус. Варианты на делянках всех повторений располагаются в той последовательности, которая заранее установлена исследователем на основании главным образом организационно-технических причин — удобства обработки почвы, внесения удобрений, посева, ухода, уборки и т. п. Если, например, в первом повторении для опыта из пяти вариантов намечен порядок 1, 2, 3, 4, 5, то этот же порядок сохраняется во всех остальных повторениях.

Следует отметить, что именно эта всегда определенная последовательность расположения вариантов часто ведет к неравноточным сравнениям их друг с другом и с контролем, к накоплению односторонних систематических ошибок. Так, варианты, делянки которых во всех повторениях находятся рядом, сравниваются более точно, чем варианты, делянки которых во всех повторениях удалены друг от друга (рис. 13).

Особенно сильно могут быть искажены результаты сравнения при большом числе номеров программы. В одном из исследований Н. Ф. Деревницкого ошибка разности между средними закономерно возрастала вместе с увеличением расстояния между делянками. Например, если ошибку разности для вариантов, делянки которых находятся рядом, принять за единицу, то для вариантов, делянки которых расположены через две, ошибка уже составит 1,6; через четыре — 2,1; через шесть — 2,8 и через восемь — 4,0, т. е. возрастает в четыре раза.

Последовательное расположение вариантов в один ярус применяют в опытах с небольшим числом вариантов, максимум 8—10. Увеличение числа изучаемых вариантов особенно отрицательно



Рис. 13. Схема последовательного расположения вариантов в один ярус.

сказывается на точности их сравнения при закладке опытов на широких делянках и пестрых по плодородию почвах. На выровненных участках, а также в опытах с небольшими и узкими делянками увеличение числа вариантов сказывается слабее. Поэтому опыты с 8—10 вариантами закладывать этим методом надо на узких делянках с соотношением сторон больше 1 : 10.

Расположение вариантов в одну полосу удобно в тех случаях, когда по схеме опыта требуется неодинаковая обработка делянок и сельскохозяйственные машины и орудия могут свободно разворачиваться за пределами опытного участка. Широко используется этот способ для закладки полевых опытов в условиях производства с небольшим числом изучаемых вариантов, максимум 4—5.

В сельскохозяйственных опытных учреждениях нашей страны большое распространение получил систематический метод расположения вариантов в 2—3—4 яруса. Этот способ размещения полевого опыта называют шахматным. Неравноточность сравнения вариантов при их последовательном систематическом размещении в два и больше рядов при этом несколько сглаживается в результате изменения порядка делянок в повторениях разных ярусов. Так, если во всех повторениях первого яруса принят порядок 1, 2, 3, 4, 5 и т. д., то в каждом следующем ряду начало схемы сдвигается на одну, две или больше делянок.

При шахматном расположении очень важно не допустить территориального совпадения одноименных делянок, т. е. размещения их рядом в вертикальном и горизонтальном направлении. Одноименные делянки нужно удалять на возможно большее расстояние друг от друга (рис. 14, 15).

Чтобы определить число номеров (делянок), на которое необходимо сдвинуть делянки в последующих ярусах, необходимо общее число вариантов разделить на количество ярусов. Так, при шести вариантах и двухъярусном расположении повторений делянки во втором ярусе необходимо сдвинуть на 3 номера ($6 : 2 = 3$), а при трехъярусном — на 2 номера в каждом ярусе ($6 : 3 = 2$).

Последовательное одноярусное и двух-многоярусное (шахматное) расположение опыта с неизменным порядком вариантов в повторениях каждого ряда практически удобно, а поэтому широко

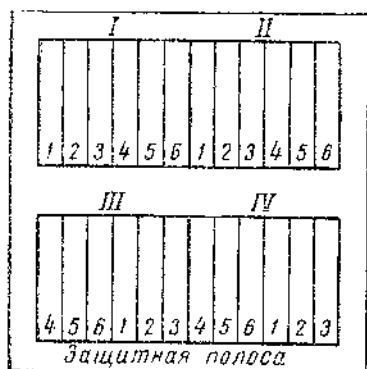


Рис. 14. Схема шахматного двухъярусного расположения опыта.

используется в опытной работе. Однако систематическая изменчивость плодородия почвы способствует тому, что одни варианты постоянно попадают в лучшие, а другие — в худшие условия. Поэтому одни варианты систематически дают преувеличенные, а другие заниженные показатели. При двух- и многоярусном расположении опыта систематическое изменение плодородия почвы внутри повторений несколько как бы нарушается, но полностью не устраняется. Этот существенный недостаток систематического неизменного порядка вариантов особенно сильно проявляется в опытах с большими схемами. Поэтому не случайны многочисленные поиски способов его устранения и улучшения сравнения вариантов. Вот некоторые из них.

В опытах с большим числом вариантов, особенно свыше 10, схему можно разбить на серии, которые компактно размещаются внутри повторения. Например, испытывается 15 сортов в четырех повторениях. При расположении всех вариантов в каждом повторении в одну полосу сравнение их будет сильно неравноточным и искаженным. Поэтому каждое повторение целесообразно разделить на две или три серии и расположить опыт соответственно в две или несколько полос, так, как это показано на рисунках 16 и 17.

Расположение серий в каждом повторении меняется, а порядок вариантов в них остается неизменным, систематическим. В каждой серии желательно иметь примерно равное число делянок.

Когда плодородие почвы земельного участка систематически изменяется в вертикальном направлении, например при небольшом склоне, и не позволяет воспользоваться способом расположения вариантов в каждом повторении в две-три полосы, поступают следующим образом. Весь опыт делят на серии, которые должны включать небольшое число (5—6) вариантов; чтобы серии можно

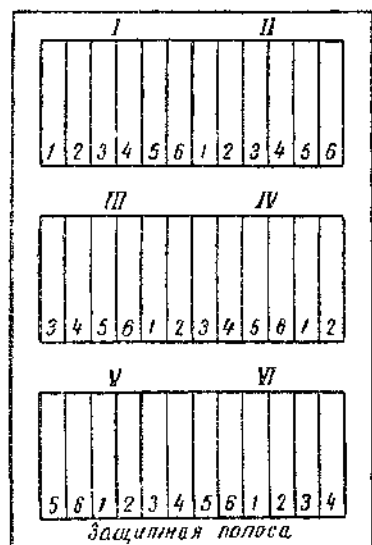


Рис. 15. Схема шахматного трехъярусного расположения опыта.

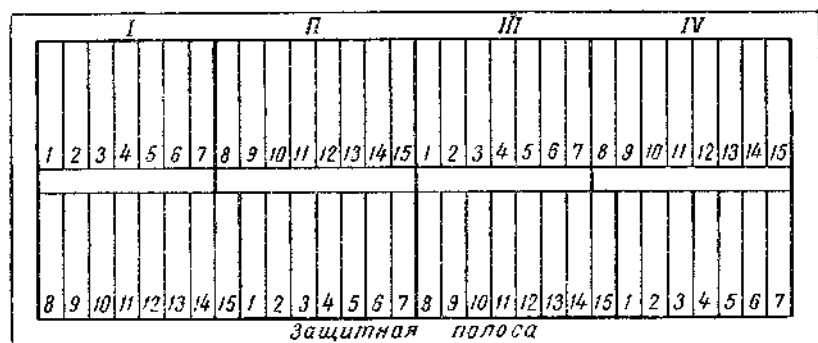


Рис. 16. Схема систематического расположения опыта с 15 вариантами сериями в две полосы.

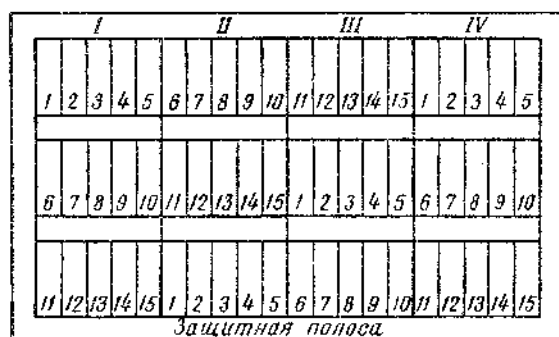


Рис. 17. Схема систематического расположения опыта с 15 вариантами сериями в три полосы.

было сравнить между собой, в каждую из них вводят один или несколько общих связующих вариантов. Каждая серия занимает на опытном участке одну полосу и представляет по существу отдельный самостоятельный опыт с последовательным расположением вариантов.

На рисунке 18 показана схема систематического последовательного размещения 11 вариантов опыта двумя сериями в четырехкратной повторности. Первая серия включает первый — шестой, а вторая — седьмой — одиннадцатый варианты схемы. Для сопоставления вариантов разных серий они связаны между собой одним общим контролем (вариант 4).

При расположении опыта отдельными самостоятельными сериями (субопытами) ошибка сравнения вариантов в пределах серии меньше, чем при размещении всех вариантов схемы в одну полосу, но ухудшается сопоставление вариантов разных субопытов, так как один связующий контрольный вариант может дать иногда

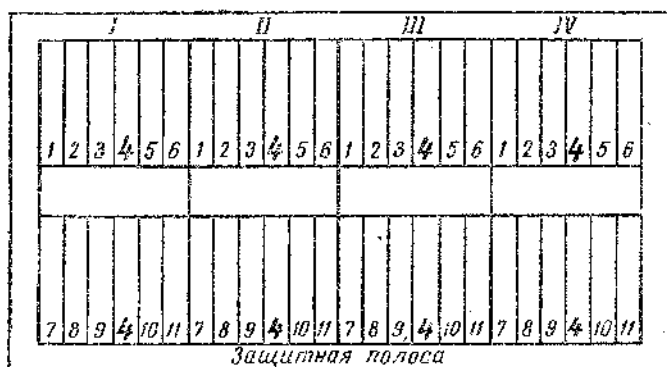


Рис. 18. Схема систематического расположения опыта с 11 вариантами двумя сериями.

неточную оценку опытных вариантов. Поэтому более надежно связывать субопыты не одним, а несколькими общими вариантами или так группировать серии, чтобы к сравнению вариантов разных субопытов прибегать лишь в отдельных случаях.

Первоначально в научной агрономии систематические методы размещения опытов занимали господствующее положение. Важное достоинство этих методов — простота, а главный их недостаток — возможные и часто совершенно непредвиденные искажения эффектов по вариантам, а также ненадежность в статистической оценке ошибки опыта. Поэтому систематические методы размещения во многих зарубежных странах используются лишь в предварительных исследованиях, а также в демонстрационных, проверочных и других видах полевых опытов, проводимых в производственных условиях, когда статистическая оценка данных не является необходимой и важной. Подавляющее же большинство полевых опытов закладывают сейчас новыми методами, в основу которых положен принцип случайного, или рендомизированного, размещения вариантов.

СЛУЧАЙНЫЕ МЕТОДЫ

Систематическое расположение часто не может обеспечить одинаковые условия для сравнения опытных вариантов. Оно искажает эффекты вариантов, т. е. завышает или занижает их показания в сравнении с контролем. Кроме того, систематическое размещение иногда не свободно от некоторого субъективизма, от вольного или невольного стремления исследователя получить желаемый результат. Чтобы этого не произошло и оценка изучаемых вариантов была несмещенной и объективной, необходимо размещать варианты по делянкам опыта случайно, по жребию. Такое размещение получило название рендомизации (randomization — случайное распределение).

Случайное, или рендомизированное, размещение вариантов по делянкам полевого опыта предложено в 30-х годах Р. А. Фишером на основании следующих основных положений:

1) оно способствует лучшему охвату каждым вариантом пестроты плодородия почвы опытного участка и как бы нарушает систематическое изменение плодородия внутри повторения и исключает его влияние на результаты опыта;

2) рендомизация устраняет корреляцию между изучаемыми вариантами и ставит их в одинаковые условия для сравнения;

3) все методы статистического анализа основаны на принципе случайного отбора.

Таким образом, применение рендомизации обусловлено необходимостью устранить неравноточность сравнений и превратить систематические ошибки, вызванные корреляцией попарных сравнений, в случайные. Здесь необходимо отметить, что в любой области науки при тщательно проведенном исследовании всегда исходят из постулата равноточности сравнения (измерения), хотя и возможны отклонения. Практика сельскохозяйственных исследований, пожалуй, наиболее богата примерами грубого нарушения этого очевидного требования методики. Здесь очень часто сравнивают величины совершенно несравнимые, неравноточные.

Случайные методы размещения полевого опыта наиболее распространены в опытной работе в Англии, Италии, Польше, США, Чехословакии и др. В ряде стран (Болгария, ГДР и др.) применяют способы размещения, занимающие как бы промежуточное положение между систематическими и случайными методами. Рендомизация принята здесь за основу, но там, где она, по мнению экспериментатора, неудачна, допускается ее корректировка, исправление. В нашей стране случайные методы используются пока ограниченно.

Метод случайных (рендомизированных) блоков. Это самый простой и распространенный метод расположения вариантов. Варианты объединяются в несколько отдельных более или менее компактных частей, блоков, которые обычно соответствуют повторениям в систематических методах. Блоки разделяются на делянки по количеству вариантов схемы. В каждом блоке варианты распределяются по делянкам в случайном порядке, чтобы уравновесить действие систематического изменения плодородия почвы внутри блоков на варианты опыта.

Важно, чтобы внутри каждого блока почва была по возможности однородной, а форма блока приближалась к квадрату. В этом случае при любом пространственном расположении делянок они более сравнимы между собой. Общее количество блоков в опыте определяется принятой повторностью.

В зависимости от технических условий проведения опыта блоки разбивают на делянки удлиненной, прямоугольной и реже квадратной формы. Делянки в блоках располагают в один, два или много рядов (рис. 19). Иногда блок может иметь неправильную ступенчатую форму.

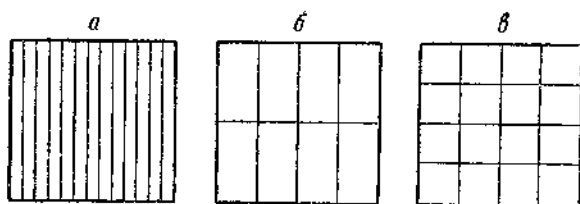


Рис. 19. Расположение делянок различной формы в одном блоке:
а — удлиненные; *б* — прямоугольные; *в* — квадратные.

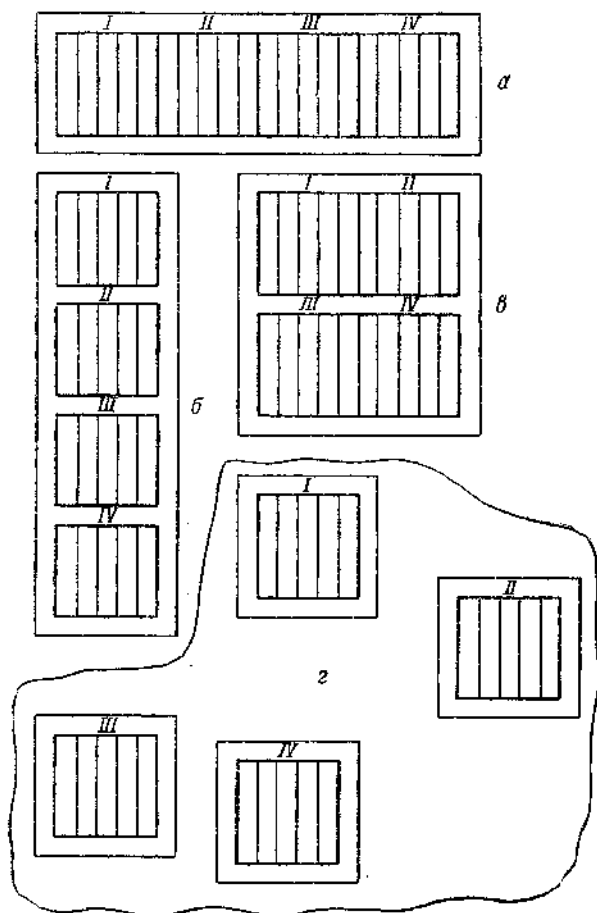


Рис. 20. Способы размещения четырех блоков с пятью делянками:
а, б, в — компактные; *г* — разбросанное.

Чаще всего блоки располагают на поле компактно в один, два и больше ярусов (рис. 20, а, б, в). Однако, когда земельный участок недостаточно выровнен, можно разместить блоки по полю поодиночке или группами (рис. 20, г).

Число изучаемых вариантов при методе блоков зависит от выравнивания земельного участка и размера опытных делянок. Большинство исследователей указывают, что не следует иметь более 15 вариантов, максимум 20.

Для рандомизированного размещения вариантов в блоках удобно пользоваться готовыми таблицами случайных чисел. Предположим, что планируется заложить опыт из восьми вариантов в четырех блоках. Обозначим варианты номерами от 1 до 8. Затем откроем таблицу случайных чисел (табл. 3 приложений) и из столбца II, например, в последней колонке цифр возьмем сверху вниз первые восемь различных чисел, включающие номера наших вариантов. Если встретятся одинаковые числа, их пропускают. Первым в последней колонке столбца II встретилось число 2. Следовательно, вариант под этим номером займет первую делянку в первом блоке. Второе число 6: этот вариант займет вторую делянку и т. д. В итоге для первого блока получим следующий случайный порядок размещения вариантов по делянкам (случайная выборка): 2, 6, 1, 4, 3, 5, 8, 7.

Порядок размещения вариантов во втором, третьем и четвертом блоках устанавливают аналогичным образом, двигаясь дальше по таблице случайных чисел. Если до конца колонки распределение не будет закончено, то переходят на аналогичную колонку цифр в соседнем столбце.

При отсутствии готовых таблиц случайных чисел можно воспользоваться следующим простым методом. Варианты нумеруют или обозначают буквами, и эти обозначения пишут на карточках, фишках. Затем карточки тщательно перетасовывают и произвольно вынимают по одной из них. Варианты в блоке размещают на делянках в последовательности, определенной жребием, случаем. Для каждого блока проводится своя рандомизация вариантов.

Для быстрого и правильного пространственного размещения опытов методом случайных блоков в Англии, Болгарии, ГДР, ФРГ, Италии, США и других странах используют готовые схематические планы опытов. Они составлены по таблицам случайных чисел для большого разнообразия опытов. Пользуясь готовыми схемами, легко выбрать ту, которая соответствует структуре планируемого опыта: числу вариантов, системе расположения блоков, повторности.

В качестве примера приведем некоторые схемы случайного расположения 4—10 вариантов по делянкам полевого опыта с шестью блоками (повторностями) (стр. 80—83). Если планируется опыт с меньшим числом блоков, то последние блоки опускают.

Метод латинского квадрата. Цель этого метода — исключить, сгладить влияние систематического изменения плодородия

789048

Figure 1

42	13	14	32	43	12	31	24	23	41	42	31
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

3

[illegible]

2

2	1	4	3	4	2	1	3	1	2	4	3
3	2	1	4	1	3	4	2	4	1	3	2

5. 800-444-7777

—

4253/631423/425125343214521354

2

3	1	4	2	5	2	4	1	5	3	4	2	5	3	1
2	5	3	1	4	3	1	4	2	5	1	3	4	2	5

3

3	3	2	1	5	4	2	1	3	4	5	1	3	2	4	5
4	5	3	2	1	5	4	2	1	3	4	5	3	1	2	

6 вариант

28	1345	14535	2337	14561	356	23562	44521	643
----	------	-------	------	-------	-----	-------	-------	-----

789000

4	1	6	7	5	3	2	6	7	4	1	2	5	3	5	1	7	4	2	3	6
2	6	5	1	3	4	7	5	2	3	6	7	4	1	4	6	2	3	1	7	5

[illegible]

6	3	1	2	5	4	3	1	6
2	2	5	4	3	6	1	5	4
4	1	6	3	2	4	2	6	1
5	3	2	1	5	6	3	4	5

5	3	1	6	4	7	2	5	4	7	1	2	6	3	5	6	2	4	6	1	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	2	7	4	1	5	3	6	3	7	5	6	2	4	1
1	4	2	6	3	7	5	4	6	1	3	5	7	2	
3	5	7	4	2	1	6	3	2	5	4	7	7	1	6

Схемы размещения полевых опытов методом случайных блоков (продолжение).

8 вариант

1									
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1
4	5	6	8	2	1	3	7	2	1

9 вариант

1									
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3
1	3	4	9	2	6	5	8	7	3

2

6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4
6	2	9	1	5	2	3	4	9	4

3

5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9
5	6	1	5	8	7	2	3	9

3

2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6
2	5	3	7	1	4	8	6

2

5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6
5	7	8	4	2	1	3	6

Схемы размещения полевых опытов методом случайных блоков (продолжение).

10 вариантов

8	6	4	9	1	0	3	7	2	5	0	5	2	7	3	9	4	6	8	1	9	8	6	1	4	5	3	0	2	7
4	2	0	3	7	9	8	5	6	1	5	3	7	4	8	0	6	1	2	9	6	2	0	8	3	7	1	4	5	9

6	4	9	8	1	0	3	7	2	5	5	3	0	2	7	4	6	8	1	9	5	10	6	7	4	5	3	1	8	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---

Схемы размещения полевых опытов методом случайных блоков (продолжение).

1	10	4	9	2	7	8	3	5	2	9	3	10	8	
5	7	3	6	8	9	1	10	2	4	1	4	6	7	5
6	10	4	7	2	3	5	7	6	10	8	9	4	1	2
9	3	1	5	8	2	8	1	4	9	5	7	6	3	10

		Столбцы				
		I	II	III	IV	V
Ряды	I	В	А	С	Д	Е
	II	С	В	Е	А	Д
	III	Д	Е	А	С	В
	IV	А	Д	В	Е	С
	V	Е	С	Д	В	А
Защитная полоса						

Рис. 21. Схема размещения опыта латинским квадратом 5×5.

почвы опытного участка по двум взаимно перпендикулярным направлениям на результаты опыта. Для этого земельный участок квадратной или прямоугольной формы разбивают в горизонтальном и вертикальном направлении на столько рядов и столбцов, сколько вариантов в опыте. Любой ряд и любой столбец включает полный набор изучаемых вариантов, которые размещаются на делянках квадратной или прямоугольной формы. При удлиненной форме делянок латинский квадрат не имеет особых преимуществ перед методом блоков.

Расположение опыта латинским квадратом требует, чтобы число повторностей обязательно было равно числу вариантов. Поэтому общее количество делянок в опыте всегда будет равно n^2 : при четырех вариантах — $4 \times 4 = 16$ делянок, при пяти — $5 \times 5 = 25$, при шести — $6 \times 6 = 36$ делянок и т. д. На площади они раз-

мещаются рядами и столбцами. В каждом ряду и столбце должен быть полный набор всех вариантов, следовательно, ни один из вариантов не повторяется дважды ни в строке, ни в столбце. Кроме этих двух ограничений, варианты размещаются внутри столбцов и рядов случайно, по жребию.

Например, для пяти вариантов, обозначенных латинскими буквами А, В, С, Д, Е (отсюда и название), расположение их в рядах и столбцах может быть таким, как показано на рисунке 21. Здесь каждая строка и столбец содержат все варианты, и ни в строке, ни в столбце одноименные варианты не повторяются дважды. Такое расположение имеет большое преимущество перед другими рассмотренными ранее методами. Оно позволяет охватить изменение плодородия почвы в двух взаимно перпендикулярных направлениях и математической обработкой элиминировать, устранить его влияние на результаты опыта.

Применение латинского квадрата в сельскохозяйственных опытах, а также в других исследованиях (биологии, медицине, химии, технике) приводит обычно к повышению точности опытной работы. Это объясняется тем, что при такой схеме расположения вариантов принимается в расчет систематическое изменение плодородия в двух направлениях и соответственно получается низкая ошибка опыта. В процессе статистической обработки результатов опыта методом дисперсионного анализа различия в плодородии почвы между столбцами и рядами исключаются из ошибки.

Схема латинского квадрата — удобная форма эксперимента в опытах на малых делянках (особенно при наличии малогабаритной техники), например при оценке новых форм удобрений, ядохимикатов, гербицидов, на первых этапах селекционной работы, а также в том случае, если исследователю необходимо доказать небольшие различия в действии изучаемых приемов. Отрицательная сторона латинского квадрата — требование равенства числа повторений числу вариантов. В связи с этим увеличение числа вариантов ведет к громоздким опытам и предусматривает большую повторность, чем это обычно требуется. Так, для опыта с десятью вариантами необходимы 10-кратная повторность и 100 делянок (10×10). Поэтому в опытной работе наибольшее распространение получили квадраты 5×5 , 6×6 и 7×7 . Нерационально оказалось закладывать квадраты с числом вариантов меньше четырех. В этом случае обобщенная ошибка опыта опирается на небольшое число наблюдений и становится неустойчивой основой для оценки существенности различий между вариантами.

Число возможных латинских квадратов с увеличением числа вариантов растет очень быстро. Так, для трех вариантов существует 12, для четырех — 576, а для пяти — 161 280 различных возможных расположений вариантов в латинском квадрате. Для построения латинского квадрата используются таблицы случайных чисел или жеребьевка — перетасовывание карточек с номерами вариантов и раскладывание их для получения рядов или столбцов в случайном порядке. Проще, однако, воспользоваться готовыми схемами латинских квадратов. Некоторые из них для опытов с 4—8 вариантами приведены на стр. 86.

Метод латинского прямоугольника. Этот метод позволяет использовать преимущества латинского квадрата, не прибегая к излишней повторности. Число вариантов должно быть кратным числу повторностей. Так, при четырехкратной повторности этим методом можно заложить опыт с 8, 12, 16 и 24 вариантами; при пятикратной — с 10, 15, 20, 25 вариантами и т. д. Следовательно, число вариантов должно делиться без остатка на число повторностей. Частное от деления дает число делянок, на которое необходимо расщепить каждый столбец соответствующего латинского квадрата.

Например, при изучении 12 вариантов в четырехкратной повторности каждый столбец латинского квадрата 4×4 необходимо расщепить в вертикальном направлении на три полосы ($12 : 4 = 3$). Такой метод закладки опыта носит название латинского прямоугольника $4 \times 4 \times 3$ (рис. 22). Произведение всех цифр ($4 \times 4 \times 3 = 48$) дает общее число делянок опыта, а произведение двух последних цифр ($4 \times 3 = 12$) — количество изучаемых вариантов.

Варианты по делянкам размещаются, как и в латинском квадрате, т. е. случайно, чтобы каждый ряд и столбец с двумя или большими колонками делянок имели полный набор всех вариантов. Такое расположение позволяет математической обработкой устранить влияние систематического варьирования плодородия почвы в двух

4 варианта (4×4)

1

3	1	2	4
1	2	4	3
2	4	3	1
4	3	1	2

2

1	3	4	2
2	4	3	1
4	2	1	3
3	1	2	4

3

4	2	1	3
3	1	2	4
2	3	4	1
1	4	3	2

5 вариантов (5×5)

1

2	3	5	1	4
4	2	3	5	1
5	1	4	2	3
1	4	2	3	5
3	5	1	4	2

2

3	5	1	4	2
4	1	2	5	3
2	4	5	3	1
1	3	4	2	5
5	2	3	1	4

3

5	2	1	4	3
2	4	3	1	5
4	3	5	2	1
3	1	2	5	4
1	5	4	3	2

6 вариантов (6×6)

1

5	1	4	6	3	2
1	3	5	2	6	4
6	4	2	1	5	3
2	5	3	4	1	6
4	6	1	3	2	5
3	2	6	5	4	1

2

6	4	1	3	5	2
1	5	4	6	2	3
4	6	2	5	3	1
3	1	5	2	4	6
2	6	3	4	1	5
5	3	2	1	6	4

3

1	2	6	4	5	3
3	4	2	5	1	6
6	5	3	1	4	2
4	3	5	6	2	1
2	1	4	3	6	5
5	6	1	2	3	4

7 вариантов (7×7)

1

3	6	1	2	7	5	4
1	3	6	5	4	2	7
7	2	3	4	6	1	5
2	4	5	6	1	7	3
5	7	4	1	2	3	6
6	1	7	3	5	4	2
4	5	2	7	3	6	1

2

1	4	3	5	2	6	7
5	2	7	1	3	4	6
6	5	1	3	4	7	2
2	1	4	6	7	5	3
7	6	2	4	1	3	5
3	7	6	2	5	1	4
4	3	5	7	6	2	1

3

4	7	6	3	5	2	1
5	1	4	6	7	3	2
3	6	5	7	2	1	4
2	3	7	1	4	6	5
1	5	2	4	6	7	3
7	4	3	2	1	5	6
6	2	1	5	3	4	7

8 вариантов (8×8)

1

3	4	1	6	5	8	2	7
5	2	6	1	8	7	3	4
2	1	7	5	4	6	8	3
7	5	8	4	3	2	1	6
1	8	3	7	6	5	4	2
4	6	5	8	2	3	7	1
8	3	4	2	7	1	6	5
6	7	2	3	1	4	5	8

2

2	5	6	4	8	7	3	1
4	7	8	3	2	6	1	5
3	6	1	8	5	4	2	7
8	4	7	6	1	3	5	2
7	2	4	1	6	5	8	3
1	3	5	2	4	8	7	6
5	8	2	7	3	1	6	4
6	1	3	5	7	2	4	8

3

4	2	8	7	1	5	3	6
1	6	5	4	7	2	8	3
5	8	7	3	6	4	2	1
7	1	6	8	4	3	5	2
2	7	4	6	3	8	1	5
8	3	1	5	2	6	7	4
6	5	3	2	8	1	4	7
3	4	2	1	5	7	6	8

Схемы размещения полевых опытов методом латинского квадрата.

перпендикулярных направлениях и, следовательно, значительно снизить ошибку эксперимента.

Метод латинского прямоугольника можно использовать при закладке двухфакторных опытов, если число изучаемых сочетаний не велико. На стр. 88 приведены некоторые из возможных схем латинского прямоугольника.

Метод решетки. В экспериментальной работе нередко бывает необходимо проводить полевые опыты с большим набором изучаемых вариантов (25, 50 и больше). Для этого рациональными оказались методы размещения опыта, в которых варианты, например сорта, разбивают на несколько небольших групп, блоков, и объединяют блоки в повторения. Расположение опыта во многом напоминает решетку, а потому и называется методом решетки.

Существует много вариантов этого метода (двухместная, трехместная, сбалансированная, прямоугольная решетки и др.); рассмотрим наиболее простой и распространенный за рубежом способ, а именно двухместную решетку (рис. 23 и 24).

Опыт, заложенный методом двухместной решетки, характеризуется тем, что количество его вариантов равно квадрату целого числа, т. е. p^2 , например $4 \times 4 = 16$, $5 \times 5 = 25$, $6 \times 6 = 36$ и т. д. Если количество вариантов не равно квадрату целого числа, то некоторые варианты могут быть включены дважды.

Варианты группируют в блоки, а блоки — в повторения. Число блоков в каждом повторении и вариантов в блоке равно корню квадратному из числа всех вариантов опыта, то есть p . Так, при 16 вариантах число блоков в повторении и вариантов в блоке будет 4 ($4 \times 4 = 16$); при 25 вариантах — 5; при 36 вариантах — 6 и т. д.

Порядок размещения вариантов в блоках характеризуется следующей особенностью. В нечетных повторениях, которые обозначим через X , варианты по блокам размещаются друг за другом горизонтально, по рядам, а в четных повторениях, которые обозначим через Y , — вертикально, по столбцам квадрата. Такая структура опыта позволяет разместить одноименные варианты в нескольких местах участка в шахматном порядке и определить их среднюю с большой точностью.

	Столбцы												
	I			II			III			IV			
Ряды	I												
		4	9	11	1	7	2	8	12	10	6	3	5
	II												
		1	5	2	6	10	12	3	4	7	11	9	8
III													
		12	6	8	3	4	9	1	5	11	2	7	10
IV													
		3	7	10	5	8	11	9	2	6	4	1	12
	Защитная полоса.												

Рис. 22. Схема размещения опыта латинским прямоугольником $4 \times 4 \times 3$.

8 вариантов
(4×4×2)

8	5	1	3	6	4	2	7
6	3	7	4	5	2	8	1
1	4	6	2	8	7	5	3
2	7	8	5	1	3	4	6

10 вариантов
(5×5×2)

8	7	6	10	1	3	4	9	2	5
4	3	9	2	5	6	7	8	1	10
1	10	7	3	8	2	5	6	9	4
6	2	5	1	4	9	3	10	7	8
5	9	4	8	7	10	2	1	3	6

15 вариантов
(5×5×3)

13	11	2	14	4	15	1	7	8	10	9	3	5	12	6
8	5	1	9	11	2	4	6	12	14	7	15	3	10	13
3	15	10	1	5	6	2	11	13	4	12	8	9	14	7
12	4	6	10	3	7	3	14	5	1	13	2	8	11	15
7	9	14	8	12	13	15	3	10	6	5	11	1	2	4

Схемы размещения полевых опытов методом латинского прямоугольника.

Предположим, что в опыте 25 вариантов (5 × 5). Следовательно, в каждом из пяти блоков будет по пяти изучаемых вариантов. Начертим два квадрата 5 × 5 и в квадрате-повторении X запишем все варианты (числа) подряд от 1 до 25, располагая их по рядам, а в квадрате-повторении Y — по столбцам. Такое расположение называют двойным. Здесь каждые *p* делянок (в данном случае 5) образуют один блок.

Блок	Повторение X				
I	1	2	3	4	5
II	6	7	8	9	10
III	11	12	13	14	15
IV	16	17	18	19	20
V	21	22	23	24	25

Блок	Повторение Y				
VI	1	6	11	16	21
VII	2	7	12	17	22
VIII	3	8	13	18	23
IX	4	9	14	19	24
X	5	10	15	20	25

Двухместная решетка должна иметь четное число повторений — 2, 4, 6, 8. В половине повторений варианты по делянкам разме-

таются в порядке X, а в другой половине — в порядке Y. Главная особенность метода — характерное для двухместной решетки двойное расположение, когда варианты любого блока повторения X оказываются включенными по одному во все блоки повторения Y. Это позволяет при математической обработке результатов опыта вычленить варьирование плодородия почвы по блокам и повторениям.

Двухместная решетка особенно часто используется для закладки многовариантных

I_X					II_Y					III_X					IV_Y				
(1)					(6)					(11)					(16)				
4	2	1	5	3	19	9	14	24	4	16	16	11	25	19	12	17	7	22	2
(2)					(7)					(12)					(17)				
24	21	23	25	22	20	15	5	25	15	6	8	7	10	9	10	13	23	3	8
(3)					(8)					(13)					(18)				
19	20	18	17	16	17	22	2	12	7	1	4	5	3	2	16	1	21	11	6
(4)					(9)					(14)					(19)				
10	8	7	6	9	21	1	11	6	16	15	14	11	13	12	9	24	4	19	14
(5)					(10)					(15)					(20)				
11	14	12	15	13	23	3	13	8	18	22	21	24	25	23	10	5	15	20	25

Рис. 23. Схема размещения опыта с 25 вариантами методом двухместной решетки 5×5 в четырех повторениях.

Блок	I_X						II_Y						Блок
(1)	18	20	22	24	21	23	13	25	31	1	7	15	(7)
(2)	5	1	6	4	2	3	35	17	29	11	5	23	(8)
(3)	14	17	16	16	15	13	22	4	10	28	34	16	(9)
(4)	26	30	26	25	23	27	36	24	6	12	30	18	(10)
(5)	7	9	12	11	8	10	21	3	9	15	27	33	(11)
(6)	32	31	36	34	33	35	32	2	26	20	14	6	(12)
(13)	36	25	29	27	26	28	6	24	12	18	36	30	(19)
(14)	11	9	7	10	8	12	31	25	1	19	13	7	(20)
(15)	6	4	3	2	1	5	28	16	34	4	10	22	(21)
(16)	24	19	23	20	21	22	5	35	17	23	29	11	(22)
(17)	36	32	34	31	33	35	3	8	26	14	52	20	(23)
(18)	15	18	17	14	13	16	9	21	15	27	33	3	(24)
	III_X						IV_Y						

Рис. 24. Схема размещения опыта с 36 вариантами методом двухместной решетки 6×6 в четырех повторениях.

блоков (группы вариантов) внутри повторения X и Y, а также вариантов в каждом блоке определяется методом рандомизации.

Метод расщепленных делянок. Этот метод используется преимущественно для закладки многофакторных опытов. При проведении таких опытов довольно часто требуется получить точную информацию о каком-либо одном факторе, а в отношении второго фактора нет необходимости добиваться большой точности. Например, при испытании доз удобрения или сортоиспытании, проводимом на малых делянках, можно объединять целые группы таких делянок и на укрупненных площадях испытывать различные предшественники или виды обработки почвы. Набор этих вариантов обычно повторяется в опыте небольшое число раз (3—4), но сорта или удобрения

повторяются по всем делянкам обработки почвы или предшественников и имеют большее число повторностей. Опыты, поставленные таким образом, называют опытами с расщепленными делянками.

На рисунке 25 показано схематическое расположение двухфакторного опыта методом расщепленных делянок по изучению двух градаций способов обработки (*A* и *B*) и пяти градаций удобрений (1, 2, 3, 4, 5). Здесь делянки, на которых изучаются варианты обработки почвы, называемые главными делянками или делянками первого порядка, расщепляются, делятся на малые субделянки, или делянки второго порядка, предназначенные для вариантов удобрений.

Размещение вариантов по главным делянкам и субделянкам может быть систематическим и случайным. Особенность случайного наиболее обоснованного современного способа расположения состоит в том, что варианты главных делянок рендомизируются самостоятельно по каждому повторению, а варианты делянок второго порядка (субварианты) рендомизируются каждый раз заново по каждой главной делянке. Вследствие того, что размер и повторность главных делянок и субделянок различны, т. е. сравнения неравноточны, ошибка опыта для вариантов больших делянок иная (обычно значительно больше), чем для вариантов, изучаемых на делянках второго порядка.

Можно разделить основную делянку на некоторое число делянок второго порядка, а последние на еще меньшие делянки третьего порядка (рис. 26), но такие опыты встречаются реже. К тому же статистический анализ их затрудняется, так как здесь должно быть три ошибки для оценки точности опыта.

Одной из распространенных модификаций расщепленных делянок является метод наложения вариантов. Его часто используют при проведении двухфакторных полевых опытов. Сущность метода заключается в том, что на все делянки опыта по изучению нескольких градаций одного фактора, например фактора *A*, в перпендикулярном направлении накладываются делянки опыта по изучению нескольких градаций фактора *B*. В результате такого перекрещивания делянок получается опыт, в котором имеются все возможные сочетания двух изучаемых факторов. Это позволяет выявить действие и взаимодействие факторов. Важно, что постановка двухфакторных опытов методом наложения вариантов удобна в техническом отношении и позволяет изучать многие агротехнические приемы и их сочетания (способы обработки почвы, предшественники, удобрения, способы и нормы посева и т. д.).

Расположение вариантов по изучению градаций фактора *A* и *B* может быть систематическим и случайным. При случайном размещении для каждого повторения методом рендомизации определяется порядок следования вариантов друг за другом сначала для градаций фактора *A*, а затем фактора *B*. Если экспериментатор предпочитает систематическое расположение, то порядок следования

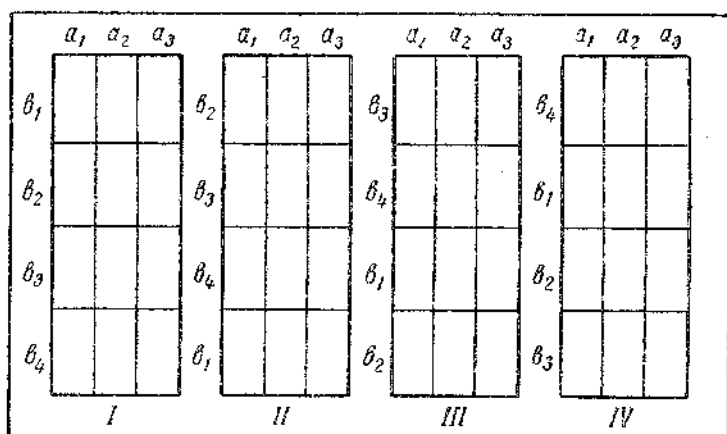


Рис. 27. Схема систематического расположения двухфакторного опыта (3×4) методом наложения вариантов:
 a_1, a_2, a_3 — градации фактора A (нормы высева); b_1, b_2, b_3, b_4 — градации фактора B (дозы удобрений).

вариантов по изучению градаций фактора A , установленный для первого повторения, он сохраняет во всех последующих. Это, как известно, ведет к неравноточным сравнениям вариантов и к искажению их эффектов. Порядок следования вариантов по изучению градаций фактора B , установленный для первого повторения, в каждом следующем повторении сдвигается так, чтобы не было совпадения одноименных вариантов в горизонтальном направлении (рис. 27).

Все рассмотренные выше случайные методы размещения вариантов используются с некоторыми ограничениями. Так, в случайных блоках ограничение состоит в том, что рендомизация осуществляется внутри каждого повторения (блока), а не на площади всего опытного участка. В латинском квадрате и прямоугольнике рендомизация ограничивается еще больше. Здесь все варианты должны испытывать воздействие контролируемых условий проведения опыта в двух направлениях и одноименные варианты не должны встречаться ни в строке, ни в столбце.

При постановке опытов случайными блоками, особенно при небольшом числе вариантов ($3-5$), рендомизация нередко дает такой порядок, когда одноименные варианты размещаются рядом, и, естественно, появляется желание произвести повторное, более справедливое распределение. Как поступить в этом случае: придерживаться ли строго случайного размещения или внести в него некоторую обоснованную корректировку? Существуют разные точки зрения. Не будет, по-видимому, ошибочным такое решение, когда экспериментатор не допускает, чтобы одноименные делянки примыкали одна к другой длинными или короткими сторонами. Следовательно,

здесь рендомизация в еще большей степени подчинена сознательному, обоснованному ограничению для более равномерного (по не систематического) распределения вариантов на опытном участке.

Методы размещения полевых опытов, которые основываются на постулате случайной выборки, но с некоторыми обоснованными ограничениями, широко используются в Болгарии и ГДР (В. Баров, И. Шанин, 1965). Рендомизация здесь принята за основу, но там, где случайное размещение неудачно, производится корректировка. Кроме того, в одном повторении допускается систематическое расположение, которое иногда желательно иметь, например, в демонстрационных целях. Это не нарушает основные требования случайного метода, так как всегда имеется шанс в одном из повторений получить при рендомизации последовательное размещение вариантов.

Как пример ниже приведены схемы расположения опытов, где в одном повторении варианты размещены систематически, а в остальных — случайно:

а) метод блоков (4 варианта, 6 повторений)

1 2 3 4	2 1 4 3	4 2 3 1	4 3 1 2	3 2 1 4	1 3 2 4
1 2 3 4	1 3 4 2	3 2 1 4			
3 1 4 2	3 2 1 4	2 4 3 1			
1 2 3 4	3 1 4 2				
3 1 4 2	1 2 3 4				
2 4 3 1	4 3 2 1				

б) латинский квадрат 4×4

1 2 3 4	1 2 3 4
3 4 1 2	4 1 2 3
2 1 4 3	3 4 1 2
4 3 2 1	2 3 4 1

в) латинский прямоугольник $4 \times 4 \times 2$

1 2	3 4	5 6	7 8	1 2	3 4	5 6	7 8
3 5	6 1	7 8	2 4	3 4	8 6	7 1	2 5
8 6	7 2	4 1	3 5	5 6	7 1	2 8	3 4
7 4	5 8	3 2	1 6	7 8	2 5	3 4	1 6

В оценке случайных методов размещения вариантов существуют значительные расхождения среди исследователей. Так, В. Н. Перегудов считает рендомизацию обязательным требованием, и если

экспериментатор дорожит объективностью, он должен применить случайное размещение вариантов внутри повторений, невзирая на некоторые добавочные, правда порой сильно преувеличенные, хлопоты и технические затруднения. В большей части зарубежных руководств по методике опытного дела и статистическим методам обработки результатов исследований (Дж. У. Снедекор, Р. А. Фишер, Дж. Уишарт и Г. Сандерс, Н. Бейли, Ф. Вагнер и др.), а также в отечественных руководствах по применению статистики в биологии, медицине, химии, технике (А. М. Длин, В. В. Налимов, Н. А. Плохинский, В. Г. Вольф и др.) рендомизация рассматривается как основа всех современных экспериментальных схем.

С. В. Щерба и другие исследователи считают преимущество метода рендомизированных повторений спорным, но метод латинского квадрата признают очень удачной схемой размещения опыта. Однако многие экспериментаторы утверждают, что рендомизацию вообще нельзя рекомендовать, аргументируя свои доводы не теоретическими положениями или прямыми экспериментами, а интуитивными соображениями.

В связи с тем, что во многих руководствах по методике полевого опыта и в практике, особенно начинающих исследователей, очень недостаточное внимание уделяется расположению вариантов внутри повторения, а при отборе образцов вообще стараются избежать метода случайной выборки и в стремлении к так называемой типичной выборке допускается ряд серьезных систематических ошибок, необходимо осветить этот вопрос более подробно.

В экспериментальной работе в области агрономии практически невозможно исследовать по тому или иному признаку всю совокупность объектов, поэтому изучают часть ее, по которой делают заключение о всей так называемой генеральной совокупности. Такой метод проведения исследований называется выборочным и служит основой статистического изучения совокупности.

При проведении полевого опыта также пользуются выборочным методом исследования. Для этого на опытном участке проводят тем или иным способом выборку делянок для размещения и изучения на них отдельных вариантов опыта. Здравый смысл подсказывает, что если сравнивают несколько вариантов, то для правильного суждения об эффективности изучаемых приемов необходимо во всех вариантах иметь равный набор делянок опыта, с одинаковыми условиями и исключить какую-либо предвзятость, например сознательное или подсознательное размещение вариантов самим исследователем.

По-видимому, единственная гарантия от предвзятости — создание условий для строгой случайности выбора делянок для любого варианта опыта методом рендомизации. Как было показано выше, некоторое ограничение случайности полезно, например в латинском квадрате, но элемент строгой случайности распределения вариантов на площади опытного участка или при отборе различных образцов является основой выборочного метода исследования.

Основное требование, предъявляемое к выборочному исследованию, в том числе и к полевому опыту, заключается в том, чтобы результаты выборочного наблюдения правильно представляли всю совокупность. Иначе говоря, необходимо обеспечить, чтобы часть совокупности, т. е. выборка, которую мы изучаем, например набор одноименных вариантов полевого опыта, имела бы с точки зрения исследуемого признака приблизительно одинаковую структуру со всей совокупностью. Применительно к полевому опыту это означает, что при планировании размещения вариантов по делянкам опытного участка выборка их для отдельного варианта должна представлять по возможности наиболее полно весь опытный участок, т. е. быть репрезентативной и вполне свободной от субъективизма и предвзятости. Этого можно достигнуть при выполнении двух основных условий:

а) выборка должна быть проведена случайно; нельзя делать ее специальным подбором, который ведет к тенденциозности;

б) необходимо, чтобы выборка была проведена по возможности из однородной совокупности.

Наиболее часто в исследовательской работе выборка получается в результате случайного, механического и типического отбора. Собственно случайная выборка создает равную вероятность каждому члену совокупности попасть в выборку. Механическая выборка состоит в том, что объекты для нее отбирают через определенный интервал. Типическая, или районированная, выборка отличается от механической тем, что первоначально всю совокупность разбирают на определенное число групп (районов) и из каждой группы берут в выборку определенное число объектов методом случайной, или механической, выборки.

Для математиков-статистиков, работающих выборочным методом, а также для исследователей, хорошо знакомых с теорией вероятностей и статистическими методами исследований, необходимость иметь строго случайную выборку не вызывает никаких сомнений и не требует специальных обоснований. Однако многие исследователи в области агрономии полагают, что требование случайной выборки и рендомизации в полевом опыте — это какая-то детская забава (например, жеребьевка перед началом игр, соревнований и т. п.), а не серьезное научное требование, кроме того, считают случайность в эксперименте неуместной и даже вредной. При этом часто упускается из виду то обстоятельство, что во всяком эксперименте, и особенно таком сложном, как полевой опыт, случайность неизбежна, так как она вместе с необходимостью составляет диалектическое единство любого явления. Поэтому правильная организация любого опыта возможна только тогда, когда, кроме планирования и учета контролируемых факторов, определенным образом планируются и случайные факторы.

Рендомизация — это и есть планирование случайных факторов, введение их в определенные рамки. К таким неподконтрольным факторам в полевом опыте может относиться, например, неоднород-

ность почвенного покрова, индивидуальные различия растений, случайные повреждения их болезнями и вредителями, а также технические ошибки экспериментатора.

Совершенно очевидно, что систематические методы размещения делянок на площади в том виде, как они применяются в практике опытной работы, не удовлетворяют основным требованиям выборочного метода исследования. Так, уже на первых стадиях планирования эксперимента при установлении порядка вариантов в схеме и размещения их на делянках внутри повторений всегда участвует элемент сознательного суждения исследователя о целесообразности какого-то вполне определенного расположения вариантов, главным образом с точки зрения технического осуществления эксперимента. Это первое и, пожалуй, самое серьезное нарушение случайного отбора делянок для размещения отдельных вариантов опыта усугубляется тем, что затем оно механически распространяется на все повторения, вызывая неравноточность сравнений и искажение результатов.

Например, если в первом повторении установлен порядок вариантов *A, B, C, D, E*, этот же порядок сохраняется во втором, третьем и т. д. повторениях, т. е. вариант *C* во всех случаях будет занимать середину, а варианты *A* и *E* — краевые части площади повторения. При размещении опыта в два яруса этот порядок сдвигается во втором ярусе и берется последовательность, например *D, E, A, B, C*. Теперь делянка с вариантом *A* всегда находится в середине, а делянки с вариантами *D* и *C* — по краям.

Во всех этих случаях порядок расположения вариантов подчиняется определенной системе, намеченной исследователем. Он был бы приемлем, если бы соблюдались два основных условия: во-первых, порядок следования вариантов в схеме намечался бы без сознательного выбора экспериментатором и, во-вторых, если бы была полная уверенность в том, что пестрота плодородия почвы изменяется только случайно, а не систематически с некоторой периодичностью, которая может совпасть с размещением вариантов через определенный интервал и, следовательно, привести к искажению результатов опыта. Однако на практике первое условие нарушается в основном по организационно-техническим причинам, а второе не может быть выполнено из-за природной систематической изменчивости плодородия почвы. Все это требует применения там, где возможно, метода случайного размещения вариантов опыта в каждом повторении.

Принимая принцип единственного различия за основу при постановке опытов, экспериментатор, использующий систематические методы, уже в самом начале исследования по существу грубо нарушает его. Он преднамеренно размещает варианты и тем самым ставит их в несравнимые условия, т. е. привносит в опыт дополнительный и очень нежелательный элемент, а именно, ошибку смещения в оценке эффектов изучаемых вариантов. Это легко показать, если на дробный учет наложить условный опыт с рандомизированным

Таблица 4

Средний урожай (в ц с 1 га) при систематическом и случайном наложении опыта в четырех повторениях на дробный учет овса. Учхоз „Михайловское“, 1966 г.

Вариант опыта	Систематическое наложение	Случайное наложение									
		1-я выборка	2-я выборка	3-я выборка	4-я выборка	5-я выборка	6-я выборка	7-я выборка	8-я выборка	9-я выборка	10-я выборка
1-я полоса дробного учета (истинная средняя 18,6 ц с 1 га)											
I	18,2	20,9	18,2	18,5	20,0	18,8	20,0	19,5	18,0	20,9	19,5
II	18,3	17,4	17,2	18,2	19,0	18,6	19,2	17,5	18,1	18,4	17,5
III	17,8	17,9	20,4	20,2	18,4	17,9	18,7	19,5	18,4	17,9	17,4
IV	17,1	17,3	20,0	18,3	18,4	17,8	17,7	18,7	20,3	17,6	17,7
V	21,6	19,5	17,2	17,8	17,2	19,9	17,4	17,8	18,2	18,2	20,9
Ошибки средних	1,67	1,60	1,56	0,90	1,07	0,90	1,11	1,01	0,98	1,32	1,46
3-я полоса дробного учета (истинная средняя 14,7 ц с 1 га)											
I	14,1	15,1	15,4	14,5	14,6	14,8	15,5	14,1	14,8	14,9	13,8
II	13,7	14,5	15,6	14,6	14,2	14,5	14,0	15,1	14,7	15,1	15,7
III	13,8	14,6	14,1	15,2	15,2	14,1	14,0	15,2	15,1	13,9	14,9
IV	16,4	14,7	14,3	14,8	15,2	15,4	14,5	14,8	14,6	14,5	13,7
V	15,5	14,6	14,1	14,4	14,3	14,7	15,5	14,3	14,3	15,1	15,4
Ошибки средних	1,10	0,46	0,80	0,35	0,60	0,52	0,81	0,62	0,50	0,86	1,05
8-я полоса дробного учета (истинная средняя 14,8 ц с 1 га)											
I	13,0	14,2	12,9	14,3	15,5	14,6	14,5	14,5	14,7	15,3	15,0
II	14,0	14,5	16,4	15,5	15,2	14,2	14,6	15,6	15,0	16,0	14,5
III	14,6	15,5	14,6	13,9	14,7	16,6	14,9	15,2	14,5	15,6	15,0
IV	16,6	15,7	15,1	14,3	14,5	14,4	14,8	15,4	14,8	13,5	14,5
V	15,8	14,1	15,0	16,0	14,1	14,2	15,2	13,3	15,0	13,6	15,0
Ошибки средних	1,43	0,76	1,26	0,93	0,70	1,04	0,26	0,97	0,21	1,20	0,37
12-я полоса дробного учета (истинная средняя 16,9 ц с 1 га)											
I	15,4	15,8	16,4	17,8	16,3	17,4	16,2	16,6	16,3	18,0	15,7
II	15,7	17,6	18,4	16,2	16,6	15,7	17,3	17,0	16,7	17,0	16,3
III	17,3	16,9	15,9	15,6	17,1	17,3	15,6	16,1	16,2	16,0	18,4
IV	18,3	17,3	17,3	17,1	16,5	16,1	16,1	17,0	17,6	17,1	17,0
V	17,8	16,9	16,5	17,9	15,4	17,9	18,0	17,7	17,7	16,4	17,0
Ошибки средних	1,28	0,68	1,00	1,00	0,50	0,95	0,96	0,59	0,71	0,76	0,98

и систематическим расположением вариантов. В качестве примера в таблице 4 приведены данные, характеризующие степень расхождения выборочных средних от истинной средней при последовательном и случайном размещении пяти вариантов опыта по делянкам площадью 100 кв. м.

Из таблицы 4 видно, что средние урожаи по вариантам во всех случайных наложениях (выборках) ближе к истинной средней и рендомизация ставит варианты будущего опыта в более сопоставимые условия сравнения. Следовательно, если на этом участке будет заложен фактический опыт, то эффекты вариантов, т. е. наиболее существенная часть эксперимента, при случайном их размещении по делянкам будут в меньшей степени подвержены ошибкам смещения и исследователь получит более объективное представление о действии изучаемых факторов.

Стандартная ошибка для первой полосы дробного учета в среднем из десяти случайных наложений составляет $1,19 \pm 0,23$; третьей — $0,66 \pm 0,20$; восьмой — $0,77 \pm 0,36$ и двенадцатой полосы — $0,91 \pm 0,20$ ц с 1 га. Расчеты показывают, что случайный отбор делянок оказался в данном случае на 29—46% эффективнее, чем систематический последовательный метод размещения вариантов.

Можно было бы продолжить примеры, указывающие на значительное смещение в урожаях по вариантам при систематическом расположении полевого опыта. Здесь нужно указать еще на один из них, когда смещение урожаев происходит на достаточно выравненных земельных участках с небольшими «связанными» по плодородию площадками. В подобных случаях значительные искажения могут наблюдаться даже в опытах, заложенных на малых делянках (5—10 кв. м) и с минимальным количеством вариантов (табл. 5).

Таблица 5

Средний урожай (в ц с 1 га) при систематическом и случайном наложении опыта в четырех повторениях на дробный учет зеленой массы овса. Селекционно-генетическая станция ТСХА, 1965 г.

Вариант опыта	Систематическое наложение	Случайное наложение									
		1-я выборка	2-я выборка	3-я выборка	4-я выборка	5-я выборка	6-я выборка	7-я выборка	8-я выборка	9-я выборка	10-я выборка
I	350	374	359	350	379	359	379	380	366	350	388
II	394	370	385	394	365	385	365	364	378	394	356
Ошибка средней (в %)	5,92	0,54	3,50	5,92	1,18	3,50	1,18	2,15	1,61	5,92	4,30

Примечание. Площадь делянок 10 кв. м.

В десяти выборках из десяти рендомизация обеспечила получение несмещенных средних, чем систематический отбор, и, следовательно, опыты, заложенные здесь случайными методами, могут достовернее выявить эффекты вариантов (сортов).

Таким образом, случайное размещение вариантов в наибольшей степени позволяет элиминировать возможные ошибки смещения. Препрежительное отношение к рендомизации, игнорирование случайного отбора делянок может привести к неверным выводам и дискредитирует саму идею выборочного метода, научной основой которого является независимость от воли или склонности исследователя выбора единиц изучаемой совокупности.

Правильной оценке рендомизации в опытных делах длительное время препятствовало тенденциозное отношение к ней некоторых исследователей, недостаточно знакомых с теорией выборочного метода.

Было показано, что рендомизированное размещение вариантов по делянкам является своеобразным планированием случайностей, введением их в определенные рамки — это не подчинение себя и результатов опытов случайности, а, наоборот, подчинение случайности воле экспериментатора. Здесь следует указать, что сравнение точности фактических опытов, заложенных систематическим и случайным методами, не может выявить смещение средних по вариантам, так как систематическое варьирование плодородия почвы внутри повторений в таких опытах нельзя отделить от действия изучаемых факторов.

Метод рендомизации необходим не только в том случае, когда не проведено детального изучения характера пестроты опытного участка дробным учетом рекогносцировочного посева, но и при наличии таких данных. Дробный учет позволяет правильно расположить повторения, установить размер, форму и повторность делянок, но он не может создать равные, «справедливые» условия для всех вариантов опыта, как бы добросовестно ни пытался исследователь их разместить. Кроме того, нельзя упускать из виду и некоторую подсознательную тенденциозность экспериментатора при размещении вариантов. Например, замечено, что те варианты, которые исследователь считает перспективными, он никогда не помещает с края повторения. Если это так, то единственным и, можно сказать, научным способом распределения разных условий по вариантам опыта следует признать рендомизацию, жеребьевку. Хотя это и не обеспечивает равные условия для всех вариантов, зато они обладают одинаковой вероятностью попасть в те или иные условия.

Рендомизацию нельзя, конечно, рассматривать как жесткое и обязательное требование любого эксперимента. При проведении некоторых агротехнических опытов могут быть условия, когда рендомизация затруднительна. Отсутствие ее в этих случаях наносит ущерб чистоте опыта, понижает его объективность и безукоризненность, но не лишает его познавательной ценности.

Принципы рендомизации начали использоваться очень давно. Например, еще во времена общинного владения землей участки различного качества делили на части по числу членов общества и для справедливого разделения земли между земледельцами прибегали к жеребьевке. Таким образом, этот метод применим не только в детских играх, спортивных соревнованиях и лотереях, когда участникам не могут быть предоставлены абсолютно тождественные условия, но и при решении таких жизненно важных вопросов, как раздел земли. В объективном полевом опыте при «соревновании» различных изучаемых вариантов стоит проявить заботу о том, чтобы создать равные условия для их сравнения.

Все сказанное выше о необходимости размещения вариантов опыта путем рендомизации полностью относится к отбору различных проб растений, почвы и т. п.

Чаще всего экспериментатор стремится отобрать так называемый типичный образец и при этом бывает уверен, что полностью сохраняет объективность и сознательный подход к делу и что такой отбор более совершенен, чем случайный. Но чаще всего объективность в подобных случаях мнимая.

Специальные исследования в этом направлении показывают, что очень часто отбор типичного образца сопряжен с индивидуальной субъективностью наблюдателя, которая ведет к систематическим ошибкам. Замечено, например, что одни наблюдатели склонны к отбору в типичный образец более развитых, чем действительно средних, растений, а другие — наоборот. При малой высоте растений наблюдатели стараются как бы «подтянуть» их и берут более высокие, а при большой высоте, наоборот, в выборку попадают обычно более низкорослые растения. Все это свидетельствует о том, что каким бы добросовестным ни был наблюдатель, его отбор типичного образца (особенно если он следует рекомендуемой некоторыми инструкциями корректировке результатов путем замены «нетипичного» растения или пробы на более «типичное») не лишен тенденциозности и зависит от субъективных впечатлений.

Практика показывает, что преднамеренный отбор в выборку типичных единиц (близких к средним) «на глазок» никогда не бывает удачным. Такая выборка легко может оказаться смещенной, т. е. при отборе каждого члена выборки может быть допущена одна и та же систематическая ошибка, связанная с индивидуальными особенностями наблюдателя.

Вот один из многочисленных примеров. На Ротамстедской опытной станции (Англия) был проведен опыт с отбором камней (Ф. Йетс, 1965). Около 1200 камней разного размера было разложено на столе, и каждому из 12 наблюдателей предложено взять три выборки по 20 камней, которые отражали бы средний вес камня в совокупности. После каждого испытания камни возвращали обратно и перемешивали. Данные о среднем весе камня в каждой из 36 вы-

выборок, а также истинный средний вес камня (в унциях) для совокупности приведены ниже.

Наблюдатель	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-я выборка	1,9	2,4	2,4	1,9	2,2	2,8	2,4	1,6	2,2	2,6	2,4	2,4
2-я выборка	1,8	3,0	2,4	2,0	2,7	2,6	2,6	2,0	2,2	2,2	2,4	3,0
3-я выборка	1,7	2,4	2,1	2,0	3,1	2,8	2,5	2,0	2,2	3,1	1,8	2,4

Средняя 1,8 2,6 2,3 2,0 2,7 2,7 2,5 1,9 2,2 2,6 2,2 2,6

Средняя по всем выборкам — 2,34 унции.

Истинная средняя — 1,91 унции.

Характерно, что большинству наблюдателей (10 из 12) свойственна тенденция отбирать более крупные камни и она не изменяется от выборки к выборке. У первого наблюдателя, наоборот, средний вес камня во всех трех выборках оказался меньше истинного веса.

Результаты опыта достаточно четко указывают, что у отдельных наблюдателей замечается определенная и довольно устойчивая склонность делать примерно одинаковую систематическую ошибку смещения в том или ином направлении. В данном эксперименте общая средняя всех 36 выборок оказалась преувеличенной почти на 25%, а 6 наблюдателей из 12 преувеличили вес камня по сравнению с истинным на 37%.

Случайный отбор также не может дать точных результатов, но он определенно гарантирует, что выборка будет свободна от той или иной субъективности и тенденциозности. Поэтому при отборе образцов также желательно стремиться к случайной выборке, кроме тех, совершенно очевидных случаев, когда это не представляется возможным или обходится слишком дорого.

Прежде чем применять широко распространенный метод систематического (механического) отбора образцов растений или почвы, всегда необходимо выяснить характер изменчивости совокупности, чтобы интервал между объектами, отбираемыми в выборку, не совпадал с интервалом какого-либо периодического изменения совокупности. Например, систематический отбор образцов растений через определенный интервал может привести к выбору растений, которые развились из семян, заделанных одними и теми же сошками сеялки, тогда как другие не будут включены в образец, и может получиться выборка, имеющая явное смещение.

Принципиальные основы и условия выборочного метода исследования установлены на основании важнейших теорем теории вероятностей, доказанных русскими математиками: П. Л. Чебышевым, А. М. Ляпуновым, А. А. Марковым и др. Принцип случайного отбора, когда каждая единица изучаемой совокупности имеет одинаковую вероятность быть отобранной, — один из важнейших в теории выборки. При нарушении этого принципа выборочное наблюдение не может считаться научно обоснованным, и экспериментатор теряет возможность обрабатывать данные таких наблюде-

ний и опытов статистически, т. е. судить о точности и достоверности полученных результатов. И если на первых этапах исследования или в тех случаях, когда не требуется статистическая оценка данных, например при проведении демонстрационных опытов в производственных условиях, можно использовать систематические методы, то на заключительных этапах экспериментальной работы, когда необходимо математическое доказательство, нужен строгий научный подход к размещению опыта, т. е. рендомизация.

§ 4. ТЕХНИКА ЗАКЛАДКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

Полевой опыт дает объективную оценку изучаемым вариантам лишь в том случае, если эксперимент проведен безукоризненно, с соблюдением всех требований методики. Ошибки технического характера, допущенные на любом этапе опытной работы (разбивка опытного участка, обработка почвы, внесение удобрений, посев, уход, уборка урожая и т. д.), нарушают сравнимость вариантов и искажают их эффекты. Эти ошибки не могут быть исправлены никакой математической обработкой и, следовательно, полностью обесценивают результаты опыта. Поэтому соблюдение всех технических правил проведения эксперимента в поле — важнейшее условие получения точных данных, пригодных для объективной оценки действия изучаемых в опыте агротехнических приемов или сортов.

РАЗБИВКА ОПЫТНОГО УЧАСТКА

После изучения и подготовки земельного участка необходимо нанести намеченное расположение опыта на схематический план, где указать точные размеры всего опыта, повторений, делянок и т. п. (рис. 28). По схематическому плану затем размещают опыт в натуре, т. е. выделяют и фиксируют границы опыта, отдельных повторений и делянок. При этом очень важно, чтобы площадь повторений и делянок точно соответствовала принятым размерам, все делянки во всех повторениях обязательно должны быть одинаковой длины и ширины и иметь строго прямоугольную форму.

Перед выходом в поле необходимо заранее подготовить теодолит или эккер для построения прямых углов, стальную мерную ленту или 20-метровую рулетку, крепкий длинный шнур, 5—10 вешек длиной 1,5—2 м, 4 угловых столбика (репера) для фиксирования границ опыта и небольшие рабочие колышки диаметром 3—4 см и длиной 25—30 см для фиксирования границ делянок. Рабочих колышков требуется примерно на 10—12 штук больше удвоенного числа всех делянок.

Разбивку участка начинают с выделения общего контура опыта и контуров отдельных повторений. Опыт должен располагаться так, чтобы его или каждое повторение (при разбросанном размеще-

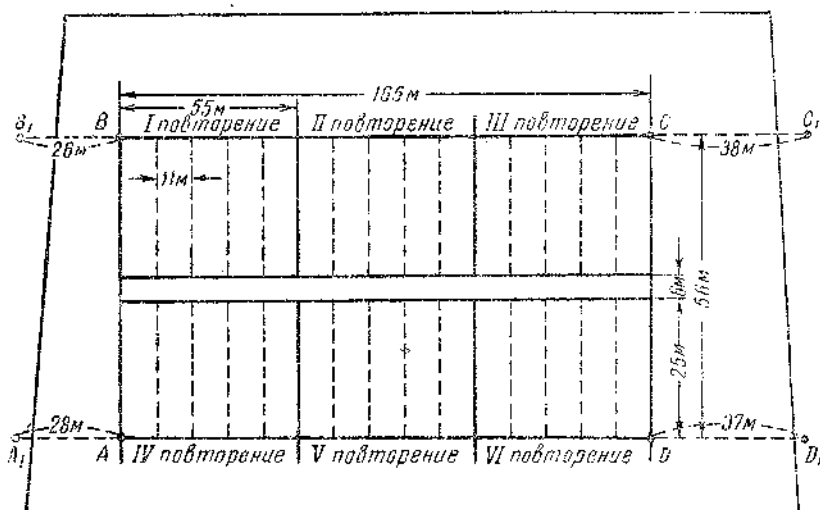


Рис. 28. Схематический план полевого опыта.

нии их) со всех сторон окаймляли защитные полосы шириной не менее 5 м. Общий контур и контур повторений выделяют с возможно большей точностью; допустимая невязка для общего контура не должна превышать 5—10 см на 100 м длины.

Чтобы выделить контур опыта, поступают так. По одной из длинных сторон участка прокладывают, отмечая вешками или по шнуру, прямую линию, например A_1D_1 (см. рис. 28). Отступают от границы поля 5—10 м и забивают колышек A . Затем по линии A_1D_1 отмеряют требуемое по плану расстояние и ставят колышек D . В точке A и D восстанавливают перпендикуляры к линии AD . От точки A и D по перпендикуляру откладывают необходимое расстояние и фиксируют границы опыта колышками B и C . Если прямые углы были построены верно, то $AD = BC$ и $AB = CD$, если же получилась невязка, превышающая допустимые пределы, то работу повторяют.

Если нет теодолита или эккера, отбить линии под прямым углом можно при помощи самодельного эккера, который изготавливается следующим образом. Две равные и одинаковые по длине (40—50 см) и ширине (5—8 см) планки соединяют крестообразно, точно под прямым углом друг к другу. По концам планок вбивают строго перпендикулярно тонкие гвозди так, чтобы прямые, соединяющие их, были взаимно перпендикулярны. Эккер укрепляют на треножке или палке (рис. 29).

Построить прямые углы на поверхности можно и без специальных приборов, только с помощью шнура и рулетки. Наиболее часто для этой цели используется известная теорема Пифагора, согласно

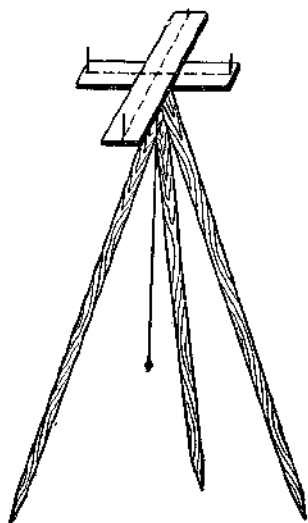


Рис. 29. Самодельный эккер для отбивки прямых углов.

которой в прямоугольном треугольнике квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов, или свойство медианы равнобедренного треугольника. Построение прямых углов этими способами показано на рисунках 30 и 31.

После выделения общего контура опыта его разбивают на повторения и делянки по шнуру и мерной ленте или рулетке. Технически эта работа не представляет сложности, но должна быть сделана очень аккуратно. Колышки на границах делянок нужно вбивать точно возле отметок, все время с одной стороны мерной ленты; по границам повторений ставят по два колышка или выделяют их особо. На колышках указывают номера делянок, повторений и делают другие обозначения. Надписи располагают на той стороне колышка, которая обращена внутрь соответствующей делянки, чтобы было ясно, к какой из них они относятся.

При планировании и закладке опыта в натуре должны быть обязательно предусмотрены защитные полосы шириной не менее 5 м, окаймляющие весь опытный участок, а также между повторениями и по краям каждой делянки, чтобы устранить влияние соседних вариантов. В опытах с удобрениями, обработкой почвы и многолетних опытах минимальной шириной защиток следует считать 1—1,5 м около каждой делянки или 2—3 м между соседними делянками, а для краткосрочных опытов по изучению способов, норм

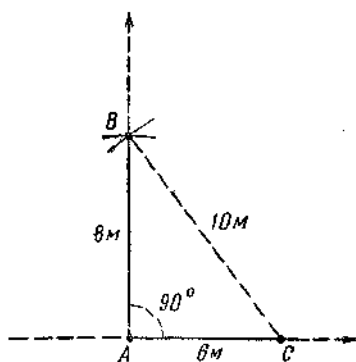


Рис. 30. Построение прямого угла на основании теоремы Пифагора. ($10^2 = 6^2 + 8^2$).

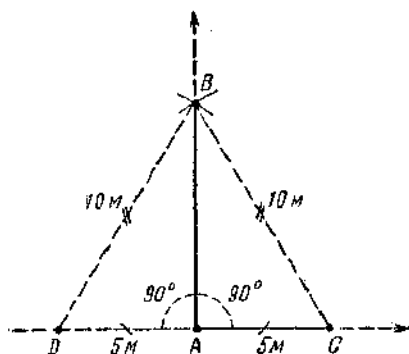


Рис. 31. Построение прямого угла с использованием свойств медианы равнобедренного треугольника.

посева и т. п. ширина защиток допускается в пределах 0,5—0,75 м для каждой делянки.

Границы защиток вокруг делянок закрепляют чаще всего после появления всходов. В опытах по сортоиспытанию защиты вдоль делянок вообще не выделяют, так как допускают, что практически влияние сортов одной и той же культуры друг на друга незначительно и вряд ли может быть уловлено полевым опытом. В принципе это, конечно, неправильно, так как сильно развивающиеся сорта безусловно могут оказывать угнетающее влияние на краевые растения смежных, более слабых сортов.

По окончании разбивки опыта необходимо надежно зафиксировать его основные границы, от которых в любое время можно было бы установить границы повторений и делянок. Для каждого опыта нужно обязательно закреплять по крайней мере четыре основные точки — *A, B, C, D* для двух линий, например *AD* и *BC* (см. рис. 28), которые продолжают по прямой до точек *A₁, B₁, C₁, D₁*, находящихся за пределами обрабатываемого участка, и в этих точках устанавливают постоянные столбики (реперы, фиксированные кольца). Расстояние от реперов до границы опыта тщательно измеряют и записывают, чтобы при утере угловых колец, что часто происходит при обработках, их можно было быстро восстановить.

Реперы делают из самого разнообразного материала. На Опытной станции полеводства ТСХА используют, например, отрезки старых металлических труб диаметром 8—12 см и длиной 1—1,5 м, которые зарывают в землю на 50—75 см. Можно использовать также бетонные, железобетонные, каменные и деревянные столбики, отрезки рельсов и т. п. В многолетних опытах таким способом часто фиксируют не только границы опыта, но и границы отдельных повторений и делянок, что значительно облегчает работы по ежегодной, часто неоднократной разбивке опытного участка и гарантирует от ошибок.

Если границы делянок близко примыкают к полевым дорогам, целесообразно и в краткосрочных опытах закрепить границы делянок. Осуществляют это так называемой подземной разметкой, которая не мешает проезду машин и орудий. В местах пересечения средней линии дороги с границей каждой делянки почвенным буром делают отверстия и в них опускают на 8—10 см ниже поверхности почвы небольшие металлические, каменные или деревянные столбики длиной 30—40 см. Чтобы эти постоянные реперы можно было легко отыскать, в конусообразные углубления над ними и вокруг насыпают куски битого кирпича, камня, песок или известь.

ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ

Важнейшее правило исследователя — одновременность выполнения всех агротехнических приемов, не подлежащих изучению в данном опыте, выполнение каждой сельскохозяйственной работы в каждом отдельном опыте в течение одного дня. Только в крайних

случаях можно ограничиться проведением работ в один день в одном или нескольких целых повторениях. Это требование необходимо строго выполнять на стационарном опытном поле и в условиях производства; в соответствии с ним должен быть организован труд на всем опытном участке, опытном поле или станции. Даже незначительный разрыв в сроках обработки, если за это время, например, прошел дождь, разрыв в сроках внесения удобрений или посева всего на 6—8 часов ведет иногда к существенным различиям в росте и развитии растений. К сожалению, именно это важнейшее требование методики, вытекающее из принципа единственного различия, часто упускают из виду при планировании опыта на крупных делянках с большим числом изучаемых вариантов. Неоднократное нарушение этого требования в течение вегетации часто ведет к полной утрате достоверности опытов по существу. Таким образом, одновременность, равнокачественность и краткосрочность всех работ на опыте — первое и важнейшее требование к выполнению агротехнических работ.

Другое общее требование — тщательность и высококачественность всех сельскохозяйственных работ. Агротехнический фон на опытном участке должен быть оптимальным для проявления эффекта от изучаемого приема или сорта и, как правило, более высоким, чем в производственных условиях. Здесь могут быть использованы любые прогрессивные агротехнические приемы, не мешающие выявлению действия того или иного фактора. Нельзя, например, при исследовании действия азотных удобрений в качестве общего фона вносить органические удобрения, богатые азотом, если их не изучают в опыте. При разработке агротехнического фона опыта главное внимание, безусловно, необходимо обращать на создание оптимальных условий для сравнения изучаемых приемов или сортов и на максимальное использование механизации.

Внесение удобрений. Органические и минеральные удобрения вносят или для изучения их действия, или в качестве общего агротехнического фона. Во всех случаях этому присматривать необходимо уделить особое внимание в связи с тем, что допущенная ошибка не может быть исправлена, а большей частью и обнаружена. Основное требование к любому способу применения удобрений в опыте — равномерное их распределение по площади делянок.

Органические удобрения (навоз, торф, компосты) обычно вносят по общему весу на единицу площади (в тоннах на гектар) и обязательно поделочно, даже тогда, когда они применяются в качестве общего фона. Эти удобрения должны быть по возможности однородными по своему составу, происхождению, степени разложения и влажности. Перед распределением по делянкам удобрения необходимо хорошо перемешать.

Для больших делянок допускается взвешивание навоза на возовых весах и вывозка непосредственно на делянки, которые должны быть резко отграничены друг от друга вешками, шнурами или бороздкой и разбиты на небольшие квадраты (карты), обычно разме-

ром 16 (4×4), 25 (5×5) или 36 (6×6) кв. м. Отвешенную для каждой делянки дозу удобрений раскладывают равными частями на углах квадратов, отмеченных прикопками или колышками, а затем вилами и граблями равномерно распределяют по поверхности делянки и запахивают.

Недопустимо оставлять навоз и другие органические удобрения на опытных делянках в кучах более чем на один день. В опытах с делянками небольшого размера (до 200 кв. м) удобрения вывозят сначала в одну или несколько куч на дорожки, окружающие опыт. После тщательного перемешивания удобрения отвешивают на децимальных весах в специально приспособленные корзины или носилки и разносят по делянкам.

Механизированное внесение органических удобрений на делянках пока затруднено тем, что у существующих навозоразбрасывателей трудно регулировать норму; они рассчитаны для работы на делянках размером около 1000 кв. м. Поэтому механизированное внесение органических удобрений возможно только в опытах с крупными делянками, а также в том случае, если удобрения вносят как общий фон для всего опыта.

В качестве органического удобрения в полевых опытах особенно часто используется навоз. Для некоторых приблизительных расчетов полезно помнить средние цифры состава смешанного полуперепревшего навоза (в %):

воды	75,00
азота (N)	0,50
фосфора (P_2O_5)	0,25
калия (K_2O)	0,60
кальция (CaO)	0,35
магния (MgO)	0,15

Минеральные удобрения вносят по содержанию в них действующего вещества (N, P_2O_5 , K_2O). Необходимое количество каждого удобрения в килограммах на делянку определяют по следующей формуле:

$$X = \frac{ac}{100b},$$

где X — количество удобрений (тука) на делянку (в кг);

a — доза действующего вещества (в кг на 1 га);

b — содержание действующего вещества в удобрении (в %);

c — площадь делянки (в кв. м).

При расчете дозы минеральных удобрений на гектар удобно пользоваться таблицей 6.

Техника посева минеральных удобрений должна обеспечивать равномерное распределение их по делянкам. Перед развешиванием удобрения нужно тщательно измельчить и просеять, чтобы в них не попадались комки. Если удобрения в опыте не изучаются, желательно вносить их на делянки туковой сеялкой. Это позволяет более равномерно распределить удобрения, так как для внесения определенного их количества нужно лишь точно установить сеялку

на соответствующую норму высева. Механизированный рассев удобрений возможен и на делянках, имеющих вытянутую форму и размер более 500 кв. м. Если вносят несколько видов удобрений, они должны быть тщательно перемешаны с соблюдением всех правил смешивания удобрений.

Несмотря на все преимущества механизированного внесения минеральных удобрений, отсутствие удобных малогабаритных и достаточно регулируемых сеялок для удобрений часто заставляет прибегать к ручному их внесению не только на небольших делянках, но и на таких, площадь которых вполне позволяет применять для этого обычные производственные сеялки.

Таблица 6

Требуемое количество удобрений (в кг на 1 га) при различных дозах и содержании питательных веществ в удобрении

Содержание питательных веществ в удобрении (в %)	Доза питательного вещества (в кг на 1 га)									
	5	10	15	20	25	30	40	45	50	60
13	38	77	115	154	192	231	308	345	385	462
14	36	71	107	143	179	214	286	322	357	428
15	33	67	100	133	166	200	267	300	333	400
16	31	62	93	125	156	187	250	282	312	374
17	29	59	88	118	147	176	235	265	294	353
18	28	56	84	111	139	167	222	250	278	334
19	26	53	79	105	131	157	210	237	263	314
20	25	50	75	100	125	150	200	225	250	300
33	15	30	45	61	76	91	121	136	151	181
34	15	30	44	60	75	90	120	132	150	180
35	14	29	43	57	71	86	114	129	143	172
40	12	25	37	50	62	75	100	112	125	150
45	11	22	33	44	56	66	88	100	111	132
50	10	20	30	40	50	60	80	90	100	120
55	9	18	27	36	46	54	72	82	91	108
60	8	17	25	33	42	50	66	75	83	100

При ручном расसेве навески удобрений заготавливают в лаборатории, сарае или непосредственно в поле. В зависимости от площади делянки удобрения развешивают в бумажные пакеты, матерчатые мешочки или специальные деревянные ящики. В поле пакеты, мешочки или ящики с удобрениями раскладывают на всех делянках опыта, где должны применяться удобрения, после чего проверяют правильность раскладки.

На каждой делянке удобрения рассыпают в два приема или с таким расчетом, чтобы немного удобрений осталось. Остаток всегда можно разбросать равномерно по всей делянке, а при нехватке удобрений на какую-то ее часть делянка считается испорченной. К пылящим сухим удобрениям обязательно подмешивают почву с той же делянки. Минеральные удобрения желательно вносить в безветренную погоду.

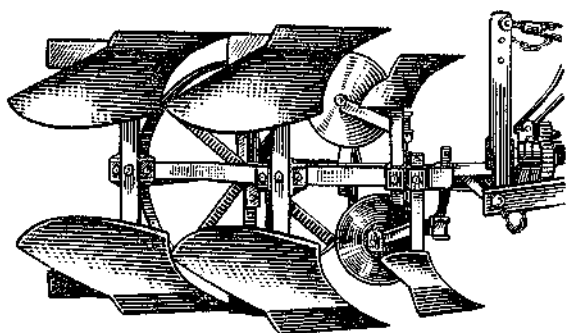


Рис. 32. Плуг двухкорпусный оборотный навесной ПОН-2-30.

Обработка почвы на опытном участке, если она сама не является изучаемым фактором, должна быть однородной, одновременной и высококачественной на всех делянках опыта. Вспашку и все другие приемы обработки почвы следует выполнять через все делянки повторности, перпендикулярно к их длинным сторонам, чтобы возможные случайные факторы одинаково влияли на все варианты опыта. На опытных делянках недопустимы разъемные борозды и свальные бугры, орудия обработки должны разворачиваться за пределами делянок — на защитных полосах или полевых дорогах. Вспашка всвал или вразвал вдоль делянок допустима только в том случае, если свальные или развальные борозды можно сделать на защитных полосах между делянками или повторениями. При достаточной ширине защитных полос (не менее 2 м) и аккуратной, квалифицированной работе свал или развал не захватывает учетной площади делянки. Это требование часто вынуждает вести вспашку, особенно на небольших делянках, в одну сторону с холостым обратным ходом. Для такой работы очень удобен оборотный плуг, позволяющий пахать с обеих сторон (рис. 32).

Посев и посадка. Для доброкачественного проведения посева или посадки на опытном участке необходимо серьезное внимание обратить на технику высева или посадки и качество посевного материала. Во всех опытах норму высева желательно устанавливать по числу всхожих семян, а не по весу. Весовую норму для культур сплошного сева определяют по формуле:

$$K = \frac{100 \cdot MA}{П},$$

где K — весовая норма высева (в кг на 1 га);

M — норма высева (в миллионах всхожих семян на 1 га);

A — вес 1000 семян (в г);

$П$ — посевная годность семян (в %).

Посев на опытном участке, как правило, должен быть проведен в один день. Многие исследователи отмечали, например, что разрыв

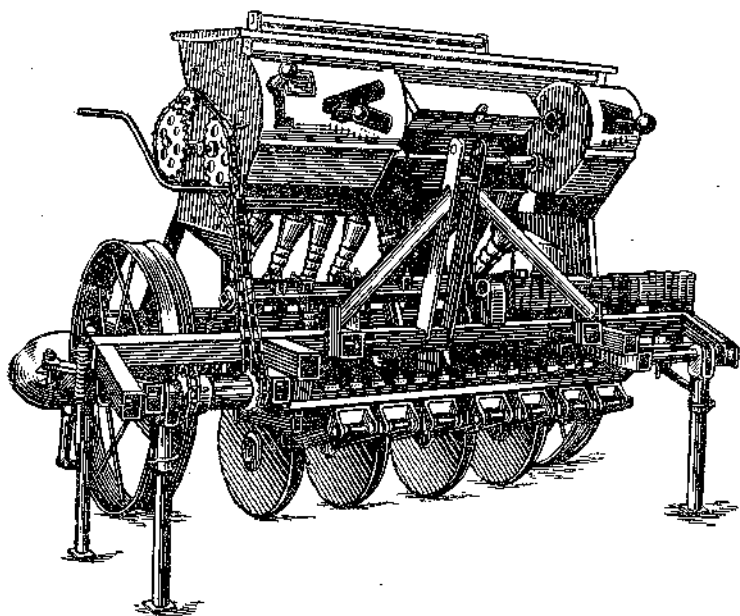


Рис. 33. Сеялка 5—7—10-рядная навесная СН-10.

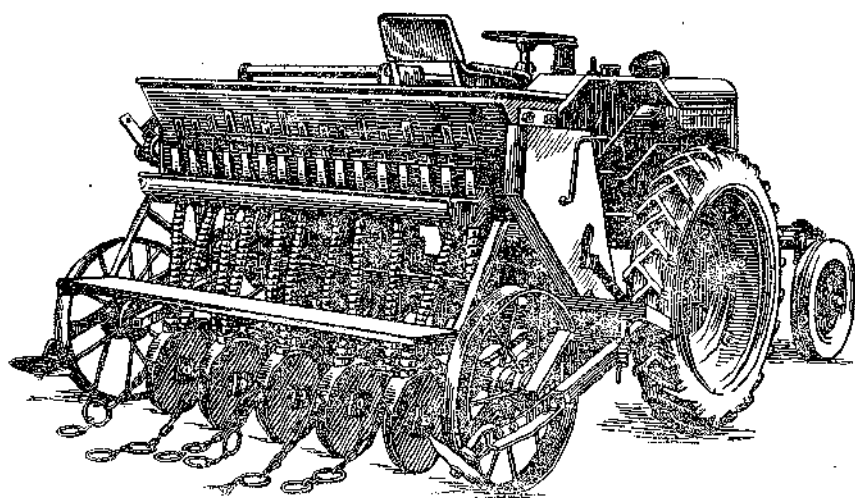


Рис. 34. Сеялка 11—16-рядная навесная СН-16.

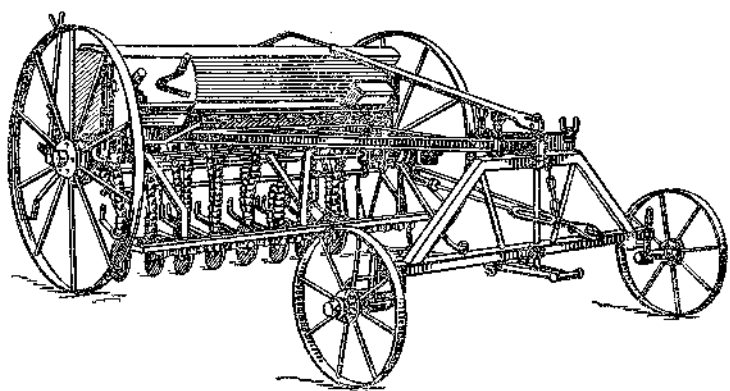


Рис. 35. Сеялка 16-рядная конная СК-16.

в сроках посева ранних яровых в 4—6 часов приводит иногда к разнице в урожаях 1—2 ц на 1 га. Поэтому в опытах, допускающих сплошной посев, обязательно проводить его поперек всех делянок опыта или всех делянок целых повторений. При этом первый проход сеялки делают по шнуру или по предварительно сделанной по нему бороздке. Необходимо высевающие аппараты сеялки включать за 1—1,5 м до начала делянки и выключать только после выхода на границу поля, тщательно следить за работой сошников, количеством семян в ящичке и равномерностью их размещения в нем. Совершенно недопустимо останавливать сеялку во время работы, так как после остановки, если не откатить ее назад на 0,5—1 м, получится огрех.

При посеве или посадке пропашных культур необходимо следить, чтобы на делянку приходилось целое число борозд (рядков), а число растений на всех делянках было строго одинаковым и соответствовало требуемой густоте.

Для рядового посева в полевых опытах семян зерновых, крупяных и бобовых культур, а также семян трав Машинностроительный завод опытных конструкций ВИМ (Москва) выпускает несколько видов малогабаритных сеялок. На опытных делянках шириной не менее 0,6—0,9 м для посева может быть использована сеялка навесная 5—7—10-рядная СН-10 (рис. 33); на делянках шириной не менее 1,5 м — сеялка навесная 11—16-рядная СН-16 (рис. 34), а для работы на конной тяге — сеялка СК-16 (рис. 35). Сеялки СН-10 и СН-16 навешивают на трактор ДТ-20; ширина поворотной полосы для агрегата 6 м. Сеялки снабжены килевидными и дисковыми сошниками и взаимозаменяемыми пластмассовыми катушками для высева крупных, средних и мелких семян. У сеялки СН-10 семенной ящик разделен на две половины съемной перегородкой. Это позволяет одновременно высевать семена двух сортов или двух культур. При одновременном высеве большего количества сортов

Рис. 36. Сеялка ручная однорядная СР-1.



(или культур) в семенной ящик на каждый высевующий аппарат вставляют съемные бункеры.

Для установки сеялок СН-10, СН-16 и СК-16 на норму высева к ним прилагается специальная рукоятка, значительно облегчающая прокручивание вала высевующих аппаратов.

Прокручивая вручную вал со скоростью, примерно равной скорости вращения колес при перемещении сеялки по полю, устанавливают заданную норму высева с точностью 2,5—5%. Желательно сделать такое количество оборотов вала, какое необходимо, чтобы засеять площадь 100 кв. м.

При посеве мелких семян высевные отверстия частично перекрывают специальными вкладышами. Для культур с низкой нормой высева иногда бывает необходимо добавлять к семенам балласт, например древесные опилки, песок, а еще лучше мертвые семена высеваемой культуры.

Перед каждым выездом в поле необходимо проверять расстояние между сошниками. Для этого используют измерительную доску. Длина ее должна точно равняться расстоянию между колесами сеялки. На доске наносят деления (метки), соответствующие ширине междурядий высеваемой культуры, и расставляют сошники точно по меткам.

Однозерновой посев может быть выполнен однорядной ручной сеялкой СР-1 с прикатывающим каточком (рис. 36). Сеялка раскладывает семена вдоль рядка на расстоянии между ними от 1 до 10 см при глубине заделки до 7 см. К сеялке прилагается 8 сменных высевующих дисков, что дает возможность высевать семена различных культур. Выпускает сеялку Машиностроительный завод опытных конструкций ВИМ.

Уход за растениями и опытом. Уход за растениями на опытном поле не отличается от ухода за соответствующими культурами в производственных условиях. Все работы следует выполнять свое-

временно, тщательно и однообразно. Прополку (химическую или ручную), междурядную обработку, подкормку и т. п. проводят совершенно одинаково на всех делянках опыта и не растягивают во времени. Особое внимание обращают на борьбу с сорняками, так как они особенно сильно нарушают сравнимость вариантов.

К специальным работам по уходу за опытом относятся: поделка и прочистка дорожек, обрезка по шнуру концов полей, делянок, а также отбивка защитных полос, своевременная расстановка колышков, этикеток и т. д.

В соответствии с характером опыта и способом учета урожая на каждой делянке намечают учетную и защитные части. По концам делянок независимо от наличия защитной полосы вокруг всего опыта (в стационарных лабораторно-полевых опытах часто ее совсем не бывает) обязательно выделяют концевые защиты длиной 2—5 м, а между соседними делянками — боковые защиты шириной 1—2 м. При механизированной уборке урожая удобнее отбивать такие боковые защиты, общая ширина которых между двумя соседними делянками соответствует захвату уборочной машины.

На культурах сплошного сева все защитные полосы выделяют по всходам. Защитки отбивают специальным мотороботом, ручными лопатами, тяпками или пререзают дорожки культиватором, навешенным на малогабаритный трактор. Ширина дорожек обычно 20—30 см. Если посев проводят вдоль делянок, то их учетную часть можно отграничить от боковой защитной полосы, закрыв соответствующий сошник сеялки во время работы.

В опытах по сортоиспытанию или при изучении таких агротехнических приемов, которые оказывают несущественное влияние на соседние делянки, боковые защиты иногда не выделяют и заменяют их незасеянными дорожками между делянками шириной 30—40 см. Выделять более широкие незасеянные дорожки нецелесообразно, так как они очень сильно зарастают сорняками и требуют специальной обработки почвы. Кроме того, урожай на учетной части делянки, примыкающей к широкой дорожке, очень резко отличается от урожая на остальной ее площади.

На пропашных культурах концевые защиты выделяют во время обработки междурядий, а боковые — чаще всего перед уборкой. Урожай с боковых и концевых защиток убирают отдельно и раньше, чем на учетной части делянок.

После всходов и поделки дорожек устанавливают этикетки. В начале опытного участка помещают большую этикетку с наименованием опыта. Надписи на поделочных этикетках должны в самой краткой и понятной форме указывать на основные отличия вариантов.

На всей территории опыта, так же как и опытного поля или опытной станции в целом, поддерживают чистоту и порядок. Нигде не оставляют куч выполотой травы, остатков соломы, необранной чины и т. п. Все это увозят с поля в компостные кучи.

Для прополки и рыхления межделяночных дорожек и между-рядий, скашивания растений на обочине дорог и делянках и механизации некоторых других работ по уходу за опытом Машиностроительный завод опытных конструкций ВИМ начиная с 1968 г. будет выпускать передвижной мотоагрегат с пятью взаимозаменяемыми рабочими органами. Мотоагрегат с бензиновым двигателем (от пилы «Дружба») обслуживает один человек.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Проведение полевых опытов в условиях орошаемого земледелия требует особенно внимательного подхода и правильного диалектического понимания принципа единственного различия. Тожество неизучаемых условий — это не механическое соблюдение их равенства, а создание таких условий эксперимента, при которых тот или иной из изучаемых приемов (сортов) может дать наибольший эффект.

Например, в опытах с пропашными культурами почву на неплодываемых делянках, если она не уплотнена и нет сорняков, не надо рыхлить одновременно с политыми делянками, где рыхление после очередного полива должно проводиться немедленно при наступлении спелости почвы. При оставлении одинакового количества растений на делянках с поливом и без полива и, следовательно, при механическом соблюдении равенства неизучаемых условий будет грубо нарушен принцип оптимальности и целесообразности. Это приведет к искаженной информации об эффективности изучаемых приемов и неправильным выводам, так как известно, что оптимальный урожай на поливных землях получается при большей густоте стояния растений, чем на богарных участках, где из-за недостатка влаги увеличение густоты посева сопровождается снижением урожая. Таким образом, для вариантов с поливом и без полива нельзя устанавливать единые нормы высева; они должны быть разными, но оптимальными для каждого случая.

При постановке полевых опытов на орошаемых землях особенно нужно следить за равномерностью снабжения всей площади земельного участка водой и возможно точно регулировать количество воды, поступающей на каждую делянку. Эти требования и определяют особенности методики полевого опыта в условиях орошения. Даже небольшие отклонения во влажности почвы, вызванные неравномерностью полива, могут привести к различиям в продуктивности растений различных вариантов опыта, изменяющим эффекты от изучаемых факторов.

Участки, выделяемые под опыты на орошаемых землях, должны быть хорошо спланированы. Разница уровней поверхности в 10—15 см может быть причиной резкой пестроты урожаев в результате неравномерного увлажнения почвы. Поэтому к рельефу опытных полей на орошаемых землях предъявляются более строгие требова-

нии, чем в неполивных условиях. Нельзя допускать постановки агротехнических опытов, особенно по изучению режимов орошения, на неспланированном или плохо спланированном участке.

Участок должен иметь равномерный и незначительный уклон вдоль поливных борозд, что способствует равномерному испарению проходящей по ним воды. Кроме того, при большом и неравномерном уклоне поливные борозды могут быть сильно размыты. Во всяком случае, уклон не должен превышать 0,01—0,02, или 1—2 м на 100 пог. м, а еще лучше ставить опыты с орошением при уклоне 0,001—0,008 (0,1—0,8 м на 100 пог. м).

В условиях орошения делянки чаще всего располагают в один ряд. Размер их определяется схемой и техническими условиями опыта. Он может варьировать в достаточно широких пределах от 50 до 500 кв. м и больше, как и в опытах на богарных землях. Делянки прямоугольной или удлиненной формы с соотношением сторон примерно 1 : 10 и 1 : 15 располагают длинной стороной вдоль уклона. При однорядном расположении проще организовать подачу воды на каждую делянку. Пропускать воду через одну делянку на другую нельзя, особенно в опытах с удобрениями. Если опыт заложен в несколько рядов (ярусов), то между ними прокладывают временные оросители, из которых вода подается на любую делянку.

Правильная постановка опытов в условиях орошения включает регулирование и точный учет количества воды, попадающей на весь опытный участок и на каждую делянку. Для определения расхода воды пользуются методами, разработанными для данного орошаемого района или способа полива.

Из особенностей опытов на орошаемых землях следует указать еще на необходимость увеличения конечных защитных полос до 4—6 м, чтобы избежать ошибки, связанной с неравномерностью увлажнения. Защитные полосы, отделяющие опытные делянки от постоянных оросителей, должны быть не уже 6—8 м. Если в опыте предусмотрены неполивные делянки, то их окаймляют боковыми защитными полосами шириной не менее 3 м. В опытах с дождеванием ширину боковых защитных полос увеличивают до 4—5 м и орошают с каждой стороны делянки, чтобы исключить перенос влаги водными струй на соседние участки.

Ширину защитных полос и опытных делянок необходимо учитывать при закладке опытов на почвах с близкими грунтовыми водами, чтобы устранить влияние подъема грунтовых вод в случае одновременного полива соседних делянок.

При поливе по бороздам поливные борозды нарезают, как правило, одновременно с посевом. Длина поливных борозд определяется размером посевных делянок, уклоном местности и водопроницаемостью почвы. В большинстве случаев она не должна превышать 150 м, так как при более длинной борозде почва увлажняется неравномерно и образуются затопляемые места. На сильно проницаемых почвах борозды делают короче — около 100 м.

Борозды нарезают в междурядьях растений. Глубина и ширина их определяются шириной междурядий, нормой полива, длиной борозды и свойствами почвы. На почвах со слабой водопроницаемостью лучше делать более глубокие борозды, чтобы вода скорее достигла корней растений, а на почвах с большой водопроницаемостью целесообразно делать борозды средней глубины — до 15 см. Расстояние между поливными бороздами на легких почвах должно быть не больше 60—70 см, а на тяжелых почвах с преобладанием горизонтальной фильтрации оно может быть увеличено до 1 м.

Сроки и нормы поливов устанавливают в зависимости от целей опыта, биологических особенностей растений и местной практики. Для правильного определения поливных норм необходим постоянный учет запасов воды в активном (расчетном) слое почвы, где сосредоточена основная масса корней и всасывающих корневых волосков. Глубина и характер расположения корневых систем зависят от биологических особенностей выращиваемых культур, почвенно-климатических условий и агротехники. Чем больше принята глубина активного слоя почвы, который предполагается увлажнить при поливе, тем больше поливная норма, т. е. количество воды за один полив.

Для культур с глубокой корневой системой (люцерна, кукуруза, сахарная свекла и др.) активный слой почвы при определении поливных норм принимают чаще всего равным 60—80 см; для зерновых и зернобобовых — 50—70 см и для овощных культур — 40—50 см.

Чтобы установить сроки и нормы полива, необходим постоянный учет динамики запасов влаги в активном слое почвы. Зная запас воды в расчетном слое почвы при предельной полевой влагоемкости (ППВ) и запас ее в почве перед поливом, определяют поливную норму по формуле:

$$M = 100hd (ППВ - B),$$

где M — поливная норма (в $\text{м}^3/\text{га}$);

h — активный слой почвы (глубина, на которую рассчитывается поливная норма) (в м);

d — объемный вес почвы (в $\text{т}/\text{м}^3$);

ППВ — предельная полевая влагоемкость (в % на сухую почву);

B — влажность почвы перед поливом (в % на сухую почву).

Необходимые для расчета поливной нормы величины (объемный вес, полевую влагоемкость и влажность почвы) определяют в каждом опыте отдельно. Нижний предел оптимального увлажнения, т. е. влажность почвы, при которой необходим очередной полив, устанавливают в зависимости от целей опыта, почвенно-климатических условий и биологических особенностей возделываемых культур.

Рассчитаем поливные нормы в опыте с сахарной свеклой, где глубина активного слоя для одного варианта принята 60, а для дру-

ного — 80 см. Объемный вес почвы 1,3 т/м³, предельная полевая влагоемкость (ППВ) составляет 25%, а нижний предел оптимального увлажнения принят равным 16% от веса сухой почвы. Подставляя в формулу для расчета поливных норм указанные значения, получим при расчете на активный слой 60 см

$$M = 100 \times 0,6 \times 1,3 (25 - 16) = 702 \text{ м}^3/\text{га}$$

и на слой почвы 80 см

$$M = 100 \times 0,8 \times 1,3 (25 - 16) = 936 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Для правильного учета поливных норм водоизмерительные сооружения на участках, где проводятся опыты, должны иметь сложное устройство, просто и достаточно точно определять расход воды.

Величину поливной струи устанавливают в зависимости от водопроницаемости почвы, уклона местности и длины поливных борозд, как это указано, например, в таблице 7 для южных районов Украины (по М. М. Горянскому, 1965).

Таблица 7

Величина поливной струи в зависимости от уклона поля, водопроницаемости почвы и длины поливных борозд

Почвы	Уклон поля					
	до 0,001		от 0,002 до 0,005		от 0,006 до 0,02	
	длина борозд (в м)	струя (в л/сек)	длина борозд (в м)	струя (в л/сек)	длина борозд (в м)	струя (в л/сек)
Сильноводопроницаемые	40—50	2,0—1,5	50—60	1,0—0,7	60—80	0,7—0,3
Средневодопроницаемые	50—60	0,8—0,7	60—90	0,7—0,5	90—150	0,5—0,2
Слабоводопроницаемые	60—80	0,7—0,6	80—120	0,6—0,4	120—150	0,4—0,1

Распределяют воду по поливным бороздам и нормируют ее при помощи переносных трубопроводов с регулируемым водовыпуском, а где их нет — при помощи поливных сифонов и трубок.

В опытах с поливом напуском по полосам ширину и длину поливной полосы определяют в зависимости от поливной нормы, свойств почвы, рельефа опытного участка и размера делянок. На одной поливной полосе размещают одну или, если позволяет тема опыта, несколько целых делянок. Величину поливной струи при поливе по полосам устанавливают в пределах 2—6 л/сек на погонный метр ширины полосы.

Особенностью постановки полевых опытов в условиях орошения является необходимость учета суммарного водопотребления по вариантам опыта, т. е. общего расхода воды на транспира-

цию и испарение почвой за период вегетации. Располагая этими данными, можно оценить эффективность изучаемых приемов не только по величине и качеству продукции, но и по использованию поливной воды.

Величину суммарного водопотребления можно определить балансовым методом. Для этого необходимо учесть все статьи прихода воды, а именно, осенне-зимние и весенние запасы воды в корнеобитаемом слое почвы, продуктивные осадки (свыше 5 мм) за вегетационный период и поливы, а также установить запас воды в корнеобитаемом слое почвы (обычно глубиной 1 м) при уборке урожая. По разности между суммой всех элементов приходной части баланса и запасом влаги при уборке урожая находят величину суммарного водопотребления.

При экономической оценке эффективности орошения следует иметь в виду, что урожай на неполивных делянках, окруженных поливными, в результате улучшения микроклимата бывают, как правило, значительно выше, чем на больших богарных участках.

НАБЛЮДЕНИЯ И УЧЕТЫ В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ

Полевой опыт включает наблюдения за растениями и условиями внешней среды. В зависимости от задачи опыта могут преобладать наблюдения или за растениями, или за факторами и условиями их роста и развития. Сопутствующие наблюдения дают ценные сведения о различных сторонах изучаемого явления, например о сроках наступления у растений различных фаз, биохимическом составе, продуктивности фотосинтеза в различных вариантах опыта, а также о состоянии разнообразных внешних факторов в период жизни культурных растений — о почвенных и метеорологических условиях, засоренности и пораженности посевов энто- и фитовредителями и т. п. Наблюдая, мы можем получить факты, которые помогут по-новому взглянуть на изучаемые явления. Поэтому сопутствующим наблюдениям в полевом опыте следует отводить важное место.

Наблюдения с различной степенью детализации обычно довольно широко проводят во время полевых опытов, однако при этом часто допускают ошибки. Наиболее существенная из них — наблюдения без заранее намеченных целей, в надежде, что они для чего-нибудь пригодятся. Наблюдать можно бесчисленное количество объектов и явлений, и поэтому необходимо ограничить их лишь тем, что особенно нужно для понимания изучаемого фактора. Все необходимые сопутствующие наблюдения должны быть намечены при разработке программы опыта, так же, как и цель, с которой каждое из них будет проводиться.

Наличие в программе исследований большого количества случайно выбранных обычных наблюдений, например фенологических, наблюдений за густотой посева, кустистостью, влажностью почвы, нитратами и т. п., которые часто не согласованы с общей целью

опыта и впоследствии совершенно не используются, нецелесообразно, так как сами по себе они ничего не выясняют и несколько не увеличивают познавательное значение опыта. Небольшое число хорошо продуманных и целеустремленных наблюдений гораздо ценнее, чем груды шаблонных описаний фаз развития, измерений высоты и подсчетов густоты, очень трудоемких, но в дальнейшем обычно редко используемых. Полевой опыт должен сопровождаться не набором так называемых типичных наблюдений, а теми наблюдениями, без которых нельзя понять изучаемое явление, уяснить внутренний ход процесса и объяснить получение тех или иных прибавок урожая или характер изменения его качества.

Итак, первое и наиболее важное требование к любому наблюдению, сопутствующему полевому опыту, его целенаправленность. Другим важным требованием к наблюдению, так же как и к опыту, следует считать типичность и точность. Для соблюдения типичности наблюдений их необходимо проводить в реальных, типичных условиях опыта, а не на защитных полосах, например, которые отличаются по своим условиям от «защищаемых» ими делянок. Что касается точности наблюдения, то она должна быть достаточной для доказательства существенности предполагаемых различий между вариантами опыта.

При проведении наблюдений очень важно правильно определить достаточный объем выборки (пробы) для различных измерений, подсчетов и анализов и правильно отобрать объекты в выборку. Чтобы выборка была репрезентативной и надежно представляла ту совокупность, откуда она взята (растений, почвы и т. п.), она должна отвечать требованиям выборочного метода, т. е. быть свободной от тенденциозности и субъективизма. Всем объектам совокупности предоставляется равная вероятность попасть в выборку.

Попытки в некоторых инструкциях по методике отбора растительных и почвенных образцов дать единую рекомендацию для объема выборки во всех опытах, например с зерновыми, льном, кукурузой или сахарной свеклой, нельзя признать лучшим методом решения вопроса, который всегда возникает при планировании сопутствующих наблюдений. Так, выборка, состоящая из 100 растений, в одних случаях при незначительном варьировании объектов ($V < 10\%$) может быть излишней для принятой точности и, следовательно, приведет к ненужной трате времени и сил, тогда как при сильном варьировании объектов ($V > 30\%$) — совершенно недостаточной для доказательства различий между вариантами, и, следовательно, вся работа будет проделана впустую. Таким образом, объем выборки устанавливают для каждого конкретного случая предварительными исследованиями с таким расчетом, чтобы он соответствовал совокупности изучаемых объектов и заданной точности наблюдений.

Чтобы выборка правильно отражала изучаемую совокупность, методика отбора объектов в выборку должна быть случайной,

беспристрастной, полностью свободной от субъективизма. Во всяком случае, никогда не следует избирать более простую схему систематического, например механического, отбора проб через определенный интервал, не убедившись самым тщательным образом в том, что она равноценна случайному отбору. Элемент случайности в подборе объектов в выборку служит основой, на которой строится вычисление точности наблюдения. Исследователь, предпочитающий систематический отбор, вероятно, часто теряет возможность определить точность своей работы.

Самая простая схема случайного отбора образцов — это неограниченное случайное взятие проб на учетной делянке или поле. Пробные единицы (пробные площадки, растения или образцы почвы) берут из случайных точек любых мест изучаемого участка методом рендомизации. Для этого участок делят (на плане) на 50—100 частей, например по 1—5 кв. м, и жеребьевкой, пользуясь пронумерованными карточками, исследователь отбирает необходимое количество квадратов для взятия проб, допустим 12. Места взятия образцов наносят на план, согласно которому и отбирают образцы на участке. При полном случайном отборе большая часть проб может приходиться на одну, например северную или южную, часть опытной делянки. Это не означает, что выборка пристрастна или неверна, однако оценка совокупности по такой выборке может сильно отличаться от истинной величины изучаемого признака.

Более правильное представление дает не полностью случайная, а зональная случайная выборка, когда делянку или поле делят на районы (части), например пополам или на четверти, и в каждом таком районе методом случайного отбора берут (для данного примера) в первом случае по 6, а во втором по 3 пробы.

Часто против случайного отбора проб возражают по техническим причинам. Систематический отбор проб очень прост в полевых условиях, в особенности если исследователь имеет не очень квалифицированных помощников. К сожалению, эти наименее веские аргументы в защиту систематических методов взятия проб нередко бывают решающими при организации и проведении многих полевых наблюдений. Однако, если исследователь дорожит объективностью, он должен сделать все, чтобы подлежащие изучению объекты имели равные шансы попасть в выборку, т. е. стремиться к случайному отбору. Желание многих экспериментаторов отобрать в выборку «типичные образцы», несмотря на все стремление к объективности, приводит или к выбору более крупных растений, или, добросовестно пытаясь избежать этого, исследователь впадает в другую крайность.

Основное правило при изучении влияния тех или иных приемов на свойства почвы и растения — это *анализ растительных и почвенных образцов со всех параллельных делянок опыта и обязательная обработка наиболее ответственных наблюдений методами математической статистики*. Часто отбирают объекты для анализа в 8—10 местах только на делянках одного повторения. Показания

отдельных определений в этом случае слабо варьируют, и наблюдение считается точным. В действительности же эти сведения свидетельствуют лишь о точности внутри одного повторения, а не по всему опыту, и в другом повторении можно получить диаметрально противоположные данные. Материал для правильного суждения о действии вариантов может быть получен лишь в том случае, если наблюдения проводятся на всех параллельных делянках опыта. Если этим достигается слишком точное определение, то пробы можно брать, например, со всех делянок четных или нечетных повторений.

Нельзя планировать сопутствующие наблюдения так, чтобы они охватывали лишь часть опыта, например одно повторение, а тем более проводить их на защитных полосах. Вообще все пробы, которые берут с каждого варианта, необходимо распределить как можно равномернее по площади опыта. Только соблюдая этот принцип, можно получить выборку, достаточно точно характеризующую изучаемую совокупность.

Необходимо отметить, что, планируя опыт, надо одновременно разработать и спланировать сопутствующие наблюдения, обязательно предусмотреть возможность статистической оценки наиболее ответственных из них, например для агрохимических анализов почв и растений, показателей качества урожая, засоренности посевов в опытах по борьбе с сорняками и т. п.

Фенологические наблюдения

Фенологические наблюдения — это регистрация фаз развития культурных растений. Под фазами понимают появление внешних морфологических признаков. Например, после посева наступает фаза всходов, затем появляется второй, третий и следующие листья, у злаков далее отмечают фазу кущения, колошения и т. д.

При фенологических наблюдениях обычно отмечают начало фазы, когда 5—10% растений делянки вступило в нее, и полную фазу, когда она наблюдается у 50—75% растений. Фенологические наблюдения проводят глазомерно, и указанные цифры, которыми руководствуется экспериментатор, являются лишь приблизительными. Важно выдерживать одинаковый подход к определению фаз на всех вариантах опыта и получить сравнимые данные. Для повышения точности в регистрации фаз на отдельных вариантах фенологические наблюдения должны проводиться в пределах одного опыта одним и тем же лицом.

Фенология, т. е. изучение периодических явлений в жизни растений, дает очень важный материал для многих научных исследований. Фенологические данные и сроки, в течение которых протекают различные фазы вегетации, представляют существенную часть сведений, необходимых для определения основных почвенно-климатических и агротехнических факторов, действующих на урожай. В опытной работе фенологические наблюдения особенно

широко используются для вычисления продолжительности меж-
фазных периодов и общей длины вегетационного цикла.

Пшеница, рожь, ячмень, овес, просо. Для этих культур рекомендо-
уется отмечать следующие основные фазы: время посева, всходы, появление третьего листа, кушение, выход в трубку, коло-
шение или выметывание, молочную, восковую и полную спелость,
время уборки.

Фаза всходов считается наступившей, когда над поверхностью
почвы покажется первый развернувшийся лист. Фазу третьего
листа отмечают при появлении его верхушки длиной 1—2 см; куше-
ние (подземное ветвление) — при появлении первого бокового
(вторичного) стебля. Выход в трубку (стеблевание) определяют
прощупыванием у главного стебля первого стеблевого узла, распо-
лагающегося над поверхностью почвы. Фазу колошения или выме-
тывания отмечают в момент появления из верхнего листового
влагалища одной трети колоса или метелки. Фазы спелости: 1) молоч-
ная спелость — зерно зеленое, содержит жидкость зелено-молоч-
ного цвета, в нижней части растения наблюдается пожелтение
стебля и листьев; 2) восковая спелость — растения имеют желто-
ватый цвет, зерно также приобретает желтоватую окраску и кон-
систенцию воска, т. е. оно легко режется ногтем и мнется, как
воск; 3) полная спелость характеризуется полным пожелтением
всего растения и затвердением зерна.

У озимых отмечают конец вегетации осенью и начало вегета-
ции весной.

Результаты фенологических наблюдений записывают в таблицу,
имеющую следующую форму.

Вариант опыта	Дата посева	Даты наступления фаз							Уборка	Число дней от начала всходов до полной спе- лости	
		всходы		куше- ние	выход в труб- ку	коло- шение	спелость				
		начало	полные				молоч- ная	воско- вая			пол- ная

У других культур отмечают следующие фазы.

Кукуруза: посев, начало всходов, полные всходы, третий лист,
выбрасывание метелки (мужских соцветий), появление нитей (стол-
биков женских цветков), полная спелость, уборка.

Зернобобовые растения (горох, чина, фасоль, бобы, вика, чече-
вица): посев, всходы, начало цветения, полное цветение, полное
созревание, уборка. Полное созревание считается, когда у большин-
ства растений деланки созрело не меньше 50% бобов. Для сои —
когда у 90% растений созревают верхние бобы.

Лен-долгунец: посев, всходы (начало и полные), начало «елочки» (появление 4—5 пар настоящих листочков), начало роста стебля (фаза быстрого роста), образование соцветий, цветение, наступление зеленой и ранней желтой спелости, уборка.

Конопля и подсолнечник: посев, всходы, начало роста стебля, образование соцветий (корзинок), цветение, созревание, дата уборки.

Бобовые травы: посев, всходы, образование боковых побегов, образование соцветий, цветение, хозяйственная спелость, дата уборки.

Многолетние травы: возобновление вегетации весной и начало отрастания после каждого укоса.

Картофель: посадка, всходы, бутонизация, цветение, клубнеобразование, начало естественного отмирания ботвы, состояние ботвы в момент уборки, дата уборки.

Сахарная свекла и другие корнеплоды: посев, всходы, фаза «елочки», первая пара листьев, третья пара настоящих листьев, начало утолщения подсемядольного колена (начало формирования корнеплода), осеннее отмирание листьев, дата уборки.

Учет густоты стояния растений

Подсчет густоты стояния растений у культур сплошного сева проводят дважды за вегетацию на одних и тех же стационарных площадках. Площадки для подсчета выделяют после появления полных всходов и закрепляют небольшими колышками, которые лишь немного выступают над почвой и не мешают боронованию и уборке. На каждой делянке опыта выделяют не менее четырех площадок общей площадью 1 кв. м. Площадки обязательно должны включать четное число рядков.

Для зерновых культур и многолетних трав при ширине междурядий 15 см площадка включает два рядка длиной 83,3 см ($2 \times 15 \times 83,3 = 2500$ кв. см). В сумме площадь четырех учетных площадок в этом случае составит 1 кв. м. При ширине междурядий 9 см каждая площадка включает два рядка длиной 139 см ($2 \times 9 \times 139 = 2500$ кв. см). Для подсчета растений льна-долгунца выделяют четыре площадки по 1000 кв. см ($2 \times 7,5 \times 66,7 = 1000$ кв. см). Пробные площадки для подсчета густоты стояния растений размещают по диагонали опытной делянки (рис. 37).

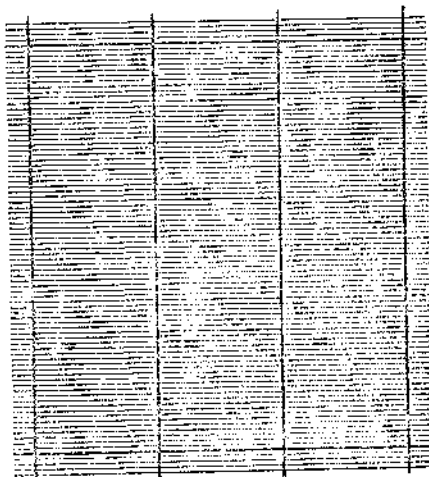


Рис. 37. Схема размещения пробных площадок на делянках для подсчета густоты стояния растений.

Первый раз густоту стеблестоя подсчитывают после полных всходов и второй — перед уборкой или во время уборки урожая. Подсчет густоты стояния после полных всходов дает возможность проверить норму высева и полевую всхожесть и установить фактическую густоту по вариантам опыта. Подсчет перед уборкой позволяет определить количество сохранившихся к уборке растений в процентах к полным всходам по формуле:

$$A = \frac{C}{B} \cdot 100,$$

где A — процент сохранившихся к уборке растений;

B — число растений после полных всходов;

C — число растений при уборке.

Одновременно с подсчетом густоты стояния растений после полных всходов можно определить фактическую глубину заделки семян зерновых. Для этого в 8—10 местах делянки выдергивают 20—25 растений и на каждом из них линейкой измеряют подземный стеблевой побег от семян до зеленой части первого листа.

У пропашных и овощных культур густоту стояния растений в начале вегетации регулируют прорывкой растений в рядах, а перед уборкой (на делянках до 100 кв. м) ее устанавливают сплошным подсчетом растений. Фактическая площадь питания растений определяется делением учетной площади делянки на число растений. На делянке площадью 100 кв. м и больше можно ограничиться подсчетом числа растений в четырех местах делянки на площадках (или отрезках) по 20—25 гнезд или растений, а всего не менее 100 гнезд или растений на каждой делянке. Делением суммарной площади учетных площадок на число растений в них находят площадь питания одного растения ко времени уборки.

Оценка зимостойкости озимых

Оценку зимостойкости озимых культур проводят глазомерно и подсчетом растений.

Глазомерную оценку применяют весной, когда растения тронулись в рост и когда можно отличить живые растения от погибших. Оценку дают по 5-балльной шкале: 5 — на делянке нет погибших растений; 4 — незначительное изреживание растений; 3 — погибло около половины растений (40—50%); 2 — погибло более половины растений; 1 — погибли почти все растения. Сплошное вымерзание обозначается нулем.

Более объективные показатели зимостойкости получаются при подсчете живых и погибших растений. Подсчет проводят весной, через 2—3 недели после начала вегетации. Для подсчета на концевых защитках делянок, если состояние посевов соответствует состоянию их на всей делянке, выделяют в четырех местах (по 2 с обоих концов делянки) пробные двухрядковые площадки общей площадью 1 кв. м, на которых выкапывают растения и подсчитывают.

няют число живых и погибших. Затем определяют отношение числа перезимовавших растений (живых) к числу всех выкопанных (живых и мертвых) в процентах.

Визуальная оценка состояния посевов

Регулярные визуальные (глазомерные) наблюдения за состоянием посевов имеют большое значение для правильного объяснения результатов полевых опытов, а также помогают установить необходимость выключек или исключения из учета отдельных делянок. Умение наблюдать в поле, подмечать главное, решающее — большое достоинство исследователя. Общую оценку состоянию посевов полевых культур дают глазомерно на всех делянках опыта, приурочивая ее к определенным фазам. Глазомерные наблюдения следует проводить в одни и те же часы и осматривать посевы так, чтобы солнце всегда было «за спиной».

Результаты оценки выражают обычно по пятибалльной шкале: балл 5 означает отличное состояние посевов; 4 — хорошее; 3 — удовлетворительное; 2 — плохое; 1 — очень плохое; 0 — полная или почти полная гибель посевов на делянке. Для оценки состояния посевов по варианту в целом баллы по повторным делянкам суммируют и сумму делят на число повторностей (оценок).

Помимо регулярных наблюдений за состоянием растений, важно проводить оценку посевов после резкого проявления неблагоприятных факторов (заморозки, суховеи, град, ливень, массовое повреждение вредителями и т. д.).

Наблюдения за влажностью почвы

Содержание и динамика влаги в почве являются важными показателями условий проведения всех полевых опытов. Влажность определяют систематически в течение вегетации. Сроки взятия образцов почвы должны совпадать с фазами развития растений, с приемами обработки почвы или другими агротехническими мероприятиями. В агротехнических опытах по изучению способов воздействия на водный режим растений (опыты с поливом, обработкой почвы, предшественниками, удобрениями, сроками и способами посева и др.) обязательно определение влажности почвы перед посевом, перед обработкой почвы и при прохождении растениями наиболее важных фаз. В опытах с поливом влажность определяют для установления сроков и норм полива, а также для контроля за его качеством.

Пробы почвы для определения влажности следует брать не менее чем с двух повторений полевого опыта и анализировать их раздельно. Чаще всего влажность определяют по слоям: 0—10, 10—20, 20—30, 30—40 и 40—60 см; в опытах по изучению водного баланса исследования проводят до глубины 150 см. Образцы почвы берут послойно специальным буром в 8—12 точках де-

лянки и из них составляют 2—3 параллельные смешанные пробы весом по 30—50 г каждая. Пробы помещают в стеклянные или металлические стаканчики с крышкой и доставляют в лабораторию.

Наиболее распространенный метод определения влажности — высушивание проб почвы в сушильном шкафу при температуре 100—105°. Сушка проб для супесчаных и суглинистых почв должна продолжаться не менее 8 часов, для глинистых — 10 и торфяных — 12 часов. После сушки стаканчики с почвой охлаждают в эксикаторе и взвешивают, а затем ставят на контрольную сушку продолжительностью 2 часа. Контрольные сушки повторяют до тех пор, пока разница последнего и предыдущего взвешивания будет не более 0,1 г.

Влажность почвы вычисляют в процентах к весу высушенной навески по формуле:

$$B = \frac{a}{b} \cdot 100,$$

где B — влажность почвы (в %);

a — вес испарившейся воды (в г);

b — вес сухой почвы (в г).

Если необходимо определить общие запасы и запасы продуктивной влаги в тоннах на гектар или миллиметрах толщины водного слоя, то для этого надо знать объемный вес почвы и «влажность завядания» растений. «Влажность завядания» — это нижний предел содержания влаги в почве, при котором наблюдается устойчивое увядание растений. Величина «влажности завядания» принимается обычно равной 1,5 или 1,34 (в агрометслужбе) максимальной гигроскопичности почвы.

Общие запасы почвенной влаги в миллиметрах водного слоя на гектар определяют по формуле:

$$V_{\text{общ}} = \frac{B \, dh}{10},$$

где $V_{\text{общ}}$ — общие запасы влаги (в мм) в слое почвы толщиной h см;

B — влажность почвы (в %);

d — объемный вес исследуемого слоя почвы (в г/см³);

h — толщина слоя (в см).

Запасы недоступной для растений влаги рассчитывают по аналогичной формуле, где вместо влажности почвы подставляют значение «влажности завядания». Разность между общим запасом и содержанием недоступной влаги дает запас продуктивной, или доступной для растений, влаги.

Чтобы выразить запасы влаги в тоннах на гектар, надо полученное количество воды в миллиметрах умножить на 10, так как слой воды толщиной 1 мм занимает объем 10 м³, что соответствует 10 т.

Пример расчета запаса продуктивной влаги, т. е. количества воды сверх «влажности завядания», приведен ниже.

Слой почвы, в см (h)	Объемный вес, в г/см ³ (d)	Влажность почвы, в % (B)	Влажность завядания, в % (C)	Запас влаги (в мм на 1 га)		
				общий $V_{\text{общ}} = \frac{Bdh}{10}$	недоступный $V_{\text{нед}} = \frac{Cdh}{10}$	продуктивный $V_{\text{прод}} = V_{\text{общ}} - V_{\text{нед}}$
0—10	1,2	20,4	8,4	24,48	10,28	14,20
10—20	1,3	21,8	8,4	28,34	10,92	17,42
0—20	—	—	—	52,82	21,20	31,62

Для слоя почвы 0—20 см запасы продуктивной влаги считаются хорошими, если они превышают 40 мм, удовлетворительными, если они находятся в пределах 20—40 мм, и неудовлетворительными при $V_{\text{прод}} < 20$ мм. Для слоя почвы толщиной 1 м запасы продуктивной влаги оценивают по следующей шкале:

очень хорошие	> 160 мм
хорошие	160—130 »
удовлетворительные	130—90 »
плохие	90—60 »
очень плохие	< 60 »

Определение обеспеченности растений элементами питания в период вегетации (диагностика)

Диагностика питания растений в полевых условиях визуально по их внешнему виду может быть дополнена быстрыми качественно-количественными методами (экспресс-методами) химического анализа срезов свежих растений или выжатого сока на капельной пластинке. Наиболее широкое распространение для этих целей получили приборы — полевая лаборатория К. П. Магницкого и ОП-2, разработанный В. В. Церлинг. Оба прибора содержат все необходимые реактивы и материалы для определения нитратов, фосфорной кислоты, калия, магния и хлора, а также снабжены подробными инструкциями по технике проведения диагностических химических анализов.

Определение площади листьев и фотосинтетического потенциала

Урожай обуславливается в основном площадью листьев растений, длительностью периода их активной деятельности и продуктивностью фотосинтеза растения. Периодические определения площади листьев растений дают экспериментатору надежный материал для объяснения различий в урожаях по вариантам полевого опыта.

Поверхность листьев может быть определена несколькими способами.

Первый способ. Методом средней пробы берут не менее десяти растений с опытной делянки и обрывают листья. Из свежих листьев ручным сверлом (металлической трубкой с заточенными краями) берут 20—50 высечек общей площадью не менее 10—20 кв. см и взвешивают. Одновременно определяют общий вес всех листьев пробы. Зная вес и площадь листьев высечек, а также вес листьев в пробе, рассчитывают поверхность листовых пластинок всей пробы по формуле:

$$S = \frac{P S_1 n}{P_1},$$

где S — общая площадь листьев пробы (в кв. см);

S_1 — площадь одной высечки (в кв. см);

n — число высечек;

P — общий вес листьев (в г);

P_1 — вес высечек (в г).

Площадь листьев на 1 га посева рассчитывают на основании густоты стояния растений.

Пример расчета. Общий вес листьев (P) с десяти растений картофеля составил 380 г, вес 50 высечек $P_1 = 2,2$ г; площадь одной высечки $S_1 = 2$ кв. см. Площадь листьев десяти растений составляет:

$$S = \frac{P S_1 n}{P_1} = \frac{380 \cdot 2 \cdot 50}{2,2} = 17\,272,7 \text{ кв. см.}$$

Площадь листьев одного растения равна: $17\,272,7 : 10 = 1\,727,3$ кв. см. При густоте стояния 50 тыс. растений на 1 га общая листовая поверхность 1 га посева составит:

$1\,727,3 \text{ кв. см} \times 50\,000 = 86\,365\,000 \text{ кв. см, или } 8\,600 \text{ кв. м. на } 1 \text{ га.}$

Второй способ. Листья раскладывают на писчую бумагу и аккуратно обрисовывают их контуры тонко отточенным карандашом. Площадь обрисованных контуров листьев измеряют планиметром. При отсутствии планиметра поступают так. Вырезают все нарисованные листья и взвешивают. Из такой же бумаги вырезают квадрат площадью 100 кв. см и взвешивают его. Площадь листьев определяют по формуле:

$$S = \frac{P}{P_1} \cdot 100,$$

где S — площадь листьев (в кв. см);

P — вес бумаги с контурами листьев (в г);

P_1 — вес бумаги площадью 100 кв. см (в г).

Пример расчета. Бумага всех вырезанных листьев (P) весит 10,64 г, вес аналогичной бумаги площадью 100 кв. см (P_1) составляет 0,52 г. Площадь листьев равна:

$$S = \frac{P}{P_1} 100 = \frac{10,64 \cdot 100}{0,52} = 2046,1 \text{ кв. см.}$$

Третий способ. Площадь листа злаковых (ячмень, кукуруза и др.) может быть вычислена по формуле:

$$S = \frac{2}{3} AB \approx 0,67 AB,$$

где S — площадь листа (в кв. см);

A — ширина листа у основания (в см);

B — длина листа (в см).

Этот способ особенно удобен тем, что измерение длины и ширины листьев можно проводить неоднократно в течение вегетации на одних и тех же живых растениях, не срезая листья.

Пример расчета. Ширина листа кукурузы у основания $A = 8,5$ см; длина $B = 80,2$ см. Площадь листа равна:

$$S = 0,67 \times 8,5 \times 80,2 = 457 \text{ кв. см.}$$

Зная площадь листьев одного растения и густоту посева, рассчитывают листовую поверхность растений на одном гектаре. Ее выражают обычно в тысячах квадратных метров на 1 га.

Для получения высокого урожая посевы растений в период интенсивного накопления органического вещества должны иметь площадь листьев 30—40 тыс. м²/га, т. е. равняться 3—4 га. Периодические измерения листовой поверхности растений дают возможность определить показатель, характеризующий фотосинтетическую работу посева за всю вегетацию. Этот показатель называется фотосинтетическим потенциалом и получается суммированием площадей листьев на гектаре посева за каждый день вегетационного периода.

Суммирование производится графически. Для этого на миллиметровой бумаге строят график роста площади листьев в прямоугольной системе координат. На горизонтальной оси откладывают длину вегетационного периода от всходов до уборки, а на вертикальной оси — площадь листьев по срокам определения. Нанесенные точки соединяют плавной кривой и получают график роста площади листьев. Затем планиметром или подсчетом клеточек определяют площадь фигуры, отграниченной кривой и горизонтальной осью, и рассчитывают фотосинтетический потенциал.

Анализ снопового образца

Урожай, получаемый с определенной площади, можно представить в виде произведения ряда величин, например произведения числа растений на их продуктивную кустистость и на средний вес зерна одного колоса. Урожай каждого растения является, в свою очередь, суммой урожаев отдельных колосьев, а урожай каждого колоса может быть представлен в виде произведения числа зерен на их средний вес. Указанные показатели позволяют характеризовать структуру урожая и объяснить, за счет каких ее элементов получен данный урожай. Учет структуры урожая дает возмож-

Растения выдергивают с корнями, освобождают их от комочков почвы, связывают в снопы и высушивают. Если учетных площадок для подсчета густоты не выделяли, то пробный сноп набирают по диагонали в 4—6 местах деланки с общей площади 1 кв. м.

После подсчета числа растений в снопе отбирают среднюю пробу (50—100 растений) и определяют: 1) общую высоту льна — расстояние от места прикрепления семядольных листьев до основания самой верхней коробочки; 2) техническую длину стеблей — расстояние от места прикрепления семядолей до первой ветки соцветия; 3) количество коробочек; 4) толщину (диаметр) стебля на $\frac{1}{2}$ технической длины; 5) общий вес растений.

Диаметр стеблей измеряют сразу у десяти растений, плотно положенных подряд на миллиметровую бумагу или миллиметровую линейку; полученную величину делят на 10. Все растения пробы после определения этих показателей объединяют, обмолачивают и взвешивают отдельно семена и соломку. Определяют также вес 1000 семян. По общему весу семян и соломки пробы и по густоте стояния растений рассчитывают биологический урожай.

Данные анализа записывают по следующей форме:

Вариант опыта	Дата уборки	Число растений на 1 кв. м	На одно растение в среднем				Вес (в г на 1 кв. м)			Вес 1000 семян (в г)	Биологический урожай (в ц с 1 га)		
			число коробочек	общая высота (в см)	техническая длина стебля (в см)	толщина (диаметр) стебля (в мм)	общий	соломки	семян		общий	соломки	семян

Морфологический анализ стеблей конопли проводят по 50 стеблям. Определяют два показателя: 1) общую длину — от корневой шейки до конца соцветия и 2) техническую длину — от корневой шейки до первой ветви соцветия. Для характеристики структуры урожая необходимо определить: 1) число растений на 1 кв. м; 2) вес растений с 1 кв. м (общий, семян, стеблей); 3) биологический урожай (общий, семян, стеблей).

Определение структуры урожая картофеля и корнеплодов

Накануне уборки урожая берут пробу картофеля, состоящую не менее чем из 10—20 растений или гнезд. Подземную часть растений промывают водой. После просушки определяют: вес ботвы,

число и вес клубней по группам — крупные (больше 100 г), средние (от 50 до 100 г) и мелкие (меньше 50 г); биологический урожай.

Данные записывают по следующей форме:

Вариант опыта	Число растений на 1 га	Вес ботвы с одного куста (в г)	Число клубней с одного куста				Вес клубней с одного куста (в г)				Биологический урожай клубней (в ц с 1 га)			
			всего	в том числе			всего	в том числе			всего	в том числе		
				крупных	средних	мелких		крупных	средних	мелких		крупных	средних	мелких

При определении структуры урожая корнеплодов проба должна состоять не менее чем из 20 растений, взятых по диагонали делянки.

Данные записывают по следующей форме:

Вариант опыта	Число растений на 1 га	Средний вес одного растения (в г)				Биологический урожай (в ц с 1 га)	
		общий	в том числе			ботвы	корней
			ботвы	корней			

Учет поражения болезнями и повреждения вредителями

В период вегетации необходимо регулярно и внимательно наблюдать за вредителями и болезнями, регистрировать сроки их появления и применять рекомендуемые меры борьбы с ними. Если вредители и болезни неизвестны экспериментатору, необходимо собрать вредных насекомых и образцы поврежденных ими растений или больные растения и показать их специалисту по защите растений, который поможет организовать борьбу с этими вредителями и болезнями.

Ввиду большой трудоемкости и специфичности фитопатологических и энтомологических количественных методов учет поражения и повреждения растений проводят специалисты и лишь в специальных опытах. В большинстве же полевых опытов ограничиваются обычно лишь глазомерной оценкой поражения растений

суммарно всеми болезнями и вредителями по пятибалльной шкале: 0 — отсутствие повреждений; 1 — повреждены единичные растения (до 10%); 2 — повреждено 10—25% растений; 3 — повреждено 25—50%; 4 — повреждено 50—75%; 5 — повреждено свыше 75% растений.

Учет засоренности посевов

Учет засоренности необходим для оценки условий проведения опыта и отдельных агротехнических приемов борьбы с засоренностью. В опытах по изучению способов борьбы с сорняками, а также в том случае, когда посевы пропалывают, учет засоренности проводят в период массового появления сорняков, в период их цветения и перед уборкой опытной культуры. В опытах, где засоренность не является важным фактором изучения и посевы не пропалывают (при хорошей агротехнике на опытных посевах не должно быть сорняков), учет сорняков проводят один раз в конце вегетации.

При изучении засоренности применяют глазомерный и количественный методы.

Глазомерный учет проводят по четырехбалльной шкале: 1 — сорняки встречаются единично; 2 — сорные растения встречаются чаще, но их значительно меньше, чем культурных; 3 — сорняки встречаются часто, но не преобладают над культурными; 4 — сорняки преобладают над культурными растениями, глушат их.

Для количественно-вещового учета засоренности применяют деревянные рамки размером 0,25 кв. м (50 × 50 см). На каждой опытной делянке по диагонали накладывают не менее четырех учетных рамок. Сорняки внутри рамки выдергивают, подсчитывают по биологическим группам и указывают преобладающие сорняки и группы. Затем сорняки высушивают до воздушносухого состояния и взвешивают. При группировке сорняков используют следующую классификацию: малолетники — эфемеры, ранние и поздние яровые, зимующие, озимые, двулетники; многолетники — с мочковатой корневой системой, ползучие, клубне-луковичные, стержневые, корнеотпрысковые, корневищные.

Результаты количественно-вещового учета засоренности посевов записывают по следующей форме:

Вариант опыта	Дата учета	Количество сорняков на 1 кв. м			Вес сорняков в воздушносухом состоянии на 1 кв. м (в г)		
		малолет- ных	многолет- ных	всего	малолет- ных	многолет- ных	всего

Учет корневых систем растений

Основой наиболее распространенных методов изучения корневых систем, процессов разложения корневых и пожнивных остатков является извлечение определенного объема почвы и отмывка растительной массы водой. Нужно, однако, отметить, что существующие методы и приемы извлечения корней из почвы пока довольно громоздки и трудоемки, а точность учета неудовлетворительна. Необходимо совершенствовать существующие и разрабатывать новые, более производительные и точные методы изучения корневых систем.

Учет веса корней методом монолита. Имеется много модификаций метода учета корней почвенным монолитом, но сущность всех их сводится к следующему. Монолит почвы, определенного сечения и высоты, вырезанный на поле среди посева, делят на слои (или генетические горизонты) и доставляют на место отмывки. Корни и растительные остатки отмывают от почвы струей воды, делят на фракции, высушивают и взвешивают.

Высота почвенного монолита определяется задачами исследования и изучаемой культурой. Для однолетних полевых культур сплошного сева глубина 40—60 см часто вполне достаточна, так как в слое почвы 0—40 и особенно 0—60 см обычно сосредоточено 95—98% всех корней этих растений. При изучении многолетних культур и пропашных глубококорневых растений глубина взятия монолита увеличивается до 80—100 см и больше.

Сечение монолита определяют в зависимости от способа посева изучаемой культуры. Желательно, чтобы широкая стенка монолита была равна удвоенной ширине междурядья, а узкая — не менее 15—20 см. Например, при ширине междурядий 15 см площадь сечения монолита может быть 30 × 20 см, т. е. 600 кв. см. При высоте монолита 40 см объем почвы составит 24 л, 60 см — 36 и 100 см — 60 л.

Монолит почвы берут следующим образом. На выбранном участке отмечают прямоугольную площадку со сторонами, равными сечению будущего монолита, так чтобы края ящика приходились посредине междурядий. С этой площадки срезают и учитывают надземные части растений и тщательно удаляют с поверхности почвы мертвый покров. Целые растения и пожнивные остатки с площадки монолита надо собрать отдельно и высушить для последующего учета. Если предварительно не удалить растительные остатки и особенно мертвый покров, они при отмывке смешаются с корнями, и тогда их будет очень трудно отделить.

Монолит (столб) почвы окапывают на нужную глубину, стенки тщательно выравнивают по отвесу и линейке, зачищают до нужного размера и размечают по горизонтам, или слоям.

Каждый горизонт (слой) монолита почвы помещают в заранее заготовленные ящики или мешки, которые затем этикетировывают и отправляют на отмывку корневой системы. Если монолит почвы

берут сразу на всю глубину, то на месте отмывки его делят на горизонты (слои) и отмыывают корни в каждой части отдельно методом, описанным на стр. 136—137.

Вынимают монолит по частям в мешки без окапывания столба почвы (прямо по стенке траншеи) в следующем порядке. Выкапывают траншею шириной 50—60 см, глубиной на 20—30 см больше высоты монолита. На поверхности почвы точно намечают надрезом площадь монолита; на вертикальной, хорошо выровненной и защищенной стенке траншеи также проводят по линейке две прямые параллельные линии на расстоянии, равном ширине монолита. Затем по горизонтали монолит делят линиями на горизонты (слои). Почву совочком или лопатой по частям переносят в мешочек и этикетировывают. Правильность срезания стенок необходимо контролировать деревянным прямоугольником (шаблоном) с сечением, равным сечению монолита, который вкладывают в образующееся углубление почвенного разреза.

Удачной модификацией метода монолита является способ **рамочной выемки почвы**, получивший широкое распространение при проведении исследований в агротехнических опытах (Н. З. Станков).

На месте, выбранном для взятия монолита, накладывают деревянную или металлическую рамку с внутренними размерами 30,3 × 30,1 см, что составляет учетную площадь 0,1 кв. м (в зависимости от способа посева размер рамки может быть и другим). Углы рамки прикрепляют к почве большими металлическими шпильками (гвоздями). На площадке подсчитывают число растений, измеряют их высоту. Затем всю надземную часть растений снимают, пробу этикетировывают и сохраняют для последующего учета. Поверхность площадки (монолита) тщательно очищают от остатков надземной массы, которые также надо собрать и учесть. Острым ножом длиной 10 см обрезают пограничную линию, почву внутри рамки разрезают на куски и слой ее 0—10 см совочком переносят в мешочек. Аналогичным образом вынимают слои 10—20, 20—30 и 30—40 см, складывают их в отдельные мешки, этикетировывают и доставляют к месту отмывки корней.

Брать выемки почвы на глубину более 40—50 см этим способом затруднительно.

Для выемки проб почвы точного объема при использовании рамочного метода применяют вторую рамку (шаблон), имеющую внешние размеры на 1—2 мм меньше, чем внутренний размер первой рамки (сечения монолита). По мере выемки почвы внутренняя рамка (шаблон) погружается в яму, что позволяет хорошо контролировать размер вынутого монолита.

Достоинства рамочного метода заключаются в простоте техники взятия почвенных образцов и оборудования и меньшей трудоемкости. Этим способом можно изучать корневую систему, процессы разложения корневых и пожнивных остатков и сидератов на небольших делянках полевых опытов, без ущерба для опыта. Недостатком метода является ограниченность глубины взятия корневой системы.

При работе рамочным методом на полях с выравненным травостоем удовлетворительная точность получается при 3—4-кратной повторности, а при заметной пестроте — не менее чем при шести-кратной. В полевых опытах целесообразно с каждой повторности брать один-два монолита.

Буровой метод учета корней. Существует большое разнообразие буров для взятия проб почвы. Наиболее часто пользуются круглыми бурами малого (5—8 см) и большого (15—25 см) диаметра. Применяют также квадратные буры — коробки различного сечения (10 × 10, 20 × 20, 25 × 25 см и т. п.) и высоты и треугольные буры.

Недостатком бурового метода, особенно при работе квадратными бурами, является трудоемкость, недостаточная глубина извлечения корней, трудность учета корней по генетическим горизонтам и неудовлетворительная точность учета даже при 10—20-кратной повторности. Особенно большую сложность представляет учет корневой системы буровым методом у пропашных культур, при широкорядном и квадратно-гнездовом посеве их. Более или менее удовлетворительные данные могут быть получены при взятии почвы буром вокруг растения, располагая скважины концентрическими кругами.

Отмывка и учет корневой массы. Наиболее точным и широко распространенным методом выделения корневой массы из почвы является отмывка. Отмывка корней и очистка их от почвы и примесей — важный и ответственный этап в работе по изучению корневых систем, от которой в значительной степени зависит точность учета.

Прост и доступен следующий метод отмывки корневой массы. На подставку с двумя направляющими лотками устанавливают два квадратных или прямоугольных ящика-сита площадью 2500—5000 кв. см и с высотой бортиков 15—20 см. Верхний ящик имеет металлическую сетку с ячейками 2—4 мм, нижний — 0,25—0,5 мм. Нижний ящик помещается под лотком (воронкой) верхнего. Промывные воды из нижнего ящика по направляющему лотку из оцинкованного железа отводят в сторону.

Пробу почвы, взятую в поле одним из описанных выше способов, доставляют к месту отмывки корневой массы и высыпают на сито верхнего ящика. Отмывают распыленной струей воды. Крупные корни остаются на верхнем сите. Их тщательно собирают и переносят в большой химический стакан или фарфоровую чашку с водой. На нижнем сите задерживаются мелкие корни, полуразложившиеся корневые и пожнивные остатки и механические элементы почвы. Его необходимо периодически очищать от почвы, перенося содержимое сита в бак или ведро с водой. Почву в баке с водой круговыми движениями хорошо взмучивают, дают немного отстояться и процеживают воду с плавающими в ней корнями и полуразложившимися растительными остатками сквозь частое сито. Эту процедуру приходится повторять многократно, до тех пор, пока в воде

не останется корней. Целесообразно иметь несколько сит (3—4) с частой сеткой, что значительно ускоряет отмывку. Использование сит с отверстиями 1—2 мм также заметно ускоряет ее, но часто, особенно при неумелой отмывке, ведет к большим потерям мелких корней.

Полученную с нижнего сита рыхлую массу мелких корней и полуразложившихся растительных остатков несколько раз промывают и переносят в стакан или фарфоровую чашку с водой.

Отмытая от почвы корневая масса и взятые пожнивные остатки разделяют на четыре группы: 1) пожнивная масса; 2) крупные корни диаметром больше 1 мм; 3) тонкие корни диаметром до 1 мм и обломки мелких корней; 4) мертвые полуразложившиеся остатки.

Для фракционирования корневой массы на живые корни и мертвые полуразложившиеся остатки прошлых лет используется метод многократной декантации. Отмытую корневую массу заливают водой в большом химическом стакане и хорошо перемешивают палочкой. На дне стакана остаются гумифицированные, наиболее темные корневые остатки, живые и длинные корни держатся несколько выше, а мертвые растительные остатки всплывают на поверхность. Всплывшие вверх растительные остатки отделяют от общей корневой массы многократным сливанием через сито 0,25 мм. Затем мертвые остатки отжимают на сите и помещают в небольшие алюминиевые чашки для сушки.

Живые (светлые) длинные корни выбирают из стакана пинцетом, а мелкие живые корни отделяют от гумифицированной массы, прочно соединенной с иловатыми почвенными частичками, методом декантации. Оставшиеся на дне полуразложившиеся темные корневые частицы тщательно отмывают от почвы, отжимают и присоединяют к фракции мертвых полуразложившихся остатков.

Все фракции растительных остатков высушивают до воздушно-сухого состояния и взвешивают. Живые корни разбирают пинцетом на две фракции: а) тонкие — диаметром до 1 мм и б) крупные — диаметром больше 1 мм. Для последующих расчетов поверхности и суммарной длины корней желательно указать средний диаметр каждой группы.

После деления корневой массы на фракции сразу же определяют их объем. Если корни уже высохли, то их необходимо выдержать 1—2 часа в воде для восстановления ими первоначальной формы и для того, чтобы они при определении объема не впитывали воду.

Корни извлекают из воды, отжимают в фильтровальной бумаге или марле от излишка ее и помещают в мерный цилиндр с таким количеством воды, чтобы в нее можно было полностью погрузить корни. Корни в цилиндре тщательно перемешивают стеклянной палочкой, чтобы удалить пузырьки воздуха. Разность в объемах воды до и после погружения корней и будет равна их объему.

Поверхность и суммарную длину живых корней можно приближенно вычислить, если известен их объем и средний диаметр. Принимая форму корня за цилиндр, можно считать, что:

$$1) \text{ поверхность корней} = \frac{4 \times \text{объем корней}}{\text{средний диаметр}};$$

$$2) \text{ суммарная длина корней} = \frac{\text{поверхность корней}}{3,14 \times \text{средний диаметр}}.$$

После определения объема живых корней все фракции растительных остатков высушивают до воздушносухого состояния и взвешивают.

Порядок записей при весовом учете растительных остатков в почве может быть представлен в виде следующей таблицы:

Вариант опыта	Горизонт или слой почвы (в см)	Вес в воздушносухом состоянии (в г на 0,1 м ²)				Вес (в г на 1 га)				
		пожнивная масса	корни		полуразложившиеся остатки	всего	пожнивная масса	корни		полуразложившиеся ос- татки
			крупные, диаметром более 1 мм	тонкие, диаметром менее 1 мм				крупные, диаметром более 1 мм	тонкие, диаметром менее 1 мм	

Учет растительных остатков в процессе их разложения

При разработке некоторых важных вопросов земледелия наряду с микробиологическими исследованиями важно использовать простые полевые методы учета процесса разложения органических остатков (корней, пожнивных остатков, сидератов) в зависимости от приемов агротехники.

Весовой метод учета растительных остатков в процессе их разложения. Периодически, с начала осени до конца весны или начала лета следующего года, берут пробы почвы (монокиты) для отмычки и учета растительных остатков. Для этого на поле выбирают не менее четырех площадок (повторностей), на которых методом монолита, рамочной выемкой или буром берут почву по слоям, растительные остатки отмыкают от почвы и учитывают. По степени разложения растительные остатки делят на две группы: подвергшиеся и не подвергшиеся разложению, затем высушивают до воздушносухого состояния и взвешивают.

Наиболее приемлем и удобен для учета разложения растительных остатков в полевых условиях метод рамочной выемки моно-

шта. Чаще всего исследование ограничивают глубиной пахотного слоя до 20—25 см, реже его проводят до глубины 40 см.

Учет разложения растительных остатков на фиксированных полевых площадках. Сущность метода заключается в том, что растительную массу (пожнивные остатки, корни, сидераты и т. п.) определенного состава и веса закладывают в почву на точно фиксированных площадках размером 50×50 см.

Техника закладки и учета органических остатков на фиксированных полевых площадках сводится к следующему.

В зависимости от целей и задач исследования, длительности наблюдений и частоты учетов на поле выделяют 3—4 площадки (повторности), по 4—6 кв. м каждая. Верхний слой почвы каждой площадки снимают на 20 см или на другую глубину, предусмотренную задачами исследования. Площадки делят при помощи шпателя на квадраты размером 50×50 см, раскладывают на них заранее заготовленные и взвешенные образцы растительной массы (корневые или пожнивные остатки различных культур, сидераты и т. п.). Растительный материал распределяют в один ряд в середине каждого квадрата.

При определении веса растительного материала, закладываемого в опыт, учитывают его возможное содержание в почве на такой же площади в полевых условиях.

Распределенные по квадратам образцы сверху можно прикрывать крупной сеткой из стеклянной ткани, что облегчает последующий учет растительного материала. Затем углы каждого квадрата фиксируют кольшками, всю площадку осторожно засыпают почвой, уплотняют и выравнивают ее поверхность. Фиксирующие кольшки должны выступать над поверхностью почвы на 4—5 см, чтобы их легко можно было найти во время учета.

В намеченный срок верхний слой почвы соответствующего квадрата снимают, описывают внешнее состояние растительной массы, извлекают ее из почвы, переносят на сито с отверстиями 0,25 мм и отмывают от почвы. Растительную массу делят на две фракции (подвергшуюся и не подвергшуюся разложению), обе фракции доводят до воздушносухого состояния и взвешивают. Разность в весе образцов, взятых в два последовательных срока, указывает на количественное изменение растительной массы и интенсивность разложения ее в условиях опыта.

Результаты учета разложения органической массы представляют в виде таблицы или графика.

Метод льняных полотен («метод аппликаций»). Достаточно точное представление о действии различных агротехнических приемов на интенсивность разложения растительного материала дают методы учета биологической активности почвы по разложению естественных источников целлюлозы — соломы и льняного волокна. Технически наиболее просто определять активность микрофлоры, разлагающей целлюлозу, по степени и скорости распада льняной ткани.

Степень распада ткани определяют по заметному на глаз разрушению полосок льняного полотна. Хорошо вымытые в хромовой смеси стеклянные пластины шириной 10 см обтягивают белой льняной тканью и вставляют в почву вертикально, так чтобы ткань плотно прилегала к ровной стенке почвенного разреза или прикопки. Высота стеклянных пластин должна быть равна глубине изучаемого слоя почвы. Пластины, обтянутые льняной тканью, засыпают почвой, которую уплотняют до естественного состояния. Периодически через 3—4 недели после начала опыта пластины вынимают из почвы, осторожно отмывают и по степени распада устанавливают наиболее активные горизонты почвы. Общее число пластин, необходимое для исследования, определяется длительностью наблюдений, частотой определения степени распада ткани и повторностью.

Количественно скорость распада льняного полотна определяют по убыли его веса в воздушносухом состоянии. Для этого полоски ткани определенного размера и веса (1—3 г) помещают в горизонтальном положении в почву на намеченную глубину. Работу ведут в следующем порядке. Заготавливают отрезки льняной ткани определенного веса. На поле выбирают выровненный участок и на нем намечают 3—4 небольшие площадки (повторности) прямоугольной формы, шириной 25—30 см. С площадок лопатой снимают слой почвы на глубину закладки льняных полотен, дно выемки выравнивают и на него помещают отрезки льняного полотна на расстоянии 30—40 см друг от друга. Количество полотен на каждой площадке должно быть равно числу намеченных учетов. Сверху полотна засыпают почвой, которую уплотняют до естественного состояния. Места закладки льняных полотен фиксируют колышками. В каждый срок определения на каждой площадке (повторности) осторожно откапывают одно полотно, отмывают от приставшей почвы, высушивают до воздушносухого состояния и взвешивают.

Если изучают энергию разрушения растительного материала в пахотном слое до глубины 20—25 см, то удобно пользоваться цилиндрическим буром диаметром 10—20 см: кружжик льняного полотна несколько меньшего диаметра, чем диаметр бура, закладывают на дно скважины, сделанной буром, и засыпают почвой. В одну скважину можно поместить несколько кружочков, разместив их на разной глубине, например 5, 10, 15 и 20 см. Скважину точно фиксируют колышком. В каждый срок определения извлекают 3—4 полотна, отмывают их от почвы, высушивают до воздушносухого состояния и взвешивают. Общее количество скважин определяется длительностью наблюдений и принятой повторностью.

Форма записи и пример расчета интенсивности распада льняного волокна приведены в таблице 8.

При более детальных исследованиях почвенной биодинамики методом аппликационных полотен необходимо провести биохимические и микробиологические анализы для определения состава микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности.

Форма записи и пример расчета интенсивности распада льняной ткани в почве

Вариант полевого опыта	Глубина закладки ткани (в см)	Вес ткани в воздушно-сухом состоянии (в г)				Разложимость ткани (в % к исходному весу) через		
		исходный	через			один месяц	два месяца	три месяца
			один месяц	два месяца	три месяца			
Без удобрений	10	3,00	2,65	2,01	1,37	11,7	33,0	54,3
Удобрено навозом и NPK	10	3,00	2,32	1,65	0,90	22,7	45,1	70,0

С агрономической точки зрения очень важно, что метод аппликационных полотен показывает не только активность целлюлозо-разлагающих микроорганизмов, но и степень мобилизации азота в почве. Кроме того, определение интенсивности разложения растительного материала методом льняных полотен часто более объективно отражает состояние и активность микрофлоры почвы в естественных условиях поля, чем учет микроорганизмов чашечным методом на питательных средах в лабораторных условиях.

Метеорологические наблюдения

Учет метеорологических факторов особенно важен потому, что он дает возможность охарактеризовать климатические условия проведения полевого опыта и помогает дать правильное объяснение полученным результатам. Изменения погодных условий в отдельные моменты вегетационного периода и особенно в критические периоды роста и развития, когда растения очень чувствительны к данному фактору, сильно отражаются на урожае и вызывают широкие колебания в количестве и качестве продукции. Поэтому необходим учет метеорологических условий проведения полевого опыта — осадков, температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра и др. Эти показатели могут быть получены при организации систематических инструментальных наблюдений за погодой на метеорологических площадках или взяты на ближайшей метеорологической станции. Особенно важно фиксировать условия погоды, которые могут вызвать резкие отклонения в росте и развитии растений (засуха, заморозки, ливень, град, ледяная корка и т. п.).

Результаты метеорологических наблюдений анализируют по межфазным периодам развития опытной культуры. Такой анализ лют уже в течение многих лет применяется в государственном сортоиспытании сельскохозяйственных культур. Он позволяет установить типичность метеорологических условий года, когда проводится опыт, в сравнении с многолетними данными, выявить характерные

взаимосвязи между урожаем и атмосферными явлениями в критические периоды роста растений.

Обработку метеорологических наблюдений целесообразно проводить по следующим межфазным периодам развития важнейших полевых культур.

Озимые зерновые культуры: 1) посев — всходы; 2) всходы — прекращение осенней вегетации; 3) начало весенней вегетации — выход в трубку; 4) выход в трубку — колошение; 5) колошение — восковая спелость.

Яровые зерновые культуры: 1) посев — всходы; 2) всходы — кушение; 3) кушение — выход в трубку; 4) выход в трубку — колошение (выметывание); 5) колошение — восковая спелость.

Зернобобовые культуры: 1) посев — всходы; 2) всходы — цветение; 3) цветение — полная спелость.

Кукуруза: 1) посев — всходы; 2) всходы — цветение метелок; 3) цветение метелок — молочная спелость; 4) молочная спелость — полная спелость.

Масличные культуры: 1) посев — всходы; 2) всходы — образование соцветий (корзинок, кистей, бутонов); 3) образование соцветий — цветение; 4) цветение — полная спелость.

Лен-долгунец: 1) посев — всходы; 2) всходы — фаза «елочки»; 3) фаза «елочки» — цветение; 4) цветение — ранняя желтая спелость.

Конопля, кенаф, канатник, джут: 1) посев — всходы; 2) всходы — бутонизация; 3) бутонизация — техническая спелость.

Хлопчатник: 1) посев — всходы; 2) всходы — цветение; 3) цветение — созревание.

Сахарная свекла: 1) посев — всходы; 2) всходы — появление третьей пары листьев; 3) появление третьей пары листьев — смыкание листьев в междурядьях; 4) смыкание листьев — уборка.

Картофель: 1) посадка — всходы; 2) всходы — появление первых единичных бутонов; 3) появление бутонов — цветение; 4) цветение — уборка.

Однолетние злаковые травы: 1) посев — всходы; 2) всходы — кушение; 3) кушение — выметывание; 4) выметывание — уборка.

Многолетние травы (на сено): 1) начало весеннего отрастания — первый укос; 2) от первого до второго укоса; 3) от второго до третьего укоса; 4) от последнего укоса до прекращения осенней вегетации.

Данные метеорологических наблюдений за осадками и температурой воздуха по межфазным периодам вегетации опытных культур записывают в виде следующей таблицы:

Межфазный период	Количество осадков (в мм)			Температура воздуха (в град.)		
	в год опыта	среднее многолетнее	отклонение от средней многолетней	в год опыта	средняя многолетняя	отклонение от средней многолетней

Уборка и учет урожая требуют большого внимания и аккуратности; небрежность и излишняя поспешность при выполнении этой важной работы неизбежно ведут к грубым ошибкам, совершенно обесценивающим опыт.

За несколько дней до уборки нужно осмотреть опытный участок, выделить каждую делянку колышками или вешками, а при необходимости сделать выключки. Под выключкой понимают часть учетной делянки, исключенную из учета вследствие случайных повреждений или ошибок, допущенных во время работы. Целые делянки выключают и выбраковывают лишь в исключительных случаях, когда есть зарегистрированные данные, свидетельствующие о повреждении растений, об ошибке в работе или другие причины, которые могут изменить урожай независимо от изучаемого приема.

Допускаются следующие основания для выключек или браковки целых делянок:

а) повреждения, вызванные стихийными явлениями природы, неравномерно повредившие опытную культуру, при условии, что неравномерность повреждения не является следствием изучаемых в опыте причин;

б) случайные повреждения в результате потравы скотом, птицей, грызунами и пр.;

в) ошибки при закладке и проведении опыта.

Уменьшение учетной делянки из-за выключек допускается не более чем на 50%. При уменьшении ее больше указанного размера делянку выбраковывают полностью. Вообще выключки и браковка целых делянок очень нежелательны, так как это вызывает неравноточность сравнений вариантов и искажает результаты опыта. Чтобы опыт с одной-двумя выпавшими из учета делянками привести к сравнимому виду, результаты их могут быть восстановлены статистическим методом (см. стр. 264—266).

Совершенно недопустима выключка или браковка целых делянок на основании чисто субъективного впечатления на глаз, особенно после того, как урожай убран и взвешен. Полученные данные могут вызывать подозрение, но стоит начать браковку их, как не будешь знать, где остановиться. При некотором «навыке» в этом деле можно получить математически очень точные, но совершенно не заслуживающие внимания результаты.

Итак, основаниями для выключек или браковки целых делянок до уборки должны быть совершенно ясные внешние объективные причины. Для выбраковки не может быть убедительным доводом тот факт, что, например, делянка варианта, от которого экспериментатор ждет хороших результатов, кажется ему необычно малоурожайной.

Урожай на учетных делянках убирают после удаления урожая с защитных полос и выключек.

Урожай убирают способом и в сроки, которые устанавливают на месте, руководствуясь общим требованием к полевым работам, на опытах — одновременность и однокачественность их. Необходимо тщательно следить за тем, чтобы техника и методика уборки не внесли «незаконных» различий в сравниваемые объекты. Все опытные делянки желательно убирать в один день, одним и тем же способом. Если это технически не удастся сделать, то в один день убирают обязательно целое число повторений. В том случае, если изучаемые приемы оказывают влияние на сроки созревания (например, при испытании сортов, сроков посева, удобрений и т. п.), то уборку проводят по мере созревания культур, но обязательно одним и тем же способом на всех делянках. Различные способы уборки в одном опыте, естественно, могут быть допустимы лишь при изучении самих способов уборки.

В исследовательской работе используют два основных метода учета урожая: 1) сплошной и 2) учет по пробным снопам. Применяемый иногда метод учета урожая по пробным площадкам или отдельным растениям не дает достаточной точности и не может быть рекомендован для точных полевых опытов.

Сплошной метод учета урожая применяют в подавляющем большинстве полевых опытов; он наиболее точен. Весь урожай каждой делянки при сплошном учете взвешивают и учитывают отдельно.

К учету урожая по пробным снопам прибегают в опытах с прямыми и кормовыми культурами. Суть его заключается в следующем. Растения на учетной делянке скашивают, жнут или теребят, всю массу урожая сразу после уборки или после некоторой просушки взвешивают непосредственно в поле и здесь же отбирают в 40—80 местах каждой делянки и взвешивают на более точных весах два пробных снопа весом по 5—7 кг, затем их упаковывают в мешки, перевозят в усадьбу, подвешивают в хорошо проветриваемом помещении и сушат до постоянного веса. После этого каждый сноп взвешивают, обмолачивают на лабораторной молотилке или вручную и определяют вес зерна. Рассчитывают урожай зерна с делянки по равенству (в кг):

$$Y = A \frac{B}{B_1},$$

где A — вес общей массы урожая с делянки, включая пробные снопы;

B — вес сырого пробного снопа;

B_1 — вес сухого зерна с пробного снопа.

Учет по пробным снопам допустим в том случае, когда по условиям погоды не удастся просушить и с необходимой точностью учесть весь урожай, например в увлажненных районах при уборке сена, так как высушивание в поле большого количества травы всегда связано с опасностью потери и порчи части урожая. Изучение точности определения урожая зерновых по пробному снопу показало, что расхождение с прямым его учетом на всей делянке составляет не

менее 5—7%. Ясно, что для опытов, где необходимо учесть незначительные различия между урожаями вариантов, этот метод малопригоден.

Чтобы добиться более высокой точности учета, необходимо брать с учетной делянки 5—8 пробных снопов, но в этом случае метод пробного снопа не упрощает, а усложняет учет и, следовательно, утрачивает всякий смысл. По-видимому, целесообразнее поставить опыт на более мелких делянках при высокой повторности и урожай каждой делянки убирать и учитывать полностью.

Учет урожая по пробным площадкам нельзя рекомендовать для точных полевых опытов. Сущность метода и его основной недостаток заключаются в том, что урожай взвешивают и учитывают с нескольких малых площадок, т. е. с небольшой части учетной делянки. Даже в том случае, когда учет пробными площадками проведен правильно, например на делянке размером 100—200 кв. м учтено 30—40 площадок площадью по 1 кв. м, взятых методом рандомизации или систематическим, то и такой учет дает «ошибку пробы» в 5—10%. Но, кроме ошибки пробы, во всяком опыте есть еще ошибка делянки, которая также близка к указанной величине. Согласно статистике, общая ошибка делянки в этом случае равна корню квадратному из суммы квадратов этих ошибок и, следовательно, будет находиться в пределах 7—14%, т. е. примерно в 1,4 раза больше, чем ошибка делянки, учтенной сплошным методом.

Все основные полевые опыты надо планировать и организовывать так, чтобы можно было провести сплошной учет урожая каждой опытной делянки. К учету по пробным снопам и особенно по пробным площадкам надо прибегать лишь в том случае, когда такой учет — единственный выход из положения, если какие-либо непредвиденные обстоятельства не дают возможности собрать и учесть весь урожай.

Пробные снопы и площадки были пригодны для учета в грубых, ориентировочных опытах на первых стадиях развития опытного дела, но в современных условиях, когда исследовательская работа приобрела значительный размах и необходимо постоянное совершенствование методики и повышение точности для доказательства даже незначительных различий в урожаях отдельных вариантов, они утратили свой смысл, так как методически правильный учет по пробам не упрощает, а усложняет учет урожая. Поэтому совершенно необоснованно и непонятно частое стремление к закладке агротехнических опытов на очень крупных делянках — площадью 1—2 га и больше и заведомое планирование учета урожаев в таких опытах 2—4 «типичными» площадками размером по 100—200 кв. м, расположенными в середине крупной делянки или одной полосой в захват хедера самоходного комбайна. Точность такого учета неудовлетворительна, а достоверность выводов сомнительна по существу, так как учетные площадки сильно удалены территориально, и часто вообще не представляется возможным ответить на

вопрос, в результате чего получены разницы по вариантам: повлияла ли пестрота плодородия почвы или изучаемый прием.

Таким образом, во всех полевых опытах необходимо стремиться к сплошному, прямому методу учета урожая, так как все косвенные методы, и особенно учет по пробным площадкам, в той или иной степени приблизительны и нередко не свободны от субъективизма. Любая проба, как бы тщательно она ни отбиралась, всегда характеризует совокупность неточно, часто с очень большой ошибкой.

Рассмотрим кратко некоторые особенности учета урожая отдельных культур.

Зерновые культуры. В последние годы наиболее распространена уборка зерновых культур самоходным комбайном. Особенно удобен этот способ уборки урожая на удлиненных делянках с общей шириной 5—6 м. Комбайн за один проход убирает среднюю учетную часть делянки, оставляя защитные полосы. Убирают защитные полосы и делают прокосы между повторениями тем же комбайном. Специальное изучение и практика применения самоходного комбайна при уборке полевых опытов показали, что этот способ дает возможность получать вполне достоверные результаты даже на сравнительно небольших учетных делянках — 100—200 кв. м. Использование комбайна на делянках меньшего размера ограничивается не их площадью, а количеством намолачиваемого зерна. Если урожай зерна очень мал, например меньше 15 кг, то независимо от размера делянки применение комбайна для уборки нецелесообразно, так как случайные отклонения в весе зерна, вполне возможные на такой сложной и громоздкой машине, будут составлять большой процент и поэтому сильно влиять на точность учета.

При использовании комбайна очень важно установить и строго выдерживать в течение всей уборки оптимальный режим его работы на данной культуре и продолжительность работы вхолостую между уборкой двух делянок; она должна быть не меньше 3—5 минут. Этого времени обычно бывает достаточно для полного промолота хлебной массы, затаривания зерна из бункера в мешки и этикетирования.

В том случае, когда расположение опыта и форма делянок затрудняют работу самоходного комбайна непосредственно на уборке, можно использовать его лишь на обмолоте урожая, убранного простыми машинами или вручную. После обмолота урожая на одной делянке комбайн переезжает на другую и т. д.

Бункерный урожай с каждой делянки взвешивают или непосредственно в поле, или после перевозки в затаренных и заэтикетированных мешках в хозяйство. Урожай чистого зерна определяют после очистки урожая каждой делянки или, что менее желательно, по пробе в 1—2 кг, которую берут при взвешивании бункерного урожая.

При учете урожая обязателен пересчет на стандартную 14%-ную влажность, поэтому экспериментатор обязан определять влажность зерна. Для этого в стеклянные банки с притертыми пробками берут

пробы сразу же после взвешивания урожая каждой делянки. Влажность определяют одним из методов, предусмотренных стандартом на зерно, и выражают в процентах к сырой навеске. Полученный урожай по каждой делянке приводят к 14%-ной влажности, пользуясь таблицей 9 или следующим соотношением:

$$X = \frac{A(100 - B)}{100 - 14},$$

где X — урожай зерна при 14%-ной влажности;
 A — урожай зерна без поправки на влажность;
 B — влажность зерна при взвешивании.

Таблица 9

Коэффициенты перевода веса зерна различной влажности к весу зерна при влажности 14% (культуры: пшеница, ячмень, рожь, кукуруза, овес, сорго, рис, гречиха, горох, фасоль, чечевица, чина, пуд, соя, вика, рыжик)

Целые проценты влажности	Десятые доли процента влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,047	1,045	1,044	1,043	1,042	1,041	1,040	1,038	1,037	1,036
11	1,035	1,034	1,033	1,031	1,030	1,029	1,028	1,027	1,026	1,024
12	1,023	1,022	1,021	1,020	1,019	1,017	1,016	1,015	1,014	1,013
13	1,012	1,010	1,009	1,008	1,007	1,006	1,005	1,003	1,002	1,001
14	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990
15	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,981	0,980	0,979	0,978
16	0,977	0,976	0,974	0,973	0,972	0,971	0,970	0,969	0,967	0,966
17	0,965	0,964	0,963	0,962	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956	0,955
18	0,953	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,945	0,944	0,943
19	0,942	0,941	0,940	0,938	0,937	0,936	0,935	0,934	0,933	0,931
20	0,930	0,929	0,928	0,927	0,926	0,924	0,923	0,922	0,921	0,920
21	0,919	0,917	0,916	0,915	0,914	0,913	0,912	0,910	0,909	0,908
22	0,907	0,906	0,905	0,903	0,902	0,901	0,900	0,890	0,898	0,896
23	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,888	0,887	0,886	0,885
24	0,884	0,882	0,881	0,880	0,879	0,878	0,877	0,876	0,874	0,873
25	0,872	0,871	0,870	0,869	0,867	0,866	0,865	0,864	0,863	0,862
26	0,860	0,859	0,858	0,857	0,856	0,855	0,853	0,852	0,851	0,850
27	0,849	0,848	0,847	0,845	0,844	0,843	0,842	0,841	0,840	0,838
28	0,837	0,836	0,835	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829	0,828	0,827
29	0,826	0,824	0,823	0,822	0,821	0,820	0,819	0,817	0,816	0,815
30	0,814	0,813	0,812	0,810	0,809	0,808	0,807	0,806	0,805	0,803
31	0,802	0,801	0,800	0,799	0,798	0,797	0,795	0,794	0,793	0,792
32	0,791	0,790	0,788	0,787	0,786	0,785	0,784	0,783	0,781	0,780
33	0,779	0,778	0,777	0,776	0,774	0,773	0,772	0,771	0,770	0,769
34	0,767	0,766	0,765	0,764	0,763	0,762	0,760	0,759	0,758	0,757
35	0,756	0,755	0,753	0,752	0,751	0,750	0,749	0,748	0,747	0,745
36	0,744	0,743	0,742	0,741	0,740	0,738	0,737	0,736	0,735	0,734
37	0,733	0,731	0,730	0,729	0,728	0,727	0,726	0,724	0,723	0,722
38	0,721	0,720	0,719	0,717	0,716	0,715	0,714	0,713	0,712	0,710
39	0,709	0,708	0,707	0,706	0,705	0,703	0,702	0,701	0,700	0,699
40	0,698	0,697	0,695	0,694	0,693	0,692	0,691	0,690	0,688	0,687

Если размер делянок или величина урожая не позволяет использовать на уборке комбайн, применяют простые машины (жатки, лобогрейки, сенокосилки), сжинают или скашивают вручную (серпами или косой с грабелками). После скашивания хлеб немедленно связывают, снопы пересчитывают и число их записывают в полевую книжку по каждой делянке отдельно. К снопам каждой делянки шпагатом прикрепляют деревянные этикетки, на которых простым карандашом указывают: опыт, сорт или вариант, номер делянки, номер повторения и число снопов на данной делянке. После просушки снопы немедленно свозят в молотильный сарай для поделяночного обмолота на небольшой молотилке простой конструкции, очистки и взвешивания урожая.

Общий урожай с каждой делянки определяют взвешиванием снопов перед самым обмолотом. При этом их пересчитывают и сверяют с записями на этикетках и в полевой книжке. Зерно взвешивают после очистки, урожай соломы определяют по разности между общим весом урожая перед обмолотом и весом зерна.

Для определения влажности и качества зерна с каждой делянки в стеклянные банки с притертыми пробками берут пробы зерна весом 1—2 кг. Очень заманчив, но совершенно необоснован отбор смешанного образца для каждого варианта и последующее отнесение результатов такой средней пробы к урожаям соответствующих делянок. Необходимо брать пробы от всего урожая каждой делянки и находить ошибку выборочного определения, что особенно важно при оценке качества урожая. Отбор смешанного образца лишает возможности судить о точности и существенности различий между изучаемыми вариантами по тем или иным показателям (вес 1000 зерен, содержание белка, всхожесть и т. п.).

Учет урожая зерновых культур иногда проводят методом суммарного обмолота делянок и методом сложных делянок. При *суммарном обмолоте* общий урожай хлебной массы (в снопах или розвязью) взвешивают поделяночно, а обмолачивают все делянки варианта вместе и учитывают суммарный урожай зерна варианта. Урожай зерна каждой делянки определяют на основании предположения, что соотношение между урожаем хлебной массы варианта и суммарным количеством зерна остается постоянным для всех параллельных делянок варианта. Ошибка опыта может быть установлена на основании поделяночных урожаев хлебной массы. Вопрос о том, насколько точно в этом случае можно вычислить ошибку в урожаях зерна, по-видимому, не может иметь определенного решения: в одних условиях она бывает преувеличенной, а в других, наоборот, — преуменьшенной.

При *учете урожая методом сложных делянок*, который может быть допустим в опытах с большим числом вариантов и повторений, объединяют для учета одноименные делянки, например четных и нечетных повторений, и учитывают опыт в двух сложных повторениях. Суммарный обмолот и учет сложными делянками сильно упрощают технику учета, ускоряют процесс обмолота и улучшают

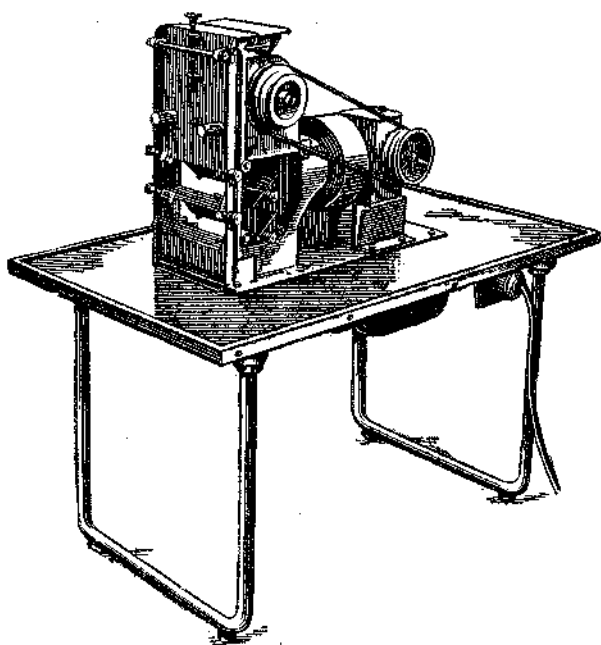


Рис. 38. Молотилка колосовая МК-150.

его качество, значительно сокращают число взвешиваний, а следовательно, и возможности ошибок при них. Однако следует иметь в виду, что оба эти метода учета урожая не позволяют точно определить ошибку опыта и, следовательно, не могут быть рекомендованы для ответственных полевых опытов. Урожай каждой делянки должен учитываться отдельно.

Для обмолота зерновых и крупяных культур Машиностроительный завод опытных конструкций (ВИМ) выпускает несколько типов малогабаритных молотилок. Обмолот одного соцветия (колоса, метелки) с одновременным отвеиванием мелких примесей можно осуществлять на молотилке колосовой МК-150 (рис. 38). Молотилка пучковая конусная МПК-1 (рис. 39) позволяет обмолачивать отдельные пучки колосьев с одновременным отвеиванием мелких примесей. Молотилка односноповая М-1С (рис. 40) предназначена для обмолота отдельных снопов, а молотилка сноповая МС-400 (рис. 41) — для обмолота снопов и первичной очистки семян зерновых, зернобобовых и крупяных культур, убранных с делянок полевого опыта. Производительность молотилки М-1С — 20—30 и МС-400 от 50 до 300 снопов в час.

Начиная с 1969 г. завод ВИМ будет выпускать малогабаритную катуку-сноповязалку фронтальную навесную ЖВН-1,8 и малогабаритный навесной комбайн с шириной захвата 1,7 м.

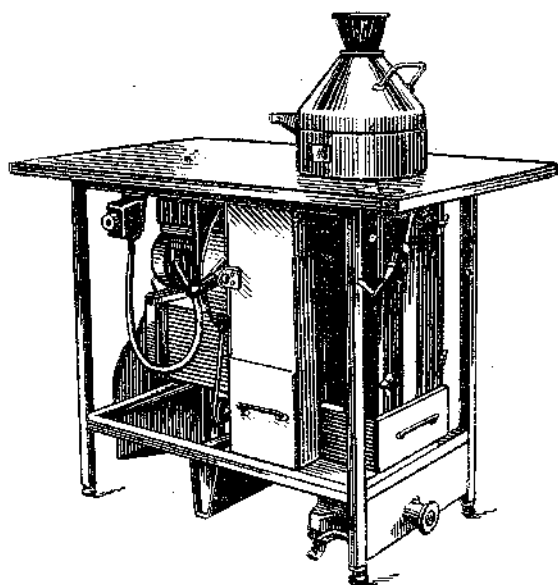


Рис. 39. Молотилка пучковая конусная МПК-1.

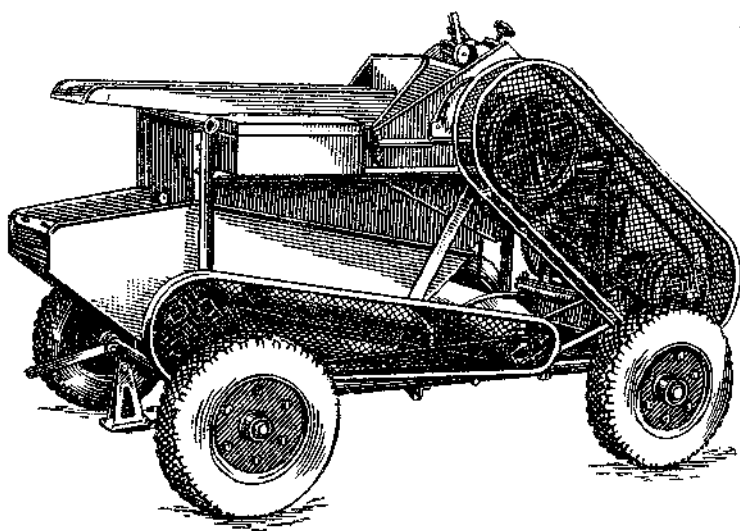


Рис. 40. Молотилка одношaftовая М-1С.

Лен и конопля. Учет урожая этих культур в принципе очень сходен с учетом зерновых. Кроме урожая семян и соломки, для полевых опытов со льном и коноплей обязателен учет урожая волокна и оценка его качества. Чтобы установить процентное содержание волокна в соломке, урожай волокна и оценить его качество, с каждой делянки отбирают два образца соломки весом 5—10 кг каждый (в расчете на вес воздушносухой массы) и проводят их технологический анализ — расстил или мочку, сушку тресты, мятые и трепание, определение количества и качества волокна. Образцы, отобранные для технологического анализа, не должны попадать под дождь.

После просушки и обмолота урожай соломки и семян взвешивают отдельно. Одновременно берут образцы семян и соломки для анализа на влажность. Урожай соломки приводят к стандартной 16%-ной влажности по таблице 10 или по соотношению:

$$X = \frac{A(100 - B)}{100 - 16}$$

Таблица 10

Коэффициенты перевода веса стеблей арядильных культур и сена трав при различной влажности к весу при влажности 16%
(культуры: лен, конопля, кенаф, джут, канатник, травы)

Целые проценты влажности	Десятые доли процента влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,071	1,070	1,069	1,068	1,067	1,065	1,064	1,063	1,062	1,061
11	1,060	1,058	1,057	1,056	1,055	1,054	1,052	1,051	1,050	1,049
12	1,048	1,046	1,045	1,044	1,043	1,042	1,040	1,039	1,038	1,037
13	1,036	1,035	1,033	1,032	1,031	1,030	1,029	1,027	1,026	1,025
14	1,024	1,023	1,021	1,020	1,019	1,018	1,017	1,015	1,014	1,013
15	1,012	1,011	1,010	1,008	1,007	1,006	1,005	1,004	1,002	1,001
16	1,000	0,999	0,998	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,990	0,989
17	0,988	0,987	0,986	0,985	0,983	0,982	0,981	0,980	0,979	0,977
18	0,976	0,975	0,974	0,973	0,971	0,970	0,969	0,968	0,967	0,965
19	0,964	0,963	0,962	0,961	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955	0,954
20	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942
21	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	0,933	0,932	0,931	0,930
22	0,929	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,921	0,920	0,919	0,918
23	0,917	0,915	0,914	0,913	0,912	0,911	0,910	0,908	0,907	0,906
24	0,905	0,904	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,896	0,895	0,894
25	0,893	0,892	0,890	0,889	0,888	0,887	0,886	0,885	0,883	0,882
26	0,881	0,880	0,879	0,877	0,876	0,875	0,874	0,873	0,871	0,870
27	0,869	0,868	0,867	0,865	0,864	0,863	0,862	0,861	0,860	0,858
28	0,857	0,856	0,855	0,854	0,852	0,851	0,850	0,849	0,848	0,846
29	0,845	0,844	0,843	0,842	0,840	0,839	0,838	0,837	0,836	0,835
30	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829	0,827	0,826	0,825	0,824	0,823
31	0,821	0,820	0,819	0,818	0,817	0,815	0,814	0,813	0,812	0,811
32	0,810	0,808	0,807	0,806	0,805	0,804	0,802	0,801	0,800	0,799
33	0,798	0,796	0,795	0,794	0,793	0,792	0,790	0,789	0,788	0,787
34	0,786	0,785	0,783	0,782	0,781	0,780	0,779	0,777	0,776	0,775
35	0,774	0,773	0,771	0,770	0,769	0,768	0,767	0,765	0,764	0,763

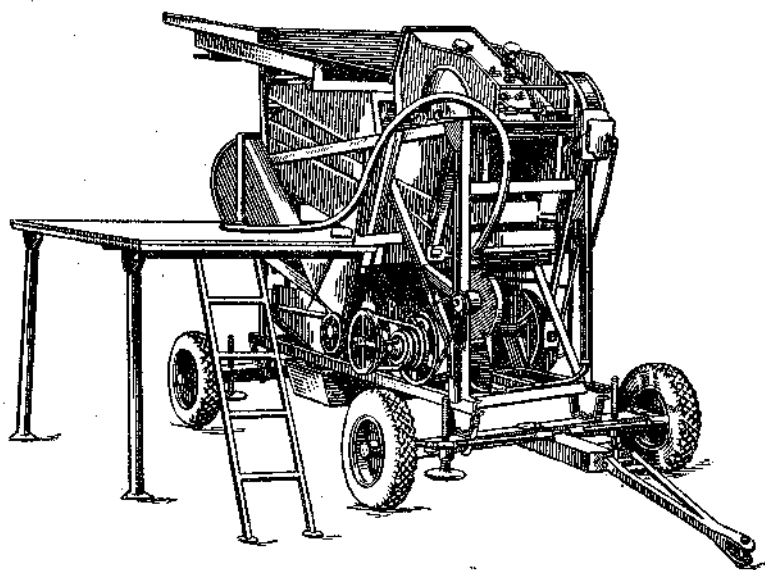


Рис. 41. Молотилка сноповая МС-400.

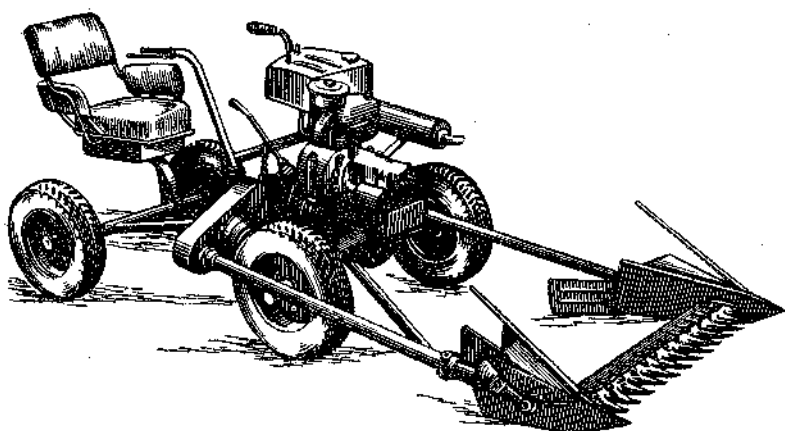


Рис. 42. Косилка самоходная фронтальная КСФ-1.0.

Урожай семян приводят к 12%-ной стандартной влажности (табл. 11).

Таблица 11

Коэффициенты перевода веса семян при различной влажности к весу семян при влажности 12% (культуры: лен-долгунец, конопля, кенаф, джут и канатник)

Целые проценты влажности	Десятые доли процента влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	1,057	1,056	1,054	1,053	1,052	1,051	1,050	1,049	1,048	1,046
8	1,045	1,044	1,043	1,042	1,041	1,040	1,039	1,037	1,036	1,035
9	1,034	1,033	1,032	1,031	1,029	1,028	1,027	1,026	1,025	1,024
10	1,023	1,022	1,020	1,019	1,018	1,017	1,016	1,015	1,014	1,012
11	1,011	1,010	1,009	1,008	1,007	1,006	1,004	1,003	1,002	1,001
12	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990
13	0,989	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982	0,981	0,979	0,978
14	0,977	0,976	0,975	0,974	0,973	0,972	0,970	0,969	0,968	0,967
15	0,966	0,965	0,964	0,962	0,961	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956
16	0,955	0,953	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,945	0,944
17	0,943	0,942	0,941	0,940	0,939	0,937	0,936	0,935	0,934	0,933
18	0,932	0,931	0,929	0,928	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922
19	0,920	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	0,914	0,912	0,911	0,910
20	0,909	0,908	0,907	0,906	0,904	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899
21	0,898	0,897	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,889	0,887
22	0,886	0,885	0,884	0,883	0,882	0,881	0,879	0,878	0,877	0,876
23	0,875	0,874	0,873	0,872	0,870	0,869	0,868	0,867	0,866	0,865
24	0,864	0,862	0,861	0,860	0,859	0,859	0,857	0,856	0,854	0,853
25	0,852	0,851	0,850	0,849	0,848	0,847	0,845	0,844	0,843	0,842

Травы. Урожай клевера, люцерны, вики, травосмесей, луговых трав и т. п. учитывают как сплошным методом, так и по пробным снопам. В первом случае укосную массу высушивают на делянке и затем там же взвешивают, а во втором — в 30—50 местах делянки из скошенных рядков набирают методом случайной пробы не менее двух снопов весом 5—7 кг каждый, взвешивают сырую массу их и всю массу с делянки. После ботанического анализа пробные снопы высушивают до постоянного веса на специальных сетчатых стеллажах в закрытом, хорошо проветриваемом помещении. Пробные снопы необходимо брать и при учете сплошным методом; в этом случае они служат для оценки качества урожая сена (определения ботанического состава травостоя, облиственности, химического состава). Урожай сена приводят к стандартной 16%-ной влажности.

На небольших опытных делянках траву удобно скашивать фронтальными косилками, например самоходной фронтальной косилкой КСФ-1,0 с шириной захвата 1 м (рис. 42).

Пропашные культуры. Учитывают урожай этих культур, как правило, сплошным методом, взвешивая урожай с каждой делянки непосредственно в поле, сразу после уборки. При значительной загрязненности клубней и корней необходимо брать пробы весом по 20 кг для установления количества приставшей почвы. Отоб-

ранные клубни (корни) взвешивают до и после отмычки и обсушки. Эти пробы можно использовать затем для определения качества продукции. Например, для картофеля очень важно знать товарность урожая, т. е. процент мелких, средних и крупных клубней, содержание в них крахмала, пораженность болезнями, вкусовые качества; для корнеплодов — средний вес корня, содержание сухих веществ и сахара, процент больных и здоровых корней и т. п. В опытах с кукурузой очень важное значение имеет показатель вызреваемости початков в различных вариантах опыта, средний вес початка, вес 1000 зерен, соотношение веса стеблей, листьев и початков; в опытах с подсолнечником — содержание жира в семенах и лущистость семян.

Косвенные методы учета урожая пропашных культур (методы пробных площадок, полос, борозд, гнезд или отдельных растений) очень неточны и в основных опытах не должны применяться. Правильный учет урожая пропашных культур по пробным площадкам или отдельным растениям очень громоздок, и целесообразность использования этого метода будет оправдана лишь в тех случаях, когда опыт поставлен на очень крупных делянках и нет возможности своевременно и тщательно провести сплошной учет. Если исследователь все же применяет учет по пробам, его необходимо делать не как-нибудь, по 10—20 типичным растениям с делянки или 2—3 типичным площадкам, а так, чтобы учет давал возможность точно и объективно сравнивать варианты.

Следует указать, что при организации полевого опыта с пропашными культурами размер учетных делянок необходимо устанавливать в соответствии с требованиями точности исследования и техническими возможностями, позволяющими провести сплошной учет урожая. Увеличение размера учетной делянки свыше 400—600 кв. м и определение урожая на крупных делянках по данным 2—3 пробных площадок небольшого размера или по пробе, состоящей из 10—20 типичных растений, сильно снижают точность и достоверность результатов полевого опыта. Поэтому при планировании полевого опыта, направленного на выяснение причин явлений и установление различий в действии изучаемых факторов, экспериментатор должен принять все меры к повышению точности исследования. Это достигается постановкой опыта на оптимальных по размерам делянках, позволяющих нормально, высококачественно и одновременно проводить все сельскохозяйственные работы; правильным, свободным от субъективизма размещением вариантов опыта на участке; установлением достаточной повторности и сплошным учетом урожая. Условия проведения таких опытов (стационарное опытное поле, колхоз или совхоз) не могут служить причиной снижения требовательности к точности и объективности.

Методы поправок на изреженность посева. В опытах с редко стоящими растениями большое значение имеет учет влияния пустых мест (выпадов) на развитие соседних растений. Исследованиями установлено, что в посевах картофеля и сахарной свеклы выпад единич-

пах растений, если он произошел задолго до уборки урожая, увеличивает продуктивность граничащих с пустыми промежутками растений на 20—50% и необходимо использовать специальные методы, позволяющие элиминировать влияние изреживания на результаты опыта.

Применение поправок на изреживание допустимо, если выпадение растений не связано с изучаемым фактором и если оно не превышает 20%. Когда изреживание выше указанной величины, то выбраковывается вся делянка, а если выпало не более 4% общего числа учетных растений на делянке или если изреживание связано с изучаемым фактором, то поправок на изреженность не делают.

Чтобы исключить влияние пустых мест на результаты опыта и получить сравнимые данные, предложено несколько методов. Наиболее надежный из них заключается в том, что перед уборкой урожая подсчитывают число пустых мест и удаляют растения, граничащие с пустыми промежутками. Краевые растения возле пустых мест не удаляют только в том случае, если выпадения произошли непосредственно перед уборкой урожая и, следовательно, не могли оказать заметного влияния на соседние растения. Фактическую учетную площадь делянки рассчитывают по формуле:

$$S = (P - H) \Pi$$

где P — расчетное число растений на делянке;

H — число недостающих растений;

Π — площадь питания одного растения (в кв. м).

Пример. На делянке площадью 50 кв. м должно быть 250 растений картофеля. Выпало 20 кустов, а перед уборкой урожая удалено еще 30 кустов, граничащих с пустыми промежутками, т. е. всего на делянке недостает 50 кустов. Площадь питания 0,2 кв. м. Следовательно, учетная площадь делянки, с которой собран урожай, составит не 50 кв. м, а $S = (250 - 50) \cdot 0,2 = 40$ кв. м.

Другие методы поправок на изреженность менее точны, так как основаны на условных коэффициентах, величина которых может сильно меняться в зависимости от развития растений, плодородия почвы и т. п. Поэтому, применяя эти способы, необходимо всегда помнить о том, что можно получить сильно искаженные результаты. Рассмотрим наиболее распространенные методы.

При равномерном выпадении единичных растений допускается, что около половины площади пустых мест используется соседними растениями и компенсируется более высоким их урожаем. Поэтому в расчет принимается половина выпавших растений. Приведенный к сравнимому виду урожай, т. е. урожай, рассчитанный на определенную, например среднюю для опыта, густоту стояния растений, определяют по формуле:

$$Y = \frac{AP}{P - \frac{1}{2} H}$$

где A — фактический урожай с делянки;
 P — расчетное число растений на делянке;
 H — число недостающих растений.

Например, фактический урожай $A = 60,4$ кг с делянки; расчетное число растений $P = 140$; число выпавших растений $H = 20$. Приведенный урожай равен:

$$Y = \frac{60,4 \times 140}{140 - 20 : 2} = 65 \text{ кг с делянки.}$$

При другом способе фактический урожай приводят к расчетному числу растений по формуле:

$$Y = \frac{A + P\bar{x}}{2},$$

где A — фактический урожай с делянки;
 P — расчетное число растений на делянке;
 $\bar{x}$ — средний фактический вес одного растения.

Для примера, приведенного выше, где $A = 60,4$; $P = 140$ и $\bar{x} = 60,4 : (140 - 20) = 0,503$ кг, указанная формула дает следующий результат:

$$Y = \frac{60,4 + 140 \times 0,503}{2} = 65,5 \text{ кг с делянки.}$$

Совершенно очевидно, что наиболее точные и достоверные по существу результаты получаются в опытах с нормальным урожаем, а не исправленным тем или иным способом. Поэтому необходимо стремиться свести к минимуму те выпадения растений, которые не обусловлены изучаемым фактором.

ДОКУМЕНТАЦИЯ И ОТЧЕТНОСТЬ ПО ПОЛЕВОМУ ОПЫТУ

Для правильного объяснения результатов исследования, хранения и публикации экспериментальных данных необходимо регистрировать все проводимые на опытном участке агротехнические работы, учеты и наблюдения за условиями внешней среды и растениями. Экспериментальная работа требует строгой и объективной документации; здесь никогда нельзя полагаться на память.

Документация полевого опыта должна быть полной по содержанию, объективной, точной, своевременной, по возможности лаконичной и однотипной. Основу всего учета и отчетности составляет первичная документация. Первичным документом по каждому опыту служит дневник полевых работ и наблюдений. Дневник — это небольшая книжка-тетрадь, удобная для ношения в кармане или полевой сумке. В ней день за днем в хронологическом порядке, по соответствующим формам ведут все первичные записи непосредственно в поле, в молотильном сарае, в лаборатории, во время выполнения или тотчас же после окончания работ и наблюдений. Вспомогательными первичными документами считаются рабочие

тетради, где ведутся все необходимые пересчеты массовых наблюдений, анализов и учетов.

Записи в дневнике полевых работ и наблюдений следует вести простым карандашом (ни в коем случае химическим) и все поправки обязательно оговаривать.

Сводным документом, включающим основные сведения о программе, схеме опыта, методике исследования, сопутствующих условиях проведения опыта, записи всех агротехнических работ, обработанные результаты наблюдений, данные об урожаях, статистические критерии точности результатов исследования и другие сведения, необходимые для дальнейших обобщений, выводов и практических предложений, является журнал полевого опыта. Его своевременно заполняют темными чернилами на основе первичных документов и хранят в помещении. В журнале в наиболее удобной и понятной для других форме должен быть сосредоточен весь основной материал по полемому опыту. Это может быть сделано текстовым изложением, с помощью таблиц, графиков и уравнений.

В форме текста целесообразно излагать данные, содержащие сравнительно небольшой объем информации. Наибольшее распространение в опытной работе получил способ изложения результатов исследований в виде таблиц и графиков. Обычно данные любого эксперимента сначала табулируют, затем изображают графически и иногда в заключение представляют уравнениями.

Таблицы с экспериментальными данными отличаются простотой, компактностью и легкостью использования. Имеются три основных вида таблиц: вспомогательные, результативные и аналитические. Первые два вида таблиц составляют по мере накопления, группировки, разработки и статистического анализа экспериментального материала. Результативные таблицы, которые составляются на основе вспомогательных, должны как можно полнее отражать исследуемое явление. Они обычно довольно громоздки и служат источником дальнейшего анализа материала, построения аналитических таблиц, графиков и уравнений. Аналитические таблицы включают только данные, необходимые для дальнейшего анализа, по форме они должны быть компактными, наглядными, простыми и понятными. Такие таблицы обычно бывают в научных работах, монографиях, учебниках и руководствах.

Таблица должна иметь заголовок, который сжато и точно определяет ее содержание. Следует избегать таких фраз, как: «Таблица, показывающая зависимость между»... и т. п. Необходимый описательный материал можно поместить в виде отдельных предложений под названием таблицы или в примечании. В заголовке точно указывается место и время, к которым относятся приводимые данные. Заголовок таблицы может отсутствовать только тогда, когда ее содержание точно определено в тексте, непосредственно предшествующем таблице.

При составлении таблиц придерживаются правила, чтобы все клетки были заполнены цифрами или условными обозначениями.

Если отдельные данные отсутствуют, в клетках ставят тире (—), а не ноль (0), который означает, что соответствующие числовые данные равны нулю. Данные, полученные путем «восстановления», а также сомнительные данные заключают в скобки (...). Сокращениями или символами можно пользоваться только тогда, когда смысл их совершенно ясен. Числа в таблицах следует располагать так, чтобы запятые, отделяющие десятичные знаки, находились в каждой графе на одной вертикали.

Итоговые таблицы нужно обязательно сопровождать статистическими характеристиками. Эти показатели помещают в специальной строке внизу таблицы или в крайней правой графе, а иногда дают в примечании к таблице.

Графическое изображение данных имеет то преимущество перед табличным или текстовым изложением, что позволяет более наглядно выразить результаты экспериментальной работы. Оно облегчает сравнение величин, фиксирует внимание читателя, позволяет легко найти требуемые данные и удобно для хранения. Особенно большое значение графики имеют, когда показателей много, и их трудно наглядно представить в таблице. График позволяет легко обнаружить максимумы, минимумы, точки перегиба, наименьшую и наибольшую скорости изменения величин, периодичность или другие важные свойства данных, которые могут остаться незамеченными или могут быть выявлены лишь в результате очень тщательного рассмотрения табличных данных. При помощи графика особенно удобно выражать зависимость между двумя рассматриваемыми явлениями и находить ее математическое выражение.

Графическое изображение данных основано на принципах аналитической геометрии. Все измеримые величины могут быть представлены в геометрической форме длиной отрезка, площадью поверхности, объемом тела или величиной угла. Это, однако, не означает, что все данные нужно наносить на график. Таблицы обычно предпочтительнее графиков в тех случаях, когда возможны различные способы упорядочения полученных цифр. Для некоторых данных составление графика приводит лишь к потере времени и труда, тогда как для других, наоборот, отсутствие графика лишает возможность заметить важные соотношения.

В зависимости от назначения графики делят на две группы: иллюстративные и количественные. Цель иллюстративных графиков — дать качественную картину процесса или состояния, а количественные графики должны служить количественным инструментом в различных исследованиях. Часто одни и те же графики характеризуют и иллюстративную и количественную стороны, хотя обычно какая-нибудь из них преобладает.

Графическое изображение данных не ставит целью техническое выполнение рисунка, оно предназначается для лучшего понимания содержания изображаемых явлений и их анализа.

Как и таблицы, графики должны иметь сжатый, простой и точный заголовок, определяющий его содержание. Заголовок по-

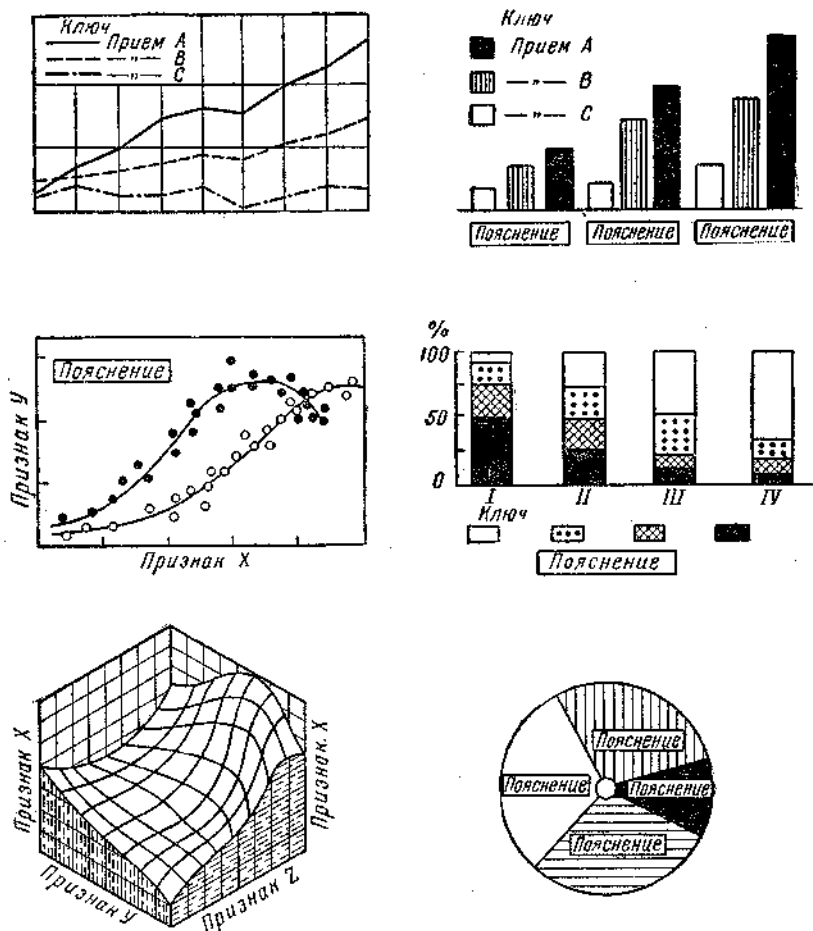


Рис. 43. Виды иллюстративных графиков и диаграмм.

мещают за пределами графического изображения над его верхним краем, а в печатной публикации — под нижним краем графика. Для подробного объяснения его содержания дают примечания, которые помещают за пределами графика, а также расшифровку (ключ) условных обозначений.

Выбор типа иллюстративного графика зависит от характера данных; но часто это бывает делом вкуса. На рисунке 43 показаны некоторые наиболее часто встречающиеся типы иллюстративных графиков и диаграмм.

Графики количественного типа обычно изображают в виде кривой зависимости между двумя переменными. Наиболее часто графики строят в прямоугольной системе координат с координатной

сеткой и координатными осями. Чтобы облегчить построение графика, используют бумагу, которая имеет уже разлинованную миллиметровую или полулогарифмическую сетку. При выборе формы графической сетки предпочтение чаще всего отдается прямоугольной форме перед квадратной. Прямоугольная сетка с большей шириной (широкая сетка) особенно хороша в том случае, если на горизонтальной оси дается большое число показателей и если между показателями по вертикали небольшая разница. Сетка с большей высотой (высокая сетка) удобнее при небольшом числе показателей, между которыми имеется большая разница.

Графики, дающие основания для ответственных выводов и рекомендаций, так же как и таблицы, должны сопровождаться текстовой или графической характеристикой существенности различий.

Многие научно-исследовательские учреждения для упорядочения и стандартизации учета и отчетности по полевым опытам имеют единые формы документации (полевые книжки, вспомогательные документы, журналы полевого опыта, отчетные карточки). Не имея возможности рассмотреть все разнообразие форм учета и отчетности, укажем на содержание основного сводного документа — журнала полевого опыта. В любом журнале обязательны записи, совершенно необходимые для понимания и дальнейшего обобщения результатов исследований.

1. Название, цели и задачи опыта.
2. Схема и план размещения опыта в натуре.
3. Характеристика и история участка (почва, предшественник, удобрение и т. д.).
4. Почвенная, агрохимическая, агрофизическая и другие характеристики участка.
5. Программа и методика исследований.
6. Перечень всех работ от уборки предшествующей культуры до уборки урожая в опыте (с указанием сроков, способов и качества выполнения).
7. Результаты всех анализов и наблюдений в виде таблиц, графиков и уравнений.
8. Результаты учета урожая: а) по делянкам, б) в переводе на гектар, в) приведенного к стандартной влажности.
9. Результаты статистической обработки урожаев и важнейших анализов.
10. Предварительные выводы и предложения.

Заключительный этап экспериментальной работы — ее литературное оформление в виде научного отчета, статьи, дипломной или диссертационной работы и передача научного достижения для внедрения в производство. В зависимости от качества и объема всей предшествующей работы, от имеющегося опыта и ряда других обстоятельств этот этап имеет различную степень трудности. При окончательном литературном оформлении результатов научного исследования иногда затрачивается много энергии из-за несоблюдения некоторых элементарных правил, предъявляемых к любому

печатному выступлению, например таких, как наличие ведущей идеи, фактическая достоверность, логическая последовательность, ясность, краткость и убедительность изложения. В научном произведении необходимо сказать о многом в немногих словах. Так, Ч. Дарвин впервые опубликовал эволюционную теорию всего на четырех страницах, а А. Эйнштейн представил в Прусскую академию наук итоги своей десятилетней работы по теории относительности, составляющей основу современной физики, на пяти страницах.

Процесс литературного оформления результатов полевого опыта, т. е. описание научно-исследовательской работы, изложение оригинальных мыслей автора в их логической последовательности, включает мобилизацию, отбор материала и его группировку для решения изучаемого вопроса и непосредственное написание научного произведения. Без оригинальных мыслей не может быть научного произведения.

На основании всего имеющегося у исследователя материала составляется отчет или статья, дипломная или диссертационная работа и т. п., которые включают обычно следующие основные разделы.

1. Цель и значение исследования.
2. Краткая история вопроса.
3. Схема, методика и условия эксперимента.
4. Результаты экспериментальной работы.
5. Выводы и практические предложения.
6. Список использованной литературы.

Подводя итоги опытной работы за год и особенно за несколько лет, необходимо пользоваться простыми таблицами и диаграммами. Слишком много данных в таблице или кривых на диаграмме свидетельствуют обычно о недостаточной проработанности экспериментального материала и вызывают опасность, что их прочтут и тем более поймут лишь немногие. Непременное требование к экспериментальным данным, которые излагаются в результативной части, — их точность и достоверность. Никакое многословие, ссылки на гипотезы и авторитеты не могут заменить строгие объективные статистические критерии точности и существенности. Без них научная ценность и практическая значимость опытных данных очень сомнительны. В связи с этим уместно напомнить, что наука только тогда совершенствуется, когда она использует математику.

Дальнейшее развитие научной агрономии немыслимо без широкого применения тех или иных математических методов анализа. Так, только математическая обработка результатов полевого опыта дает возможность проверить, насколько хорошо полученные данные соответствуют рабочим гипотезам, без нее оценка экспериментальных данных не может привести к объективным выводам, а рождает лишь бесконечные дискуссии. Планирование эксперимента в соответствии с современными методами математической статистики позволяет получить более достоверные данные с минимальными затратами средств и труда. Отсутствие критериев точности и суще-

ственности в результативной части даже и очень оригинального исследования лишает читателя возможности правильно понять и интерпретировать данные эксперимента.

Введение (вступление) к научному произведению, где обычно указывается цель исследования, обоснование и практическое значение, рекомендуется писать после оформления работы в целом, когда содержание ее получило достаточную ясность. В самом конце написания работы формулируется и окончательное заглавие ее. Идеальным надо считать такое заглавие, которое точно отражает содержание, главные достижения и притом по возможности не расширяет и не суживает рамки, в которые укладывается это содержание. Заглавие должно быть интересным, привлекать внимание читателя, а не звучать трафаретно, например «Некоторые вопросы агротехники»... или «Некоторые вопросы биологии...» В то же время оно должно отражать самую сущность исследования, не обещая больше того, что дает работа. Если к тому же добавить, что заглавие должно быть кратким, то станет ясно, что над его формулировкой надо основательно поработать.

В конце научного произведения помещают список использованной литературы, в который включают фамилии авторов, чьи произведения использовались в подлинниках, по рефератам или цитатам из других работ. В этом отношении должна быть проявлена полная добросовестность исследователя. Указывать в списке литературы источники, на которые нет ссылок в тексте, по меньшей мере бессмысленно, а включение работ, которые известны автору только по названиям, имеет лишь один смысл обмануть читателя, показать свою ложную ученость.

Литературно оформленное научное произведение — отчет, статья, диссертационная, дипломная или другая научная работа — прежде всего обсуждается на совещании специалистов того учреждения, где непосредственно проводились исследования. На этом совещании должны быть всесторонне продуманы и приняты решения о научной и практической ценности исследования, необходимости его более широкой пропаганды (если оно одобрено) и намечены организационно-технические меры по внедрению научного достижения в производство.

Развитие сельского хозяйства, повышение урожаев культурных растений немыслимо без широкого внедрения достижений науки в производство. Печатная, устная, наглядная пропаганда, т. е. комплекс материально-технических и организационных мер, направленных на коренное улучшение экономики сельского хозяйства, составляет неотъемлемую часть научной организации производства. Наибольший технико-экономический эффект от внедрения научных достижений получается в том случае, когда в каждом хозяйстве оно ведется планомерно, систематически, в творческом содружестве с научно-исследовательскими учреждениями. Необходимо широкое развитие опытной работы в местных условиях, систематическое изучение и тщательный отбор руководителями и специалистами

сельского хозяйства для практического внедрения тех научных достижений и передового опыта, которые не противоречат современным научным представлениям и не вызывают сомнения в их достоверности.

Следует указать, что нередко передовой опыт или противопоставляют науке, или недооценивают. Обе точки зрения ошибочны. Что такое передовой опыт? Это наилучшие достижения практиков, добившихся высоких хозяйственных результатов. Знакомство с работой передовиков неизбежно свидетельствует, что их успехи корнями уходят в научную агрономию. Существует лишь два источника, из которых лучшие, инициативные люди практики получали свои знания, залог своих успехов: либо от специалистов сельского хозяйства (агрономов-производственников или научных работников), сообщавших им нужный комплекс познаний, либо непосредственно из научной агрономической литературы. Следовательно, передовой опыт — это результат умелого внедрения в производство научных достижений в конкретных природных и хозяйственных условиях. Следует, однако, отметить, что не всякое достижение высоких хозяйственных показателей можно считать передовым опытом, заслуживающим изучения и внедрения. Так, нередко ряд фактов в деятельности передовиков не получает научного обоснования, а временные успехи случайны: они обусловлены какими-либо особыми условиями или представляют результат неимоверных затрат.

Подобно тому, как данные любого эксперимента без указания условий их получения и характеристики точности и достоверности не могут считаться убедительными, так и практическая ценность достижения передовиков для других хозяйств до тех пор, пока они не будут поняты и научно обоснованы, сомнительна. Поэтому при изучении передового опыта необходимо главное внимание обращать не на то, что сделано, а на то, как, каким образом это достигнуто. Если не ясно, как получены высокие хозяйственные показатели, то не может быть и объективных оснований для пропаганды и тем более использования опыта в других хозяйствах.

§ 5. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОЛЕВОГО ОПЫТА ПРИ РАБОТЕ С ОТДЕЛЬНЫМИ КУЛЬТУРАМИ

ОПЫТЫ НА СЕНОКОСАХ И ПАСТИЩАХ

При закладке опытов на естественных сенокосах и пастбищах особенно важно правильно выбрать типичный для данной зоны и однородный по истории, почвенному покрову и растительности опытный участок. Чтобы установить степень однородности участка, наиболее правильно определить размер, форму и систему расположения делянок, необходимо оценить исходное состояние травостоя участка детальным геоботаническим картированием, детальным учетом урожая и учетом ботанического состава. Знание ботани-

ческого состава и исходного состояния травостоя позволяет в дальнейшем правильно оценить действие агротехнических мероприятий, проведенных во время опыта.

Картирование и последующий дробный учет урожая целесообразно проводить небольшими площадками размером 10—20 кв. м. Границы площадок выделяют весной и по углам их забивают колышки. Перед скашиванием на каждой площадке отмечают преобладающие растения, высоту их, полноту травостоя и т. д. После скашивания траву взвешивают отдельно на каждой площадке. Для определения усушки одновременно со взвешиванием берут одну пробу весом 1 кг с каждых 5—10 площадок. Если учетные площадки сильно различаются по составу травостоя, то пробы на усушку берут с каждой площадки отдельно.

После определения урожая сухой массы (сена) полученные данные наносят различной штриховкой на план участка. План дает хорошее представление об однородности сенокоса или пастбища и позволяет выделить подходящие для закладки опытов участки и забраковать места, резко отклоняющиеся по урожайности и составу травостоя. Соответствующей комбинацией учетных площадок и последующей статистической разработкой данных дробного учета вычисляют необходимую повторность при различной величине, форме и системе расположения делянок. Для разработки методики будущего опыта целесообразно использовать метод наложения условных опытов на данные дробного учета с последующей оценкой точности опыта методом дисперсионного анализа.

Если дробный учет урожая естественных сенокосов и пастбищ, выделенных для закладки опытов, не проводится, то необходимы более детальное почвенное обследование, геоботаническое картирование и глазомерная оценка исходного состояния травостоя. Учет исходного состояния травостоя за один-два года до закладки опытов дает уверенность в достоверности исследований по существу и является обязательным условием правильной организации опытной работы с многолетними растениями.

Размеры учетных делянок в опытах на сенокосах определяются целями и задачами исследования, однородностью и площадью опытного участка, применяемой техникой и др. Практика показывает, что в большинстве случаев хорошие результаты получаются при работе на делянках с учетной площадью 50—100 кв. м при 4—6-кратной повторности. В ряде случаев учетную площадь можно уменьшить до 20—25 кв. м при не менее чем 6-кратной повторности. Дальнейшее уменьшение площади делянок, например до 10 кв. м, возможно на участках с выравненным по составу травостоем. Если травостой недостаточно выравнен, то при небольшой площади делянки состав урожая на ней будет сильно отличаться от среднего состава растительного покрова на всем опытном участке. Нецелесообразно также выделять чрезмерно большие делянки, так как в этом случае очень трудно, а часто просто невозможно выбрать достаточно большой и однородный опытный участок.

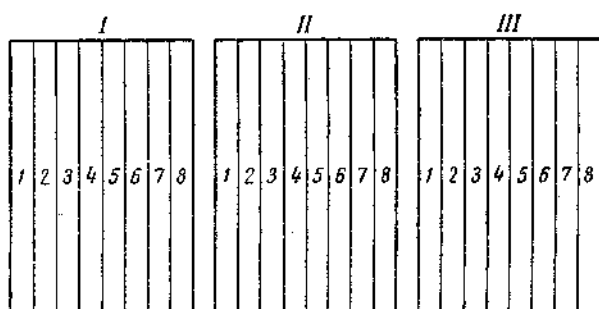


Рис. 44. Схема расположения опыта методом развернутой загонной системы:

I, II, III — варианты опыта; 1, 2, 3... 8 — загоны.

Планируя закладку опытов на сенокосах с применением машин (сеялок, косилок, фрезы и др.), необходимо, чтобы ширина делянок была кратной ширине их захвата, а площадь позволяла нормально проводить все работы. В этом случае размер делянки может достигать 300—500 кв. м и более. Что касается методов расположения вариантов по делянкам опыта, то здесь нет каких-либо специфических особенностей, и, планируя опыт, необходимо основываться на общих положениях методики, изложенных ранее.

Урожай в опытах на сенокосах учитывают сплошным методом. Траву скашивают косой или косилкой (удобны малогабаритные фронтальные мотокосилки) на высоте 6—7 см и, если позволяют условия, высушивают на делянках. Сено с каждой делянки взвешивают; для ботанического анализа с разных мест набирают среднюю пробу весом около 0,5 кг. В районах с неустойчивой погодой траву взвешивают сразу же после скашивания, а для определения урожая сена и ботанического анализа одновременно со взвешиванием с каждой делянки отбирают среднюю пробу (сноп) весом 1—2 кг. Зная вес травы при учете, вес средней сырой и воздушносухой пробы, вычисляют урожай сена с делянки в пересчете на 1 га.

Для проведения опытов с выпасом скота требуется значительная площадь однородного пастбища и достаточное количество подопытных животных. В результате часто приходится проводить исследования по упрощенной схеме и с ограниченной повторностью, а при изучении отдельных вопросов допускать имитацию выпаса, срезая растительную массу подобно стравливанию.

В зависимости от имеющихся возможностей и характера изучаемого вопроса Всесоюзный институт кормов рекомендует использовать следующие основные методы постановки опытов на пастбищах.

1. Метод развернутой загонной системы. Каждый вариант опыта закладывают в пределах самостоятельного пастбища, разделенного на 6—8 загонов (рис. 44). Для каждого варианта (пастбища) выделяют группу подопытных животных. Например, для опыта из трех

вариантов требуется три отдельных пастбища и три аналогичные группы животных.

Достоинство этого способа заключается в том, что опыт проводится в условиях полного выпаса, и для учета продуктивности пастбища могут быть использованы два метода — зоотехнический и укосный.

Основной недостаток метода развернутой загонной системы — сложность и большая стоимость исследования, а поэтому его целесообразно использовать для изучения наиболее важных вопросов (нагрузка на пастбища, сроки пастбы, число загонов и др.) и ограничиваться включением в опыт не более 3—4 вариантов.

2. Метод одного загона на каждый вариант. Каждый вариант опыта имеет один пастбищный участок (загон), который используется одной группой животных. Для проведения опыта необходимо столько групп животных, сколько имеется вариантов. Однако площадь пастбища при этом методе по сравнению с методом развернутой загонной системы уменьшается в несколько раз, так как здесь для варианта выделяется всего один загон. Выпас скота на каждом загоне (варианте) зависит от состояния травостоя. В промежутках между стравливанием опытные группы животных пасутся в общем стаде. Продуктивность пастбища учитывают укосным методом; зоотехнический метод оценки неприменим.

3. Метод внутризагонного размещения всех вариантов опыта. Опыт может быть развернут как на одном, так и на нескольких загонах. В каждом загоне должен быть полный набор всех вариантов опыта (рис. 45). Таким образом, здесь требуется только одна группа подопытных животных. Продуктивность пастбища в зависимости от вариантов учитывают укосным методом. Срок стравливания загона определяют по состоянию травостоя в большинстве вариантов опыта. Основной недостаток метода — одновременное для всех вариантов стравливание, так как это может неблагоприятно отразиться на травостое некоторых вариантов.

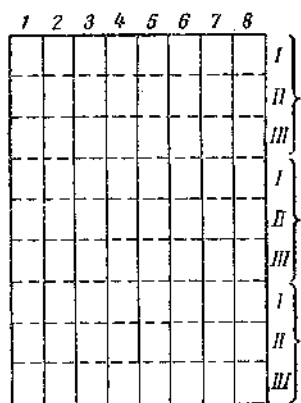


Рис. 45. Схема расположения опыта методом внутризагонного размещения всех вариантов:

А, Б, В — повторения; I, II, III — варианты опыта; 1, 2, 3 ... 8 — загоны.

Методом внутризагонного размещения всех вариантов можно заложить опыты и на производственных пастбищах, используемых по загонной системе. Все варианты опыта могут размещаться во всех загонах или, например при ограниченном количестве семян, удобрений и т. п., только в некоторых загонах пастбища.

При постановке опытов на пастбищах большое значение имеют подбор животных, количество их в группе, величина опытного пастбища и число загонов.

Особенно тщательно необходимо подбирать животных при проведении опытов методом развернутой загонной системы. Здесь по существу имеется уже зоотехнический научно-хозяйственный опыт, который проводится в обстановке типичного животноводческого производства. Он дает возможность количественно оценить действие изучаемых факторов на хозяйственно полезные качества животного — продуктивность, поведение, здоровье и др. Эти качества очень вариабельны, и необходимо иметь определенный минимум животных в сравниваемых группах (вариантах), чтобы сделать правильный вывод по результатам опыта.

Животные в сравниваемых группах должны быть одного пола и породы, с одинаковым предыдущим уходом и содержанием. Число подопытных животных в группе зависит от степени колебаний основных признаков (продуктивности, живого веса и др.) и от возможностей исследователя. Чем больше сходство отобранных для опыта животных, тем меньше их можно включать в группу. Как минимум в группе должно быть не менее 8 взрослых молочных коров; нетелей и сухостойных коров, быков, лошадей и свиней — 20; овец и коз — 50.

Для подбора животных в группы используют метод аналогов. Сущность его заключается в том, что в стаде отбирают сходных, аналогичных животных по числу групп и распределяют их по одному в каждую группу под одним и тем же порядковым номером. Например, если планируется использовать для опыта три группы животных, то отбирают по три особи, аналогичных по возрасту, живому весу, продуктивности и другим признакам, и по одной из них (путем рендомизации) размещают в каждую группу под порядковыми номерами: 1—1—1, 2—2—2, 3—3—3, 4—4—4 и т. д.

Между аналогами допускается разница в 8—10% в живом весе, удоях, шерстности и до 5% в возрасте. Различия между животными по указанным признакам в пределах группы допускаются в 2—3 раза больше, чем между аналогами.

Перед началом опыта по методу развернутой загонной системы необходим так называемый уравнительный период, когда все группы скота содержатся при одинаковом типе кормления. Продолжительность уравнительного периода должна быть не менее 20—30 дней, из которых последние 6—10 дней — учетные. Этот период необходим для выяснения аналогичности животных по группам и внесения соответствующих корректив в подбор особей. Если будет обнаружено недопустимое расхождение животных по основным признакам в аналогах, то особь с сильно отклоняющимся признаком удаляют из группы и заменяют другой, более подходящей.

Площадь опытного пастбища определяют на основании урожайности и суточной потребности в корме подопытных животных. Кроме того, при всяком опыте на пастбище надо иметь резервные участки, на которые перегоняют животных, если на опытном пастбище в течение некоторого времени нельзя пасти скот. Опытное пастбище делят на загоны, количество которых определяется типом

пастбища и задачами опыта. При закладке опытов на естественных и многолетних сенокосных пастбищах выделяют обычно 8—12 загонов, которые огораживают электроизгородью.

Опыты на пастбищах можно закладывать и без выпаса скота. В этих случаях результаты опытов не будут соответствовать показателям продуктивности пастбища при выпасе, но их можно использовать для сравнительной оценки изучаемых вариантов, особенно на первых этапах исследования. Учитывают урожай в опытах без выпаса скота укосным методом, срезая травостой косилкой, косой, овечьими ножницами в период пастбищной спелости. На высоко-травных пастбищах траву срезают на высоте 5—6 см, а на низкотравных — 3—4 см от земли.

Для учета урожайности (продуктивности) пастбища в условиях непосредственного выпаса скота применяют два метода — укосный и зоотехнический.

Сущность укосного метода учета урожайности пастбища состоит в том, что перед каждым очередным стравливанием определяют количество травы основного запаса или отавы. Для этого в различных местах загона косой скашивают траву на 4—8 учетных площадках размером не менее 2,5 кв. м ($1 \times 2,5$ м). Скошенную массу тотчас же взвешивают и отбирают из нее среднюю пробу 1 кг для определения усушки. После стравливания учитывают остатки травы в загоне, скашивая ее на таком же количестве учетных площадок, что и перед выпасом, но в других местах. Определение остатков травы после стравливания дает возможность установить полноту (%) использования травостоя и рассчитать фактический рацион животных — количество травы, съеденной ими за время выпаса на данном загоне. При каждом цикле стравливания учетные площади закладывают на новых местах. Урожай пастбища выражают в центнерах с 1 га воздушносухой массы или в количестве кормовых единиц, переваримого белка, протенна, используя переводные показатели.

Для учета урожайности (продуктивности) пастбища зоотехническим методом необходимо определить общее количество кормовых единиц, которые получают с 1 га пастбища за время выпаса в виде животноводческой (молока, мяса, прироста живого веса, шерсти и др.) и дополнительной продукции (сена, травы). Чтобы получить материалы, необходимые для расчета продуктивности пастбища, надо систематически вести дневник по учету производства молока, журнал живого веса животных, иметь точные сведения о подкормке животных и о дополнительной продукции, полученной с пастбищ в виде сена или травы. Используя эти документы и нормативы по расходу кормовых единиц на единицу продукции (на 1 кг молока, 1 кг привеса и т. д.), определяют продуктивность пастбища в килограммах кормовых единиц с 1 га.

Продуктивность пастбища, выраженная в кормовых единицах с гектара, и есть основной итоговый показатель, который позволяет сравнить изучаемые варианты с контролем и между собой. Для

оценки результатов опыта необходимо также воспользоваться сравнением данных по живому весу, молочной продуктивности и другим показателям в опытных группах животных. Для статистической оценки результатов опыта с пастьбой скота, особенно при работе с группами животных, подобранных по принципу аналогов, необходимо использовать дисперсионный анализ.

Опыты на сенокосах и пастбищах сопровождаются наблюдениями за растениями и факторами внешней среды. Объем наблюдений определяется задачами и характером экспериментальной работы, а также имеющимися возможностями. Важно фиксировать фазы развития растений, вести наблюдения за метеорологическими условиями, динамикой влажности почвы, ботаническим составом, учитывать динамику запаса кормовой массы, поедаемость растений животными и др.

ОВОЩНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Методика опытов в овощеводстве с культурами открытого грунта имеет много общего с опытами в полеводстве. Особенности методики определяются главным образом большим разнообразием растений и требуют большей дифференциации размера делянки, способов учета и оценки качества урожая.

Опыты с овощными культурами закладывают на достаточно окультуренных и более выравненных по плодородию участках, чем опыты в полеводстве. Это позволяет применять делянки меньшего размера, что имеет большое значение для работы с более трудоемкими овощными культурами.

Минимальная площадь делянки полевого опыта с овощными культурами определяется главным образом числом растений, при котором индивидуальные различия между ними не будут оказывать существенного влияния на точность эксперимента. В большинстве случаев считается достаточным иметь не менее 80 учетных растений на делянке.

Для основных овощных культур при закладке опытов в открытом грунте на выравненном опытном участке и посеве выравненными семенами следует считать вполне достаточными следующие размеры учетных делянок (в кв. м).

Редька, редис	5—10
Лук, морковь, петрушка, горох, перец	10—30
Огурцы, капуста, томаты, баклажаны, свекла	20—50
Арбузы, дыни, тыква	100—150

Практика опытной работы с овощными культурами показывает, что при 4—6 повторностях и указанных размерах учетной делянки получается обычно вполне удовлетворительная для полевого опыта точность в пределах 2—4%. Эти размеры делянок и принимают чаще всего для агротехнических опытов с овощами. Если проводят опыты с использованием машин, например для обработки почвы, механической посадки рассады, ухода за растениями, уборки

урожая и др., площадь делянок должна быть достаточной для применения механизации.

Наиболее приемлемая форма делянок при работе с овощными культурами прямоугольная с соотношением сторон от 1 : 2 до 1 : 5, а при использовании механизации — с соотношением между шириной и длиной около 1 : 10. Квадратные делянки используются при закладке опытов методом латинского квадрата, а также в опытах по изучению химических средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, где может быть сильное влияние смежных вариантов друг на друга.

Число повторностей устанавливают в зависимости от выравнивания земельного участка, требуемой точности и метода закладки опыта. Чаще всего опыты с овощными культурами закладывают в 4—6-кратной повторности. При большой пестроте опытного участка число повторностей и размеры учетных делянок следует увеличивать. Минимальная повторность в опытах, проводимых для разработки новых приемов возделывания, сравнительной оценки сортов и гибридов, 4-кратная. Для рекогносцировочных и демонстрационных опытов допустима 2—3-кратная повторность.

В овощеводстве применяют те же методы размещения опытов, как и в полеводстве: случайные, систематические и стандартные. Основные полевые опыты с овощными культурами необходимо, как правило, закладывать случайными методами, которые позволяют получить наиболее достоверные сведения об изучаемом факторе. Наиболее широко распространен в нашей стране пока шахматный метод с систематическим расположением вариантов в каждом ряду (ярусе). При работе с небольшими делянками и особенно на недостаточно выровненных участках целесообразно использовать метод латинского квадрата и латинского прямоугольника. Латинский квадрат применяют в опытах с 4—6, а латинский прямоугольник с 8—16 вариантами. Опыты с большим числом изучаемых вариантов (16 и более) рекомендуется закладывать методом решетки.

Особого внимания требует постановка опытов в условиях защищенного грунта. Необходимо принять все меры к тому, чтобы сравниваемые варианты имели одинаковые неизучаемые условия (температура, освещенность, водный режим и т. п.), которые оказывают особенно большое влияние на варьирование урожая, так как сильно отличаются в отдельных частях теплицы, парника или утепленного грунта. При расположении вариантов на опытных делянках защищенного грунта следует полностью исключить субъективизм в размещении опыта и использовать для этой цели метод рендомизации.

Размер учетной делянки в защищенном грунте чаще всего 4—10 кв. м при 4—6-кратной повторности одноименных делянок. В опытах с крупными растениями (томаты, огурцы, дыни и др.) размер делянок равен 8—10 кв. м; для этих же культур при проведении опытов с формированием вегетативных органов площадь

делянки можно уменьшить в два раза, до 4—5 кв. м. При постановке опытов с мелкими растениями (редис, салат, рассада, выгоночные культуры и др.) деланки уменьшают до 2 кв. м.

При работе с овощными культурами большое внимание следует обратить на семена, посев и посадку. Для посева необходимо использовать только однородные семена известного происхождения и одной и той же репродукции. Густота посева, если она не является изучаемым фактором, должна соответствовать принятой в практике овощеводства данной зоны. На всех деланках должно быть гарантировано установленное схемой опыта число растений, а в случае необходимости следует проводить прореживание посевов после всходов.

Рассаду для опыта надо выращивать в одинаковых условиях, а высадку ее проводить равномерно на всем опыте и по возможности в минимально короткий срок. Известно, что рассада, высаженная в жаркую погоду во второй половине дня, может развиваться иначе, чем рассада, высаженная утром. Поэтому очень важно спланировать работу по высадке рассады так, чтобы влияние времени посадки было во всех вариантах опыта одинаково.

Размеры защитных полос в опытах с овощами устанавливают в зависимости от темы опыта, методики его закладки и площади питания опытных растений. Чем сильнее предполагаемые различия в росте и развитии растений на изучаемых вариантах, тем больше должны быть и боковые защитные полосы. При минимальных различиях рекомендуется в качестве боковых, разделительных, защитных полос выделять 1—2 рядка растений, а при сильных различиях (опыты с удобрением, обработкой почвы, предшественниками и т. д.) — не менее 2—4 рядков. В опытах по орошению защитные полосы между соседними деланками увеличивают до 3 м и более.

В опытах с овощами все работы по уходу следует проводить в оптимальные сроки, тщательно, на высоком агротехническом уровне с учетом новейших достижений агрономической науки и практики.

Наблюдения в период вегетации. Во всех опытах с овощами важно регистрировать фазы развития растений, учитывать общее состояние посевов, поражение растений болезнями и повреждение вредителями. В течение вегетационного периода по каждому варианту опыта отмечают время наступления следующих фаз.

Капуста: посев, всходы, пикировка, высадка в грунт, начало образования кочанов, техническая спелость у 10, 30 и 75% кочанов, дата каждого сбора.

Огурцы: посев, всходы, начало цветения мужских и женских цветков, появление молодых завязей (пуплят), даты всех сборов урожая.

Томаты: время посева, всходы, пикировка, высадка в грунт, начало цветения первой кисти, появление первых плодов розовой, бланжевой окраски (в зависимости от района), спелость, даты всех сборов урожая.

Свекла, морковь, репа, редька и редис: посев, всходы, начало пучковой спелости, стрелкование, начало технической (товарной) спелости, дата уборки.

Лук и чеснок: посев (посадка), всходы, стрелкование (сильное, среднее, слабое), полегание пера (единичное, массовое), дата уборки и взвешивания урожая, количество дней дозаривания.

Бахчевые (арбуз, дыня, тыква, кабачки): посев, всходы, цветение мужских и женских цветков, время созревания единичных плодов, даты всех сборов урожая. Отмечают также время наступления первого заморозка, вызвавшего гибель бахчи.

Анализ состояния растений при работе с овощными культурами надо проводить внимательно и детально. Здесь часто бывает необходимо:

1) определить жизнеспособность набухших семян: жизнеспособные семена при раздавливании ногтем или разрезании ножом имеют консистенцию содержимого нормальной плотности; нежизнеспособные, начавшие гнить семена имеют водянистую консистенцию;

2) выяснить причины недостаточной густоты стояния всходов (мешает почвенная корка, недостаток тепла или влаги, глубокая заделка семян, болезни и вредители);

3) установить причины выпada высаженной рассады;

4) провести полевую диагностику недостатка или избытка отдельных элементов питания.

При недостатке азота растения имеют желтоватый цвет, листья плохо растут, при избытке азота у растений мощная зеленая листва и большие толстые стебли. Характерными признаками недостатка фосфора и калия является сероватый цвет и карликовый вид растения. При недостатке железа и избытке карбонатов магния, кальция, натрия и калия наблюдается хлороз и пожелтение листьев. Резкий недостаток калия и магния сопровождается преждевременным опадением листьев; недостаток кальция — крапчатым пожелтением их.

Общую оценку состояния посевов овощных культур проводят глазомерно на всех делянках опыта, приурочивая ее к определенным фазам. Результаты оценки выражают в баллах. Балл 5 означает отличное состояние посевов, 4 — хорошее, 3 — удовлетворительное, 2 — плохое, 1 — очень плохое, 0 — полная или почти полная гибель растений на делянке. Для оценки состояния посевов по варианту в целом отдельные баллы по повторным делянкам суммируют и сумму делят на число повторностей (оценок).

Кроме регулярных наблюдений за состоянием растений, важно проводить оценку посевов после резкого проявления неблагоприятных факторов (заморозков, суховея, града, ливней, массового повреждения).

Уборка и учет урожая. Урожай овощных культур с опытных делянок убирают вручную. Предварительно точно фиксируют и измеряют выключки, убирают овощи с них и с защитных полос и удаляют их с опытного участка.

Урожай учитывают сплошным методом, взвешивая овощи со всей учетной делянки. Урожай многосборовых культур (огурцы, томаты, баклажаны, перцы, раннеспелая, среднеспелая и цветная капуста, фасоль, горох и бобовые) убирают регулярно при наступлении технической спелости, не допуская перезревания и огрубения продукции. Односоровые культуры (лук, корнеплоды, среднепоздняя и поздняя капуста, тыква и др.) убирают в один прием и чаще всего одновременно на всех делянках опыта или на всех делянках целых повторений.

При уборке и учете урожая овощных культур следует придерживаться требований, установленных Государственными стандартами, по подготовке их к реализации: например, зачистка кочанов капусты от наружных листьев и кочерыг, обрезка листьев у цветной капусты, очистка корнеплодов от ботвы и т. п. Всю валовую продукцию делят на две группы: товарную и нетоварную.

Убранный и подготовленный к реализации продукт должен быть взвешен поделочно в день уборки, и только лук-репку взвешивают после просушки луковиц в валках или в закрытых протвитаемых помещениях.

Для оценки качества урожая овощных культур с каждой делянки или с делянок четных или нечетных повторений отбирают средние пробы (выборки) из товарной части продукции и (в зависимости от культуры, цели и задачи исследования) определяют средний вес единицы продукции (кочана, плода, корнеплода и т. д.), вкусовые и засолочные качества, лежкость при зимнем хранении, содержание сухих веществ, сахаров, витаминов и пр.

Вкусовые качества овощей устанавливают закрытой дегустацией (овощи с различных вариантов представляют дегустаторам под номерами) в свежем, вареном и засолочном виде, в зависимости от культуры. Вкус оценивается по пятибалльной шкале: балл 5 — очень вкусный, 4 — вкусный, 3 — средневкусный, 2 — невкусный, 1 — очень невкусный. Средний балл подсчитывают, как обычную среднюю арифметическую из всех оценок, данных дегустаторами. Желательно, чтобы в дегустации принимало участие не менее пяти человек.

Рассмотрим кратко некоторые особенности учета урожая и оценки качества продукции основных овощных культур.

Огурцы. При каждом сборе огурцы сортируют на стандартные (товарные) и нестандартные (уродливые, крючки, больные, желттики и прочих брак) и взвешивают их отдельно.

В период массового плодоношения определяют средний вес одного плода и вкусовые качества огурцов.

Для определения среднего веса одного плода подсчитывают количество товарных плодов на делянке опыта. Делением веса товарных плодов на число их вычисляют средний вес одного плода. При работе на больших делянках средний вес плода определяют по пробе в 5—10 кг.

Вкусовые достоинства огурцов оценивает дегустационная комиссия, состоящая не менее чем из пяти человек. Огурцы дегустируют в свежем виде без хлеба и соли. Плоды с различных вариантов опыта дают членам комиссии под номерами. По каждому варианту берут не менее пяти товарных плодов одинаковой спелости, нарезают их поперечными кружочками и дают на пробу дегустаторам, которых заранее знакомят с системой оценки вкусовых качеств, и раздают им дегустационные карточки, куда они заносят свои оценки.

Вкусовые качества огурцов оценивают по пятибалльной шкале; консистенцию мякоти плодов — по трехбалльной. Балл 5 — очень вкусные плоды, 4 — вкусные, 3 — средневкусные, 2 — невкусные, 1 — очень невкусные. Баллом 3 отмечают плотную мякоть, баллом 2 — промежуточную и баллом 1 — дряблую. Отмечают также плоды с горечью, специфическим запахом, особой водянистостью и т. п. На основе оценок дегустаторов дается средняя оценка плодов по каждому варианту опыта или сорту.

В итоге исследователь должен иметь следующие показатели: 1) общий урожай всех сборов; 2) урожай товарных плодов; 3) процент товарных плодов от общего урожая; 4) средний вес одного товарного плода; 5) вкусовые достоинства.

Томаты. В зависимости от зоны выращивания томатов плоды убирают в красной, розовой, бурой, бланжевой или зеленой съемной спелости. При каждом сборе плоды сортируют на стандартные (товарные) и нестандартные (брак) и взвешивают отдельно. К нестандартным плодам относят уродливые, треснувшие, больные, поврежденные вредителями, с ожогами и прочий брак. При последнем сборе отдельно учитывают плоды в съемной спелости и зеленые плоды, годные для дозаривания и засолки. Нестандартные зеленые плоды не учитывают. Во время каждого сбора определяют средний вес стандартных плодов по пробе в 5—10 кг. В период массового плодоношения дегустацией оценивают вкусовые качества плодов.

Вкусовые качества плодов определяют по вариантам опыта (сортам) в период массового плодоношения. Для дегустации берут пять стандартных плодов одинаковой спелости (по каждому варианту), разрезают и дают дольки дегустаторам. Каждый дегустатор пробует плоды без соли и хлеба и записывает оценку в заранее заготовленную карточку.

Плоды оценивают по пятибалльной шкале: 5 — очень вкусные, 4 — вкусные, 3 — удовлетворительные, 2 — невкусные, 1 — очень невкусные. При дегустации обращают внимание на нежность кожицы (нежная, средняя, грубоватая, грубая), мясистость плода (очень мясистый, среднемясистый), кислотность (сладковатый, пресный, кисло-сладкий, кисловатый, кислый) и резко выделяющиеся качества плодов (ароматичность, сочность, внешний вид и т. п.). Среднюю оценку плодов по варианту опыта (или сорту) дают на основании оценок отдельных дегустаторов.

В итоге необходимо иметь следующие показатели: 1) общий урожай; 2) урожай стандартных плодов в съемной спелости; 3) общий урожай стандартных плодов (сумма урожая плодов в съемной спелости и урожая зеленых стандартных плодов); 4) средний вес стандартных плодов; 5) вкусовые качества.

Капуста белокочанная. Ранние сорта капусты убирают в несколько сроков, поздние и среднеспелые сорта — один раз при массовом созревании кочанов и достижении ими технической спелости. Под технической спелостью понимают такое состояние кочана, когда он достаточно сформирован, плотный на ощупь и начинает белеть.

При уборке урожая кочаны срубают целиком с розеткой листьев; затем их очищают от розеточных листьев, оставляя только листья, плотно облегающие кочаны. Кочерыгу срезают на расстоянии 2 см от кочана. Для учета урожая очищенные кочаны разделяют на стандартные (товарные) и нестандартные (треснувшие, больные, поврежденные вредителями и прочий брак). Кочаны каждой группы пересчитывают и взвешивают отдельно. По пробе в 10 кочанов определяют средний вес товарных кочанов, высоту (H) и средний диаметр кочанов (D). По высоте и диаметру вычисляют средний объем кочанов по формуле эллипсоида вращения:

$$V = 0,5236 \cdot HD^2.$$

Плотность кочанов определяют органолептически по пятибалльной системе: 5 — очень плотный, 4 — плотный, 3 — среднеплотный, 2 — рыхлый, 1 — очень рыхлый.

Вкусовые качества определяют дегустацией капусты в сыром и вареном виде. С каждого варианта опыта капусту варят в отдельной посуде в подсоленной воде. Оценивают вкус капусты как в сыром, так и вареном виде по пятибалльной шкале.

В итоге исследователь должен иметь следующие показатели, характеризующие урожай и качество капусты: 1) сроки созревания; 2) общий урожай; 3) урожай стандартных кочанов; 4) процент стандартных кочанов от общего урожая; 5) средний вес и объем стандартного кочана; 6) среднюю длину наружной кочерыги; 7) плотность и вкусовые качества капусты.

Свекла, морковь, репа, редька. Для учета урожая выдернутые корнеплоды очищают от почвы и обрезают ботву. Затем корнеплоды сортируют на стандартные и нестандартные (треснувшие, больные, поврежденные вредителями, недогон, уроды, разросшиеся и прочий брак) и взвешивают отдельно.

Средний вес стандартного корнеплода вычисляют по пробе в 2—3 кг. Вкусовые качества оценивают дегустацией по пятибалльной шкале.

Морковь дегустируют в сыром и вареном виде, редьку и репу — только в сыром, а свеклу — только в вареном.

В итоге учета урожая необходимо иметь следующие показатели: 1) общий урожай; 2) урожай стандартных корнеплодов; 3) процент

стандартных корнеплодов от общего урожая; 4) средний вес одного стандартного корнеплода; 5) вкусовые качества.

Редис. Урожай убирают выборочно, по мере созревания корнеплодов. В каждый сбор корнеплоды сортируют на стандартные (товарные) и нестандартные (брак). К нестандартным корнеплодам относят треснувшие, пересохшие, больные, поврежденные вредителями и стрелкующие. После сортировки и взвешивания стандартных и нестандартных корнеплодов из товарной продукции отбирают среднюю пробу в 50 корнеплодов с каждой делянки, отрезают ботву и взвешивают. По их весу и общему числу корнеплодов при каждом сборе пересчитывают урожай стандартных корнеплодов в центнерах на 1 га и определяют средний вес товарного корнеплода по варианту (сорт). Полученные урожаи по всем сборам суммируют.

В итоге необходимо иметь следующие данные: 1) общий урожай корнеплодов; 2) урожай стандартных корнеплодов; 3) процент стандартных корнеплодов от общего урожая; 4) средний вес одного стандартного корнеплода.

Лук. Убирают лук при полегании и пожелтении пера, что является признаком формирования луковицы. Перед уборкой определяют фактическую густоту стояния растений, подсчитывая на каждой делянке количество растений на 8—10 пог. м, взятых ступенчато по диагонали в четырех местах делянки. Одновременно с подсчетом густоты определяют гнездность лука, учитывая количество растений с одной, двумя, тремя луковицами и т. д.

После выкопки лук оставляют для дозаривания на делянках или, если имеется опасность наступления ненастной погоды, свозят для дозаривания в закрытое, хорошо проветриваемое помещение. После дозаривания и обрезки засохшего пера и корешков лук сортируют и учитывают урожай: общий, товарный и нетоварный (невызревшие, больные, поврежденные, мелкие луковицы). Затем по средней пробе весом 1—2 кг определяют средний вес товарной луковицы.

Бахчевые культуры (арбузы, дыни, тыква, кабачки). Урожай убирают и взвешивают по мере наступления спелости плодов. Зрелые плоды при каждом сборе делят на товарные (стандартные) и нетоварные (треснувшие, уродливые, с ожогами, больные и поврежденные). Товарные плоды разбирают по наибольшему поперечному диаметру плода: арбузы — на крупные (от 25 см и выше), средние (20—25 см) и мелкие (15—20 см); дыни — на крупные (от 25 см и выше) и мелкие (от 12 до 25 см); тыкву — на крупные (от 30 см и выше) и мелкие (от 15 до 30 см).

Вкусовые качества бахчевых определяют дегустацией в период массового плодоношения. Кабачки и тыкву дегустируют вареными. Для дегустации арбузов и дынь с каждого варианта опыта (сорта) после взвешивания берут три свежесорванных плода, разрезают на сегменты и каждому дегустатору дают по сегменту. Вкусовые качества оценивают по пятибалльной системе.

Для окончательного вывода об урожае и качестве бахчевых необходимо иметь следующие показатели: 1) общий урожай; 2) урожай товарных плодов; 3) процент товарных плодов от общего урожая; 4) крупность плодов; 5) вкусовые качества плодов.

ПЛОДОВЫЕ И ЯГОДНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Специфика полевого опыта с плодово-ягодными культурами обусловлена их биологическими особенностями, из которых важное значение для правильного планирования, организации и проведения исследования имеют габитус, продолжительность жизни и широкая индивидуальная изменчивость многолетних деревьев и кустарников.

Материалы учета урожая в опытах с плодовыми, чайным кустом, цитрусовыми и виноградом, математически обработанные В. Н. Перегудовым, показывают, что вариабильность урожаев этих культур очень высока. При выращивании на одинаковой примерно площади (30—40 кв. м) коэффициент вариации изменялся от 13,7% для винограда до 81,3% для тунга (табл. 12).

Таблица 12

Коэффициент вариации урожаев у различных плодовых культур и чая

Культура	Коэффициент вариации (в %)
Виноград (плоды)	13,7
Чай (зеленый лист)	16,4
Лимон (плоды)	30,0
Яблоня (плоды)	41,2
Тунг (плоды)	81,3

Основной причиной сильного варьирования опытных данных в плодоводстве служит индивидуальная, генетическая изменчивость растений. Поэтому при планировании полевого опыта в саду и на ягодных плантациях необходимо учитывать не только варьирование показателей в зависимости от пестроты плодородия почвы опытного участка и местоположения растений, но и хорошо знать индивидуальную изменчивость растений до закладки опыта. Предварительный индивидуальный учет урожая или других показателей, характеризующих наследственную изменчивость растений, составляет основу для правильного распределения опытных деревьев на группы по их состоянию (относительно слабые, средние и сильные), определения необходимого числа растений на делянке и установления числа повторностей.

У плодовых наблюдается довольно устойчивое относительное варьирование урожаев по годам, сохраняющееся в течение многих лет. Наблюдения Н. Д. Спиваковского над ростом и плодоношением

молодых деревьев в течение 11 лет показали прямую корреляционную связь между состоянием растений в начале опыта и на протяжении всех последующих лет. Эта устойчивость показателей, зависимость роста и плодоношения растений от их исходного состояния и должна быть использована в исследовательской работе с многолетними плодовыми и ягодными культурами для повышения точности опыта. Следует так объединить растения по исходному состоянию в варианты, чтобы каждый из них охватывал все разнообразие условий опытного участка и опытных растений.

Без детального предварительного изучения выделенного под опыт насаждения и распределения растений по группам очень трудно получить достаточную точность и достоверность опыта по существу. Без группировки плодовых и ягодных культур в насаждении наблюдается довольно сильное варьирование урожаев деревьев; для погашения индивидуальных различий между ними необходимо очень большое количество растений на каждой делянке опыта.

При постановке опытов во вновь закладываемых насаждениях после выбора и установления пригодности земельного участка для опыта необходимо провести специальные мероприятия по созданию высокого уровня окультуренности и однородности почвы: плантажную вспашку, внесение извести, органических и минеральных удобрений. Глубина плантажной вспашки и дозы внесения удобрений изменяются в зависимости от зоны и особенностей опытных культур. Все работы по подготовке участка для закладки плодовых насаждений должны проводиться очень тщательно с соблюдением однородности условий.

Во вновь закладываемых насаждениях особое внимание следует обращать на повышение однородности посадочного материала опытных растений.

Посадочный материал плодовых культур должен выращиваться в питомнике с соблюдением определенных требований. Необходимо использовать стандартные подвои, а при семенном размножении — наиболее устойчивые виды и сорта с апробированных маточных деревьев; отбирать однородные по силе развития стандартные дички и использовать для окулировки глазки со строго апробированных деревьев. За всеми растениями в питомнике должен быть одинаковый и тщательный уход. Посадочный материал отбирают в питомнике до выкопки и измеряют диаметр штамба, высоту растения, количество и прирост побегов. Все отобранные саженцы должны быть однородными по силе развития и с доброкачественной корневой системой. Из опыта нужно исключить все неподходящие растения, например больные, слишком маленькие, уродливые и т. п.

После отбора однородных саженцев окончательно подбирать опытные растения для каждого варианта и делянки необходимо методом случайной выборки, т. е. путем рендомизации, которая

исключает вольный или невольный субъективизм исследователя и позволяет получить выборку с несмещенными оценками. Распределение вариантов и деревьев по местоположению на опытном участке также должно быть, как правило, случайным.

Для повышения однородности опытных ягодных культур проводят апробацию маточных кустов на чистосортность, высокую урожайность и устойчивость против заболеваний, а также отбор однородных по силе развития и здоровых молодых кустов.

При постановке экспериментов в уже существующих садах и ягодниках насаждения детально изучают до закладки опыта. Они должны отвечать требованиям типичности по местоположению для данной зоны, быть однородными по сортовому и возрастному составу, обеспеченными сортами-опылителями и иметь изреженность не выше 15—20% для плодовых и не выше 10—15% для ягодных культур. Агротехника, применявшаяся в насаждениях (содержание почвы, удобрение, обрезка и др.), должна быть однообразной по крайней мере за последние 3—5 лет.

В результате предварительного изучения насаждения особенно желательно иметь такие количественные калибровочные (таксационные) показатели, которые хорошо коррелируют с последующей продуктивностью растений. Если, например, некоторые предназначенные для опыта деревья имеют больший габитус или более урожайны, чем другие, то тенденция этих деревьев обладать более высокой продуктивностью сохранится, очевидно, и после закладки опыта. Поэтому целесообразно выяснить этот вопрос до распределения их по вариантам, так как при отсутствии таких исходных данных эффект вариантов нельзя будет отделить от эффектов, связанных с различиями деревьев до опыта, и, следовательно, невозможно объективно оценить действие исследуемых факторов. В качестве характеристик исходного состояния деревьев яблони, например, чаще всего используют урожай за предшествующие 2—4 года, суммарный урожай, а также окружность ствола до опыта.

Количественные калибровочные (таксационные) показатели, полученные в результате изучения насаждения, наносят на план, который служит основой: а) для планирования расположения делянок и вариантов в опыте, определения количества деревьев на делянке и числа повторностей; б) для того, чтобы впоследствии с помощью ковариационного анализа полученные по вариантам опыта данные привести к сравнимому виду.

Количество учетных растений на опытной делянке устанавливают в зависимости от характера исследования и требуемой точности, выравнивания участка и опытного материала. На участках с невыравненным почвенным покровом и рельефом, при закладке в недостаточно однородных насаждениях количество учетных растений в каждом варианте увеличивают, а на выравненных участках и в насаждениях с незначительной вариабельностью растений количество их уменьшают.

Для агротехнических опытов рекомендуют и чаще всего используют в исследовательской работе делянки со следующим числом учетных растений:

для плодовых	6—10 деревьев
для кустарниковых ягодников	10—20 растений
в питомнике	40—60 растений
в школе сеянцев	20—25 кв. м
для земляники	10—25 кв. м

Общее число опытных растений в каждом варианте зависит от принятой повторности, но, как правило, для плодовых оно не должно быть менее 24—30, для кустарниковых ягодников — 30—60, для питомников — 100—160, для школы сеянцев и опытов с земляникой — не менее 50—100 кв. м.

В опытах с сортами Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур рекомендует иметь следующее минимальное число учетных растений каждого сорта по всем повторностям: семечковые культуры — 18—24 дерева, косточковые — 12—24 дерева, смородина и крыжовник — 30—60 кустов, малина — 60—120 кустов, земляника — 120 кв. м.

В краткосрочных агротехнических опытах лабораторно-полевого типа, а также в опытах предварительного разведочного характера количество опытных растений может быть значительно меньше указанного выше минимума. Так, в опытах с плодовыми и кустарниковыми ягодниками на делянке может быть 1—4 учетных растения; в питомнике — 10—20 растений; в школе сеянцев и в опытах с земляникой — 4—10 кв. м.

Все опыты, требующие точных сравнений, нужно закладывать, как правило, в 4—6-кратной повторности. Для опытов предварительного характера допустима трехкратная повторность.

Количество рядов и учетных растений на делянке устанавливают в зависимости от цели опыта, выравнимости участка и опытной культуры. Учетные растения на делянке располагают чаще всего в 1—2 ряда; землянику — в 2—4 ряда. На концах рядов должны быть защитные растения: у плодовых культур по 1—2 дерева, у ягодных кустарников по 2 куста, у земляники по 4—5 растений. С двух сторон квартала, расположенных вдоль делянок, необходимо иметь 1—2 защитных ряда. В опытах, связанных с воздействием на почву (система содержания почвы, удобрение, орошение и т. д.), следует предусмотреть выделение боковых защитных рядов между вариантами опыта.

Основные полевые опыты с плодовыми и ягодными культурами необходимо закладывать, как правило, случайными методами. В нашей стране пока все еще преобладают систематические и стандартные методы размещения вариантов, которые зачастую дают возможность получить желаемый для исследователя, но далекий от истины результат. Рендомизация, как уже отмечалось выше, и является тем заслоном, который противостоит вольному или невольному субъективизму исследователя и позволяет получить выборку

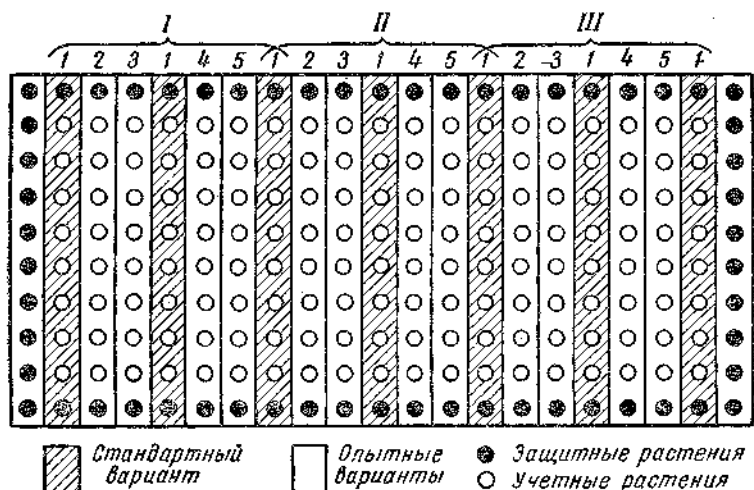


Рис. 46. Схема расположения пяти вариантов опыта с плодовыми культурами стандартным дактиль-методом.

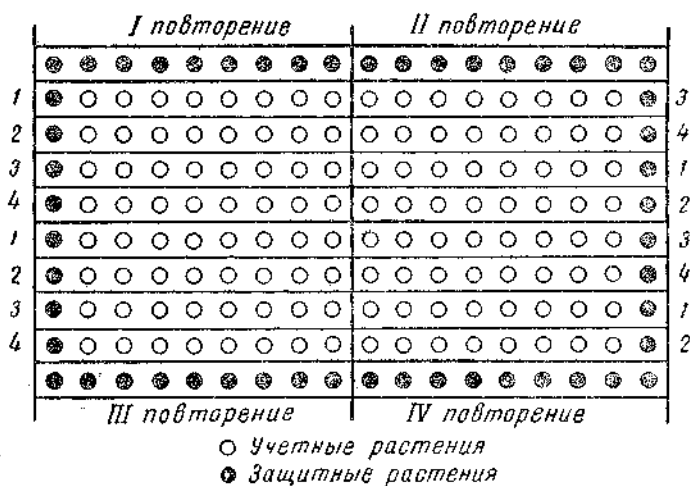


Рис. 47. Схема расположения четырех вариантов опыта с плодовыми культурами шахматным методом в два яруса.

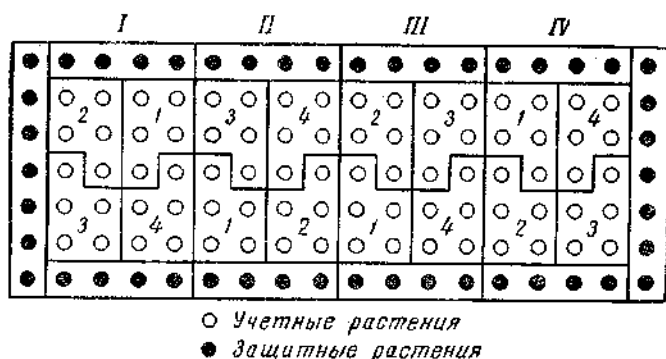


Рис. 48. Схема расположения четырех вариантов опыта с плодовыми культурами методом случайных блоков.

с несмещенными оценками, т. е. избежать накопления систематических ошибок, искажающих эффекты вариантов. Конечно, рендомизацию нельзя рассматривать как жесткое требование, и на практике она ограничивается, но отнюдь не произволом исследователя.

Теоретически рендомизация необходима, и там, где она не используется, это наносит ущерб чистоте опыта, приводит к смещению эффектов вариантов и ставит объективного экспериментатора в затруднительное положение, так как используемые в статистическом анализе критерии существенности нельзя применять к опытам, заложенным систематическими методами.

На рисунках 46—49 дано схематическое расположение вариантов в опытах с плодовыми и ягодными культурами методами, которые наиболее часто используются в нашей стране и за рубежом.

При постановке многофакторных опытов с плодовыми и ягодными культурами целесообразно использовать метод расщепленных делянок, позволяющий делянки одного опыта использовать в качестве блоков, повторений для другого опыта. Так, при изучении способов содержания почвы в саду необходимы делянки большого размера (делянки первого порядка), которые можно разделить на более мелкие делянки второго порядка и испытать на них ядохимикаты или удобрения, а эти делянки, в свою очередь, раздробить на еще более мелкие делянки третьего порядка, например по изучению сор-

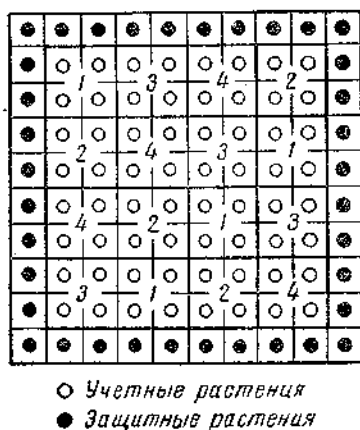


Рис. 49. Схема расположения четырех вариантов опыта с плодовыми культурами латинским квадратом 4×4 .

тов или способов обрезки. Расщеплять основную делянку можно до элементарной единицы, т. е. одного растения.

На рисунке 50 представлена схема размещения опыта с расщепленными делянками по изучению сроков опрыскивания малины ядохимикатами (делянки первого порядка), трех способов формирования кустов (делянки второго порядка) и двух сортов (делянки третьего порядка). Эта схема позволяет сконцентрировать внимание исследователя на факторах, требующих особенно углубленного анализа и точной оценки (в нашем примере сорта малины), и упростить технику проведения опыта.

Часто опыты с плодовыми культурами проводят по методу «дерево-делянка». В этом случае растения (деревья) одноименных делянок размещают рассеянно по опытной площадке и каждое дерево считают делянкой. При работе этим методом особенно тщательно нужно изучить выделенное под опыт насаждение до закладки опыта. Данные учета урожая деревьев наносят на план, затем объединяют растения в группы (повторения) с таким расчетом, чтобы варьирование урожая внутри группы было наименьшим. Из каждой группы методом рендомизации (жребия) отбирают необходимое и одинаковое для всех вариантов число деревьев.

Если опытных растений в каждом варианте не более 10—12, то при закладке опытов по методу «дерево-делянка» может быть применен латинский квадрат. В этом случае количество изучаемых вариантов должно быть равно числу растений в каждом варианте, а порядок расположения деревьев (кустов) в ряду и столбце определяется рендомизацией. В крайнем ряду или столбце варианты

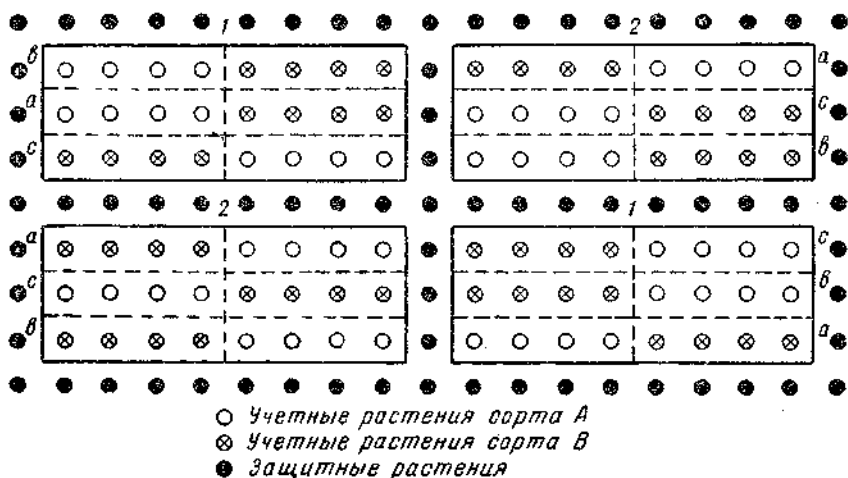


Рис. 50. Схема размещения 12 вариантов опыта методом расщепленных делянок (показано два повторения):

1, 2 — сроки опрыскивания; а, б, в — способы формирования ягодников.

●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
①	③	⑤	②	⑦	①	⑦	④	③	●
①	⑤	①	⑥	③	④	⑦	③	②	●
①	②	⑦	④	③	①	③	③	⑥	●
●	③	③	⑦	⑤	⑥	②	④	①	●
●	③	④	②	①	③	③	⑤	⑦	●
●	⑦	⑤	③	③	②	④	①	③	●
●	④	⑥	①	⑦	③	③	②	⑤	●
●	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	●
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

- Учетные растения
● Защитные растения

Рис. 51. Схема расположения восьми вариантов опыта латинским квадратом по методу «дерево-делянка».

(опытные деревья) могут располагаться в систематическом порядке (рис. 51).

Наблюдения и учеты в период вегетации. Объем и характер наблюдений и учетов устанавливаются в соответствии с основной задачей исследования и имеющимися возможностями. Для наблюдений и учетов на каждой делянке выделяют 2—4 плодовых и ягодных растения, 20 растений в питомнике, 5 м строки в школе сеянцев и не менее 2 пог. м ленты земляники. В молодых садах и кустарниковых ягодниках наблюдения и учеты проводят по всему растению, а в плодоносящих садах — по контрольным ветвям. Растения и площадки для учетов

выделяются в начале опыта и не должны меняться в течение всего эксперимента.

Фенологические наблюдения проводят во всех опытах. Даты наступления основных фаз развития растений записывают в таблицу следующей формы:

Вариант опыта	Даты наступления фаз								Примечание
	начало распус- кания почек	цветение		созревание		оконча- ние рос- та побе- га	листопад		
		начало	конец	начало	конец		начало	конец	

Учет прироста побегов (количество побегов, суммарная длина и средняя длина одного побега). У молодых деревьев до начала плодоношения измеряют все побеги по всему растению; у деревьев старше пяти лет и у плодоносящих деревьев — на двух контрольных ветвях первого порядка. По данным учета прироста побегов устанавливают соотношения различных групп их, процент ростовых побегов, кольчаток, копыц и прутиков.

Учет роста деревьев. Общую высоту дерева измеряют от поверхности почвы до верхушки, окружность штамба — на высоте 25 см от основания. Диаметр кроны измеряют в двух направлениях: вдоль и поперек рядка. Из двух величин выводят среднюю. Одновременно с измерением роста деревьев, которое проводят осенью после съема урожая, визуально определяют форму и густоту кроны.

Учет процента полезной завязи. На двух контрольных ветвях первого порядка, а на деревьях в период полного плодоношения на двух ветвях второго порядка периодически подсчитывают количество соцветий, бутонов, завязей, оставшихся после физиологического осыпания, количество плодов в стадии грецкого ореха и количество съемных плодов. Все контрольные ветви должны быть одинаково ориентированы в пространстве и удобны для учетов.

Оценку общего состояния насаждений проводят визуально в конце лета. Общее состояние плодовых деревьев отмечают баллами: 5 — отличное состояние, 4 — хорошее, 3 — ослабленное, 2 — слабое, 1 — дерево очень слабое, близкое к гибели, 0 — дерево погибло полностью. Общее состояние всех учетных деревьев оценивают ежегодно и выводят средний балл по каждому варианту опыта.

Общее состояние ягодных культур оценивают по пятибалльной шкале: 5 — отличное состояние, 4 — хорошее, 3 — среднее, 2 — слабое, 1 — большинство растений больные, почти не имеют прироста или целиком погибли.

В школе сеянцев учитывают энергию появления всходов, силу развития подвоев (высоту, толщину корневой шейки и качество корневой системы) и выход подвойного материала по принятому стандарту. Выход стандартных подвоев по сортам исчисляют в штуках и пересчитывают на 1 га.

В питомнике учитывают приживаемость высаженных подвоев, подвои, готовые к окулировке, приживаемость глазков после окулировки и перезимовки. Учет количества и качества однолеток проводят в конце вегетации, выход и качество саженцев учитывают при выкопке.

Урожай плодовых культур учитывают сплошным методом, взвешивая урожай со всех опытных растений. Для оценки эффективности изучаемых агротехнических приемов или сортов проводят следующие основные учеты и определения:

1) глазомерное определение степени плодоношения каждого дерева в баллах и ожидаемого урожая в килограммах;

2) учет хозяйственно годной падалицы;

3) весовой учет съемного урожая;

4) оценку качества урожая: вкусовые достоинства, величину и одномерность плодов, выход их по товарным сортам, сроки съема и наступления потребительской зрелости, лежкость плодов, их химический состав и др.

Степень плодоношения оценивают в баллах: 5 — отличное (обильное), 4 — хорошее, 3 — среднее, 2 — слабое, 1 — очень слабое (единичные плоды), 0 — урожая нет. Для глазомерного определения ожидаемого урожая с дерева подсчитывают число плодов на одной ветви и, умножив его на средний вес плода данного сорта, узнают урожай одной ветви, а затем, умножив вес его на число равновеликих ветвей, получают ожидаемую урожайность всего дерева. При некотором навыке урожай определяют без этих подсчетов.

У молодых, вступающих в плодоношение деревьев урожай учитывают со всей делянки. Чтобы узнать средний урожай с дерева, полученный вес делят на число учетных деревьев, включая и не плодоносившие в данном году, но здоровые, не исключенные из учета. Урожай с деревьев, исключенных из учета, убирают раньше. К таким деревьям относят те, у которых урожай снижен по причинам, не связанным с изучаемыми факторами (механические повреждения, хищения и т. п.). Так же как и в полеводстве, совершенно недопустима браковка деревьев или делянок по субъективным причинам.

При полном плодоношении урожай учитывают отдельно с каждого дерева. Началом полного плодоношения условно считают год, когда урожай с одного учетного дерева в среднем достигает: у яблони не менее 25 кг, у груши 15 и у косточковых не менее 10 кг.

Для изучения качества плодов с каждой делянки всех повторений стбирают средние пробы (выборки), не менее 100 плодов в каждой. Взвесив плоды и разделив полученный вес на 100, узнают средний вес одного из них, а затем плоды сортируют по стандарту и определяют выход их по товарным сортам в процентах к общему числу взятых для сортировки плодов. Степень одномерности (одномерные, средней одномерности и неоднородные) определяют глазомерно.

Данные учета урожая съемных плодов и хозяйственно годной падалицы записывают по следующей форме:

Вариант опыта	Повторение	№ ряда и № дерева	Собрано плодов с дерева (в кг)			Степень осыпаемости плодов	Средний вес одного плода	Примечание
			съемных плодов	падалицы за все сборы	общий урожай			

Под степенью осыпаемости плодов подразумевают отношение веса хозяйственно годной падалицы к общему урожаю (съемные плоды + падалица), выраженное в процентах.

Урожай с каждого повторения и в целом по варианту (сорт) в центнерах с 1 га вычисляют по формуле:

$$У = \frac{A}{B} \cdot 100,$$

где А — средний урожай с одного дерева (в кг);

В — площадь питания одного дерева (в кв. м).

При выведении среднего урожая с дерева по повторению и варианту из учета исключают деревья, на которых урожай заметно снижен под действием не зависящих от изучаемого фактора причин. Но в число учетных необходимо обязательно включать деревья,

не имевшие плодов в данном году из-за периодичности плодоношения или не вступившие в плодоношение, если на других молодых деревьях данного варианта учет урожая уже проводят.

О вкусовых достоинствах плодов судят по данным дегустации в момент наступления оптимальной (полной потребительской) зрелости. Дегустацию проводят закрытым способом: плоды с различных вариантов представляют дегустаторам под номерами, подлинными названиями сортов или агроприемов объявляют после сбора дегустационных карточек, в которых отмечают следующие качества плодов.

1. Привлекательность внешнего вида плода по величине, форме и окраске в баллах: 5 — очень крупные, красивые по форме и окраске; 4 — красивые, средних размеров; 3 — посредственные, недостаточно крупные и малопривлекательные по окраске и форме; 2 — некрасивые; 1 — очень некрасивые, мелкие, неправильной формы и плохо окрашенные.

2. Состояние зрелости плодов: не дозрели, оптимальная зрелость, начало перезревания.

3. Консистенция мякоти: грубая, средняя, нежная, маслянистая, рыхлая, плотная, мучнистая.

4. Сочность мякоти: очень сочная, мало сочная.

5. Вкус: кислый, кисло-сладкий, сладкий, пряный, терпкий.

6. Ароматичность плодов: сильная, средняя, слабая.

7. Оценка вкуса в баллах: 5 — отличный, десертный; 4 — хороший, столовый; 3 — посредственный; 2 — плохой (плоды почти непригодны для потребления в свежем виде); 1 — очень плохой (плоды несъедобные).

8. Общую оценку качества плодов дают на основании учета их вкусовых достоинств и привлекательности внешнего вида и выражают в баллах: 5 — плоды отличного качества, 4 — хорошего, 3 — посредственного, 2 — плохого, 1 — очень плохого.

Для оценки лежкости отбирают не менее чем с двух повторений средние пробы по 100—200 плодов в каждой выборке. Плоды хранят на полках в открытом виде или в ящиках в стандартной упаковке. Колебание температуры в плодохранилище не должно превышать 2° , наиболее желательная температура для хранения плодов $+1$ — $+2^{\circ}$, относительная влажность воздуха не ниже 85—90%. Наблюдения над лежкостью ведут один-два раза в декаду. Конец лежки устанавливают по одному из следующих признаков: массовое загнивание плодов, их увядание или растрескивание (до 30—50% общего числа). Продолжительность лежки плодов выражают числом дней от съема до окончания хранения.

Учет урожая в опытах с ягодными культурами (смородина, крыжовник, малина, земляника) проводят сплошным методом, определяя вес урожая ягод при каждом сборе на всех делянках каждого варианта. Одновременно с учетом урожая устанавливают качество ягод каждого сбора. Для этого со всех делянок берут средние пробы по 100—200 ягод и в каждой пробе определяют: средний

вес одной ягоды, вкусовые достоинства, количество здоровых и больных ягод. Вкусовые достоинства узнают дегустацией ягод по пятибалльной шкале: 5 — вкус отличный, десертный; 4 — хороший; 3 — посредственный; 2 — плохой, ягоды почти несъедобны; 1 — очень плохой, ягоды совершенно несъедобны.

Данные учета урожая в опытах со смородиной и крыжовником записывают по форме следующей таблицы:

Вариант опыта	Повторение	Количество учетных кустов	Собрано ягод (в кг)			Урожай в среднем с одного куста (в кг)	Вес 100 ягод (в г)	Средний вес одной ягоды (в г)	Больших ягод (% по пробе в 100 ягод)
			1-й сбор	2-й сбор	всего				

Данные учета урожая ягод земляники и малины записывают по такой форме:

Вариант опыта	Повторение	Учетная площадь (в кв. м)	Собрано ягод (в кг)						Средний вес одной ягоды (в г)	Урожай ягод (в ц с 1 га)		
			1-й сбор		2-й сбор		и т. д.	всего за все сборы				
			здоровых	больных	здоровых	больных		здоровых			больных	сумма здоровых и больных

Средний урожай ягод крыжовника и смородины с одного куста и урожай земляники и малины с делянки пересчитывают на урожай в центнерах с 1 га по формуле:

$$У = \frac{A}{B} \cdot 100,$$

где A — урожай в среднем с одного куста или урожай с делянки (в кг);

B — площадь питания одного куста или учетная площадь делянки (в кв. м).

Для математической оценки результатов опытов с плодовыми и ягодными культурами необходимо применять дисперсионный и ковариационный методы. При большой вариабильности данных по повторностям, связанной с неоднородностью опытных растений, эти методы вычлняют систематическую ошибку и дают экспериментатору надежные критерии для правильной оценки результатов исследования. В подавляющем большинстве случаев обычный метод обработки не соответствует условиям полевых опытов в плодоводстве и не может быть рекомендован для анализа экспериментальных данных.

Для закладки полевых опытов с виноградом выделяют участки, типичные по природным условиям (климату, почве, рельефу, экспозиции), сортовому составу и агротехническому состоянию насаждения той зоны, где намечается использовать результаты исследований. Опытный участок должен быть однообразным по истории, почвенному покрову и системе культуры винограда. Изреженность кустов и примесь посторонних сортов не должны превышать 10%.

Серьезный источник ошибок в опытах с виноградом — сильное варьирование урожаев отдельных кустов и неоднородность почвенных условий. Н. П. Бузин отмечает, что в результате указанных выше причин равные по площади и числу кустов делянки или участки с одновозрастными и односортовыми насаждениями могут различаться по урожаям в 2—3 раза и более.

По данным А. М. Негруля, В. Н. Перегудова и С. Н. Макарова, основным фактором сильного варьирования урожаев на делянках с числом кустов до 20 является индивидуальная изменчивость растений, а на делянках большего размера — изменчивость плодородия почвы. В связи с этим при проведении опытов на небольших делянках повышение точности должно происходить главным образом за счет уменьшения варьирования урожаев отдельных кустов. Это достигается тщательным отбором посадочного материала и высококачественным проведением всех агротехнических мероприятий, и особенно тех из них, которые непосредственно воздействуют на виноградное растение (прививка, обрезка, обломка), а также подсадки новых кустов. При работе на делянках большего размера, кроме того, особое внимание должно быть обращено на подбор участков, однородных по почвенным условиям, рельефу и экспозиции.

Следует учитывать, что с возрастом вариация урожаев отдельных кустов сильно увеличивается, и если возраст насаждения не является изучаемым фактором, то для опытов лучше использовать виноградники не старше 20—30 лет.

Вопрос о размере и форме учетной делянки в опытах с виноградом изучен недостаточно. Большинство исследователей рекомендует иметь на каждой делянке 20—30 кустов, т. е. площадь учетной делянки должна быть равной 60—100 кв. м. При 4-кратной повторности это составит 80—120 учетных кустов по варианту. С. Н. Макаров на основании материалов Кишиневского филиала научно-исследовательского института виноделия и виноградарства «Магарач» считает оптимальными размеры делянок с 50—100 учетными растениями.

Эти рекомендации надо рассматривать лишь как некоторые придержки при планировании опытной работы на виноградниках. Конкретно размеры делянок и число кустов на них устанавливают в зависимости от задач и требуемой точности исследования, степени производственного риска эксперимента, выравниваемости

насаждения, возможностей и технических условий проведения опыта.

Например, для сортоиспытательных участков, где проводится тщательная предпосадочная подготовка земельного участка, закладка виноградников осуществляется хорошо подобранным посадочным материалом и все агротехнические работы ведутся на высоком уровне. Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур рекомендует иметь 20 учетных кустов на делянке. При принятой в сортоиспытании трехкратной повторности по каждому сорту учитывают 60 кустов. В отдельных случаях допускается 16 учетных кустов на делянке или 48 учетных растений по сорту.

Специальными исследованиями с полевыми культурами показано, что при сильной вариации урожаев на опытном участке увеличение размера делянки незначительно повышает точность опыта. В этих условиях выгоднее закладывать опыты на делянках небольшого размера, компактно располагать варианты внутри каждого повторения и увеличивать повторность. Этот путь повышения точности опыта будет, очевидно, эффективным и на виноградниках, где в обычных хозяйственных условиях наблюдается сильная вариация растений по урожаям.

Опыты с виноградом, которые проводят для получения данных, необходимых для точной сравнительной оценки изучаемых вариантов (сортов), необходимо закладывать не менее чем в четырехкратной повторности. Трехкратная повторность допустима для исследований предварительного характера, а также для опытов, проводимых на хорошо выравненных виноградниках.

В опытной работе с виноградом форме делянок и системе их расположения не придают пока должного внимания. Это обусловлено главным образом техническими причинами. При шпалерной культуре неудобно делить ряд на много частей. Поэтому на практике при постановке агротехнических опытов преобладают очень вытянутые делянки, длина которых равна длине или, реже, половине длины ряда (длина ряда около 100 м). В литературе по методике постановки опытов с виноградом практически нет данных, характеризующих эффективность делянок различной формы, и лишь встречаются отдельные указания на то, что в ряде случаев, например при расположении рядов виноградника поперек склона, более широкие делянки обеспечивают большую точность, чем узкие.

В опытах на виноградниках защитные полосы между делянками в количестве 1—2 рядов выделяют в тех случаях, когда может проявиться взаимное влияние соседних вариантов. В опытах с обработкой почвы, удобрением, орошением, обрезкой и формированием кустов с каждой стороны делянки следует выделять не менее одного защитного ряда. В опытах с зелеными операциями, со сроками и способами укрытия и в других исследованиях, где не наблюдается заметного взаимного влияния вариантов, можно обходиться без

боковых защитных рядов. Во всех опытах в концевые защиты надо выделять не менее двух кустов в ряду.

Опыты на виноградниках закладывают в основном теми же методами, что и опыты с другими культурами. Наибольшее распространение в нашей стране получили систематические и стандартные способы преимущественно с одно-двухъярусным и реже многоярусным систематическим расположением вариантов. Двух- и многоярусное расположение имеет особенно большое значение в опытах, которые закладывают на склонах с направлением рядов в насаждении поперек склона. В этом случае в 2—4 смежных клетках виноградника варианты располагают в разной последовательности, что способствует более полному охвату каждым вариантом разных элементов склона.

У исследователей по виноградарству, так же как и по растениеводству, нет единого мнения о целесообразности использования стандартных методов размещения опыта. Их рационально применять при наличии корреляционной зависимости между урожаями соседних делянок. По данным А. М. Негруля, С. Н. Макарова и других исследователей, такая сопряженность урожаев соседних рядов на виноградниках в большинстве случаев отсутствует. Следовательно, стандартные методы не могут быть рекомендованы как основные. Однако, когда наблюдается систематическая изменчивость плодородия почвы и насаждения, например при расположении опыта на склонах, целесообразно использовать эти методы и размещать стандартные (контрольные) варианты через 2—4 испытуемых. Такое расположение применяют иногда и при работе на участках с выровненными почвенным покровом и рельефом, например в сортоиспытании, когда изучается несколько разнородных групп сортов и каждая группа имеет свой стандартный сорт.

На рисунках 52 и 53 показаны наиболее распространенные в нашей опытной сети способы размещения опытов с виноградниками систематическим и стандартным методами в один и два яруса.

Опыты, требующие более точных сравнений и статистической оценки, целесообразно закладывать случайными методами (см. стр. 80—83, 86, 88). Особый интерес представляет метод латинского квадрата и латинского прямоугольника. При работе на небольших делянках и на участках с невыровненным почвенным покровом, в горных и предгорных районах со сложным рельефом этими методами можно устранить влияние систематической изменчивости насаждения на результаты опыта. Латинский квадрат рационально использовать для опытов с 4—5, а латинский прямоугольник — с 6—16 вариантами.

На рисунке 54 показано схематическое расположение опыта с четырьмя вариантами латинским квадратом 4×4 . Здесь каждая учетная делянка состоит из четырех рядов длиной около 20 м. По 1—2 куста на концах каждого ряда выделяют в защиты.

На рисунке 55 дана возможная схема размещения 12 вариантов опыта латинским прямоугольником $4 \times 4 \times 3$. Каждая учетная

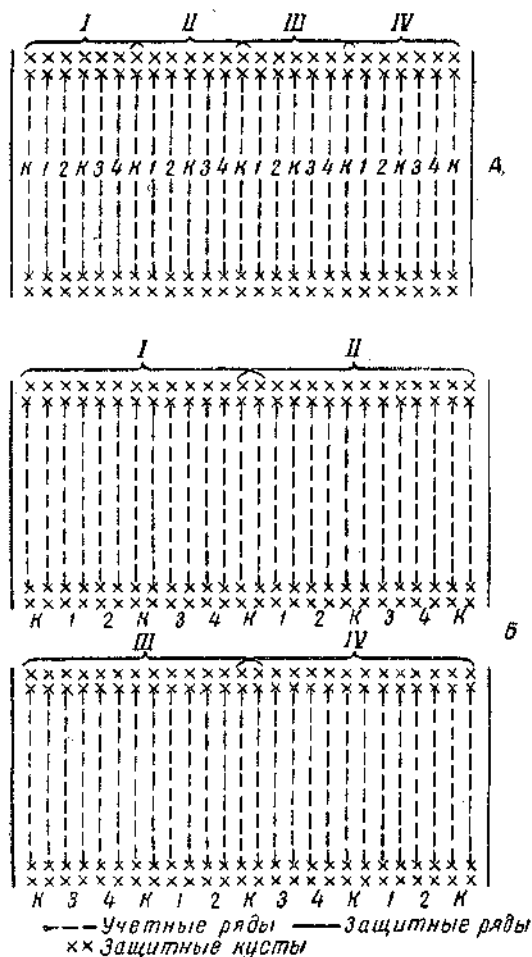


Рис. 52. Схема размещения пяти вариантов опыта с виноградом стандартным дактиль-методом в один ярус с одним учетным рядом на делянке (А) и в два яруса с двумя учетными рядами на делянке (Б).

делянка включает по два ряда виноградника длиной около 20 м, а всего по каждому варианту при четырехкратной повторности учитывается урожай с восьми рядов общей длиной 160 м.

Для наглядности на рисунках 54 и 55 дано систематическое расположение вариантов; рендомизированные размещения показаны на стр. 86 и 88.

При закладке многофакторных опытов на виноградниках целесообразно использовать метод расщепленных делянок (рис. 56).

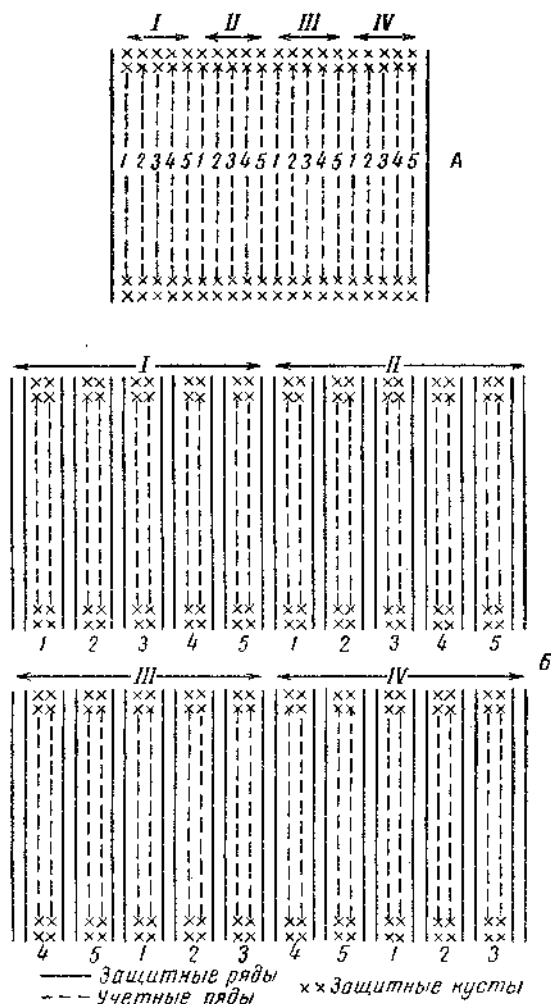


Рис. 53. Схема размещения пяти вариантов опыта систематическим методом в один ярус без боковых защитных рядов между вариантами (А) и в два яруса с боковыми защитками (Б).

Наблюдения и учеты. Программа наблюдений, учетов и анализов составляется для каждого опыта в зависимости от основной задачи исследования и имеющихся возможностей. Для большинства опытов важно отмечать сроки наступления основных фаз вегетации, учитывать метеорологические и почвенные условия проведения эксперимента, зимостойкость растений, поражение их болезнями и повреждение вредителями, урожай и качество винограда.

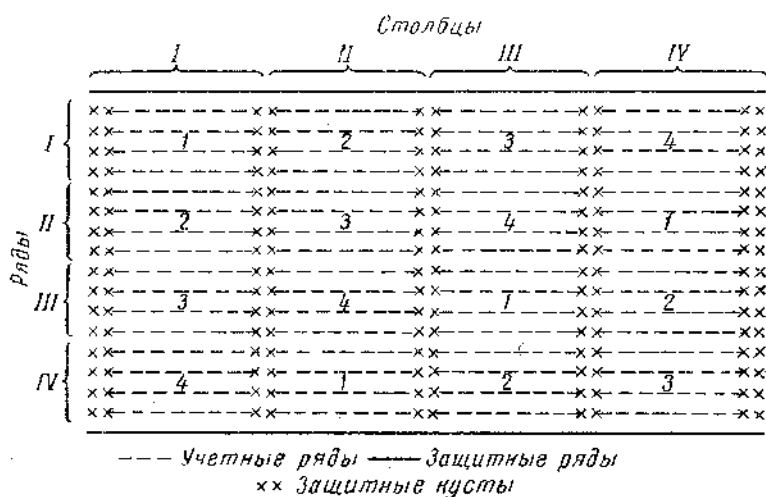


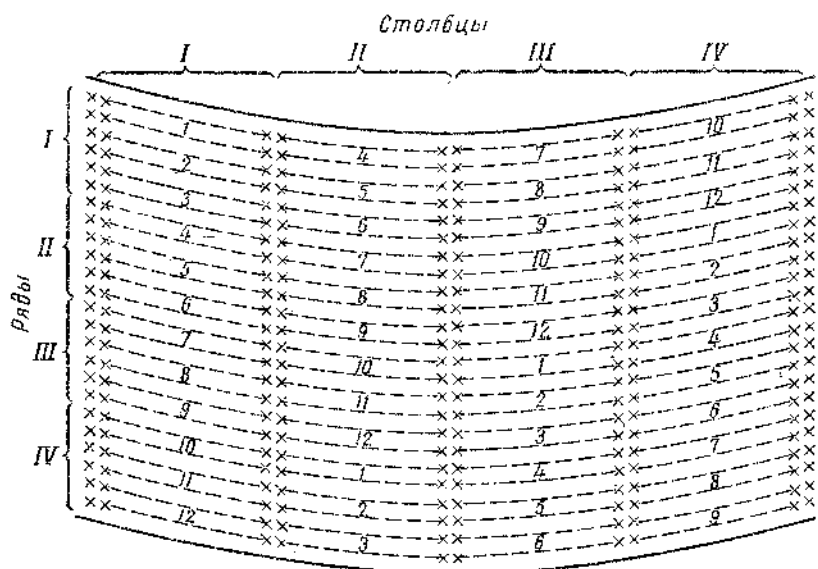
Рис. 54. Схема расположения четырех вариантов опыта систематическим латинским квадратом 4×4 .

Фенологические наблюдения характеризуют годичный цикл развития винограда в связи с условиями внешней среды и изучаемыми факторами. Их проводят глазомерно и обязательно одновременно по всем вариантам опыта. Даты наступления фенологических фаз записывают в таблицу по следующей форме:

Вариант опыта	Даты наступления фаз							Количество листьев от начала распу- скания почек до полной зрелости ягод	Приме- чание
	начало рас- пускания по- чек (пальков)	цветение		начало созре- вания ягод	полная зре- лость ягод	начало созре- вания побегов (лоз)	начало листо- пада или дата заморозка		
		начало	конец						

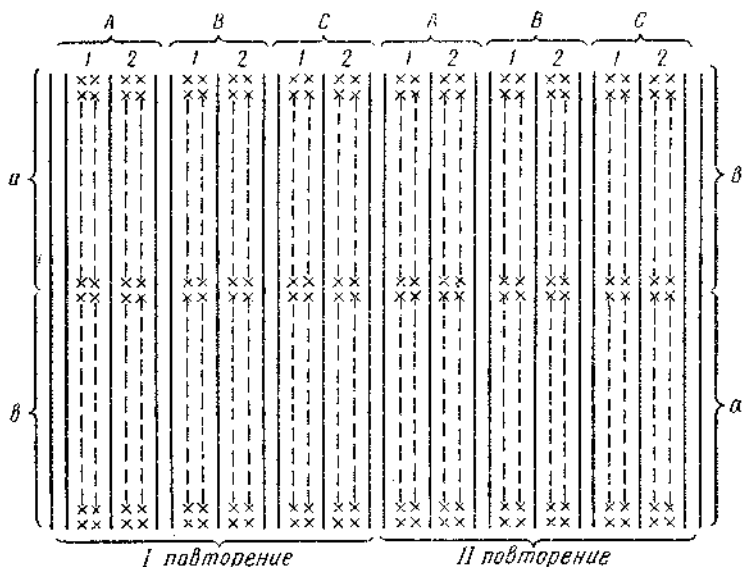
Учет урожая проводят взвешиванием гроздей винограда, собранных со всех учетных кустов делянки. Перед сбором и учетом урожая опытное насаждение тщательно осматривают и отмечают кусты, которые сильно отклоняются от типичных кустов данного варианта по причинам, не связанным с действием изучаемых факторов. Эти растения выключают из учета. Все невыключенные кусты, не давшие в данном году урожай, обязательно входят в число учетных.

Сначала собирают урожай с выключенных и защитных кустов и удаляют его с делянок. Затем в зависимости от принятой методики учета собирают и взвешивают урожай или сразу со всех



--- Учетные ряды — Защитные ряды xx Защитные кусты

Рис. 55. Схема расположения 12 вариантов опыта систематическим латинским прямоугольником $4 \times 4 \times 3$ на участке с размещением рядов по горизонталям.



I повторение

II повторение

--- Учетные ряды — Защитные ряды xx Защитные кусты

Рис. 56. Схема расположения 12 вариантов ($3 \times 2 \times 2$) опыта с выноградом методом расщепленных делянок (показано два повторения); A, B, C — способы предпосадочной обработки почвы; a, b — удобрений; 1, 2 — способы подрезки кустов.

учетных кустов (поделяночный учет), или отдельно с каждого учетного куста (покустный учет). Урожай с защитных рядов снимают в последнюю очередь.

При поделяночном учете урожая данные записывают по следующей форме:

Вариант опыта	№ делянки и № повторности	Число учетных кустов (в том числе не давших урожай в данном году)	Вес урожая с учетных кустов (в кг)	Средний урожай с одного куста (в кг)	Урожай (в ц с 1 га)

Урожай с делянки в центнерах с 1 га находят, умножая средний урожай с одного куста на число кустов, размещающихся на 1 га насаждения при схеме посадки, принятой в опыте.

При покустном учете урожая, который проводят обычно в мелкоделяночных опытах и в исследованиях, требующих высокой точности и дифференцированной оценки действия изучаемых факторов на каждый куст, средний урожай с одного куста находят делением суммы урожаев всех учетных кустов на их число.

Определение среднего веса грозди. Этот показатель определяют по варианту в целом. Обычно взвешивают 100 гроздей, взятых при учете урожая без выбора (подряд), но с различных учетных рядов всех повторностей. При покустном учете урожая, который сопровождается подсчетом гроздей на каждом кусте, средний вес грозди определяют делением веса урожая на число гроздей.

Для оценки качества винограда определяют механический состав и механические свойства гроздей и ягод, сахаристость и кислотность сока, вычисляют показатель зрелости (отношение количества сахаров к количеству кислот), проводят дегустацию и дают технологическую оценку изучаемым вариантам (сортам), приготовляя вино.

Учеты и наблюдения в школках и молодых виноградниках. Основное наблюдение в школке — количественный учет выхода саженцев. В соответствии с существующим стандартом саженцы распределяют по сортам. Если в школке проводят опыт, то выход саженцев учитывают по каждой делянке. Это имеет такое же значение, как учет урожая на плодоносящих виноградниках. Большое значение в школке имеет также учет прижившихся растений.

Для молодых виноградников важен учет сортовых примесей, прижившихся и погибших растений. Обнаруженные сортовые примеси отмечают и в последующем заменяют растениями основного сорта. При большом количестве сортовых примесей ставится вопрос о браковке опыта.

Сохранившиеся и погибшие растения подсчитывают по каждой делянке отдельно. При больших выпадах (50% и более) по причи-

нам, не зависящим от изучаемых факторов, а также когда нельзя заменить все погибшие или плохо развивающиеся кусты, бракуют отдельные делянки или опыт в целом.

Во всех молодых опытных насаждениях в первые годы необходимо измерять рост побегов по вариантам опыта.

§ 6. ПОСТАНОВКА ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ В КОЛХОЗАХ И СОВХОЗАХ

В связи с многообразием и сложностью условий хозяйственной деятельности отдельных колхозов и совхозов многие эффективные, по данным опытных учреждений, приемы и методы повышения урожайности не всегда оказываются наилучшими для данного хозяйства, а в отдельных случаях они не повышают, а, наоборот, могут снизить урожай. Поэтому новые приемы и методы нужно не просто внедрять в производство, а предварительно испытывать, дополнительно изучать и творчески совершенствовать в соответствии с местными особенностями. Для этого в колхозах и совхозах должна проводиться опытная работа.

Кроме того, важной задачей массовой опытной работы в условиях производства является экспериментальное решение вопросов, которые возникают из потребностей конкретного хозяйства. Действительно, любому научному учреждению не под силу учесть и тем более решить все проблемы, которые появляются в десятках хозяйств зоны его обслуживания с чрезвычайно разнообразными природными условиями. И, пожалуй, никто лучше производственников-экспериментаторов, хорошо знающих местные условия и особенно микроусловия, не может быстро и правильно решить многие из этих проблем, так как они зачастую имеют сугубо местное, локальное, значение.

В нечерноземной зоне, например, земли сильно варьируют по рельефу, механическому составу, гидрологическим свойствам, степени окультуренности и другим показателям. Для обеспечения максимальной производительности пашни здесь часто необходима дифференциация агротехнических мероприятий вплоть до отдельных земельных массивов (полей). Чтобы правильно решить этот вопрос и рационально использовать землю, необходимо вести большую опытную работу в хозяйстве.

Наибольшее значение экспериментальная работа в производственных условиях имеет в том случае, когда она ведется планоно, по определенной методике специалистами-практиками совместно с работниками науки. Тогда она воплощает в себе их знания и опыт, способствует успешному внедрению достижений науки и практики в сельское хозяйство.

Для широкого экспериментирования в нашей стране созданы специальные опорно-показательные хозяйства, многие ученые ведут исследовательскую работу на колхозных, совхозных полях и фермах.

Опыт становится все более могучим средством исследования для агрономов-новаторов. С ростом материального производства наука все шире входит в производство, все больше превращается в непосредственную производительную силу.

Ближайшая задача экспериментальных работ на полях и фермах — непосредственное воздействие на развитие и совершенствование материального производства, здесь нет промежуточных звеньев; само исследование определяется нуждами конкретного хозяйства или группы хозяйств, поэтому положительные практические результаты этих исследований немедленно находят применение в колхозах и совхозах.

В любой области сельского хозяйства научная работа, направленная на решение практической задачи, должна пройти три последовательных этапа: 1) поисковое научное исследование; 2) получение агротехнического результата; 3) доведение этого результата до формы, приемлемой для производства. Первые два этапа — теоретические, лабораторно-полевые изыскания, цель которых — дать общее решение проблемы, приемлемое с точки зрения теории и научного эксперимента, выполняются, как правило, работниками науки.

Агротехнический результат научного достижения, полученный учеными, должен быть внедрен в практику. Точный полевой эксперимент в условиях колхозов и совхозов и дает возможность установить, как именно при данных конкретных условиях хозяйства, состоянии техники, химизации и т. п. можно наиболее целесообразно использовать данное научное открытие, внедрить его в производство.

Таким образом, опыт в производственной обстановке продолжает научный эксперимент и выражает связь между наукой и практикой; это по существу один из важнейших этапов продолжения и завершения научного исследования, доработка научно-технического результата до такого состояния, когда этим результатом могут воспользоваться непосредственно специалисты сельского хозяйства на местах. Опыт показывает, что последний этап научного исследования — доведение результата до формы, приемлемой для производства, целесообразно выполнять непосредственно в самих хозяйствах.

Не всегда эксперимент в производственных условиях оканчивается удачно и дает ожидаемый практический результат. Нередко экспериментальная проверка не подтверждает теоретическое построение, расчет. Но и в этом случае опыт становится источником дальнейшего развития знаний, разработки новых путей решения проблемы.

Таким образом, через полевой опыт в производственной обстановке осуществляется обратная связь производства с наукой, через него практика вторгается в познание, теорию, науку, содействует их бурному развитию в направлении, определяемом практическими потребностями производства.

Подчеркивая важное значение постановки полевых опытов непосредственно в хозяйствах, необходимо указать на слабые стороны этого пути научного исследования. Всякий, а особенно сельскохозяйственный, эксперимент в условиях производства ограничен и теряет свое значение как метод исследования, если не завершается теоретическим обобщением, ведущим к проникновению в сущность исследуемых явлений. Не случайно поэтому многие достижения передовиков сельского хозяйства не находят широкого распространения, так как чаще всего они не завершаются теоретическими обобщениями, указывающими на новые пути и средства достижения высоких показателей. Нередко эти обобщения и не могут быть сделаны в связи с тем, что производственные достижения носят сугубо местный характер. Поэтому успех опытной работы в условиях колхозов и совхозов в значительной мере зависит от связи ее с теорией.

Без тесной связи с наукой, без опоры на науку опытная работа в производственной обстановке часто имеет ограниченное значение и сводится к поиску вслепую.

Дальнейшее совершенствование сельскохозяйственного производства во многом зависит от уровня и размаха экспериментальных работ на полях и фермах. Недооценка значения опытной работы непосредственно в колхозах и совхозах, отсутствие внимания к планированию и координации, связанным с внедрением достижений науки в производство, созданию необходимых производственно-экспериментальных баз, подготовке исследователей, способных осуществлять производственные опыты, всегда наносили вред как практике, так и науке, тормозили внедрение в сельское хозяйство научных исследований, представляющих огромное хозяйственно-экономическое значение.

Особенности организации, методики и техники полевого опыта в производственной обстановке определяются целями и характером исследования, видом опыта, степенью производственного риска, материально-технической базой. Нет и не может быть единой методики для всех опытов, которые закладываются в хозяйствах, методика и техника проведения эксперимента всегда конкретны. Поэтому широко распространенное представление о том, что опыты в производственных условиях всегда нужно закладывать на крупных земельных участках, производственных загонах в 10—30 га и более или даже на целых полях хозяйственного севооборота, крайне односторонне и необоснованно. Проведение экспериментальных работ на больших земельных участках целесообразно лишь при изучении некоторых вопросов, например механизации, когда необходимо определить производительность машин, расход горючего и т. п. Что касается изучения (а не внедрения!) большинства агротехнических приемов (обработки почвы, посева, ухода, удобрений), а также сравнительной оценки новых сортов и культур в производственной обстановке, то оно гораздо проще, дешевле, без существенного производственного риска и, что самое главное, методически

более правильно может быть проведено в опытах, поставленных на делянках (полосах) оптимального размера для каждого случая.

Нельзя ставить опыт так, чтобы один его вариант размещался на одном, а второй — на другом целом поле. Доказать различия между вариантами в подобных случаях невозможно. Разные поля севооборота всегда различаются по своей истории, степени окультуренности и другим показателям. Поэтому опыты, заложенные таким образом, дают искаженную информацию о действии изучаемых приемов, и, следовательно, выводы на основании этих опытов могут быть ошибочными.

В колхозах и совхозах в отличие от научных учреждений нет специально подготовленных кадров для ведения опытной работы, малогабаритной техники, инвентаря и приспособлений, облегчающих проведение полевых опытов. Поэтому нельзя копировать методику и особенно технику полевых опытов научных учреждений.

Опыт в производственной обстановке должен быть по возможности простым по технике постановки и особенно по методике и технике уборки и учета урожая. Вместе с этим полевые опыты в хозяйствах должны обеспечивать получение данных, достоверных по существу, и, следовательно, проводиться с соблюдением основных требований методики, выработанных и проверенных на тысячах опытов научно-исследовательских учреждений.

Практика показала, что размещение полевых опытов, которые целесообразно проводить в данном хозяйстве на специально выделенном стационарном участке — опытном поле, часто связано с организационными трудностями. Необходимо иметь специальный персонал по обслуживанию опытного поля, машины, орудия, инвентарь и т. п. Такая организация опытной работы в производстве доступна сейчас далеко не всем колхозам и совхозам. Кроме того, и, пожалуй, это самое главное, при работе на специально выделенном, постоянном опытном поле ограничивается массовость опытной работы, так как все опыты сосредоточиваются в одном месте, а не в разных бригадах (отделениях), где в процессе производства возникают многие вопросы, требующие экспериментального решения. Поэтому даже те хозяйства, которые имеют специальные опытные поля, не ограничиваются закладкой опытов только на них, а повторяют многие опыты в хозяйственных севооборотах. Если же почвы в пределах хозяйства сильно варьируют по почвенной разности, рельефу и окультуренности, то выделение специального опытного поля будет еще менее оправдано.

В условиях производства рациональнее закладывать и проводить полевые опыты на земельных участках, выделяемых в полях хозяйственного севооборота. Результаты опыта приобретают большую достоверность, если один и тот же опыт повторять на нескольких полях в нескольких бригадах (отделениях). При такой организации опытная работа действительно становится массовой и эффек-

тивность новых приемов изучают одновременно в разных микроусловиях.

Изучение и конкретизация приемов в разных микроусловиях особенно необходима при разработке системы удобрения и способов углубления пахотного слоя. Меньшая степень детализации требуется для тех приемов и способов, которые дают близкие результаты в более широком диапазоне почвенных и хозяйственных условий. Сюда могут быть отнесены агротехнические и химические способы борьбы с сорняками, рекомендации по применению ядохимикатов, новых сортов и др.

При организации опытной работы в колхозе (совхозе) необходимо ориентироваться: 1) на проведение полевых опытов не на специально выделенном опытном участке, а главным образом в полях хозяйственных севооборотов и 2) на сочетание постановки и проведения опытов с основными производственными процессами. В отдельных случаях бывает целесообразным поставить опыт на делянках очень небольшого размера, например при недостатке нового вида удобрения или гербицида, отсутствии большой партии семян новой культуры или сорта и т. д. В подобных случаях многие работы по закладке и проведению опыта должны быть, естественно, выполнены вручную.

Программа опытных работ в хозяйстве должна включать разные виды опытов, имеющих небольшое (3—4) число вариантов, а методика, техника закладки и проведения эксперимента не должны затруднять производственные процессы. Планируя опытную работу в производственной обстановке, необходимо помнить, что большое число плохо поставленных и кое-как проведенных опытов не выясняют, а запутывают вопрос об эффективности того или иного приема, ведут к бесполезной затрате труда и средств. Поэтому целесообразно сосредоточить внимание только на тех из них, которые представляют наибольший интерес для хозяйства, и провести эти опыты высококачественно. Если же условий для опытной работы нет, то лучше совсем отказаться от нее.

Эффективность опытной работы в колхозах и совхозах определяется рядом условий. Важнейшими являются: 1) правильный выбор основного направления исследований, 2) отношение к опытной работе руководителей и специалистов хозяйства и 3) выполнение основных требований методики постановки и проведения полевых опытов. Можно с уверенностью сказать, что экспериментальная работа в хозяйстве будет обречена на провал, если руководители не уделяют ей должного внимания, не считают ее полезной для производства и отказывают экспериментатору в своевременном представлении техники и рабочих, не выделяют средств для приобретения необходимого оборудования, инвентаря и материалов, не способствуют внедрению достижений науки в производство.

В современных условиях опытная работа в колхозах и совхозах— это не работа опытников-одиночек, а коллективный научный поиск новых путей совершенствования производства, целенаправленное

испытание и активное внедрение всего нового, что дает наука и передовой опыт. Совершенно очевидно, что в крупном сельскохозяйственном производстве внедрение и учет эффективности новых агротехнических мероприятий, постановку сравнительных полевых опытов надо проводить по плану, под непосредственным руководством квалифицированного специалиста (агронома).

Тематический план опытной работы в хозяйстве должен быть утвержден правлением колхоза или дирекцией совхоза и включен в производственно-финансовый план хозяйства, в его сезонные агропланы. Нужно предусмотреть материальные затраты на постановку полевых опытов, проведение наблюдений и исследований, учесть дополнительные затраты труда, выделить необходимые машины, орудия и материалы. Чтобы дать производителям требуемые данные для планирования, следует разработать тематику и программу экспериментальных работ и на их основе составить план проведения полевых опытов в хозяйстве. Форма для составления плана может быть принята следующая.

План полевых опытов в колхозе (совхозе) на 196 . . г.

Тема и вид опыта	Схема опыта	Где проводится опыт (отделение, бригада, севооборот, поле и т. д.)	Методика опыта			Общая площадь под опытом	Необходимые машины, орудия, семена, удобрения и материалы	Руководитель и исполнители опыта	Примечание
			размер делянок (полюсов)	повторность	метод измерения				

Полевые опыты, проводимые в колхозах и совхозах, можно разделить на четыре вида: 1) опыты-пробы, 2) точные сравнительные опыты, 3) опыты по учету эффективности новых агротехнических приемов и 4) демонстрационные опыты.

В любом хозяйстве в том или ином объеме проводят так называемые опыты-пробы, которые являются широкодоступным агрономическим методом поиска нового, что может быть в последующем использовано для совершенствования сельскохозяйственного производства. Как у агронома, хорошо знающего производство и его потребности, так и у молодого специалиста постоянно зарождаются мысли по усовершенствованию приемов и методов возделывания сельскохозяйственных культур. И надо уметь правильно в процессе производства поставить опыт-пробу на небольшой площади и получить ответ на возникший вопрос. Например, агроном заметил, что на отдельных участках яровая вика и горох сильно полегают как в чистых посевах, так и в смеси с овсом, и, следовательно, необходимо заменить овес другой, более устойчивой к полеганию культурой. Для этого на поле, где возделывают однолетние бобовые,

ставят на небольших делянках (полосах) и, как правило, без повторности опыт-пробу и вместо овса в качестве компонента испытывают другие культуры, например горчицу, яровую пшеницу, кормовые бобы и т. д. Визуальные наблюдения за ростом и развитием растений и учет урожая в этих опытах позволяют отобрать те сочетания (варианты), которые заслуживают внимания, более глубокого изучения и всесторонней оценки в сравнительных полевых опытах.

Другой пример. Хозяйство собирается ввести у себя новую культуру, но не уверено в пригодности почв для ее успешного возделывания. Для этого ставят ряд опытов-проб, т. е. высевают новую культуру на небольших площадях, на разных почвах и получают ответ на поставленный вопрос. Если изучаемая культура дает хорошие результаты, то на следующий год работу с ней расширяют. Таким образом, опыты-пробы дают возможность быстро и объективно наметить перспективные направления для совершенствования производства и обосновать необходимость дальнейшего изучения тех вопросов, которые недостаточно ясны, требуют детализации: например, сроки и нормы посева, способы посева и т. п.

Кроме опытов-проб, в каждом хозяйстве необходимо ставить точные сравнительные полевые опыты по разработке дифференцированной агротехники, испытанию новых приемов и агрокомплексов, рекомендованных научными учреждениями. Эти опыты должны проводиться в соответствии с основными требованиями методики полевого опыта, а именно, с соблюдением принципа единственного различия, в типичных почвенных и хозяйственных условиях, на сравнительно однородных по плодородию земельных участках с известной историей. Полевые опыты в производственной обстановке требуют особенно тщательного учета урожая, так как здесь до минимума сокращаются количественные наблюдения за факторами внешней среды и растениями, имеющими самостоятельную ценность, и урожай — фактически единственный критерий оценки эффективности изучаемых приемов. Поэтому методике и технике полевого опыта в хозяйстве и особенно методике и технике уборки и учета урожая должно быть уделено особое внимание.

Земельные участки под сравнительные полевые опыты выбирают в полях хозяйственных севооборотов за год, а лучше — за два года до закладки опытов. Участки должны быть типичными для данного хозяйства по почвенному покрову, достаточно однородными по плодородию и с одинаковым хозяйственным использованием по крайней мере за два предыдущих года. Для правильного выбора участка необходимо воспользоваться почвенной картой и книгой истории полей. В год, предшествующий закладке опыта, рекомендуется дать оценку пестроты плодородия почвы по состоянию хозяйственного посева. Для этого 3—4 раза за вегетацию осматривают посев предшествующей опыту культуры. По росту и развитию растений сравнительно легко судить об однородности плодородия почвы. На основании многократной глазомерной оценки посева из

общего массива выделяют наиболее выравненный и удобный для закладки опыта земельный участок и фиксируют его границы кольями (реперами).

Площадь делянки полевых опытов в хозяйственных условиях устанавливают в зависимости от содержания и цели опыта, особенностей культуры и пестроты плодородия почвы. Часто, однако, решающим фактором являются технические условия проведения эксперимента. Размер делянки должен позволять максимально механизировать проведение всех сельскохозяйственных работ производственными машинами и орудиями. В наибольшей степени этому требованию отвечают удлиненные делянки-полосы, расположенные в один ряд (ярус) поперек или вдоль всего поля. Следовательно, длина делянки и ее площадь в значительной степени определяются случайными факторами, а именно длиной или шириной поля, в котором размещается опыт.

Ширина делянки варьирует менее значительно и полностью зависит от изучаемых приемов. Так, в опытах по обработке почвы ширина делянки должна быть достаточной для нормальной работы обрабатывающих орудий и составлять (с учетом боковых защитных полос) не менее 10—15 м; в опытах по изучению норм и способов посева ширина делянки должна быть не меньше ширины захвата сеялки; в опытах с изучением гербицидов и препаратов для борьбы с болезнями и вредителями — не меньше ширины захвата опрыскивателя или опыливателя. В полевых опытах с зерновыми культурами, когда уборку урожая планируют прямым комбайнированием, ширину учетной части делянки необходимо устанавливать кратной одному или нескольким захватам хедера самоходного комбайна.

Практика постановки полевых опытов в колхозах и совхозах показывает, что целесообразная ширина делянки (полосы) для зерновых 8—16 м и для пропашных культур 5—10 м, а общая площадь ее 500—2000 кв. м. При таких размерах делянки для опыта с 3—4 вариантами и 3—4-кратной повторностью требуется земельный участок площадью не больше 2,5—3 га.

Экспериментальная работа в производственных условиях на более крупных делянках, чем те, которые используются на полях опытных учреждений, не освобождает от необходимости закладывать полевые опыты с повторностями. Следует напомнить, что точность опыта больше возрастает при увеличении числа повторностей, чем при увеличении площади делянки, особенно на недостаточно выравненных по плодородию, например комплексных, почвах.

Полевой опыт в колхозе и совхозе может дать объективную информацию об изучаемом явлении только в том случае, когда он столь же точен, как и на полях опытных учреждений, и проведен методически правильно и с надлежащей повторностью. Повторность — наиболее действенный путь повышения точности результатов полевого опыта в условиях производства. Без нее агроном-экспериментатор не имеет возможности определить ошибку опыта и объективно оценить существенность (достоверность) различий в

урожаев по вариантам. Поэтому постановка сравнительных полевых опытов в хозяйствах без повторностей так же недопустима, как и на опытных станциях. На выровненных по плодородию и рельефу земельных участках можно ограничиться трехкратной повторностью, а на более пестрых почвах или при изучении приемов, незначительно различающихся по эффективности, необходима как минимум четырехкратная повторность.

Полевые опыты на полях колхозов и совхозов размещают обычно в одну полосу (в один ярус), ширина которой равна длине делянки. Число изучаемых вариантов должно быть ограничено. При большом количестве их различия в почвенных условиях оказывают большое влияние на результаты опыта, особенно в том случае, когда опыт проводят на широких делянках с большой площадью (2000 кв. м и более).

При размещении вариантов по делянкам необходимо иметь в виду, что между рядом расположенными делянками и урожаями растений соседних вариантов обнаруживается более тесная взаимосвязь (корреляция), чем между вариантами, отдаленными друг от друга. Это затрудняет выяснение истинных различий в действии изучаемых приемов на урожай, если варианты в пределах всех повторностей располагаются всегда в определенной последовательности, систематически. Чтобы устранить это затруднение, которое может сильно исказить результаты исследования, особенно в опытах с числом изучаемых вариантов больше трех и при испытании приемов, незначительно различающихся по эффективности, варианты внутри повторений следует располагать случайно, по жребию. В этом случае урожай растений на отдельных вариантах не сопряжены друг с другом и все изучаемые варианты оказываются в более сходных условиях, чем при расположении их всегда в определенном порядке.

Четыре варианта опыта с четырехкратной повторностью могут в поле располагаться, например, так:

I повторение				II повторение				III повторение				IV повторение			
1	2	3	4	3	4	1	2	3	1	4	2	1	3	2	4

Здесь для одного повторения (первого) принято обычное, последовательное размещение. Это удобно в демонстрационных целях и не нарушает требования выборочного метода исследования, если в остальных повторениях варианты располагать случайно. Для рендомизированного расположения вариантов можно воспользоваться готовыми схемами (см. стр. 80—83), жребием или таблицей случайных чисел (см. табл. 3 приложений). Возьмем в этой таблице, например, пятый столбец чисел, а в нем первую колонку цифр и, двигаясь по ней сверху вниз, получим указанный выше для II—IV повторений случайный порядок размещения вариантов. Если в

таблице встречаются подряд одинаковые цифры, то берут только одну из них и не допускают расположения рядом двух одноименных вариантов в повторении.

Если полевой опыт включает 2—3 варианта, то можно применять последовательное их размещение в пределах всех повторений. При трех вариантах контрольный вариант рекомендуется помещать между двумя изучаемыми так, как это показано ниже, где за стандарт принят второй вариант:

I повторение			II повторение			III повторение			IV повторение		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Полевые опыты в хозяйствах могут быть заложены стандартными методами с размещением контрольного варианта через один, два или три опытных (см. рис. 8 на стр. 67). В этом случае урожай растений с опытных вариантов в каждом повторении необходимо сравнивать со средним урожаем из двух ближайших контролей или с урожаем интерполированного контроля.

Все агротехнические работы в полевых опытах нужно проводить своевременно и высококачественно, с соблюдением единства всех прочих условий, кроме изучаемого. Урожай в опытах, закладываемых в производстве, учитывают, как правило, сплошным методом со всей учетной площади делянки. Данные учета урожая следует обрабатывать статистически разностным методом или методом дисперсионного анализа.

Если в хозяйстве планируют проведение опытов для первоначальной оценки принципиально новых способов возделывания сельскохозяйственных культур, необходимо закладывать их на небольших делянках (50—100 кв. м), а в отдельных случаях 10—20 кв. м. Методика и техника проведения этих опытов описаны выше и не отличаются от методики и техники полевых опытов, принятых для научно-исследовательских учреждений. Такие опыты в колхозах и совхозах представляют исключение и ставят их на особо выделенных участках вне хозяйственного севооборота.

На каждый полевой опыт или группу опытов, объединенных общей темой, заводят полевой дневник. В дневнике описывают схему, условия, методику и технику проведения опыта, фиксируют все агротехнические работы, наблюдения и учеты, указывают способ уборки и учета урожая, приводят результаты статистической обработки урожая. В конце дневника дают предварительные выводы и предложения.

Ежегодно на совещании руководителей и специалистов хозяйства должны обсуждаться итоги опытной работы и намечаться конкретные организационно-технические меры по внедрению эффективных агротехнических мероприятий в производство.

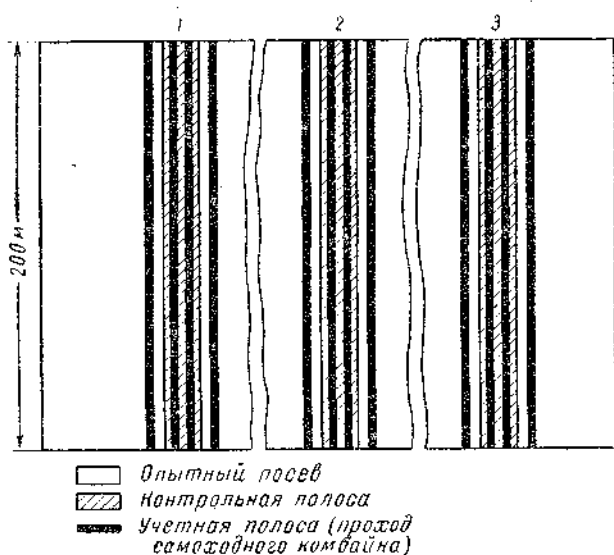


Рис. 57. Схема расположения контрольных и учетных полос в опыте по оценке хозяйственной эффективности агротехнических мероприятий.

Следующий этап опытных работ в производстве — объективный количественный **учет хозяйственной эффективности агротехнических мероприятий**. Это по существу совмещение процесса внедрения и исследования тех новых приемов или комплексов их, агротехническая оценка которых уже дана на опытных станциях и в полевых сравнительных опытах колхозов и совхозов, но необходимо усовершенствование и дальнейшая дифференциация этих приемов в условиях конкретного хозяйства.

Для учета эффективности нового агротехнического приема (сорта) или агрокомплекса в общем массиве, где будет внедряться прием, выделяют 3—4 контрольные полосы. Ширина контрольных полос для культур сплошного сева должна быть не менее 10—20 м, пропашных культур — 5—10 м. На этих полосах новый (опытный) агротехнический прием не применяется. Контрольные полосы необходимо выделять так, чтобы они охватывали все разнообразие условий земельного массива и правильно характеризовали агротехническую эффективность внедряемого приема. Границы контрольных полос на концах поля фиксируют кольшками и вешками.

При уборке урожай учитывают отдельно на контрольных полосах и на рядом расположенных и параллельных им полосах хозяйственного посева, где применяется новый прием. Количество и площади контрольных и опытных учетных полос должны быть одинаковыми. Сопоставляя средние урожаи контрольных и опытных

участков, делают вывод об агротехнической эффективности, а экономическую эффективность нового приема или агрокомплекса определяют учетом затрат и прибыли.

Один из лучших способов уборки зерновых культур с контрольных и опытных учетных полос — прямое комбайнирование. Перед началом работы комбайн необходимо нормально загрузить зерном. Для этого он должен предварительно проработать некоторое время на хозяйственном посеве. Непосредственно перед заездом на учетные полосы и после уборки урожая на них необходимо в течение 2—3 минут промолотить остатки сжатого хлеба. Комбайнер ведет машину точно на вешки, которые устанавливают в середине намеченных прокосов. На каждой контрольной полосе делают два прокоса с расстоянием 2—5 м друг от друга. Зерно с них собирают в мешки, этикеттируют, а затем взвешивают. Рядом с контрольной полосой (на расстоянии 3—10 м) справа и слева делают по прокоосу для учета урожая с опытного варианта. Таким образом, учетная площадь первой контрольной и опытной полос будет равна удвоенной ширине захвата хедера комбайна, умноженной на длину гона. Например, при ширине захвата хедера 4 м и длине гона 200 м (рис. 57) она будет равна $2 \times 4 \times 200 = 1600$ кв. м.

Для определения влажности и веса отсортированного зерна, а также его качества при взвешивании урожая берут средние пробы весом около 1 кг в банки с притертыми пробками.

После того как будут убраны все учетные полосы, убирают урожай со всего массива тем же комбайном.

Примерная форма записи и расчеты при оценке агротехнической эффективности новых приемов возделывания сельскохозяйственных культур в производственной обстановке даны в таблице 13.

Здесь математическая обработка данных по учету эффективности удобрений в хозяйственных условиях проведена разностным методом, который учитывает сопряженность в варьировании урожаев по учетным полосам. Она дает основание сделать вывод: внесение под яровую пшеницу $N_{30}P_{60}K_{60}$ дает существенную (достоверную) прибавку урожая с уровнем вероятности 0,95 (95%). Теоретическое значение критерия существенности $t_{0,95}$ берется из таблицы 1 приложений в зависимости от числа степеней свободы, которое равно количеству повторностей (учетных полос) без единицы. В нашем примере $n - 1 = 3 - 1 = 2$. Если бы $t_{факт}$ оказалось меньше $t_{0,95} = 4,3$, то разность в урожаях нельзя было бы считать доказанной. Она могла быть получена в результате действия случайных факторов, а не удобрений.

Подробно статистический метод оценки данных полевых опытов и наблюдений рассмотрен во второй части книги. Здесь этот пример приведен для того, чтобы показать, насколько проста и доступна для широкого круга экспериментаторов статистическая оценка агротехнической эффективности внедряемых приемов. Без такой оценки, так же как и без критического агрономического анализа методики и техники проведения опыта по учету эффективности агро-

Оценка агротехнической эффективности применения минеральных удобрений под яровую пшеницу в хозяйственных условиях

Показатели	Номера учетных полос	Название агроприема		Разность в урожаях, d	Ошибка разности $s_d = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2}{n(n-1)}}$	Критерий соответствия разности факт. = $\frac{d}{s_d}$ (теоретическое значение $t_{0,86} = 4,8$)
		удобрено $N_{20}P_{60}K_{60}$	без удобрений			
Бункерный урожай (в кг) с полосы площадью 800 кв. м	1	131,3	96,0	—	—	—
	2	197,5	144,0	—	—	—
	3	161,0	129,5	—	—	—
Урожай (в ц с 1 га)	1	16,4	12,0	4,4	—	—
	2	24,7	18,0	6,7	—	—
	3	20,1	16,2	3,9	—	—
Суммы		61,2	46,2	$\sum d = 15,0$	0,86	5,8
Средние		20,4	15,4	$d = 5,0$		

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2 : n}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(4,4^2 + 6,7^2 + 3,9^2) - 15^2 : 3}{3(3-1)}} = 0,86 \text{ ц};$$

$$t_{\text{факт}} = \frac{d}{s_d} = \frac{5,0}{0,86} = 5,8.$$

технических мероприятий, все последующие экономические расчеты всегда могут быть поставлены под сомнение.

Экономическую эффективность внедрения нового агротехнического мероприятия устанавливают сопоставлением дополнительных затрат труда и средств производства и стоимости дополнительного урожая. Для этих расчетов необходимо иметь следующие показатели: 1) прибавку урожая от применения данного приема, 2) дополнительные затраты на ее получение и 3) доход на гектар площади. Если новый агротехнический прием не требует дополнительных затрат, например оптимальный срок сева, ранний подъем зяби и т. п., то в этом случае никаких расчетов, кроме агротехнической и статистической оценки, производить не следует; ибо экономический эффект таких приемов очевиден.

Часто для учета хозяйственной эффективности агротехнических приемов выделяют контрольные полосы только по краям поля и сравнивают урожай с этих полос с урожаем со всего поля, где применяется новый прием. При таком методе закладки контрольных полос и сравнении урожаев получается искаженное представление об агротехнической и экономической эффективности внедряемого

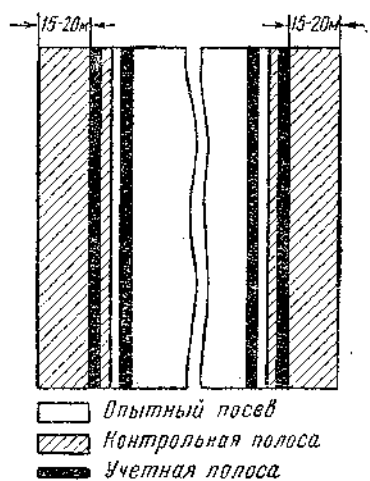


Рис. 58. Схема расположения контрольных и учетных полос в опыте по оценке хозяйственной эффективности агротехнических мероприятий.

сравниваемых контрольных и опытных вариантов не характеризуют все поле, что не позволяет дать правильную агротехническую и экономическую оценку изучаемому приему. Контрольные полосы надо выделять так, чтобы они по возможности представляли все разнообразие условий данного поля.

Важная роль в пропаганде достижений науки и передового опыта принадлежит демонстрационным, или показательным, полевым опытам. Главная задача этих опытов — дать наглядное представление о преимуществе и особенностях нового агротехнического приема, технологии возделывания нового сорта или культуры. Для демонстрационных опытов, которые закладывают в опорно-показательных хозяйствах, на экспериментальных базах научно-исследовательских учреждений и в передовых хозяйствах, отбирают те приемы и способы, агротехническая оценка которых дана в полевых опытах, хорошо отработана вся технология и, следовательно, нет оснований сомневаться в их эффективности.

Закладывают демонстрационные опыты в полях хозяйственного севооборота на участках (полосах), позволяющих полностью механизировать возделывание опытной культуры. Работы по закладке и проведению опыта должны быть выполнены своевременно и высококачественно.

Обычно демонстрационный опыт включает два варианта: новый агротехнический прием или нерасчлненный агрокомплекс и стандартный, контрольный вариант. Для большей убедительности и объективности желательно закладывать демонстрационные опыты в

приема, так как допускаются две методические ошибки: 1) сравнивают несравнимые величины, так как площади контрольных полос и остальной части поля очень сильно различаются, т. е. допускается неравноточность сравнения; 2) на контрольной полосе, с краю поля, растения развиваются в иных условиях, чем в середине. При указанном расположении контролей более правильное представление о действии нового приема может быть получено, если сравнивать урожай на рядом расположенных и параллельных полосах контрольного и опытного посевов. При этом обязательным условием является удаление учетной контрольной полосы не менее чем на 15—20 м от края поля (рис. 58).

Основной недостаток указанного на рисунке расположения опыта по учету хозяйственной эффективности новых мероприятий в том, что урожай

двукратной повторности. При необходимости может быть организован учет урожая по вариантам опыта.

Во время вегетации опытные посевы и дорожки между делянками должны содержаться в образцовом порядке. После всходов и пробивки дорожек на опытном участке устанавливают этикетки. В начале опыта помещают большую этикетку с кратким описанием рекомендуемого приема или новой технологии возделывания культуры. На делянках устанавливают небольшие этикетки. Надписи на поделяночных этикетках должны в самой краткой и понятной форме указывать на основные отличия вариантов.

На участке, где заложен демонстрационный опыт, целесообразно организовать семинары с руководителями и специалистами соседних хозяйств, указать условия получения наибольшего эффекта от рекомендуемого способа возделывания.

Организация массовых экспериментальных исследований на полях и фермах, активное внедрение достижений науки и передового опыта — не просто сопутствующий и маложелательный элемент повседневной организационно-хозяйственной работы специалиста — это неотъемлемая часть его производственной деятельности, наиболее плодотворный путь успешной работы. В настоящее время созданы особенно благоприятные условия для широкого внедрения в практику новейших достижений науки, для проведения экспериментальных работ непосредственно на производстве, и современный агроном — это не консультант и не администратор, а технолог и хозяин поля. В практической работе он должен доверять лишь одному авторитету — фактам, полученным в точном опыте. Только в этом случае сельское хозяйство будет гарантировано от субъективизма и догматизма, от внедрения необоснованных приемов, рожденных на основе гипотез и предубеждений, которые очень часто бывают дальше от истины, чем незнание.

2. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходную предпосылку применения статистических методов в биологии и сельском хозяйстве составляет широкая природная изменчивость (вариация) практически всех изучаемых объектов — растений, животных, почв и др. Это затрудняет количественную оценку экспериментальных данных и требует применения специальных математических методов, которые позволяют закономерные, существенные изменения тех или иных величин отличить от изменений случайных, несущественных, обусловленных природой изменчивости изучаемых объектов.

Математическая статистика позволяет оценить точность экспериментальных данных и установить те допустимые пределы, в которых сделанные выводы являются определенными и достаточно надежными. Важное значение статистические методы имеют для установления связи, сопряженности, соотношения или корреляции между изучаемыми показателями, а также для установления соответствия полученного экспериментального (эмпирического) ряда величин с теоретически вычисленными, что дает возможность судить о степени приближения данных опыта к теоретическим предпосылкам, к принятию или отбрасыванию гипотезы.

Нельзя, однако, преувеличивать ценность статистических методов и превращать их использование в самоцель. Сами по себе методы математической статистики, если они не сочетаются с предварительным квалифицированным анализом агрономической сущности изучаемого явления и правильной постановкой опытов, не могут ничего добавить к умению экспериментатора. Никакая статистическая обработка материалов не может заставить плохой опыт дать хорошие результаты. Главная обязанность экспериментатора — постановка добротных, целенаправленных опытов, а математическая статистика помогает агрономическому исследованию в выборе оптимальных условий для проведения опыта, дает объективную, количественную оценку экспериментальным данным.

Методы математической статистики не вскрывают сущности и причин явлений (хотя и значительно помогают этому), но формулируют количественную сторону этих явлений. Практика опытной работы показывает, что применение математической статистики наиболее эффективно в том случае, если исследовательская работа планируется в соответствии со способами статистического анализа. Знание современных методов статистической обработки необходимо не только для количественной характеристики наблюдений и полу-

ченных в опыте данных, когда уже нельзя ничего исправить, но и на всех этапах эксперимента от планирования до интерпретации окончательных результатов.

§ 1. ОСНОВНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИАЦИОННЫХ РЯДОВ

Всякое массовое, множественное явление, например группа растений на поле или животных на ферме, представляет собой совокупность особей, случаев, фактов, предметов, т. е. некоторых условных единиц, каждая из которых в отдельности строго индивидуальна и отличается от других рядом признаков — высотой, весом, количеством продукции и т. д. Каждый из признаков может иметь у различных особей разную степень выраженности — поэтому говорят, что признак варьирует. *Свойство условных единиц — растений, урожаев на параллельных делянках полевого опыта и т. п. — отличаться друг от друга даже в однородных совокупностях называется изменчивостью, или варьированием.* Изменчивость — свойство, присущее всем предметам природы; двух совершенно одинаковых предметов не существует, хотя различия между ними и могут быть незаметными для невооруженного глаза.

Варьирующими признаками у растений являются, например, их высота, количество и вес зерен в колосе, содержание протеина и др. Варьирование возникает вследствие того, что растения одного и того же сорта всегда отличаются своей наследственностью, кроме того, формирование их часто протекает в относительно различных условиях внешней среды. В полевых и вегетационных опытах, даже при самой тщательной работе, урожай на параллельных делянках или в сосудах всегда получаются разные. Это колебание, изменчивость, вариация — результат влияния различного сочетания внешних условий, не всегда поддающихся учету, и определяемое часто как следствие случайных причин, вызывающих различия в изучаемых признаках. Следовательно, при любом исследовании данные опытов будут всегда варьировать в тех или иных пределах.

Изменчивость, варьирование признаков создает известную трудность в тех случаях, когда требуется дать общую характеристику определенной варьирующей группе (совокупности) растений, животных, почв и т. п. по отдельным признакам или сравнить две такие группы и найти различие между ними. Совершенно очевидно, что не всегда возможно (а практически очень редко) исследовать по тому или другому признаку все особи, всю совокупность. В этих случаях прибегают к изучению части ее, по которой делают общее заключение. Такой метод называется выборочным и считается основным при статистическом изучении совокупности. В результате таких выборочных наблюдений получают числа, которые для удобства изучения и обозрения сводят в ряды, и называют их вариационными.

Таким образом, всю подлежащую изучению группу объектов называют совокупностью или генеральной совокупностью, а ту часть объектов, которая попала на проверку, исследование, — выборочной совокупностью или просто выборкой. Число элементов в генеральной совокупности и выборке называют их объемом.

Чтобы иметь право распространить на генеральную совокупность данные изучения интересующего нас признака, полученные по выборке, должны быть выполнены два основных условия.

1. Выборку обязательно проводят случайно, т. е. все члены генеральной совокупности должны иметь одинаковую вероятность, один и тот же шанс попасть в выборку. Нельзя делать ее специальным подбором, который ведет к упорядочению значений изучаемых величин, к тенденциозности.

2. Необходимо, чтобы для выборки использовалась по возможности однородная совокупность.

Чаще всего в исследовательской работе выборку образуют отбором единиц совокупности: механическим через определенный интервал, случайным бесповторным или повторным и типическим (или районированным).

Взятая тем или иным способом выборка и служит для запланированных исследований и наблюдений.

Главная цель выборочного метода — по статистическим показателям малой выборки (средней пробе) возможно точнее охарактеризовать всю совокупность объектов, которая в статистике и называется генеральной совокупностью.

Аналогичным образом поступают и при постановке полевых опытов, когда редко имеют более 4—6 одноименных (повторных) деленок и по их урожаям или другим определениям, т. е. по этой малой выборке из общей площади опытного участка, пытаются получить достоверные выводы относительно всего опытного участка, относительно большего числа возможных результатов. Здесь в скрытом виде имеется практически бесконечная статистическая группа, генеральная совокупность, которая на основании данных малой выборки должна быть охарактеризована возможно более простыми статистическими показателями.

Следовательно, цель выборочного метода совершенно подобна цели всякого научного исследования: при помощи сравнительно ограниченных средств, которые дают возможность изучать единичные явления, требуется установить характерные свойства и законы для бесконечного числа возможных или встречающихся явлений, поскольку эти свойства и законы объективно существуют.

В результате наблюдений мы получаем сведения о численной величине изучаемого признака у каждого члена данной выборочной совокупности — урожае, весе или высоте растений и т. д. Возможные значения варьирующего признака называют вариантами и обозначают X . Полученный таким образом ряд варьирующих величин, относящихся к определенной совокупности, можно упорядочить —

расположить значения признака (варианты) в порядке их возрастания (или убывания). Такое упорядочение ряда, т. е. расположение вариант в порядке возрастания (или убывания), называется ранжированием его. После ранжирования нетрудно заметить, что каждое значение признака встречается неодинаковое число раз — одни редко, другие часто. Числа, которые характеризуют, сколько раз повторяется каждое значение признака у членов данной совокупности, называются частотами признака и обозначаются f . Сумма всех частот (Σf) равна объему выборки, т. е. числу членов ряда — n . Частоты удобно выражать не в абсолютных, а в относительных числах — в долях единицы или процентах, приняв весь объем выборки за единицу или 100%. В результате такой обработки первичных наблюдений получаем так называемый вариационный ряд.

Итак, *вариационным рядом называется такой ряд данных, в которых указаны возможные значения варьирующего признака в порядке возрастания или убывания и соответствующие им частоты.*

В зависимости от характера варьирующего признака различают два типа вариационных рядов, два типа изменчивости: количественную, которая может быть измерена, и качественную, которая не поддается измерению.

Под количественной изменчивостью понимают такую, в которой различия между вариантами выражаются количеством, например весом, высотой, урожаем, числом зерен и т. д. Различают два вида количественной изменчивости: прерывистую, или дискретную, и непрерывную.

В первом случае различия между вариантами выражаются целыми числами, между которыми нет и не может быть переходов, например число растений на квадратном метре, число зерен в колосе и т. д. Во втором случае значения вариант выражаются мерами объема, длины, веса и т. д., между которыми мыслимы любые переходы с неограниченным числом возможных значений; все зависит от степени точности, принимаемой для характеристики данного количественного признака.

Качественной изменчивостью называется такое варьирование, когда различия между вариантами выражаются качественными показателями, которые одни варианты имеют, а другие нет.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Основными статистическими характеристиками (параметрами) количественных вариационных рядов являются: средняя арифметическая ($\bar{x}$), дисперсия (s^2), стандартное отклонение (s), ошибка средней арифметической ($\hat{s}_{\bar{x}}$), коэффициент вариации (V) и относительная ошибка выборочной средней ($s_{\bar{x}}\%$).

Средняя арифметическая — наиболее важный и универсальный количественный показатель, которым можно охарактеризовать

данную группу объектов. Она представляет собой обобщенную, абстрактную характеристику всей совокупности (ряда) в целом. Нахождение средней — это замена индивидуальных варьирующих значений всех членов вариационного ряда некоторой средней величиной. Если сумму всех вариантов ($X_1 + X_2 + \dots + X_n$) обозначить через ΣX (Σ — прописная сигма означает знак суммирования), а число всех вариантов через n , то формула для определения средней арифметической примет следующий вид:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma X}{n}.$$

При небольшом числе наблюдений достаточно сложить значения всех вариантов и сумму разделить на их общее число. Например, урожай картофеля на каждом из трех полей составил (в ц с 1 га): 180, 220 и 500. Отсюда

$$\bar{x} = \frac{180 + 220 + 500}{3} = 300 \text{ ц.}$$

Совершенно очевидно, что вычисленная таким образом простая средняя арифметическая имеет реальный смысл и будет действительно отражать среднюю урожайность картофеля в хозяйстве лишь в том случае, если площади всех полей равны между собой. Если же площади полей не равны, необходимо вычислять не простую, а так называемую взвешенную среднюю арифметическую, которая учитывает частоту встречаемости каждой варианты, в нашем примере площадь полей.

Взвешенную среднюю арифметическую вычисляют по формуле:

$$\bar{x} = \frac{f_1 X_1 + f_2 X_2 + \dots + f_n X_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \frac{\Sigma f X}{n},$$

где X — значение признака, варианты;

f — частота встречаемости каждой варианты, признака;

n — общее число измеренных значений, сумма всех частот ($n = \Sigma f$).

В примере с урожаями картофеля частотами будут площади полей. Допустим, что площадь первого поля 100, второго — 80 и третьего — 20 га. Вычислим средний урожай картофеля в хозяйстве по формуле взвешенной средней арифметической:

$$\bar{x} = \frac{180 \cdot 100 + 220 \cdot 80 + 500 \cdot 20}{100 + 80 + 20} = \frac{45\,600}{200} = 228 \text{ ц с 1 га.}$$

Таким образом, простую среднюю арифметическую можно брать в тех случаях, когда каждая варианта встречается одинаковое число раз, в противном случае, как это показано выше, простая средняя не имеет реального смысла. Поэтому под средней арифметической или просто средней в статистике всегда подразумевается взвешенная средняя без особой оговорки.

Основное математическое свойство средней арифметической заключается в равенстве суммы всех положительных и всех отри-

цательных отклонений от нее, т. е. сумма центральных отклонений всех отдельных вариантов от $\bar{x}$ равна нулю: $\Sigma (X - \bar{x}) = (X_1 - \bar{x}) + (X_2 - \bar{x}) + \dots + (X_n - \bar{x}) = 0$. Это свойство средней арифметической дает возможность проверить правильность вычисления $\bar{x}$, которая является как бы точкой равновесия вариационного ряда. Если $\Sigma (X - \bar{x})$ оказалась неравной нулю, значит, допущена ошибка в вычислениях. Например, для значений 180, 220 и 500 средняя арифметическая $\bar{x} = 300$. Центральные отклонения будут следующие: $180 - 300 = -120$, $220 - 300 = -80$, $500 - 300 = +200$, а сумма центральных отклонений $-120 + (-80) + 200 = 0$.

Стандартное отклонение и дисперсия. Средняя арифметическая дает первое обобщенное представление о совокупности изучаемых объектов. В ней снята всякая вариация, устранены все различия отдельных значений, это тот центр, около которого происходит варьирование изучаемого признака. Нередко бывает так, что средние арифметические одинаковы, но характеры распределения индивидуальных значений признака совершенно различны.

Так, при одинаковой средней величине урожаев двух сортов озимой пшеницы нельзя сказать, что эти сорта равноценны. Предположим, что урожай первого сорта варьировали по годам следующим образом (в ц с 1 га): 29, 31, 30, 30. Урожай второго сорта в сравнимых условиях за те же годы составляли: 20, 40, 35 и 25. В обоих случаях средний урожай $\bar{x} = 30$ ц с 1 га. Однако нетрудно заметить, что индивидуальные урожаи первого сорта имеют значения, близкие к $\bar{x}$, тогда как урожаи второго сорта значительно отклоняются от средней арифметической, т. е. варьирование урожаев по годам у второго сорта значительно сильнее, чем у первого, и в этом отношении сорта не только не тождественны, но очень различны.

Наибольший хозяйственный интерес, очевидно, представляет сорт, урожайность которого меньше подвержена случайным влияниям метеорологических и других факторов.

Следовательно, не меньшее значение, чем средняя арифметическая $\bar{x}$, имеет «рассеяние» урожаев, размах их возможных колебаний. Отсюда возникает и потребность в измерении вариации, рассеяния. Необходим показатель, который разумным образом мог бы давать меру рассеяния и хотя бы ориентировочно, примерно указывал на размер отклонений от среднего значения, какого следует ожидать. Следовательно, наряду с $\bar{x}$ необходимо иметь и среднюю величину, среднюю меру варьирования данного признака. Такой мерой могла бы служить средняя арифметическая отклонений индивидуальных вариантов от $\bar{x}$, но она всегда равна нулю, так как сумма всех отклонений равна нулю $\Sigma (X - \bar{x}) = 0$ независимо от характера изменчивости.

Чтобы отклонения от среднего могли служить мерой изменчивости, нужно освободиться от их знака, что достигается возведением отрицательных и положительных отклонений от $\bar{x}$ в четную степень, например в квадрат. Опыт и некоторые теоретические соображения показывают, что лучше всего взять квадраты отклонения $(X - \bar{x})^2$,

и тогда характеристику рассеяния значений X можно построить, рассматривая то среднее значение этого квадрата, которое получают при делении суммы всех квадратов отклонений на их число. Средний квадрат отклонений называется дисперсией и обозначается символом s^2 .

Итак, дисперсией называется средняя арифметическая квадратов отклонений отдельных значений варьирующего признака от их среднего значения. Размерность дисперсии равна квадрату размерности изучаемого признака, что неудобно и заставляет ввести для измерения рассеяния другую характеристику, имеющую размерность варьирующей величины и называемую стандартным, или средним квадратическим, отклонением s . Его получают извлечением квадратного корня из дисперсии s^2 и возвращаются тем самым как бы к исходным величинам отклонений.

Дисперсия и стандартное отклонение служат основными мерами вариации, рассеяния изучаемого признака или свойства. Величина стандартного отклонения имеет ту же размерность, что и $\bar{x}$. Она указывает на средний размах колебаний отдельных значений какого-либо признака и представляет ту границу, которая отделяет малые отклонения от отклонений значительных. Дисперсию и стандартное отклонение вычисляют по формулам:

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

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

Если все варианты сгруппированы по классам и частоты каждого класса обозначены через f , то s^2 и s вычисляют по формулам:

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

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum f(X - \bar{x})^2}{n - 1}}.$$

Для вычисления дисперсии s^2 следует определить отклонения всех вариант X от среднего арифметического $(X - \bar{x})$, каждое такое отклонение возвести в квадрат $(X - \bar{x})^2$ и сумму этих квадратов $\sum (X - \bar{x})^2$ разделить на число всех измерений без единицы $(n - 1)$. Для вычисления стандартного отклонения необходимо извлечь квадратный корень из величины дисперсии.

Из математической статистики известно, что при определении любых средних величин сумму всех показаний необходимо делить на число независимых друг от друга величин. В связи с этим в формулах сумму квадратов отклонений $\sum (X - \bar{x})^2$ делят не на общее число наблюдений, а на их число без единицы, так как одно любое отклонение зависимое и может быть найдено из равенства $\sum (X - \bar{x}) = 0$. Остальные отклонения могут свободно варьировать, принимать любые значения. Количество свободно варьирую-

щих величин называется числом степеней свободы или числом степеней свободы вариации. Оно обозначается v и в простейшем случае равно $n - 1$.

При вычислении средней арифметической $\bar{x}$ все величины независимы друг от друга, поэтому сумма их делится на общее число вариант n . Но когда уже известен ряд наблюдений от X_1 до X_n , каждое значение ряда, так же как и каждое отклонение $(X - \bar{x})$, можно легко определить по значению $\bar{x}$ и значениям остальных $n - 1$ вариант ряда. Действительно, любое отклонение зависит от величины всех остальных и численно равно сумме их, взятых с обратным знаком, так как сумма всех отклонений $\sum (X - \bar{x}) = 0$. Поэтому неизвестное нам отклонение должно свести эту сумму к нулю. Следовательно, отклонение одного любого варианта от $\bar{x}$ как бы лишено свободы вариации и точно определяется варьированием всех остальных вариант, т. е. $n - 1$. В связи с этим число независимых величин при определении s^2 и s равно не n , а $n - 1$.

Дисперсия и стандартное отклонение хорошо характеризуют основное свойство статистических величин — их вариацию, хотя смысл их не сразу улавливается. Поясним его простым примером со стрельбой в мишень. Предположим, что один стрелок попадает в цель со средним отклонением 2 см от центра мишени, а второй — 4 см. Кажется, что меткость первого стрелка в два раза больше, чем второго. В действительности, однако, степень попадания зависит не от расстояния от центра мишени, а от площади рассеяния нуль, т. е. изменяется пропорционально квадрату расстояния от центра (πR^2). Попасть в цель в пределах круга с радиусом 2 см и площадью $S_1 = 2^2\pi = 4\pi$ в четыре раза труднее, чем с радиусом 4 см и площадью $S_2 = 4^2\pi = 16\pi$, так как S_2 больше S_1 в четыре раза ($\frac{S_2}{S_1} = \frac{16\pi}{4\pi} = 4$). Следовательно, меткость первого стрелка не в два, а в четыре раза больше, чем второго.

При вычислении дисперсии и стандартного отклонения по основным формулам нередко возникают технические неудобства. Средняя арифметическая обычно получается в виде числа с дробью, поэтому центральные отклонения $(X - \bar{x})$ и особенно квадраты их $(X - \bar{x})^2$ получаются многозначными, что затрудняет счетную работу и ведет к ошибкам. Поэтому разработано несколько способов вычисления s^2 и s , которые значительно упрощают арифметические расчеты. Они основаны на том, что для получения суммы квадратов центральных отклонений $\sum (X - \bar{x})^2$ достаточно взять отклонения от любого произвольного числа A (условной средней, произвольного начала) и произвести с ними действия по формуле:

$$\sum (X - \bar{x})^2 = \sum (X - A)^2 - \frac{[\sum (X - A)]^2}{n}.$$

Если за условную среднюю (произвольное начало) принять нуль, то указанная формула примет следующий вид:

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

Формула $\Sigma(X - A)^2 = \frac{[\Sigma(X - A)]^2}{n}$ сильно облегчает работу по вычислению дисперсии и стандартного отклонения для больших групп с многозначными числами. Условную среднюю A выбирают совершенно произвольно, но с таким расчетом, чтобы разности $(X - A)$ были возможно меньше. Часто в качестве A берут какое-нибудь удобное число, близкое к предполагаемой средней. Среднюю арифметическую в этом случае вычисляют по формуле:

$$\bar{x} = A + \frac{\Sigma(X - A)}{n}.$$

Для малых групп с малозначными числами сумму квадратов центральных отклонений легче получить по формуле $\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n}$.

Стандартное отклонение служит показателем, который дает представление о наиболее вероятной средней ошибке отдельного, единичного наблюдения, взятого из данной совокупности. В пределах одного значения ($\pm 1s$) укладывается примерно $\frac{2}{3}$ всех наблюдений, или, точнее, 68,3% всех вариантов, т. е. основное ядро изучаемого ряда величин. Поэтому стандартное отклонение называют также основным отклонением вариационного ряда. Следовательно, возможны отклонения от $\bar{x}$, превосходящие $\pm 1s$, но вероятность их по мере удаления отклонений от $\pm 1s$ все время уменьшается. Так, вероятность встретить вариант, отклоняющуюся от $\bar{x}$ на величину больше $\pm 3s$, составляет всего около 0,3%. Поэтому утроенное значение стандартного отклонения принято считать предельной ошибкой отдельного наблюдения, и, следовательно, почти все значения вариант в вариационном ряду укладываются в пределах $\bar{x} \pm 3s$. Шестикратное значение среднего квадратического отклонения (от $-3s$ до $+3s$) дает ясное представление о ширине ряда наблюдений, о его рассеянии.

Запомним, что в пределах $\pm 1s$ укладывается 68,3% всех вариантов (вероятность $P = 0,68$), в пределах $\pm 2s$ — 95,5% ($P = 0,95$) и в пределах $\pm 3s$ — 99,7% всех вариантов данного ряда наблюдений ($P = 0,99$).

Коэффициент вариации. Стандартное отклонение имеет ту же размерность, что и среднее арифметическое. Поэтому при сравнении различных вариационных рядов этой величиной непосредственно воспользоваться нельзя, например s_1 и s_2 для урожаев двух сортов сахарной свеклы одинаковы, но урожаи значительно различаются. Можно ли сказать, что степень варьирования, изменчивости урожаев у обоих сортов одинакова? Нет, нельзя. Другой пример: как сравнить степень изменчивости веса и высоты растений? Непосредственно воспользоваться стандартными отклонениями нельзя: они, так же как и средние арифметические, выражены здесь в разных единицах. Поэтому для сравнения различных вариационных рядов, различных выборочных наблюдений стандартному отклонению необходимо придать относительное значение, выразить его, например, в процентах, приняв $\bar{x}$ за 100.

Стандартное отклонение, выраженное в процентах к среднему арифметическому, называется коэффициентом вариации (изменчивости). Этот коэффициент обозначают символом V и вычисляют по формуле:

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

Коэффициент вариации — это показатель относительной пестроты или выравниваемости варьирующего признака или свойства. Чем больше V , тем больше пестрота и меньше выравниваемость изучаемых объектов, и наоборот. Коэффициент изменчивости, будучи отвлеченным числом, выраженным в процентах, дает возможность сравнивать варьирование признаков разной размерности, например высоты и веса, содержания азота и площади листьев и т. п.

Пример вычисления коэффициентов вариации с урожаями двух сортов пшеницы:

$$\text{I сорт } \bar{x}_1 = 30,0; \quad s = 0,81; \quad V_1 = \frac{0,81}{30,0} \cdot 100 = 2,7\%.$$

$$\text{II сорт } \bar{x}_2 = 30,0; \quad s = 9,12; \quad V_2 = \frac{9,12}{30,0} \cdot 100 = 30,4\%.$$

Отсюда следует, что варьирование урожаяв второго сорта более чем в десять раз превосходит варьирование первого. Изменчивость вариационного ряда принято считать незначительной, если коэффициент вариации не превышает 10%, средней, если V выше 10%, но менее 20%, и значительной, если коэффициент вариации более 20%.

Для характеристики степени выравниваемости материала иногда целесообразно использовать величину, дополняющую значение коэффициента вариации до 100. Этот показатель называют коэффициентом выравниваемости и определяют по равенству $B = 100 - V$.

Ошибка средней арифметической. Средняя арифметическая любой выборочной совокупности характеризует среднюю генеральной совокупности не точно, а приближенно, отличаясь от нее на некоторую величину. Вместе с тем, несмотря на неточность всякой $\bar{x}$, вычисленной по ограниченному количеству измерений, она дает возможность судить о средней генеральной совокупности, если известна величина той ошибки, с которой определена $\bar{x}$.

Средняя величина отклонения выборочной средней от средней изучаемой совокупности называется ошибкой средней арифметической (или стандартной ошибкой) и обозначается через $s_{\bar{x}}$ (или m). Теория статистики доказывает, что ошибка средней прямо пропорциональна стандартному отклонению и обратно пропорциональна корню квадратному из числа измерений:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}},$$

где $s_{\bar{x}}$ — ошибка средней арифметической;

s — стандартное отклонение;

n — число измерений, повторностей, объем выборки.

Статистические ошибки называют также ошибками репрезентативности или ошибками выборки, так как они свойственны только выборочному методу исследования. Они связаны с перенесением результатов, полученных при изучении выборки, на всю генеральную совокупность. Величина этих ошибок зависит от степени изменчивости изучаемого признака и от объема выборки.

Ошибка средней арифметической тем меньше, чем меньше варьирует опытный материал и чем из большего количества измерений вычислено среднее арифметическое. Отсюда следует, что точность определения $\bar{x}$ для данного опытного материала с присущей ему величиной варьирования может быть повышена лишь увеличением числа повторных наблюдений. При $n = 1$ $s_{\bar{x}} = s$, так как $\sqrt{1} = 1$, а при $n \rightarrow \infty$ ошибка становится исчезающе малой: $s_{\bar{x}} \rightarrow 0$.

В опытной работе, особенно при обработке результатов полевых опытов и наблюдений, часто вычисляют только ошибку выборочной средней арифметической, не вычисляя стандартное отклонение, по следующей формуле:

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

Эту формулу легко получить, если в равенство $s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$ вместо s подставить его значение $s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n-1}}$ и сделать простейшие алгебраические преобразования.

Ошибки выборки выражают в тех же единицах измерения, что и варьирующий признак, и приписывают к соответствующим средним через знак $\pm$.

В варьировании средних арифметических, так же как и в варьировании отдельных наблюдений, имеются общие закономерности. Для достаточно больших выборок ($n > 20-30$) в пределах $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ укладывается 68,3% всех возможных для данной совокупности выборочных средних, в пределах $\bar{x} \pm 2s_{\bar{x}}$ — 95,5% и в пределах $\bar{x} \pm \pm 3s_{\bar{x}}$ — 97,7%. Опираясь на эти закономерности, можно с определенным уровнем вероятности вычислить так называемый доверительный интервал или пределы, в которых находится средняя генеральной совокупности.

Пример. При определении высоты растений льна-долгунца получены такие характеристики: $\bar{x} = 95,6$ и $s_{\bar{x}} = 6,1$ см. Доверительные интервалы для различных уровней вероятности будут равны:

для 68%-ного уровня $\bar{x} \pm s_{\bar{x}} = 95,6 \pm 6,1$ см;

для 95%-ного уровня $\bar{x} \pm 2s_{\bar{x}} = 95,6 \pm 2 \times 6,1 = 95,6 \pm 12,2$ см;

для 99%-ного уровня $\bar{x} \pm 3s_{\bar{x}} = 95,6 \pm 3 \times 6,1 = 95,6 \pm 18,3$ см.

В опытной работе чаще всего используют 95%-ный уровень вероятности. Принимая его, можно утверждать, что средняя высота растений льна той совокупности, из которой взята выборка, находится в пределах от 83,4 до 107,8 см. При более строгом подходе к оценке данных, например 99%-ном уровне вероятности, когда вероятность сделать ошибочное заключение составляет 1 на 100, доверительный интервал для средней генеральной совокупности расширяется. В данном примере он составляет от 77,3 до 113,9 см.

Относительная ошибка выборочной средней. Подобно коэффициенту вариации, представляющему собой процентное отношение s к $\bar{x}$, среднюю ошибку выборочной средней арифметической $s_{\bar{x}}$ можно также выразить в процентах от соответствующей средней величины.

Полученная относительная величина очень удобна для сравнения изменчивости любых выборочных средних арифметических. Она обозначается символом $s_{\bar{x}}\%$ (или $m\%$ и P) и называется относительной ошибкой выборочной средней (или точностью). Показатель точности вычисляют по формуле:

$$s_{\bar{x}}\% = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100.$$

Совершенно ясно, что надежность, устойчивость выборочных средних арифметических будет повышаться с уменьшением показателя точности и, наоборот, снижаться с увеличением $s_{\bar{x}}\%$. Для полевых опытов отличными показателями точности средних арифметических (урожаев) принято считать $s_{\bar{x}}\% \leq 1-2\%$, хорошими $s_{\bar{x}}\% \leq 3$, вполне удовлетворительными $s_{\bar{x}}\% = 3-5$ и удовлетворительными $s_{\bar{x}}\% = 5-7\%$. Для микрополевых и вегетационных опытов, полевых и лабораторных анализов и измерений желательна точность в пределах 1—3%.

Определение объема выборки. При планировании исследований всегда возникает необходимость определить объем выборки, которую предстоит взять, чтобы выборочная средняя характеризовала среднюю изучаемой совокупности с заданной точностью. Для достаточно больших совокупностей объем выборки вычисляют по формуле:

$$n = \left(\frac{ts}{s_{\bar{x}}} \right)^2,$$

где n — объем выборки;

t — критерий Стьюдента;

s — стандартное отклонение;

$s_{\bar{x}}$ — планируемая ошибка выборочной средней.

Значение критерия t зависит от уровня вероятности, который устанавливается экспериментатором. Для 68%-ного уровня $t = 1$, для 95%-ного — $t = 2$ и 99%-ного уровня вероятности $t = 3$ (см. табл. 1 приложений).

Необходимую для расчета объема выборки величину стандартного отклонения, т. е. показателя варьирования опытного материала, следует хотя бы ориентировочно получить экспериментально или руководствоваться результатами предыдущих опытов в сходных условиях.

Пример. Результатами предыдущих наблюдений из этой же совокупности установлено значение $s = 10$ см. Требуется узнать, какое количество растений необходимо измерить, чтобы среднее значение высоты было определено с ошибкой, например не более 2 и 5 см при 95%-ном уровне вероятности.

Согласно формуле $n = \left(\frac{ts}{s_x} \right)^2$, получается:

$$n_{s_{x=2}} = \left(\frac{2 \cdot 10}{2} \right)^2 = 100 \text{ растений};$$

$$n_{s_{x=5}} = \left(\frac{2 \cdot 10}{5} \right)^2 = 16 \text{ растений}.$$

Следовательно, для получения выборочной средней с ошибкой не более 2 см необходима выборка в 100 растений, а с ошибкой 5 см — всего 16 растений.

Иногда объем выборки удобнее рассчитывать не в абсолютных, а в относительных показателях (в %). В этих случаях формула для n приобретает такой вид:

$$n = \left(\frac{tV}{s_x \%} \right)^2,$$

где V — коэффициент вариации;

$s_x \%$ — относительная ошибка выборочной средней.

ГРУППИРОВКА И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Для небольшого ряда наблюдений вычисление основных статистических показателей изменчивости несложно, и единственное затруднение составляет возведение центральных отклонений $(X - \bar{x})$ в квадрат и извлечение квадратных корней. Значительно облегчают эту работу специальные таблицы квадратов и квадратных корней (табл. 4 приложений).

Однако в практической работе экспериментатору нередко приходится иметь дело с большим числом наблюдений — 50—100 и более отдельных вариантов (дат). Способ непосредственного вычисления статистических характеристик вариационного ряда в этом случае становится очень затруднительным и требует значительного времени. Поэтому возникает необходимость сгруппировать данные, представить их в виде элементарной статистической таблицы, систематизированного вариационного ряда.

Прежде чем рассматривать приемы группировки опытных данных, следует напомнить общепринятые обозначения некоторых терминов:

варианта (X) — отдельное значение варьирующего признака;

частота (f) — число вариант (случаев), имеющих одинаковые значения;

численность ряда или объем выборочной совокупности (n) — сумма всех частот, число объектов ряда ($n = \sum f$);

размах варьирования — интервал между наибольшей (X_{max}) и наименьшей (X_{min}) вариантами ряда ($X_{max} - X_{min}$).

Отклонения отдельных значений вариант от среднего арифметического принято обозначать $(X - \bar{x})$, квадраты отклонений $(X - \bar{x})^2$, а сумму отклонений и сумму квадратов отклонений символами $\sum (X - \bar{x})$ и $\sum (X - \bar{x})^2$, где $\sum$ — знак суммирования.

Группировка данных сводится к распределению их по группам, или классам. Количество выделяемых классов зависит от числа наблюдений, объема выборочной совокупности, т. е. от n . При этом можно примерно руководствоваться следующим:

Количество вариант	Число классов
20—30	5—6
30—100	6—8
Более 100	8—12

Однако это приблизительные, ориентировочные указания о количестве классов, так как твердых правил здесь не существует. Очевидно, что чем большее число классов мы установим, тем точнее будут выполнены вычисления, но зато тем кропотливее будет работа. Во всяком случае нецелесообразно разбивать вариационный ряд менее чем на 6—8 классов. Если наблюдений немного, например меньше 20, то группировка на классы нецелесообразна — она мало упрощает статистическую обработку и наносит ущерб точности.

Если все варианты сгруппированы по классам, каждый из которых характеризуется определенным значением вариант X , а частоты каждого класса f , то $\bar{x}$, s и s_x вычисляют по следующим формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum fX}{n}; \quad s = \sqrt{\frac{\sum f(X - \bar{x})^2}{n - 1}};$$

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}}, \text{ или, минуя } s, \quad s_x = \sqrt{\frac{\sum f(X - \bar{x})^2}{n(n - 1)}}.$$

В практической работе приходится иметь дело с дробными величинами, и непосредственное вычисление суммы квадратов отклонений $\sum (X - \bar{x})^2$ прямым способом становится громоздким и сопряжено с ошибками. В этих случаях для определения $\sum (X - \bar{x})^2$ удобно пользоваться соотношением, по которому для несгруппированного ряда сумма квадратов отклонений от среднего равна сумме

квадратов всех вариантов $\sum X^2$ минус частное от деления квадрата суммы всех вариантов на их общее число $\frac{(\sum X)^2}{n}$.

$$\sum (X - \bar{x})^2 = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \quad \text{или} \quad \sum (X - \bar{x})^2 = \sum X^2 - C,$$

где $C = \frac{(\sum X)^2}{n}$ — поправочный член, или корректирующий фактор.

Для сгруппированного ряда в эти соотношения необходимо ввести значение частоты f . Тогда

$$\sum (X - \bar{x})^2 = \sum fX^2 - \frac{(\sum fX)^2}{n} \quad \text{или} \quad \sum (X - \bar{x})^2 = \sum fX^2 - C,$$

где $C = \frac{(\sum fX)^2}{n}$.

Заменяя в формуле дисперсии значение $\sum (X - \bar{x})^2$ на $\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}$, получим для несгруппированного ряда:

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

где $C = \frac{(\sum X)^2}{n}$.

Для сгруппированного ряда значение дисперсии будет равно:

$$s^2 = \frac{\sum fX^2 - C}{n - 1},$$

где $C = \frac{(\sum fX)^2}{n}$.

Пример обработки ряда наблюдений количественной непрерывной изменчивости. В результате дробного учета рекогносцировочного посева яровой пшеницы на площади 0,5 га делянками по 100 м² получены следующие 50 урожаев (в ц с 1 га):

18,5	19,2	19,4	22,0	18,6	18,9	19,3	20,1	19,8	20,3
18,7	18,5	15,5	18,9	18,5	18,5	19,4	20,8	20,2	19,8
19,1	16,8	18,7	18,9	17,0	20,0	21,2	18,1	17,9	19,6
19,4	18,9	19,3	17,2	19,4	18,7	20,0	20,2	19,5	20,3
17,8	17,6	21,0	18,0	18,2	17,9	18,1	22,4	18,0	17,5

Определить $\bar{x}$, s , s_x , V и $s_x\%$.

Целесообразно сгруппировать данные в 6—8 классов. Размах колебаний в урожаях равен: $X_{\max} - X_{\min} = 22,4 - 15,5 = 6,9$ ц с 1 га. Видимо, удобнее всего взять семь классов, так как величина классового промежутка в этом случае будет около единицы:

$i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\text{число классов}} = \frac{6,9}{7} = 0,99 \approx 1$ ц. Составляют вспомогательную таблицу, намечают границы классов и делают разnosку исходных данных по классам (табл. 14).

Дальнейшую статистическую обработку проводят, используя соотношение $\sum (X - \bar{x})^2 = \sum fX^2 - C$. Вспомогательные вычисления располагаются в таблице 15.

Таблица 14

Распределение урожая пшеницы по классам

Классы (урожай, ц с 1 га) X	Среднее значение класса X_V	Частоты (число растений в каждом классе) f
15,5—16,4	16	1
16,5—17,4	17	3
17,5—18,4	18	10
18,5—19,4	19	20
19,5—20,4	20	11
20,5—21,4	21	3
21,5—22,4	22	2
		$\Sigma f = n = 50$

Таблица 15

Обработка данных рекогносцировочного посева пшеницы

Классы (урожай, ц с 1 га) X	Среднее значение класса X_V	Частоты f	Произведения fX_V	Квадраты X_V^2	Произведения fX_V^2
15,5—16,4	16	1	16	256	256
16,5—17,4	17	3	51	289	867
17,5—18,4	18	10	180	324	3240
18,5—19,4	19	20	380	361	7220
19,5—20,4	20	11	220	400	4400
20,5—21,4	21	3	63	441	1323
21,5—22,4	22	2	44	484	968
—	—	$\Sigma f = n = 50$	$\Sigma fX_V = 954$	—	$\Sigma fX_V^2 = 18\,274$

$$C = \frac{(\Sigma fX_V)^2}{n} = \frac{954^2}{50} = 18\,202,3.$$

В соответствии с формулами получается:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma fX_V}{n} = \frac{954}{50} = 19,1 \text{ ц с 1 га};$$

$$s^2 = \frac{\Sigma fX_V^2 - C}{n - 1} = \frac{18\,274 - 18\,202,3}{50 - 1} = 1,43;$$

$$s = \sqrt{1,43} = 1,21 \text{ ц с 1 га};$$

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{1,21}{19,1} \cdot 100 = 6,33\%;$$

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{1,21}{\sqrt{50}} = 0,17 \text{ ц с 1 га};$$

$$s_{\bar{x}}\% = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{0,17}{19,1} \cdot 100 = 0,89\%.$$

Окончательные результаты статистической обработки: $\bar{x} = 19,1 \pm 0,17$ ц с 1 га, $s = 1,21$ ц с 1 га, $V = 6,33\%$, $s_x\% = 0,89\%$.

Итак, при группировке и обработке количественных вариационных рядов поступают следующим образом:

1. В зависимости от численности ряда устанавливают количество классов (от 6 до 12), а также величину классового промежутка (интервала) делением разности $X_{max} - X_{min}$ на принятое число классов. Величину интервала полезно округлить до ближайшего целого числа или до ближайшего дробного с половиной.

2. Определяют нижние границы всех классов последовательным прибавлением несколько раз подряд классового промежутка к X_{min} и верхние вычитанием из величин нижних границ соседних классов той из них, на которую минимально отличаются друг от друга отдельные варианты заданного ряда.

Таблица 16

Вспомогательные вычисления при обработке больших групп с многозначными числами

Классы (урожай, в ц с 1 га) X	Среднее значение класса X_V	Частоты f	Отклонения от произвольного начала $\lambda = 19 (X_V - A)$	Произведения $f(X_V - A)$	Квадраты отклонений $(X_V - A)^2$	Произведения $f(X_V - A)^2$
15,5—16,4	16	1	-3	-3	9	9
16,5—17,4	17	3	-2	-6	4	12
17,5—18,4	18	10	-1	-10	1	10
18,5—19,4	19	20	0	0	0	0
19,5—20,4	20	11	+1	+11	1	11
20,5—21,4	21	3	+2	+6	4	12
21,5—22,4	22	2	+3	+6	9	18
—	—	$\Sigma f = n = 50$	—	$\Sigma f(X_V - A) = -19 + 23 = 4$	—	$\Sigma f(X_V - A)^2 = 72$

$$\bar{x} = A + \frac{\Sigma f(X_V - A)}{n} = 19 + \frac{4}{50} = 19,1 \text{ ц с 1 га};$$

$$C = \frac{[\Sigma f(X_V - A)]^2}{n} = \frac{16}{50} = 0,32;$$

$$s^2 = \frac{\Sigma f(X_V - A)^2 - C}{n - 1} = \frac{72 - 0,32}{50 - 1} = 1,46;$$

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{1,46} = 1,21 \text{ ц с 1 га};$$

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{1,21}{19,1} \cdot 100 = 6,33\%;$$

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{1,21}{\sqrt{50}} = 0,17 \text{ ц с 1 га};$$

$$s_x\% = \frac{s_x}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{0,17}{19,1} \cdot 100 = 0,89\%.$$

3. Делают разность исходных данных в расчетную таблицу и вычисляют $\bar{x}$, s , s_x , V и $s_x\%$.

Вычисленные по сгруппированным данным величины $\bar{x}$, s и s_x не вполне точны, так как при обработке действительные значения отдельных вариантов заменяются здесь средними значениями соответствующих классов. Следовательно, при группировке теряется часть информации, содержащейся в исходных данных, и притом тем больше, чем грубее было сделано объединение отдельных вариантов в классы. Степень точности вычислений $\bar{x}$, s и s_x будет зависеть главным образом от величины классового промежутка i . Чем он меньше и, следовательно, чем больше общее число классов, тем точнее, т. е. ближе, будут вычисляемые величины к аналогичным показателям несгруппированного ряда.

При определении дисперсии и стандартного отклонения для больших групп, особенно с многозначными числами, все расчеты удобно вести от произвольного начала, от так называемой условной средней A , близкой к предполагаемой средней ряда. Порядок расчетов покажем на данных дробного учета урожая пшеницы, которые нами уже использовались. Первые этапы работы — установление количества классов, определение их границ и разности исходных данных в расчетную таблицу — остаются прежними, ход последующих вспомогательных вычислений показан в таблице 16.

Таким образом, и этим способом получают те же данные, что и ранее, но значительно упрощается вычислительная техника.

КАЧЕСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

В биологических и агрономических исследованиях часто приходится иметь дело с качественной, или атрибутивной, изменчивостью признаков: разная форма и окраска семян и плодов, расщепление гибридов и т. д. Частным случаем атрибутивной изменчивости является альтернативная, при которой варьирующие признаки представляют собой одну из двух возможностей (альтернатив) — наличие или отсутствие признака, например мужские и женские экземпляры, растения больные и здоровые, колосья остистые и безостые и т. п. Группировка результатов наблюдений при качественном варьировании сводится к распределению совокупности объектов на группы (классы) с разными качественными признаками.

Основными статистическими показателями (параметрами) качественной изменчивости являются доля признака, показатель изменчивости, коэффициент вариации и стандартная (квадратическая) ошибка доли.

Доля признака, или относительная численность (частота) отдельной варианты, обозначается через p_1 , p_2 , p_3 и т. д. и может быть выражена в частях единицы или в процентах. В первом случае сумма всех долей в пределах данной совокупности или ряда распределения равна единице $\Sigma p = 1$, а во втором $\Sigma p = 100\%$.

Доля признака — это отношение численности каждого из членов ряда n_1, n_2, n_3 и т. д. к численности совокупности — N , т. е. вероятность появления данного признака в изучаемой совокупности:

$$p_1 = \frac{n_1}{N}; \quad p_2 = \frac{n_2}{N}; \quad p_3 = \frac{n_3}{N} \text{ и т. д.}$$

При альтернативной (двояковозможной) изменчивости доля одного признака обозначается через p , а второго через q . На основании очевидного равенства $p + q = 1,0$ (или 100%), так как вероятность двух противоположных событий всегда равна единице (или 100%), значение $q = 1 - p$.

Пример. При просмотре 500 растений льна было обнаружено 50 растений, пораженных фузариозом. Исходные данные удобно сгруппировать в два класса: больные растения ($n_1 = 50$), охватывающие варианты с наличием данного признака, и здоровые ($n_2 = 450$) — класс с отсутствием его. Доля больных растений в этой совокупности $p = 50:500 = 0,10$ (или 10%); доля здоровых растений $q = 1 - p = 1,0 - 0,10 = 0,90$ (или 90%).

Показатель изменчивости качественного признака s характеризует варьирование величин ряда относительно друг друга. Значение показателя изменчивости определяется по формуле:

$$s = \sqrt[k]{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \dots \cdot p_k},$$

где p_1, p_2 и т. д. — доли признака (или процентные значения их) в общей совокупности;

k — число градаций признака.

Когда $k > 2$, то формулу для вычисления показателя изменчивости удобнее прологарифмировать:

$$\lg s = \frac{\lg p_1 + \lg p_2 + \dots + \lg p_k}{k}.$$

Если изучаемая совокупность представлена объектами с двумя градациями признака (альтернативная изменчивость), то

$$s = \sqrt{pq},$$

где p и q — доли признака, выраженные в частях единицы или процентах. Например, показатель изменчивости при $p = 0,10$ и $q = 0,90$ будет равен:

$$s = \sqrt{pq} = \sqrt{0,10 \cdot 0,90} = 0,30 \quad (\text{или } 30\%).$$

В зависимости от соотношения p и q значение s изменяется от 0 до 0,5. Максимальная изменчивость качественного признака $s_{\max}$ будет наблюдаться тогда, когда $p = q = 0,5$ и $s_{\max} = \sqrt{pq} = \sqrt{0,5 \cdot 0,5} = 0,50$ (или 50%). Значения максимальной (наиболь-

ней) изменчивости для распределений с разным числом градаций качественных признаков даны ниже:

Число градаций признака	s_{max}	Число градаций признака	s_{max}
2	0,500 (50,0%)	5	0,200 (20,0%)
3	0,333 (33,3%)	6	0,167 (16,7%)
4	0,250 (25,0%)	7	0,143 (14,3%)

Пользуясь величинами максимальных значений s_{max} , можно вычислить коэффициент вариации качественных признаков.

Коэффициент вариации качественных признаков — это фактический показатель изменчивости, выраженный в процентах к максимально возможной изменчивости:

$$V_p = \frac{s}{s_{max}} \cdot 100.$$

Коэффициент вариации характеризует относительную степень изменчивости изучаемых признаков и широко используется для сравнительной оценки выравненности различных совокупностей. Максимальное значение $V_p = 100\%$ наблюдается при $s = s_{max}$.

Пример. По данным В. Г. Вольфа (1966), после просеивания семян пшеницы через набор решет были получены следующие результаты (табл. 17).

Таблица 17
Распределение семян озимой пшеницы по фракциям (в %)

Сорт	Очень крупная	Крупная	Средняя	Мелкая	Очень мелкая
Одесская 3	3	10	40	30	17
Харьковская 4	6	66	24	4	0

Требуется оценить выравненность семян пшеницы статистически. В этих целях для каждого сорта вычисляют показатели изменчивости s и коэффициенты вариации по приведенным выше формулам.

Сорт Одесская 3 $lg s = \frac{lg 3 + lg 10 + lg 40 + lg 30 + lg 17}{5} = 1,1573;$ $s = 14,37\%;$ $V_p = \frac{14,37}{20,0} \cdot 100 = 71,8\%.$	Сорт Харьковская 4 $lg s = \frac{lg 6 + lg 66 + lg 24 + lg 4}{4} = 1,1450;$ $s = 13,96\%;$ $V_p = \frac{13,96}{25,0} \cdot 100 = 55,8\%.$
--	--

Данные статистической обработки отчетливо указывают на большую выравненность семян сорта Харьковская 4.

Стандартная ошибка доли. Для оценки точности при определении доли признака в совокупности, откуда взята выборка, и доверительных интервалов доли вычисляют стандартную, или квадратическую, ошибку доли по формуле:

$$s_p = \frac{s}{\sqrt{n}},$$

где s_p — стандартная ошибка доли;

s — показатель изменчивости качественного признака;

n — объем выборки.

Для альтернативного варьирования, когда значение $s = \sqrt{pq}$, формула ошибки выборочной доли примет такой вид:

$$s_p = \sqrt{\frac{pq}{n}}.$$

Здесь p и q могут быть выражены в долях единицы или процентах.

Пример вычисления стандартной ошибки доли и доверительного интервала по результатам определения пораженности растений фузариозом ($p = 0,10$; $q = 0,90$; $n = 500$):

$$s_p = \sqrt{\frac{pq}{n}} = \sqrt{\frac{0,10 \cdot 0,90}{500}} = 0,013 \text{ (или } 1,3\%).$$

Вероятность встретить p (или q) в интервале $p \pm s_p$ составляет около 68%, в интервале $p \pm 2s_p$ — 95% и в интервале $p \pm 3s_p$ — около 99%. Следовательно, подобно количественной изменчивости, все значения p с вероятностью 99% укладываются в пределах тройной ошибки выборочной доли.

Таким образом, определение пределов, в которых находится средняя доля генеральной совокупности, основано на тех же принципах, что и для количественной изменчивости, т. е. на закономерностях нормального распределения (см. § 2, стр. 234–238). Для примера, приведенного выше, доверительные интервалы доли больных растений p будут равны (в %):

$$68\% \text{-ный уровень } p \pm s_p = 10,0 \pm 1,3;$$

$$95\% \text{-ный уровень } p \pm 2s_p = 10,0 \pm 2 \times 1,3 = 10,0 \pm 2,6;$$

$$99\% \text{-ный уровень } p \pm 3s_p = 10,0 \pm 3 \times 1,3 = 10,0 \pm 3,9.$$

Следовательно, при 95%-ном уровне вероятности среднее количество больных растений в совокупности, из которой взята выборка, находится в пределах от 7,4 до 12,6%, а при более строгой оценке — от 6,1 до 13,9%.

Определение объема выборки при качественной изменчивости. Объем выборки рассчитывают по формуле:

$$n = \frac{t^2 pq}{s_p^2}.$$

Как уже указывалось выше, в биологических и сельскохозяйственных исследованиях для величины предельной ошибки выборочных средних принимают 95%-ный уровень вероятности при значении $t \approx 2,0$. В этом случае искомый размер выборки для принятого 95%-ного уровня вероятности определяют по формуле:

$$n = \frac{4pq}{s_p^2}.$$

В этой формуле p , q и s_p должны быть выражены в одинаковых единицах — процентах или долях единицы. Расчет размера выборки требует предварительного определения величины p , хотя бы ориентировочно.

Например, предварительными исследованиями установлено, что около 10% растений сахарной свеклы поражено корнеедом. При планировании наблюдений за пораженностью свеклы этой болезнью по вариантам опыта нужно установить такой размер выборки, чтобы выборочные средние были определены с ошибкой в пределах $\pm 3\%$, при вероятности безошибочного суждения $P = 0,95$. Возможность сделать ошибочное заключение в этом случае составляет 1 на 20 ($1 - 0,95 = 0,05 = \frac{1}{20}$). Вычисления дают такой размер выборки:

$$n = \frac{4pq}{s_p^2} = \frac{4 \cdot 10 \cdot 90}{3^2} = 400 \text{ растений.}$$

Если можно ожидать, что величина изучаемого качественного признака p находится в пределах 30—70%, то можно ограничиться приближенной, довольно грубой оценкой значения p , так как для этих значений произведение pq варьирует очень мало — от 2100 до 2500, а следовательно, размер выборки n будет определяться главным образом принятыми значениями ошибки выборочного наблюдения s_p и вероятностью. Если же величина p близка к нулю или 100%, то для точного определения n требуется гораздо большее приближение к фактическому значению p , так как произведение pq варьирует в этих случаях очень широко, и размер выборки будет, естественно, определяться преимущественно величиной p . Например, при $p = 10\%$ произведение $pq = 10 \cdot 90 = 900$, а при $p = 1\%$ $pq = 1 \cdot 99 = 99$ и т. д. Соответственно этим данным при одной и той же величине s_p , например 3%, и вероятности 0,95 размер выборки сильно варьирует: в первом случае он равен 400, а во втором — всего 40 единиц. В интервале p от 30 до 70 размер выборки варьирует незначительно — в пределах 933—1120, т. е. около 1000.

В тех случаях, когда изучают несколько качественных признаков, например пораженность различными болезнями, сначала устанавливают объем выборки для наиболее важных признаков. Если эти значения не слишком отличаются друг от друга, можно взять наибольшее. Если объемы выборок различаются значительно, то один из применяемых методов заключается в том, что также берется

наибольшее значение n , но для некоторых признаков из первоначальной выборки делают так называемую субвыборку, или вторичную выборку, меньшего размера: например, 100 единиц из 500 в первоначальной выборке. В других случаях большое расхождение значений n указывает, что исследование должно состоять из двух или нескольких самостоятельных разделов.

§ 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Нормальное и биномиальное распределения. Данные вариационных рядов для наглядности могут быть изображены графически. Этот способ очень удобен, он позволяет сразу охватить важнейшие черты, закономерности распределения наблюдений. *Графическое изображение вариационного ряда называется кривой распределения или вариационной кривой.*

Для построения кривой распределения на горизонтальной линии (ось абсцисс) наносят в определенном масштабе возможные значения данной варьирующей величины X в несгруппированном ряду или значения классов в сгруппированном ряду. Против каждого возможного значения по вертикали (ось ординат) вверх откладывают численность этого значения или частоту f в сгруппированном ряду. Масштаб в обоих направлениях следует выбирать такой, чтобы весь график имел удобную и легко обозримую форму.

При прерывистой изменчивости получают, конечно, не кривую, а многоугольник, или так называемый полигон, а при непрерывной изменчивости — ступенчатый график в виде столбиков, имеющих высоту, пропорциональную частотам, а ширину, равную интервалам классов. Такой график называется гистограммой, из которой легко получить полигон — кривую распределения,

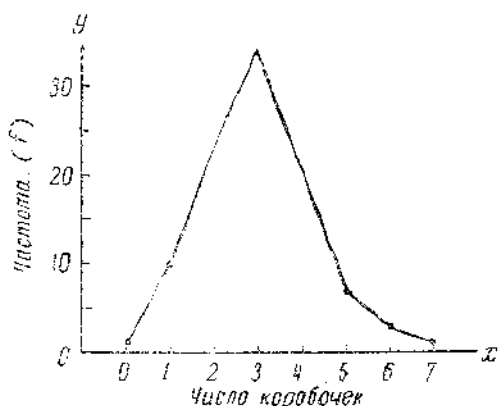


Рис. 59. Кривая распределения (полигон) 100 растений льна по числу коробочек.

соединив линией средние значения классов (рис. 59, 60).

Один беглый взгляд на рисунки убеждает нас в том, что характер распределения варьирующих величин, представленных здесь, имеет некоторые общие закономерности, которые в той или иной степени присущи вариационному ряду, особенно в том случае, если анализу будет подвергнута генеральная совокупность,

вся численность объектов наблюдения. Однако в опытной работе редко проводят наблюдения, охватывающие всю совокупность опытных объектов (например, практически невозможно измерить все растения, выросшие на данном поле), а устанавливают интересующие показатели на основании выборочного наблюдения лишь части экземпляров, которые составляют выборочную совокупность. В наших примерах выборки состоят из 100 растений льна и 50 учетов урожая пшеницы.

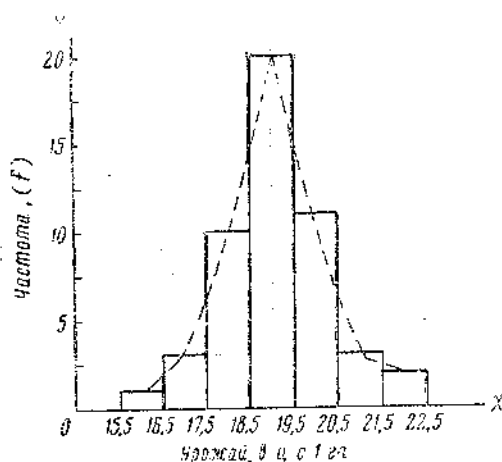


Рис. 60. Гистограмма и кривая распределения 50 учетов урожая пшеницы.

Тем не менее и на основании выборочного наблюдения совершенно определенно выступают общие закономерности в распределении вариантов: характеризующие случайные величины имеют наименьшее значение в наивысшей точке, при удалении от которой вправо или влево вероятности их неперестанно убывают.

При беспредельном увеличении числа наблюдений распределение вариантов в вариационном ряду приближается к некоторому теоретическому, которое известно под названием закона нормального распределения вероятностей. Оно составляет предел известного биномиального распределения ($p + q$), где $p + q = 1$.

При графическом изображении биномиального или прерывистого дискретного распределения получают ступенчатую симметричную гистограмму, подобную той, что изображена на рисунке 60. По мере увеличения размера выборки n или показателя степени бинома Ньютона ступени гистограммы будут становиться все меньше и меньше и сам график будет постепенно приобретать вид непрерывной кривой нормального распределения. Она представляет непрерывную, плавную, симметричную кривую, которая называется нормальной вариационной кривой. Соотношение между биномиальным (дискретным) и нормальным (непрерывным) распределением представлено на рисунке 61.

Нормальное распределение, детально изученное К. Гауссом и С. Лапласом, было открыто Де Муавром в 1733 г., через 20 лет после того, как Я. Бернулли подробно описал биномиальное распределение. Нормальное распределение в честь заслуг Гаусса часто называют гауссовским, а кривую — кривой Гаусса.

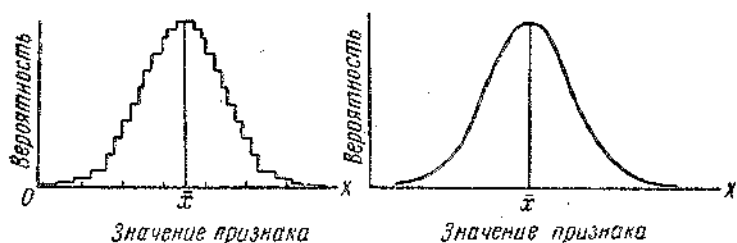


Рис. 61: Биноминальное (слева) и нормальное (справа) распределения.

В математической статистике нормальное распределение имеет исключительно большое значение. В опытной работе широко используют свойства нормального или близкого к нему распределения, поэтому следует хорошо уяснить наиболее важные из них.

Кривая нормального распределения простирается в обе стороны от $\bar{x}$ до бесконечности, приближаясь к оси абсцисс, т. е. возможны как очень большие, так и малые значения величины X . Однако частота этих значений, их вероятность по мере удаления от центра $\bar{x}$ становится исчезающе малой. В вершине кривой в точке $\bar{x}$ частота значений X достигает своего максимума, и, следовательно, это значение наиболее вероятно.

Таким образом, большая часть вариантов располагается в средней части ряда, здесь наблюдается их максимум, как бы сгущение, т. е. чем ближе варианта к среднему значению ряда $\bar{x}$, тем больше вероятность ее появления и тем большим числом наблюдений она представлена. Распределение вариантов в обе стороны от этого максимума более или менее симметрично, и чем сильнее отклоняется она от среднего значения $\bar{x}$ в ту или иную сторону, тем реже встречается и меньше бывает вероятность ее появления.

Уравнение кривой нормального распределения имеет такой вид:

$$Y = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}},$$

где Y — ордината кривой или вероятность (частость) появления случайной величины X ;

s — стандартное отклонение;

$(X - \bar{x})$ — отклонение от средней арифметической;

e — основание натуральных логарифмов, равное 2,718...;

π — постоянное число, равное 3,141...

По форме кривые нормального распределения могут быть различными. Вид кривой полностью соответствует степени варьирования изучаемого признака, т. е. величине стандартного отклонения s . Чем оно больше и, следовательно, больше варьирует изучаемый материал, тем более пологой становится вариационная кривая, при малых значениях s кривая приобретает иглообразную форму.

Сказанное станет понятным, если принять для удобства сравнения различных распределений единую форму выражения данных: частоты выражать в относительных числах — процентах или лучше в долях единицы, приняв полную вероятность, или число всех возможных случаев, за единицу ($P = 1,0$, или 100%), а значения варьирующего признака не в именованных единицах, а в так называемых нормированных отклонениях, долях стандартного отклонения, которое обозначается символом t . Нормированное отклонение для каждой варианты X равно частному от деления разности между индивидуальным значением варьирующего признака и средним арифметическим ($X - \bar{x}$) на величину стандартного отклонения s . Нормированное отклонение определяется формулой:

$$t = \frac{X - \bar{x}}{s}.$$

Нормирование сводится к тому, что начало координат переносят в центр распределения $\bar{x}$, а по оси абсцисс откладывают отклонения X от $\bar{x}$, выраженные в долях s , т. е. $t = \frac{X - \bar{x}}{s}$. По оси ординат откладывают частоты в процентах или долях единицы. При таком изображении кривых, несмотря на большие различия в их форме, общее для них то, что площадь, ограниченная осью абсцисс и кривой распределения, при любых значениях $\bar{x}$ и s всегда равна единице, ибо площадь эта равна вероятности, что данная случайная величина X обязательно примет какое-либо из своих значений, т. е. равна вероятности достоверного события $P = 1,0$ (или 100%).

Таким образом, форма кривой нормального распределения определяется величиной стандартного отклонения. Сказанное можно иллюстрировать рисунком 62, где приведено три кривых нормального распределения результатов наблюдений с $s_1 = 1$, $s_2 = 2$ и $s_3 = 4$.

Размах колебаний от $\bar{x}$ вправо и влево зависит от величины s и укладывается в основном в пределах трех нормированных отклонений $\pm 3t$ или трех стандартных отклонений $\pm 3s$, так как t выражено в s . Продолжение кривой за пределы $\pm 3s$ практически можно заметить лишь при большом числе наблюдений. Вероятность встретить значение X , превосходящее $\bar{x}$ на $\pm 3s$, состав-

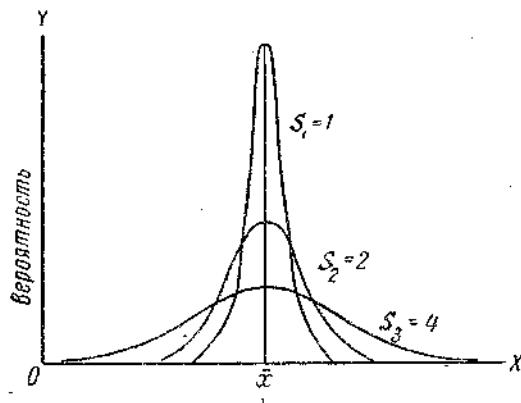


Рис. 62. Кривые нормального распределения с различными значениями стандартного отклонения.

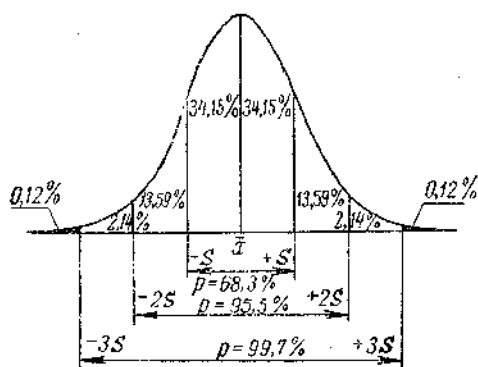


Рис. 63. Нормальное распределение вероятностей.

считают, что тройное основное отклонение вправо и влево от $\bar{x}$ почти полностью исчерпывает вариационный ряд. Пользуясь основным отклонением как измерителем ряда, можно разбить вариационный ряд на части: отложить величины s влево и вправо от $\bar{x}$ и восстановить в конце их перпендикуляры до пересечения с кривой распределения. Вся кривая будет разбита при этом на шесть частей, секторов: три вправо и три влево от $\bar{x}$. Количество вариантов в каждом секторе будет пропорционально их площади. Общее же количество вариантов ряда равно условной единице, или 100% (рис. 63).

В первом правом секторе, т. е. в пределах от $\bar{x}$ до $\bar{x} + s$ будет 34,15% всех вариантов, в первом левом секторе от $\bar{x}$ до $\bar{x} - s$ будет также 34,15% всех вариантов, а всего в пределах $\bar{x} \pm s$ — 68,3%, или около $\frac{2}{3}$ вариантов (основное ядро всех наблюдений). Теперь должно быть ясно, почему s называют основным отклонением: в пределах $\pm s$ укладывается основная масса всех наблюдений.

Во втором правом и левом секторах сосредоточено лишь около 27,2% всех вариантов, а всего в пределах $\bar{x} \pm 2s$ около 95,5% ($68,3 + 27,2$). В третий правый и левый секторы попадает незначительное число наблюдений — около 4,2%, а всего в пределах $\bar{x} \pm 3s$ — 99,7% ($68,3 + 27,2 + 4,2 = 99,7\%$), т. е. почти весь вариационный ряд. И лишь 0,3% наблюдений (3 наблюдения из 1000) могут отклоняться от $\bar{x}$ больше чем на $\pm 3s$.

В связи с тем, что размах вариационной кривой укладывается в шесть стандартных отклонений, значение s для больших выборок можно приблизительно рассчитать по простой зависимости:

$$s = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{6}.$$

Когда объем выборки n равен приблизительно 5, 10, 25, 100, то значение s грубо можно определить делением размаха варьирования $X_{\max} - X_{\min}$ соответственно на 2, 3, 4, 5 (Снедекор Д). Приблизительно, но достаточно точно s можно

вычислить, используя коэффициенты Р. Пирсона по отношению $s = k(X_{max} - X_{min})$, в зависимости от объема выборки — n . Коэффициенты k даны ниже.

n	k	n	k	n	k	n	k
2	0,89	6	0,40	10	0,32	20	0,27
3	0,59	7	0,37	12	0,31	30	0,25
4	0,49	8	0,35	14	0,29	40	0,23
5	0,43	9	0,34	16	0,28	50	0,22

Таким образом, вероятность любого отклонения от $\bar{x}$ есть функция нормированного отклонения t , которое выражается в долях s . Это дает возможность все разнообразие распределений заменить одним единственным с переменной t и позволяет решать различные вопросы, связанные с нормальным распределением. Для него составлена соответствующая таблица (таблица значений интеграла вероятностей), по которой можно определить вероятность (P) нахождения значения варьирующего признака в данном интервале величины нормированного отклонения $\pm t$.

Например, вероятность того, что высота взятого наугад растения льна из их совокупности с параметрами $\bar{x} = 100$ см и $s = 3,0$ см будет отличаться от $\bar{x}$ на $\pm 1s$ ($\pm 1t$, так как t выражено в единицах s), равна 0,6827, или в 68,27% из всех возможных случаев получают значение высоты в пределах 97—103 см (от $\bar{x} - s$ до $\bar{x} + s$); на $\pm 2s$ ($\pm 2t$) — 0,9545, или в 95,45% случаев высота растений будет в пределах 94—106 см (от $\bar{x} - 2s$ до $\bar{x} + 2s$), и, наконец, на $\pm 3s$ ($\pm 3t$) — 0,9973, или в 99,73% из всех возможных случаев (от $\bar{x} - 3s$ до $\bar{x} + 3s$) высота растений находится в пределах 91—109 см.

В биологических работах и практике опытного дела считается возможным пользоваться вероятностями, которые соответствуют величинам $\pm 2t$ и $\pm 3t$. Вероятность при $\pm 2t$ ($\pm 2s$) выражается округленно величиной 0,95 (95%) и при $\pm 3t$ ($\pm 3s$) — 0,99 (99%). Эти вероятности получили название доверительных вероятностей, т. е. таких значений, которым можно доверять и уверенно пользоваться ими. Принимая вероятность 0,95 (95%), риск сделать ошибку составляет 0,05 (5%), или 1 на 20. При вероятности 0,99 (99%) риск ошибиться составляет 0,01 (1%), или 1 на 100. Величины, показывающие вероятности случайных отклонений от установленных с определенной вероятностью результатов наблюдений, называются уровнями значимости. Вероятности 0,95 (95%) соответствует уровень значимости 0,05 (5%), вероятности 0,99 (99%) — 0,01 (1%). Следовательно, чем меньше уровень значимости, тем больше уровень вероятности, и наоборот.

Выбор доверительной вероятности или уровня значимости для тех или иных исследований определяется практическими соображениями, ответственностью выводов и возможностями.

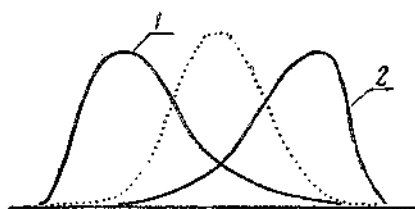


Рис. 64. Асимметричные распределения (схема):

1 — левая асимметрия; 2 — правая асимметрия.

делению выборочных средних арифметических, а также разностей между индивидуальными показаниями и средними арифметическими. В пределах $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ укладывается 68,3%, $\bar{x} \pm 2s_{\bar{x}}$ — 95,5 и $\bar{x} \pm 3s_{\bar{x}}$ 99,7% всех возможных выборочных средних арифметических данной совокупности объектов. Это еще больше подчеркивает исключительное значение нормального распределения в исследовательской работе, так как любой опыт в сущности сводится к сравнению средних величин, которые чаще всего подчиняются закону нормального распределения показаний.

Результаты различных наблюдений, полевых и вегетационных опытов чаще всего располагаются приблизительно в соответствии с кривой нормального распределения. Но нередко некоторые признаки растений и животных при объединении особей в группы дают распределения, значительно отличающиеся от нормального. Не рассматривая подробно причины возможных случаев такого явления, следует отметить наиболее характерные из них.

В тех случаях, когда какие-либо условия способствуют появлению значений признаков, отличающихся от средней величины в сторону увеличения или уменьшения, образуются асимметричные распределения. Асимметрия может быть положительной, или правосторонней, когда увеличиваются частоты правой части, и отрицательной, или левосторонней, когда увеличиваются частоты левой части вариационной кривой (рис. 64).

Причинами асимметричных распределений могут быть следующие.

1. Неправильно взятая выборка, когда в нее вошло непропорционально много (или мало) представителей варианта с большим или меньшим их значением.

2. Действие определенных факторов, сдвигающих частоту варьирующего признака в ту или другую сторону от среднего значения.

Когда какие-либо причины благоприятствуют более частому появлению и средних и крайних значений признака, образуются так называемые положительные эксцессивные распределения, имеющие вид острой пирамиды с расширенным основанием, или отрицательные эксцессивные распределе-

Чтобы получить большую вероятность, требуется большое количество повторных наблюдений, опытов и т. п. Вероятность 0,95 и уровень значимости 0,05 обычно считаются вполне приемлемыми в большинстве сельскохозяйственных исследований.

Все сказанное о нормальном распределении индивидуальных величин вариационного ряда полностью относится и к распре-

ния, когда в центре их имеется не вершина, а впадина, и вариационная кривая становится двухвершинной (рис. 65).

Многовершинные и двухвершинные кривые в большинстве случаев указывают, что в выборку попали представители нескольких совокупностей с различными средними. Например, высеяна смесь сортов, имеются резкие различия в плодородии почвы на отдельных частях опытной делянки и т. п. В генетических работах двухвершинные и многовершинные кривые могут свидетельствовать о появлении объектов с новыми свойствами или признаками и указывать на результативность применяемого фактора.

Распределение Стьюдента (t -распределение). Закон нормального распределения проявляется при большом числе наблюдений ($n > 20-30$). Однако экспериментатор часто делает сравнительно ограниченное число измерений, основывает свои выводы на малых выборках. При небольшом числе параллельных измерений результаты обычно близки и редко появляются большие отклонения. Это легко объяснить законом нормального распределения, согласно которому вероятность появления малых отклонений больше, чем отклонений значительных. Так, вероятность отклонений, превышающих по абсолютной величине $\pm 2s$, равна 0,05, или один случай на 20 измерений, а отклонений $\pm 3s$ — 0,01, или один случай на 100. Если же полевой опыт проводят, например, на выровненном участке с 4—6 повторениями, то естественно ожидать, что среди показаний урожаев на параллельных делянках очень больших отклонений не будет. Поэтому стандартное отклонение, подсчитанное по малой выборке, в большинстве случаев будет меньше, чем по всей генеральной совокупности. Следовательно, в этих случаях полагаться на критерии нормального распределения в своих выводах нельзя.

С начала XX в. в математической статистике стало разрабатываться новое направление, которое можно назвать статистикой малых выборок. Наибольшее практическое значение для экспериментальной работы имело открытое в 1908 г. английским статистиком и химиком В. Госсетом t -распределение, получившее

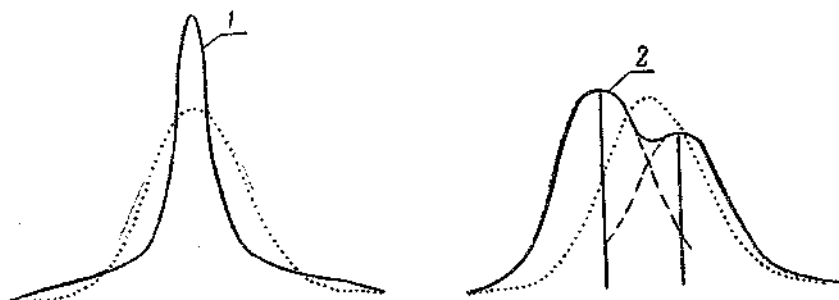


Рис. 65. Эксцессивные распределения (схема):
1 — положительный эксцесс; 2 — отрицательный эксцесс,

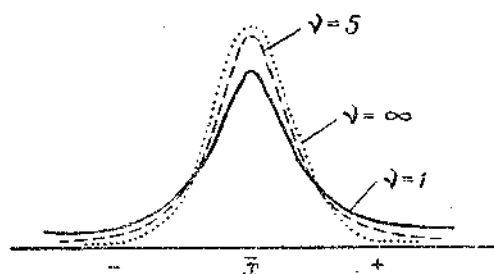


Рис. 66. Соотношение между нормальным ($v = \infty$) и t -распределением ($v = 1$ и $v = 5$).

название распределения Стьюдента (Стьюдент — псевдоним В. Госсета).

Распределение Стьюдента нашло широкое применение при работе с малыми выборками. Оно зависит только от объема выборки, или, точнее, от числа степеней свободы ($n - 1$), по которым определяют

стандартное отклонение. Соотношение между нормальным распределением и t -распределением видно на рисунке 66.

Кривые распределения Стьюдента по своей форме напоминают кривые нормального распределения, но при малых значениях числа степеней свободы они гораздо медленнее сближаются с осью абсцисс. При $n - 1 = 20$ распределение Стьюдента уже довольно хорошо согласуется с нормальным распределением. Большие различия в оценках, полученных с помощью этих двух распределений, будут при $n - 1 \leq 10$ и они все более увеличиваются по мере уменьшения числа степеней свободы.

По характеристикам выборочного наблюдения ($\bar{x}$, s , s_x) и стандартным значениям t -распределения Стьюдента (табл. 1 приложений) можно определить доверительный интервал для средней генеральной совокупности, из которой взята выборка, а также решить многие задачи, относящиеся к оценке существенности разностей средних, о чем будет сказано в следующем параграфе.

Пределы, в которых находится средняя генеральной совокупности, или доверительный интервал для среднего значения, определяются степенью варьирования экспериментальных данных и уровнем вероятности. Границы интервала будут уже при менее строгом его вычислении и слабом варьировании материала и шире при значительной вариабельности наблюдений и более строгом установлении доверительного интервала. Границы интервала для средней генеральной совокупности равны $\bar{x} \pm t s_x$. Значение t для принятого уровня доверительной вероятности и числа степеней свободы ($n - 1$) находят по таблице 1 приложений. В биологических и сельскохозяйственных исследованиях достаточно надежными считаются 95%-ный и 99%-ный уровни доверительной вероятности (5%-ный и 1%-ный уровни значимости).

Пример. Найти 5%-ный и 1%-ный доверительные интервалы для генеральной средней по следующим выборочным данным: $\bar{x} = 40$ ц, $s_x = 2$ ц, $n = 8$.

Для семи степеней свободы ($v = n - 1 = 7$) в таблице 1 приложений находим значение $t_{05} = 2,4$ и $t_{01} = 3,5$. Границы 5%-ного

доверительного интервала будут равны $\bar{x} \pm t_{05} s_x = 40 \pm 2,4 \cdot 2 = 40 \pm 4,8$ ц; 1%-ного интервала $\bar{x} \pm t_{01} s_x = 40 \pm 3,5 \cdot 2 = 40 \pm 7$ ц. Следовательно, предполагаемое значение средней генеральной совокупности, из которой взята выборка, может находиться соответственно в пределах 35,2 — 44,8 ц (5%-ный уровень), а при более строгом установлении доверительного интервала — в пределах 33—47 ц (1%-ный уровень).

Распределение Пуассона. Когда наступление некоторого события имеет очень малую вероятность, например небольшое число раз на 1000 или 10 000 обычных явлений, то распределение случайной величины следует определенному закону редких событий, который выражается формулой Пуассона:

$$P_x = \frac{a^x e^{-a}}{x!},$$

где P — вероятность значения x ;

x — число редких событий, происшедших в каждой большой группе ($x = 0, 1, 2, 3$ и т. д.);

a — среднее число редких событий на каждую большую группу;

$x!$ — произведение чисел от 1 до x (факториал); считается, что факториал нуля равен единице: $0! = 1$;

e — основание натуральных логарифмов $\approx 2,718$.

Если событие x подчинено закону Пуассона со средней a , то вероятности значений $x = 0, 1, 2, 3$ и т. д. будут соответственно равны

$$P_{x=0} = \frac{a^0 e^{-a}}{1} = e^{-a}; \quad P_{x=1} = a e^{-a}; \quad P_{x=2} = \frac{a^2 e^{-a}}{2};$$

$$P_{x=3} = \frac{a^3 e^{-a}}{6} \text{ и т. д.}$$

Распределение Пуассона является частным случаем биномиального распределения, когда в бинOME $(p + q)^n$ значение p очень мало, а n стремится к бесконечности. Графически распределение редких событий представляет асимметричную кривую, и асимметрия тем больше, чем меньше вероятность события. Примерами такого распределения могут служить количество сорняков в семенном зерне, число клеток в счетной камере, рождение четырех—шести близнецов.

Пуассоновское распределение определяется одним параметром — средней. Дисперсия этого распределения равна средней, т. е. $\sigma^2 = a$. Отсюда следует, что все теоретическое распределение можно построить только на основании одной выборочной средней.

§ 3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ РАЗНОСТИ ВЫБОРОЧНЫХ СРЕДНИХ

В экспериментальной работе особенно часто приходится встречаться с задачей сравнения между собой результатов исследования, доказывать значимость или существенность разности выборочных

средних и на основании этого сравнения делать выводы. Многие вопросы опытного дела можно свести в сущности к сравнению выборочных средних между собой или с теоретически ожидаемым результатом.

Сомнений в реальности разности между средними генеральной совокупности не возникает, так как они при исследовании всей совокупности объектов, подлежащих изучению, определяются без ошибки репрезентативности (выборки). Поэтому разности между этими средними достоверны. Но, когда сравниваются выборочные средние, с которыми чаще всего приходится иметь дело в исследовательской работе, всегда возникает вопрос о том, правильно ли разность между выборочными средними характеризует ту, которая в действительности имеется между двумя изучаемыми совокупностями.

Выборочная средняя никогда не может полностью охарактеризовать всю совокупность, как часть не может полностью охарактеризовать все целое, поэтому перенесение результатов выборки на всю совокупность всегда сопряжено с некоторой большей или меньшей ошибкой репрезентативности. Очевидно, что и разности между выборочными средними небезоговорочны, а в какой-то части случайны, ошибочны. Следовательно, чтобы доказать существенность разности между выборочными средними, необходимо убедиться в том, что она обусловлена действием изучаемого фактора, а не ошибками выборки.

Сравнивают выборочные средние $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ чаще всего путем проверки нулевой гипотезы (H_0), которая формулируется так: между *выборочными средними нет существенных различий*. Для проверки нулевой гипотезы используют критерии существенности различий, которые позволяют существенные различия отличать от случайных отклонений. Когда разность $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ больше возможных пределов случайных колебаний, ее называют существенной, а когда она не выходит за пределы естественной вариации изучаемого признака — несущественной. Если разность между выборочными средними существенна, нулевая гипотеза отвергается, а если несущественна, то полученные данные не противоречат нулевой гипотезе.

Оценка существенности разности может быть проведена с различным уровнем вероятности, т. е. с различной степенью строгости. Выбор уровня вероятности для оценки результатов опыта зависит от характера исследования и ответственности выводов.

Опыт, накопленный человечеством за многовековую историю, дает основание принять в качестве руководства следующий принцип практической уверенности, на котором основаны приложения теории вероятностей. Если при выполнении определенных условий вероятность события очень мала, при однократном осуществлении их можно быть уверенным, что это событие не произойдет, и в практической деятельности поступать так, как будто оно невозможно.

В массовых биологических и сельскохозяйственных исследованиях, как уже отмечалось выше, считается вполне достаточным опираться на уровень вероятности $P = 0,95$ (95%). Следовательно, за достоверные события принимаются такие, вероятность которых 95% и больше.

Вероятность противоположного события, которой решено пренебрегать в данном исследовании, в математической статистике называется уровнем значимости или уровнем существенности.

Уровень значимости 0,05 (5%) соответствует вероятности 0,95 и означает, что вероятность сделать ошибочное заключение составляет 5 случаев из 100, или 1 из 20.

При ответственных исследованиях и более строгом подходе к оценке результатов опыта принимают более высокий уровень вероятности, а именно 0,99 (99%), который соответствует 0,01 (1%) уровню значимости, когда риск сделать ошибочный вывод составляет всего один случай на 100. В особо ответственных исследованиях, например при оценке эффективности ядохимикатов и т. п., вероятность повышается даже до 0,999 (99,9%), когда выводы из данного исследования должны подтвердиться в 999 случаях из 1000 испытаний. Вероятности, которые считают достаточными для надежности выводов, называют доверительными.

Для обозначения уровня существенности (значимости) часто используют звездочки. Одна звездочка (*), например $t = 2,6 *$, указывает, что уровень существенности меньше 0,05 (5%) и эффект варианта считается установленным; две звездочки (**) — существенность меньше 0,01 (1%) и эффект довольно хорошо установлен, а три звездочки (***) означают, что существенность меньше 0,001 (0,1%) и доказательство считается очень сильным.

Статистические критерии существенности различий бывают двух видов: параметрические и непараметрические. Применение параметрических критериев основано на знании или достаточно обоснованном допущении, что изучаемая совокупность имеет нормальное или не сильно отличающееся от него распределение признака. Нормальное распределение, как известно, полностью определяется двумя параметрами (характеристиками): средней арифметической $\bar{x}$, которая является центром распределения, и стандартным отклонением s , измеряющим вариацию отдельных наблюдений. Использование непараметрических критериев (В. Г. Вольф, 1966) не требует даже приближенного знания закона распределения. Они могут применяться и тогда, когда распределение сильно отклоняется от нормального.

В большинстве биологических и сельскохозяйственных исследований считается возможным опираться на свойства нормального или близкого к нему распределения. Поэтому в опытной работе наибольшее распространение получили параметрические критерии различия — критерий t Стьюдента и критерий F Фишера.

ОЦЕНКА РАЗНОСТИ СРЕДНИХ НЕЗАВИСИМЫХ ВЫБОРОК

В теории статистики доказывается, что ошибка разности s_d или суммы средних арифметических независимых выборок при одинаковом числе наблюдений $n_1 = n_2$ определяется соотношением:

$$s_d = \sqrt{s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2},$$

где s_d — ошибка разности (или суммы);

s_{x_1} и s_{x_2} — ошибки сравниваемых средних арифметических $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$.

При графическом определении ошибки разности она равна гипотенузе прямоугольного треугольника, катетами которого являются ошибки сравниваемых средних. Когда эти ошибки равны ($s_{x_1} = s_{x_2}$), формула для ошибки разности приобретает следующий вид:

$$s_d = \sqrt{s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2} = \sqrt{2s_x^2} \approx 1,414 s_x.$$

Ошибка разности дает наиболее вероятную ошибку, а двойная или тройная ошибка разности ($2s_d$ или $3s_d$) — ее предельную ошибку, соответствующую 95%-ному и 99%-ному уровням вероятности. Следовательно, гарантией достоверности вывода о существенности или несущественности различий между $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ может служить отношение разности $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ к ее ошибке. Это отношение получило название критерия существенности разности или критерия t Стьюдента:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2}} = \frac{d}{s_d}.$$

Величина критерия t показывает, во сколько раз разность d больше ошибки разности s_d . Разность считается существенной, если критерий t превышает теоретическое значение для принятой в исследовании вероятности безошибочного суждения. В этом случае выводы, полученные на основании сравнения выборочных средних, можно перенести на изучаемую совокупность, и нулевая гипотеза о том, что между выборочными средними нет существенных различий, отвергается.

Для достаточно больших выборок ($n > 20-30$) разность обычно считается существенной при 5%-ном уровне, если критерий $t \geq 2$, и 1%-ном уровне значимости при $t \geq 3$. Если фактическое значение критерия $t < 2$, то разность между средними $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ признается несущественной. Это значит, что выводы, которые получаются при сравнении выборочных средних, не могут быть распространены на соответствующие совокупности и этим выводам нельзя придавать общего значения: они справедливы только для изученных выборок. Несущественная разность не утверждает, но и не отрицает, что между генеральными средними существуют различия. Разность могла ока-

читься такой, во-первых, вследствие недостаточного объема выборок, тогда как повторное исследование на более многочисленном материале даст существенную разность; во-вторых, из-за того, что одинаковы генеральные средние сравниваемых совокупностей, поэтому повторные исследования на более обширном материале также дают неопределенный ответ, т. е. разность опять оказывается несущественной и нулевая гипотеза не отвергается.

При небольшом числе наблюдений ($n < 20$) теоретические значения критерия t находят по таблице 1 приложений по числу степеней свободы и принятому уровню значимости. Число степеней свободы определяют по соотношению $\nu = n_1 + n_2 - 2$.

Таблица дает значения критерия t , указывающие, во сколько раз при данном числе наблюдений разность между средними арифметическими $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ должна превосходить ошибку разности s_d , чтобы наши суждения были достоверными с определенным уровнем вероятности. Значение t зависит от двух переменных величин: числа наблюдений и уровня значимости.

Пример. В двух образцах почвы определено содержание гумуса в четырехкратной повторности и для каждого образца вычислены средние и ее ошибка (в %): $\bar{x}_1 \pm s_{x_1} = 2,36 \pm 0,08\%$; $\bar{x}_2 \pm s_{x_2} = 2,09 \pm 0,07$. Число степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2 = 4 + 4 - 2 = 6$. В таблице 1 приложений ему соответствует теоретическое $t_{0,5} = 2,4$ и $t_{0,1} = 3,7$. Здесь индексами при букве t записаны показатели уровня значимости (5%-ный и 1%-ный). Фактическое значение критерия существенности находим по соотношению:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2}} = \frac{2,36 - 2,09}{\sqrt{0,08^2 + 0,07^2}} = \frac{0,27}{\sqrt{0,0113}} = 2,55 *.$$

Сопоставляя фактическое значение t с теоретическими, приходим к выводу, что $t_{\text{факт}} > t_{0,5} < t_{0,1}$. Следовательно, разность существенна при 5%-ном уровне значимости. При более строгом подходе к оценке результатов, т. е. при 1%-ном уровне, разность несущественна; образцы почвы по содержанию гумуса относятся к одной совокупности, и другие выборки могут иметь одинаковые значения этого показателя.

Применение формулы $s_d = \sqrt{s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2}$ для установления ошибки разности между двумя средними допустимо при том условии, что оба ряда наблюдений имеют одинаковую численность ($n_1 = n_2$), или в том случае, когда ошибки средних арифметических вычислены на основании большого числа наблюдений ($n > 20$). При сравнении двух групп с малыми и разными значениями n величину ошибки разности определяют по более сложной формуле, которая учитывает число наблюдений, лежащих в основе вычислений средних арифметических:

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x}_1)^2 + \sum (X - \bar{x}_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \cdot \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)}.$$

Необходимо сначала сложить суммы квадратов отклонений для обоих рядов и получить объединенную сумму квадратов отклонений, затем определить дисперсию объединенных рядов, т. е. разделить объединенную сумму квадратов на число степеней свободы обеих групп, и, наконец, после умножения на $\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}$ извлечь квадратный корень.

Пример. При органолептической оценке качества волокна льна получены следующие данные (табл. 18).

Таблица 18

Номер длинного волокна										
Вариант опыта	№ партии								ΣX	$\bar{x}$
	1	2	3	4	5	6	7	8		
I. Удобрено РК	15	13	14	12	18	20	16	14	122	$15,2 = \bar{x}_1$
II. Удобрено НРК	14	13	16	10	16	18	—	—	87	$14,3 = \bar{x}_2$

Вычисления ведут в такой последовательности.

1. Определяют суммы квадратов отклонений:
для I варианта

$$\Sigma (X - \bar{x}_1)^2 = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} = (15^2 + 13^2 + \dots + 14^2) - \frac{122^2}{8} = 49;$$

для II варианта

$$\Sigma (X - \bar{x}_2)^2 = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} = (14^2 + 13^2 + \dots + 18^2) - \frac{87^2}{6} = 39.$$

2. Находят ошибку разности средних по формуле:

$$\begin{aligned} s_d &= \sqrt{\frac{\Sigma (X - \bar{x}_1)^2 + \Sigma (X - \bar{x}_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \cdot \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{49 + 39}{(8 + 6 - 2)} \cdot \left(\frac{8 + 6}{8 \times 6} \right)} = 1,46. \end{aligned}$$

3. Вычисляют критерий существенности:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} = \frac{15,2 - 14,3}{1,46} = \frac{0,9}{1,46} = 0,62.$$

При числе степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2 = 12$ теоретическое значение критерия $t_{05} = 2,2$. Так как $t_{факт} < t_{теор}$, то различие в качестве (номере) длинного волокна по вариантам опыта несущественно.

ОЦЕНКА РАЗНОСТИ СРЕДНИХ СОПРЯЖЕННЫХ ВЫБОРОК

Ошибка разности двух средних в сопряженных (коррелированных) рядах может быть вычислена по формуле:

$$s_d = \sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2 - 2s_{\bar{x}_1} s_{\bar{x}_2} r},$$

где r — коэффициент корреляции, показатель сопряженности двух рядов (о корреляции см. § 7, стр. 303).

Однако значительно проще ошибку разности средних для сопряженных выборок вычислять так называемым разностным методом. Сущность его заключается в том, что оценивается не разность средних $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$, а сущность средней разности, хотя арифметически это одна и та же величина.

Для нахождения s_d разностным методом вычисляют разности между сопряженными парами наблюдений или поделаночных урожаев d , определяют значение средней разности $\bar{d} = \Sigma d : n$ и ошибку средней разности по формуле:

$$s_d = \sqrt{\frac{\Sigma d^2 - (\Sigma d)^2 : n}{n(n-1)}}.$$

Число степеней свободы находят по равенству $v = n - 1$, где n — число пар.

Разностный метод следует применять в тех случаях, когда для эксперимента будут образованы такие сопряженные пары, в которых различия внутри них будут меньше, чем различия между парами. Например, два наблюдения над одним и тем же объектом до и после опыта образуют пару связанных между собой наблюдений; на двух делянках или в двух сосудах, расположенных близко друг от друга, большее сходство условий, чем на делянках или в сосудах, удаленных друг от друга.

Если бы заранее было известно, что два взятых для опыта объекта абсолютно тождественны, то различия между вариантами можно было бы установить сравнением одной пары. Для биологических опытов это был бы идеальный случай. Чтобы сбалансировать имеющиеся между объектами различия случайного характера и получить достаточно определенные результаты, требуется тем больше парных наблюдений, чем больше различий между исходными парами. Если различия внутри пар будут не меньше, чем между парами, и, следовательно, варьирование обусловлено случайными, а не систематическими погрешностями, парный метод обработки не может снизить ошибку разности по сравнению с вычисленной обычным методом для независимых выборок.

Пример. При анализе двух сортов яровой пшеницы (А и Б) получены данные о содержании белка в различных партиях. При уточнении условий выращивания пшеницы разных партий установлено, что сравниваемые сорта возделывались в четырех пунктах,

поэтому было взято четыре партии зерна каждого сорта; при этом во всех пунктах сорта располагались всегда на соседних участках. Следовательно, здесь сопряженные (парные) наблюдения, и обрабатывать результаты анализов необходимо разностным методом попарных сравнений. Техника расчета критерия существенности t для сопряженных выборок показана в таблице 19.

Таблица 19

Обработка сопряженных наблюдений разностным методом

Пункт испытания сортов	Содержание белка (в %)		Разность d	Квадрат разности d^2	Ошибка средней разности $s_d = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2/n}{n(n-1)}}$	Критерий существенности $t = \frac{\bar{d}}{s_d}$
	сорт А	сорт Б				
I	18,6	17,8	+0,8	0,64	$s_d = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2/n}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{2,58 - 16,24/4}{4(4-1)}} = 0,04$	$t = \frac{0,80}{0,04} = 20,0^{***}$
II	16,2	15,4	+0,8	0,64		
III	17,4	16,5	+0,9	0,81		
IV	20,2	19,5	+0,7	0,49		
Суммы	72,4	69,2	3,2	2,58		
Средние	18,1	17,3	0,8	—		

$(\sum d)^2 = 3,2^2 = 10,24$

Для трех степеней свободы $\nu = n - 1 = 3$ теоретическое значение $t_{0,05} = 3,2$, $t_{0,01} = 5,8$ и $t_{0,001} = 12,9$. Следовательно, даже при очень строгой оценке данных различия в содержании белка в зерне двух сортов пшеницы существенны.

Если пренебречь условиями получения партий зерна и обработать эти данные как независимые наблюдения, т. е. вычислить ошибки средних $s_{\bar{x}_1}$ и $s_{\bar{x}_2}$, ошибку разности

$$s_d = \sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2},$$

то получается диаметрально противоположный вывод. Ошибки средних будут равны: $s_{\bar{x}_1} = 0,86\%$ и $s_{\bar{x}_2} = 0,88\%$. Ошибка разности $s_d = 1,23$ и критерий $t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} = \frac{0,80}{1,23} = 0,65$. Фактическое значение критерия существенности меньше табличного, и, следовательно, разность нельзя признать существенной.

Из этого примера ясно, что статистический метод обработки, определяемый схемой и условиями эксперимента, нельзя менять произвольно.

Разностный метод попарных сравнений используют иногда при обработке результатов полевых опытов, проведенных стандартными методами. При четко выраженной сопряженности в показаниях

урожаев по повторениям этим способом иногда обрабатывает данные небольших (2—4 варианта) опытов с размещением вариантов методом обычных повторений.

Пример вычисления критерия существенности при разностном методе приведен в таблице 20.

Таблица 20

Обработка данных об урожаях в полевом опыте с озимой пшеницей разностным методом

Повторность	Урожай по вариантам (в ц с 1 га)		Разность в урожаях (в ц с 1 га) d	Квадрат разности d ²	Ошибка средней разности $s_d = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2}{n(n-1)}}$	Критерий существенности $t = \frac{\bar{d}}{s_d}$
	опытный	контрольный				
1	II	I				
2	33,5	35,5	3,0	9,00	$s_d = \sqrt{\frac{20,06 - 8,4^2:4}{4(4-1)}} = 0,45$	$t = \frac{2,1}{0,45} = 4,7^*$
3	34,3	33,2	1,1	1,21		
4	36,9	34,4	1,6	2,56		
4	32,6	29,9	2,7	7,29		
Суммы	136,4	128,0	8,4	20,06		
Средние	34,1	32,0	2,1	—		
	III	I				
1	31,1	30,5	3,6	12,96	$s_d = \sqrt{\frac{32,85 - 11,2^2:4}{4(4-1)}} = 0,41$	$t = \frac{2,8}{0,41} = 6,8^{**}$
2	35,0	33,2	1,8	3,24		
3	36,8	31,4	2,4	5,76		
4	33,2	29,9	3,3	10,89		
Суммы	136,1	128,0	11,1	32,85		
Средние	34,8	32,0	2,8	—		

* Обозначения вариантов: I — без удобрений; II — удобрено РК; III — удобрено NPK.

По таблице 1 приложений находят теоретическое значение, принимая число степеней свободы равным числу пар сравнений без единицы. В нашем примере $v = 4 - 1 = 3$, значение $t_{05} = 3,2$ и $t_{01} = 5,8$. Разность между II вариантом и контролем существенна на 5%-ном (одна звездочка), а между III вариантом и контролем на 1%-ном (две звездочки) уровне значимости. Аналогичным образом дается оценка существенности разности не только между опытным и контрольным вариантами, но и между двумя опытными (II и III в нашем примере).

С увеличением числа изучаемых в полевом опыте вариантов практическое применение разностного метода наталкивается на препятствие технического характера: он становится очень громоздким, так как количество попарных сравнений увеличивается в прогрессирующей степени. Так, при 4 вариантах возможно 6 попарных

сравнений, при 8 — 28, а при 16 — уже 120 сравнений. В подобных случаях целесообразнее использовать метод дисперсионного анализа (см. § 4,5).

Приемы определения существенности разности средних двух сопряженных рядов с помощью критерия t часто используются в практической работе для сравнительной оценки методов анализа. Если два сравниваемых метода дают одинаковые результаты, то при достаточно большом числе измерений должна получиться средняя разность $d = 0$. При небольшом числе анализов $\bar{d} \neq 0$, и поэтому всегда возникает необходимость в проверке нулевой гипотезы об отсутствии постоянного расхождения.

Пример. В лаборатории кафедры земледелия ТСХА испытывали два метода подготовки почвы к агрегатному анализу (мокрому просеиванию).

1. Метод А (стандартный) — обычная подготовка, включающая сушку, фракционирование почвы на ситах в воздушносухом состоянии (сухое просеивание) и составление навесок почвы для мокрого просеивания.

2. Метод Б (опытный) — навески для мокрого просеивания отбирали из образцов почвы при естественной ее влажности, т. е. без подсушки и фракционирования.

Таблица 21

Количество водонепроницаемых агрегатов размером больше 0,25 мм (в %)

Номера образцов почвы	Метод подготовки		Разность d	Номера образцов почвы	Метод подготовки почвы		Разность d
	А	Б			А	Б	
1	35,0	34,8	0,2	9	44,4	45,6	-1,2
2	38,0	40,4	-2,4	10	64,6	61,0	3,6
3	55,4	50,7	4,7	11	59,9	60,0	-0,1
4	55,8	50,9	4,9	12	47,8	47,2	0,6
5	61,8	62,7	-0,9	13	46,8	48,7	-1,9
6	45,0	43,8	1,2	14	61,8	64,4	-2,6
7	47,4	45,3	2,1	15	48,9	44,4	4,5
8	56,8	54,0	2,8	16	61,1	59,9	1,2

$$\Sigma d = [0,2 + (-2,4) + 4,7 + \dots + 1,2] = 16,7;$$

$$\bar{d} = \frac{\Sigma d}{n} = \frac{16,7}{16} = 1,04;$$

$$\Sigma \bar{d}^2 = [0,2^2 + (-2,4)^2 + 4,7^2 + \dots + 1,2^2] = 113,24;$$

$$(\Sigma d)^2 = 16,7^2 = 278,89;$$

$$s_d = \sqrt{\frac{\Sigma \bar{d}^2 - (\Sigma d)^2 : n}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{113,24 - 278,89 : 16}{16(16-1)}} = 0,63;$$

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d} = \frac{1,04}{0,63} = 1,65.$$

Мокрое просеивание в обоих случаях проводили на приборе И. М. Бакшеева, результаты выражали в процентах к сухой почве. Подсчеты показали, что водопрочность агрегатов размером более 0,25 мм была в среднем на 1,04% меньше в тех случаях, когда навески для мокрого просеивания отбирали непосредственно из образцов почвы при естественной влажности ($\bar{x}_A - \bar{x}_B = 51,90 - 50,86 = 1,04$). Существенно ли такое расхождение или оно обусловлено случайными ошибками воспроизводимости (анализа)? Для ответа на этот вопрос нужно вычислить величину критерия существенности t . Результаты анализа и соответствующие расчеты приведены в таблице 21.

При числе степеней свободы $\nu = n - 1 = 15$ теоретическое значение $t_{05} = 2,1$ и $t_{01} = 3,0$. Таким образом, $t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$, и, следовательно, на основании имеющегося экспериментального материала нет оснований сомневаться в правильности нулевой гипотезы и утверждать, что имеются существенные различия между двумя методами подготовки почвы к агрегатному анализу; расхождения находятся в пределах точности анализа.

ОЦЕНКА РАЗНОСТИ МЕЖДУ ВЫБОРОЧНЫМИ ДОЛЯМИ

Оценку существенности разности между долями при качественной изменчивости проводят так же, как и при количественной изменчивости, т. е. по критерию t :

$$t = \frac{d}{s_d} = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{s_{p_1}^2 + s_{p_2}^2}},$$

где p_1 и p_2 — выборочные доли;

s_{p_1} и s_{p_2} — ошибки долей.

Эта формула для определения критерия существенности разности между выборочными долями вполне применима, если сравниваются две совокупности с равным объемом выборки, т. е. при $n_1 = n_2$.

Пример. При определении пораженности кукурузы проволочком было просмотрено в каждом варианте опыта по 250 растений и получены следующие данные:

I вариант (контроль)	$p_1 \pm s_{p_1} = 0,20 \pm 0,025;$
II » (опытный)	$p_2 \pm s_{p_2} = 0,15 \pm 0,023;$
III » »	$p_3 \pm s_{p_3} = 0,10 \pm 0,019.$

Требуется узнать, существенны ли различия по вариантам опыта или они несущественны, случайны.

Для I и II вариантов

$$t = \frac{0,20 - 0,15}{\sqrt{0,025^2 + 0,023^2}} = 1,47.$$

Для I и III вариантов

$$t = \frac{0,20 - 0,10}{\sqrt{0,025^2 + 0,019^2}} = 3,1^{**}.$$

Число степеней свободы $v = n_1 + n_2 - 2 = 498$.

Теоретическое значение критерия существенности $t_{05} = 2,0$, $t_{01} = 2,6$. Следовательно, различия в пораженности кукурузы проволочником в I и II вариантах несущественны, а различия между I и III вариантами существенны с 1%-ным уровнем значимости.

Часто, однако, две сравниваемые группы объектов имеют разные объемы, т. е. $n_1 \neq n_2$, или индивидуальные ошибки долей не вычисляли. В этих случаях ошибку разности определяют по формуле:

$$s_d = \sqrt{\frac{p_1 q_1}{n_1} + \frac{p_2 q_2}{n_2}}.$$

Пример. Для использования этой формулы воспользуемся данными, характеризующими влияние длительного применения фосфорно-калийных удобрений на ускорение цветения картофеля. На делянке без удобрений было 32 цветущих растения картофеля из 80, а с фосфорно-калийными удобрениями — 76 из 120. Существенно ли различие по вариантам? Для варианта без удобрений

$p_1 = \frac{32}{80} = 0,40$, $q_1 = 0,60$; для варианта с фосфорно-калийными удобрениями $p_2 = \frac{76}{120} = 0,63$, $q_2 = 0,37$. Разность $d = p_2 - p_1 = 0,63 - 0,40 = 0,23$ (23%).

Ошибка разности:

$$s_d = \sqrt{\frac{0,40 \times 0,60}{80} + \frac{0,63 \times 0,37}{120}} = 0,07.$$

Критерий существенности разности:

$$t = \frac{d}{s_d} = \frac{0,23}{0,07} = 3,28^{***}.$$

Число степеней свободы $v = n_1 + n_2 - 2 = 80 + 120 - 2 = 198$, $t_{01} = 2,6$. Фактическое значение критерия существенности больше теоретического на 1%-ном уровне значимости. Следовательно, ускорение цветения картофеля по фону РК не случайно, а обусловлено действием изучаемого фактора.

Часто в экспериментальной работе возникает необходимость оценить существенность разности между выборочной долей p и теоретически рассчитанной P . Такую оценку проводят по следующей формуле:

$$t = \frac{P - p}{\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}},$$

где P — теоретически рассчитанная доля признака;

p — доля выборочного наблюдения;

n — численность выборки.

Пример. В исследованиях В. Г. Вольфа (1966) женские соцветия белозерного сорта кукурузы Стерлинг опыляли смесью пыльцы своего и желтозерного сорта. Подсчет показал, что в зависимости от вида «чужой» пыльцы доля ксеинных семян колебалась от 0,37 до 0,56. При отсутствии избирательности следовало ожидать долю ксеинных семян $P = 0,5$. Необходимо оценить существенность различий между выборочной долей p и теоретически ожидаемой P по критерию t .

Все расчеты показаны в таблице 22.

Таблица 22

Оценка существенности разности между выборочной и теоретически ожидаемой долей

Желтозерные сорта кукурузы	n	Доля ксеинных семян p	$P-p$	$\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$	$t_{\text{факт}}$
Воронежская 76	225	0,56	0,06	0,033	1,82
Днепропетровская	232	0,41	0,09	0,033	2,72**
Желтая зубовидная	247	0,37	0,13	0,032	4,07***

Значение критерия $t_{05} = 2,0$; $t_{01} = 2,6$ и $t_{001} = 3,3$. Сравнивая эмпирические значения критерия t с теоретическими, следует признать, что разность между фактическими и ожидаемыми (теоретическими) долями для Днепропетровской существенна на 1%-ном, а для сорта Желтая зубовидная даже на 0,1%-ном уровне значимости; наличие в смеси пыльцы сорта Воронежская 76 не изменило случайного характера оплодотворения и нулевая гипотеза в данном случае не отвергается ($t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$).

Оценка разности выборочных средних редких событий. Критерий существенности разности средних, подчиняющихся распределению Пуассона, определяют по формуле:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\bar{x}_1 + \bar{x}_2}}.$$

Здесь $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — непосредственно подсчитанное число редких событий в сравниваемых больших совокупностях, для которых теоретические значения $t_{05} \approx 2,0$ и $t_{01} \approx 2,6$.

Пример. В 100 пробах подсчитано количество семян сорняков в двух партиях семенного клевера. Всего в 100 пробах, взятых из первой партии, найдено 105 сорняков ($\bar{x}_1 = 105$), а из второй — 74 ($\bar{x}_2 = 74$). Существенна ли разность $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 105 - 74 = 31$?

Определяют фактическое значение критерия существенности по соотношению:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\bar{x}_1 + \bar{x}_2}} = \frac{105 - 74}{\sqrt{105 + 74}} \approx 2,3^*.$$

Сопоставляя фактическое значение t с теоретическим, приходят к выводу, что $t_{\text{факт}} > t_{05} < t_{01}$. Следовательно, разность существенна на 5%-ном и несутественна на 1%-ном уровне значимости.

Оценка различий между дисперсиями по критерию F . Существенность различий в степени вариации признаков оценивают с помощью критерия F , который предложен Р. Фишером и представляет собой отношение дисперсий:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}.$$

Здесь s_1^2 — большая, s_2^2 — меньшая из сравниваемых дисперсий.

Если $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, то между сравниваемыми дисперсиями имеются существенные различия, когда $F_{\text{факт}} \leq F_{\text{теор}}$ — различия несущественны и нулевая гипотеза о равенстве сравниваемых дисперсий принимается. В связи с тем, что числителем всегда берется большая дисперсия, критерий F равен или больше единицы. Теоретические значения критерия F для принятого в исследовании уровня значимости находят по таблице 2 приложений с учетом числа степеней свободы сравниваемых дисперсий. На сравнении дисперсий построен важный статистический метод, получивший название дисперсионного анализа.

§ 4. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

Дисперсионный анализ, или анализ рассеяния опытных данных, представляет собой наиболее совершенный современный метод статистической обработки экспериментального материала. Значительная роль в разработке метода принадлежит английскому статистику Р. А. Фишеру, который впервые применил его при обработке результатов биологических и сельскохозяйственных исследований.

В настоящее время дисперсионным анализом широко пользуются в различных экспериментальных работах лабораторного и промышленного характера, при планировании сложных комплексных опытов в области биологии и сельского хозяйства.

Дисперсионный анализ больше других методов подходит для условий полевых исследований: он позволяет оценить методику и результаты опыта в целом, установить различия между вариантами, а также между плодородием почвы повторений, с которыми всегда встречаются в той или иной мере при проведении полевых опытов. Анализ рассеяния может быть применен для оценки результатов как однофакторных, так и сложных многофакторных опытов; задача их — установить влияние одного или нескольких факторов и их взаимодействия на результативный признак.

С оценкой существенности разности между двумя средними экспериментатор встречается значительно реже, чем с задачей сравнения нескольких выборок, например 5—10 и более вариантов в вегетационном или полевом опыте. В таких случаях попарные сравнения становятся громоздкими, и оценку существенности разностей проводят методом дисперсионного анализа.

Основная задача дисперсионного анализа — определить доли, или степени, влияния различных факторов в отдельности, а также

суммарного их воздействия на изменчивость изучаемого признака, например урожая в полевом опыте.

В результате дисперсионного анализа получают данные, характеризующие общее рассеяние, или дисперсию, признака, обусловленное действием всех факторов; частную, или факториальную, дисперсию, вызванную влиянием организованных и учтенных исследователем факторов; остаточную дисперсию, связанную с неизвестными экспериментатору случайными, не организованными в данном исследовании факторами.

В любом опыте результативный признак может варьировать в зависимости от факторов, организованных в исследовании, и случайных, или неорганизованных. Организация факторов в полевом опыте заключается в том, что изучаемым приемам дают несколько значений (градаций) и ряд изучаемых факторов территориально объединяют в повторения, группы, блоки.

Статистическое изучение влияния одного или нескольких факторов, а также взаимодействия изучаемых факторов на результативный признак и составляет сущность дисперсионного анализа.

При дисперсионном анализе одновременно обрабатывают данные нескольких выборок, составляющих единый статистический комплекс, оформленный в виде специальной рабочей таблицы. Структура статистического комплекса и его последующий анализ определяются характером и методикой эксперимента.

Общую изменчивость, или дисперсию, результативного признака принято выражать суммой квадратов отклонений каждой даты от общей средней арифметической ($\bar{x}_0$), то есть в виде $\sum (X - \bar{x}_0)^2$. Это выражение и называется общей дисперсией признака и обозначается C_T .

Метод дисперсионного анализа статистических комплексов, состоящих из нескольких независимых выборок, позволяет разложить общую дисперсию результативного признака C_T на две части: дисперсию между выборками C_V и внутри выборок C_Z . Следовательно, в общей форме изменчивость признака может быть представлена выражением:

$$C_T = C_V + C_Z.$$

Здесь дисперсия между выборками, например вариантами в вегетационном опыте, представляет ту часть общей дисперсии, которая обусловлена действием изучаемых факторов, а дисперсия внутри выборок характеризует случайное варьирование изучаемого признака, т. е. ошибку эксперимента.

При обработке неспряженных данных общая дисперсия варьирующего признака характеризуется суммой квадратов отклонений каждой даты X от средней арифметической опыта $\bar{x}_0$:

$$C_T = \sum (X - \bar{x}_0)^2.$$

Дисперсия изучаемых в опыте вариантов характеризуется суммой квадратов отклонений их средних $\bar{x}$ от общей средней $\bar{x}_0$; она

представляет ту часть общего варьирования, которая обусловлена действием изучаемых факторов:

$$C_V = \sum (\bar{x} - \bar{x}_0)^2.$$

Сумму квадратов случайного или остаточного варьирования, характеризующую разнообразие признака, которое возникает вследствие случайных ошибок эксперимента, находят как некоторый остаток по формуле:

$$C_Z = C_V - C_V.$$

Для сопряженных опытных данных, когда выборки связаны каким-то общим контролируемым условием, например наличием повторений в полевом опыте, общая дисперсия разлагается на три части: варьирование вариантов C_V , повторений C_P и случайное C_Z . В подобных случаях общая дисперсия может быть выражена такой суммой:

$$C_V = C_V + C_P + C_Z.$$

В полевом однофакторном опыте, проведенном методом обычных повторений, общее варьирование поделяночных урожаев характеризуется суммой квадратов отклонений поделяночных урожаев X от среднего урожая опыта $\bar{x}_0$:

$$C_V = \sum (X - \bar{x}_0)^2.$$

Варьирование повторений определяется суммой квадратов отклонений их средних урожаев $\bar{x}_P$ от общей средней $\bar{x}_0$:

$$C_P = \sum (\bar{x}_P - \bar{x}_0)^2.$$

Варьирование вариантов представляет сумму квадратов отклонений их средних урожаев $\bar{x}$ от общей средней $\bar{x}_0$:

$$C_V = \sum (\bar{x} - \bar{x}_0)^2.$$

Сумму квадратов случайного или остаточного варьирования вычисляют как некоторый остаток по равенству:

$$C_Z = C_V - (C_P + C_V).$$

Если взять отношение частных варьирований, т. е. сумм квадратов вариантов, повторений и остатка, к сумме квадратов общего варьирования, то сумма всех отношений (долей, или процентов) будет равна единице, или 100%:

$$\frac{C_V}{C_V} + \frac{C_P}{C_V} + \frac{C_Z}{C_V} = 1,0 \quad (\text{или } 100\%).$$

Таким образом, дисперсионный анализ дает возможность получить представление о степени, или доле, влияния того или иного

фактора в общей дисперсии признака, которую принимают за единицу, или 100%, а именно (в %):

$$\frac{C_V}{C_Y} \cdot 100 \text{ — влияние вариантов;}$$

$$\frac{C_P}{C_Y} \cdot 100 \text{ — влияние повторений;}$$

$$\frac{C_Z}{C_Y} \cdot 100 \text{ — влияние случайных факторов.}$$

Определение случайного варьирования составляет чаще всего важнейшую задачу дисперсионного анализа результатов однофакторных опытов. Сопоставляя его с изменчивостью вариантов, устанавливают существенность различия по критерию Фишера (F).

Для определения степени статистического влияния факторов на результативный признак достаточно сравнить соответствующие суммы квадратов отклонений и отношения частных варьирований к общему, в процентах. Однако для других целей, например для установления существенности влияния факторов, изучаемых в исследовании, непосредственно сравнивать суммы квадратов нельзя, так как это вся масса варьирования, которая зависит от числа наблюдений. Для этой цели необходим другой показатель, свободный от указанной зависимости и допускающий сравнение независимо от числа наблюдений. Таким показателем служит дисперсия, или средний квадрат. Дисперсию вычисляют по уже известной формуле:

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

Знаменатель в формуле дисперсии представляет собой число степеней свободы ν , или число независимых измерений, минус те связи, которые наложены на эти измерения при дальнейшей обработке материала. Для общей дисперсии в полевом опыте с числом делянок, равным произведению повторностей n на количество вариантов l , имеется $nl - 1$ степеней свободы, так как при подсчете общей средней на результаты измерений была наложена одна связь. При определении дисперсии вариантов число степеней свободы равно $l - 1$, для дисперсии повторений $n - 1$ и для остаточной дисперсии $(nl - 1) - (l - 1) - (n - 1) = (l - 1)(n - 1)$.

Итогом дисперсионного анализа является проверка нулевой гипотезы и оценка существенности разностей между выборочными средними. Согласно нулевой гипотезе, между совокупностями, из которых взяты выборки, нет существенных различий. Проверка этой гипотезы осуществляется по критерию F , который представляет собой отношение дисперсии вариантов s_V^2 к случайной дисперсии s_Z^2 , т. е.

$$F_{\text{факт}} = \frac{s_V^2}{s_Z^2}.$$

Нулевая гипотеза отвергается, когда $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$. Это означает, что в опыте имеются варианты, которые существенно отличаются от остальных. Нулевая гипотеза принимается, когда $F_{\text{факт}} \leq F_{\text{теор}}$, и, следовательно, в опыте нет таких вариантов, которые существенно различаются между собой.

Теоретическое значение критерия F для принятого в исследовании уровня значимости находят по таблице (см. табл. 2 приложений) с учетом числа степеней свободы для дисперсии вариантов и случайной дисперсии. В большинстве случаев избирают 5%-ный, а при более строгом подходе 1%-ный уровень значимости.

Если общая статистическая оценка по критерию F устанавливает наличие вариантов, существенно отличающихся от остальных ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$), и нулевая гипотеза о равенстве параметров изучаемых совокупностей отвергается, то дают оценку существенности конкретных или частных различий между средними по t -критерию. Когда $F_{\text{факт}} \leq F_{\text{теор}}$ и, следовательно, нулевая гипотеза принимается, оценку частных различий не проводят. В этом случае все разности между любыми парами средних находятся в пределах точности опыта.

Для характеристики точности опыта и оценки частных различий определяют:

а) обобщенную ошибку среднего:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s_x^2}{n}};$$

б) относительную ошибку средней (точность опыта), т. е. ошибку среднего, выраженную в процентах к среднему по всему опыту:

$$s_{\bar{x}}^0/\bar{x} = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100;$$

в) среднюю ошибку разности:

$$s_d = \sqrt{s_{x_1}^2 + s_{x_2}^2} = \sqrt{2s_{\bar{x}}^2} \approx 1,414 s_{\bar{x}};$$

г) наименьшую существенную разность (НСР) для 5%-ного или 1%-ного уровня значимости:

$$\text{НСР}_{05} = t_{05} s_d;$$

$$\text{НСР}_{01} = t_{01} s_d.$$

Здесь индексами при НСР и t записаны показатели уровня значимости (5%-ный или 1%-ный). Напомним, что 5%-ному уровню значимости соответствует 95%-ный уровень вероятности, а 1%-ному уровню значимости — 99%-ный уровень вероятности безошибочного суждения.

Значение критерия t для 5%-ного (или 1%-ного) уровня значимости берут из таблицы 1 приложений при числе степеней свободы

для остаточной (случайной) дисперсии. Разности между средними, которые больше $НСР_{05}$, считаются существенными с 5%-ным уровнем значимости и обозначаются одной звездочкой (*), а больше $НСР_{01}$ — существенными с 1%-ным уровнем значимости и обозначаются двумя звездочками (**).

Цифровые примеры дисперсионного анализа результатов полевых опытов рассматриваются в следующем разделе.

§ 5. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Обработка результатов полевого опыта (урожаев) складывается из агрономического анализа полученных данных, предварительной цифровой обработки и статистической оценки их методом дисперсионного анализа. В некоторых случаях для статистической обработки урожаев используют методы попарных сравнений, рассмотренные в § 3.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Прежде чем обрабатывать результаты исследований статистически, необходимо оценить их с агрономической точки зрения. Агрономический анализ заключается в сопоставлении фактической методики проведения опыта с методикой, требуемой условиями и характером исследования, и включает критический обзор данных об урожаях, сопоставление их с результатами полевых наблюдений, анализ методики и техники проведения опыта, а также освобождение первичных данных от описок и других неточностей. Опыты с нарушениями методики и техники, грубыми ошибками, искажающими агрономическую сущность изучаемых приемов, не представляют ценности, а полученные данные нельзя использовать в качестве каких-либо аргументов и тем более бессмысленно обрабатывать их статистически. Такие опыты бракуют.

После агрономической оценки, тщательного анализа методики и техники проведения полевого опыта, проверки записей по первоисточникам (полевой книжке и журналу), устранения описок и неточностей приступают к предварительной обработке экспериментального материала: пересчитывают урожай с делянок на урожай с гектара, приводят урожай к стандартной влажности, вычисляют средние урожаи.

Такой этап обработки заканчивается составлением таблицы урожаев. Если из учета выпала одна или несколько делянок, а следовательно, нарушено сравнение вариантов, исчисляют наиболее вероятный урожай этих делянок, как бы восстанавливают выпавшие данные.

Часто в задачу полевого опыта входит сравнительная оценка продуктивности различных растений и, следовательно, возникает необходимость в статистической оценке существенности различий между культурами по продуктивности. Однако изучаемые растения

не только могут резко различаться по урожаям, но и быть совершенно несравнимыми по товарной продукции, например 8 ц льноволокна, 30 ц зерна, 350 ц корнеклубнеплодов и т. д. В подобных случаях все поделяночные урожаи изучаемых культур необходимо привести к сравнимому виду. Это можно сделать пересчетом товарной продукции урожая в стоимостное выражение, в кормовые, зерновые или другие сопоставимые единицы, например в проценты. Поделяночные урожаи, приведенные одним из указанных способов к сравнимому виду, заносят в таблицу урожаев и обрабатывают статистически, как данные обычного полевого опыта.

Если сравнивают группу культур, например севообороты или их звенья, статистически оценивают существенность различий между суммами или средними урожаями изучаемых групп, приведенных к сравнимому виду.

При любом методе постановки опыта предварительная обработка его данных начинается с пересчета урожая с делянки на урожай с гектара или какую-либо другую постоянную площадь, например квадратный метр в микрополевых опытах. К первичной обработке следует отнести также пересчет урожая на стандартную влажность.

Дальнейший этап предварительной обработки — составление таблицы урожаев. В таблицу заносят поделяночные урожаи или средние многолетние (при обработке данных многолетних опытов), определяют суммы и средние по повторениям и вариантам.

Прежде чем приступать к дальнейшей обработке результатов опыта, следует проверить правильность вычисления. Это делают так: подсчитывают сумму всех сумм урожаев по вариантам ΣV и повторениям ΣP . В результате должно получиться одно и то же число — общая сумма всех поделяночных урожаев ΣX . Если указанного совпадения не будет, то в вычислениях вкралась ошибка, которую следует устранить. Средние по вариантам $\bar{x}$ получают делением соответствующих сумм на число повторений. Делением общей суммы урожаев ΣX на общее число делянок в опыте, которое равно ln (произведению числа вариантов на число повторений), получают средний урожай для всего опыта $\bar{x}_0$.

Обработка данных стационарных и нестационарных многолетних опытов включает:

- 1) агрономическую оценку и статистическую обработку данных в пределах каждого года;

- 2) агрономическую оценку многолетних данных — группировку их по характеру лет, вегетационных периодов или критических периодов вегетации, по ротациям севооборота или периодам опыта и т. д.;

- 3) статистическую характеристику точности многолетних средних и оценку существенности разностей между ними по ротациям, периодам опыта или группам однородных по метеорологическим условиям лет и за весь период многолетнего опыта;

4) статистический анализ взаимосвязи действия, взаимодействия или последствий изучаемых факторов с метеорологическими или другими условиями внешней среды.

К многолетнему опыту должны предъявляться особенно строгие методические требования, чтобы получить более точные данные, которые при обработке малыми группами, например по ротациям севооборота, или группами лет могли бы дать вполне достоверные результаты и тем содействовать скорейшему разрешению изучаемых вопросов. В связи с этим многократное повторение опыта во времени не только не снижает, а даже повышает требования к методике его проведения в каждом отдельном году.

Характеристика точности и оценка существенности различий между средними в пределах каждого года в отдельности совершенно аналогичны характеристике однолетнего опыта и даются ежегодно по мере получения материалов. Их статистически обрабатывают методом, наиболее соответствующим схеме и условиям проведения опыта. Ошибки средних арифметических, а следовательно, и точность зависят в этом случае главным образом от пестроты плодородия, методики и техники проведения опыта.

По мере накопления материала точность многолетнего опыта и существенность различных сравнений характеризуются за определенный период, например ротацию севооборота или определенную группу лет — влажные, нормально увлажненные, засушливые и т. п. За исходные показания в этом случае принимают годовые средние. Эта характеристика точности многолетних данных будет принципиально отличаться по смыслу и значению от характеристики точности однолетних данных. Она будет зависеть от повторяемости результатов при различных метеорологических условиях отдельных лет, и сильное варьирование урожаев по годам не может рассматриваться здесь как недостаток опыта. Наоборот, различие в результатах, полученных в разные годы, свидетельствует о необходимости дифференцировать выводы применительно к метеорологическим условиям, а также указывает на возможность установления коррелятивной зависимости между эффективностью того или иного приема и метеорологическими факторами отдельных лет.

Следует указать, что агрономический и последующий статистический анализы каждого отдельного многолетнего опыта представляют для экспериментатора довольно сложную задачу, так как полученные материалы значительно видоизменяются и в пространстве и во времени. Можно предположить, что в этих случаях статистическая обработка без разбивки на группы лет дает иногда ложное представление о действии изучаемых факторов.

Общее положение, имеющее отношение ко всем длительным опытам, следующее: урожаи по отдельным годам в связи с метеорологическими условиями коррелированы между собой. Поэтому статистический анализ годовых средних в многолетнем опыте должен учитывать сопряженность в показаниях по отдельным годам.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫПАВШИХ ДАННЫХ

В экспериментальной работе иногда необходимо исключать из учета одну или несколько делянок. В результате выпадения данных опыт становится неполным, и проводить сравнения вариантов при разном количестве повторных делянок в них нельзя. Поэтому такой опыт необходимо привести к опыту с полным набором делянок для каждого варианта и повторения, т. е. необходимо средние тех вариантов, по которым нет данных, привести к сравнимому виду со всеми прочими средними. Точно «восстановить» урожай той или иной делянки, не учтенной вследствие повреждения, ошибок при определении урожая, браковки или других причин, нельзя. Можно только теоретически приблизительно вычислить наиболее вероятный, ожидаемый урожай, который и заносят в пустую клетку таблицы урожая.

Наиболее вероятный урожай выпавших делянок вычисляют на основании сопряженных показаний в урожаях по вариантам и повторениям. При этом теоретически вычисленный урожай не должен ничего изменять в фактических эффектах вариантов, т. е. вычисленный урожай неучтенной делянки должен показать такую эффективность действия изучаемого фактора, которая была бы равна средней эффективности во всех оставшихся повторениях, имеющих данные этого варианта.

Дж. У. Снедекор (1961) рекомендует вычислять единично выпавшую дату по формуле:

$$A = \frac{IV + nP - \Sigma X}{(I - 1)(n - 1)},$$

где I — число вариантов;

n — число повторностей;

V — сумма данных того варианта, где находится выпавшее наблюдение;

P — сумма данных того повторения, где находится выпавшее наблюдение;

ΣX — общая сумма всех наблюдений.

Вычисленная по такой формуле выпавшая дата имеет эффект, равный эффекту этого варианта во всех остальных повторениях.

Пример вычисления урожая для одной выпавшей из учета делянки дан в таблице 23.

Теоретически вычисленную цифру вписывают в таблицу как урожай выпавшей делянки и заключают в скобки (384).

Если в опыте имеется несколько выпавших из учета делянок, то наиболее вероятное значение выпавших данных вычисляют методом, который используется государственными сортоиспытательными участками (В. Н. Перегудов, 1960).

Пример. В опыте со льном забракованы и исключены из учета две делянки: делянка II варианта в четвертом и IV варианта во втором повторении. Необходимо «восстановить», т. е. вычислить

Таблица 23

Восстановление урожая в опыте с одной выпавшей датой

Вариант	Повторения				Суммы V
	1	2	3	4	
I	362	311	205	165	1043
II	550	489	(384)	341	1380
III	562	508	375	289	1734
Суммы P	—	—	580	—	$\Sigma X = 4157$

$$A = \frac{3 \times 1380 + 4 \times 580 - 4157}{(3-1)(4-1)} = 383,8 \approx 384.$$

наиболее вероятные урожаи льносоломки на выпавших делянках и привести все данные к сравнимому виду.

«Восстановленные» урожаи проставлены в соответствующие клетки таблицы 24 и заключены в скобки; поэтому их пока не следует принимать во внимание.

Таблица 24

Восстановление выпавших дат

Вариант	Урожай по повторениям				Средние урожаи по вариантам с выпавшими датами	
	1	2	3	4	вариант II	вариант IV
I	60,4	64,4	65,2	59,6	68,10	46,07
II	66,8	67,5	70,0	(61,0)		
III	56,3	61,5	66,7	51,1		
IV	42,9	(49,2)	50,1	45,2		
Суммы по повторениям с полным набором делянок (I + III)	116,7	125,9	131,9	110,7	5,68	—13,76
Средние урожаи по повторениям	58,35	62,95	65,95	55,35	62,42	59,83
Восстановленные урожаи					$55,35 + 5,68 = 61,0$	$62,92 + (-13,76) = 49,2$

Расчеты проводят в следующей последовательности. Находят суммы и средние урожаи по повторениям для вариантов с полным набором делянок. Средние по повторениям сравнимы между собой; их различия обусловлены главным образом варьированием плодородия почвы. Затем вычисляют средние урожаи для вариантов с выпавшими датами по фактическому числу повторений, опреде-

ляют средние урожаи по вариантам с полным набором делянок для этих же повторений и рассчитывают средние эффекты вариантов с выпавшими датами.

В данном примере средний урожай для варианта II, где выпала делянка четвертого повторения, равен $(66,8 + 67,5 + 70,0) : 3 = 68,10$ ц, а средний урожай по всем вариантам с полным набором делянок, но соответственно без данных четвертого повторения, составил $(58,35 + 62,95 + 65,95) : 3 = 62,42$ ц с 1 га.

Сопоставлением этих двух чисел $(68,10 - 62,42 = 5,68)$ находят средний эффект варианта II с выпавшей датой. Если бы делянка в четвертом повторении второго варианта дала нормальный урожай, то он был бы примерно на 5,68 ц больше, чем средний урожай остальных вариантов в этом повторении, а именно: $55,35 + 5,68 = 61,0$ ц с 1 га. Это и будет теоретически вычисленный урожай, который записывают как урожай выпавшей делянки и заключают в скобки (61,0). Аналогичным способом вычисляют вероятное значение урожая выпавшей делянки для четвертого варианта.

Статистическую обработку опыта с восстановленными данными проводят как обычно, но в конечные результаты вносят некоторые изменения: 1) число степеней свободы для ошибки (остатка) уменьшают на число выпавших дат; 2) при сравнении вариантов с выпавшими данными и, следовательно, имеющими разную повторность n_1 и n_2 , ошибку среднего вычисляют по формуле:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{s^2 : \left(\frac{n_1 + n_2}{2} \right)}.$$

Теоретическое вычисление выпавших данных — условная операция, и этим приемом нельзя злоупотреблять. Если в варианте или повторении выпадает более 50% делянок, соответствующий вариант или повторение необходимо полностью исключить из таблицы данных об урожаях. В том случае, когда с одинаковым основанием можно исключить как вариант, так и повторение, следует исключить повторение; это принесет меньшую потерю информации, чем исключение варианта.

Иногда в таблице данных об урожаях встречаются такие числа, которые очень сильно выделяются по своей величине, например исключительно высокие или низкие. У исследователя возникает мысль, что цифры не типичны для варианта опыта, в котором они получены, и появляется желание исключить их из таблицы. После того как урожай убран и взвешен, о данных уже трудно сказать определенно: грубо ошибочны они или просто имеют большую, но вероятную случайную ошибку. Поэтому совершенно очевидно, что иногда применяемая в практике браковка сомнительных дат на глаз бывает субъективной и совершенно недопустима.

Некоторые исследователи для браковки сомнительных дат предлагают специальные статистические критерии, позволяющие считать, что вероятность столь значительного случайного отклонения очень мала, например один случай на 100 или 1000 и, следова-

тельно, эти результаты получены в каких-то особых условиях, резко отличающихся от условий всех остальных делянок. Только в этом случае сомнительная дата может быть исключена из таблицы и заменена теоретически вычисленным показателем. Подробно с приемами браковки сомнительных дат статистическим методом можно ознакомиться по работам Н. Ф. Дерезицкого (1962), В. Ю. Урбаха (1964), В. Г. Вольфа (1966) и других авторов.

Необходимо, однако, отметить, что выключение сомнительных дат очень опасно и прибегать к этому следует лишь в исключительных случаях. Проведение любой стадии эксперимента на высоком уровне, тщательная организация труда на опытном участке и некоторое преувеличение трудностей, могущих возникнуть в опытной работе, позволяют обычно успешно избежать грубых ошибок, и следовательно, и браковки сомнительных дат.

Опишем кратко упрощенный способ решения вопроса о принадлежности наиболее уклоняющихся (крайних) вариант X_{min} или X_{max} к данной совокупности в малых выборках путем использования статистического критерия τ (греч. тау). Фактические значения критерия τ для X_{min} и X_{max} находят по следующим соотношениям (В. Ю. Урбах, 1964):

$$\tau_{X_{min}} = \frac{X_2 - X_{min}}{X_{n-1} - X_{min}} \quad \text{и} \quad \tau_{X_{max}} = \frac{X_{max} - X_{n-1}}{X_{max} - X_2},$$

где X_2 — варианта, ближайшая по величине к X_{min} , а X_{n-1} — к X_{max} .

Если $\tau_{факт} > \tau_{теор}$, то варианта отбрасывается, и методом, описанным выше, теоретически «восстанавливается» наиболее вероятное значение даты; если $\tau_{факт} \leq \tau_{теор}$, то варианта оставляется и нулевая гипотеза о принадлежности ее к данной совокупности не отвергается. Критические значения критерия $\tau_{теор}$, которые зависят от принятого уровня значимости (5% или 1%-ного) и от объема выборки n , даны ниже.

n	τ		n	τ	
	0,01	0,05		0,01	0,05
4	0,991	0,955	14	0,502	0,395
5	0,916	0,807	16	0,472	0,369
6	0,805	0,689	18	0,449	0,349
7	0,740	0,610	20	0,430	0,334
8	0,683	0,554	22	0,414	0,320
9	0,635	0,512	24	0,400	0,309
10	0,597	0,477	26	0,389	0,299
11	0,566	0,450	28	0,378	0,291
12	0,541	0,428	30	0,369	0,283

Пример. Из шести урожаев по повторным делянкам 24,1; 19,9, 27,2; 19,7; 7,9 и 20,6 вызывают сомнения $X_{min} = 7,9$ и $X_{max} =$

$= 27,2$. Рассчитаем фактические значения критерия τ и сравним их с критическими значениями τ_{05} и τ_{01} .

$$\tau_{X_{min}} = \frac{X_2 - X_{min}}{X_{n-1} - X_{min}} = \frac{19,7 - 7,9}{24,1 - 7,9} \approx 0,728;$$

$$\tau_{X_{max}} = \frac{X_{max} - X_{n-1}}{X_{max} - X_2} = \frac{27,2 - 24,1}{27,2 - 19,7} \approx 0,413.$$

Значение $\tau_{X_{min}}$ больше, чем $\tau_{05} = 0,689$. Следовательно, с 5%-ным уровнем можно считать значение урожая $X_{min} = 7,9$ выходящим за пределы случайных колебаний и есть основания исключить эту дату из дальнейшей обработки. При более строгом подходе (1%-ный уровень) оснований для браковки нет, так как фактическое значение τ меньше $\tau_{01} = 0,805$. В отношении $X_{max} = 27,2$ оснований для браковки нет, и нулевая гипотеза о принадлежности этого урожая к данной совокупности не отвергается ни при 5%-ном, ни при 1%-ном уровне, так как $\tau_{факт} < \tau_{05}$.

Рассмотренный способ статистической оценки принадлежности «сомнительных» вариантов к изучаемой совокупности в малых выборках, имеющих распределение, близкое к нормальному, используется и применительно к аналитическим данным, например показателям химического состава почв, растений и т. п.

Пример. Имеется четыре определения содержания гумуса (в %) в почве, взятой с параллельных (повторных) делянок полевого опыта. Расположим все даты в порядке возрастания: 1,88 (X_{min}); 2,58 (X_2); 2,67 (X_{n-1}); 2,77 (X_{max}).

Необходимо проверить, не отклоняются ли слишком сильно крайние варианты (X_{min} и X_{max}), считая, что принадлежность к данной совокупности остальных вариантов, и в частности X_2 и X_{n-1} , не подвергается сомнению. Найдём отношение разности между сомнительной и соседней датой к размаху варьирования и сравним $\tau_{факт}$ с $\tau_{теор}$.

$$\tau_{X_{min}} = \frac{X_2 - X_{min}}{X_{n-1} - X_{min}} = \frac{2,58 - 1,88}{2,67 - 1,88} = \frac{0,70}{0,79} = 0,885;$$

$$\tau_{X_{max}} = \frac{X_{max} - X_{n-1}}{X_{max} - X_2} = \frac{2,77 - 2,67}{2,77 - 2,58} = \frac{0,10}{0,22} = 0,454.$$

Для $n = 4$ теоретические значения $\tau_{01} = 0,991$ и $\tau_{05} = 0,955$. Следовательно, обе варианты находятся в пределах возможных случайных колебаний ($\tau_{факт} < \tau_{теор}$), и при вычислении средней их исключить нельзя.

Проверку нулевой гипотезы о принадлежности сомнительных дат к изучаемому ряду часто проводят путем вычисления $x = \frac{X - \bar{x}}{s}$ и определения вероятности нахождения этого отношения в пределах $\bar{x} \pm 2s$ (уровень вероятности 95%) или $\bar{x} \pm 3s$ (уровень вероятности 99%). Если x выходит за пределы $\bar{x} \pm 2s$, то

нулевая гипотеза отвергается на 5%-ном, а если x выходит за пределы утроенного стандартного отклонения, т. е. $\bar{x} \pm 3 s$, — на 1%-ном уровне значимости.

ОБРАБОТКА ОПЫТОВ, ПРОВЕДЕННЫХ МЕТОДОМ ОБЫЧНЫХ ПОВТОРЕНИЙ

Наиболее простой случай применения дисперсионного анализа — обработка данных однофакторного опыта, заложенного методом обычных повторений. Общее варьирование поделяночных урожаев C_y , которое характеризуется суммой квадратов отклонений поделяночных урожаев X от среднего урожая опыта $\bar{x}_0$, расщепляется здесь на три части: варьирование вариантов C_v , повторений C_p и случайное C_z .

При определении сумм квадратов отклонений для каждого вида варьирования используют ряд статистических приемов, позволяющих упростить технику расчетов и свести их ошибки к минимуму.

Один из наиболее распространенных способов вычисления сумм квадратов отклонений, минуя средние арифметические, — способ произвольного начала:

$$\sum (X - \bar{x})^2 = \sum (X - A)^2 - C,$$

где $C = \frac{[\sum (X - A)]^2}{ln}$ — корректирующий фактор (поправка);

A — произвольное начало (условная средняя). Она дает возможность получить сумму квадратов, не вычисляя средние урожаи. Это значительно упрощает определение всех отклонений от средних, так как за условную среднюю можно взять любое целое число, близкое к среднему урожаю культур по опыту. Когда за произвольное начало берут нуль, говорят, что вычисление сумм квадратов отклонений идет «от фактического нуля», и формула приобретает такой вид:

$$\sum (X - \bar{x})^2 = \sum X^2 - C,$$

где $C = \frac{(\sum X)^2}{ln}$ — корректирующий фактор.

При работе с многозначными цифрами и отсутствии счетных машин определение сумм квадратов отклонений всех источников варьирования проводят от произвольного начала. Формулы для вычислений результатов однофакторных опытов при дисперсионном анализе даны в таблице 25.

Техника расчетов может быть показана на примере полевого опыта по сортоиспытанию восьми сортов озимой пшеницы (В. Г. Вольф, 1966).

1. Составляют таблицу урожаев (табл. 26), подсчитывают суммы по вариантам V , повторениям P и общую сумму всех поделяночных урожаев $\sum X$. При этом сумма всех сумм по повторениям $\sum P$ и

Формулы для вычисления от произвольного начала A

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы ν	Средний квадрат дисперсий s^2	Отношение дисперсий $F_{\text{факт.}}$
Общее — C_Y	$\Sigma (X - A)^2 - C$	$ln - 1$		
Повторений — C_P	$\Sigma P_A^2 : l - C$	$n - 1$		
Вариантов — C_V	$\Sigma V_A^2 : n - C$	$l - 1$	$s_V^2 = C_V : (l - 1)$	$s_V^2 : s_Z^2$
Остаточное (ошибки) — C_Z	$C_Z = C_Y - (C_P + C_V)$	$(l - 1)(n - 1)$	$s_Z^2 = C_Z : (l - 1)(n - 1)$	

Примечание. X — поделочный урожай;

A — произвольное начало;

V_A — суммы отклонения поделочных урожаев от произвольного начала по вариантам;

P_A — то же, по повторениям;

$C = \frac{[\Sigma (X - A)]^2}{ln}$ — корректирующий фактор;

$\Sigma (X - A)$ — общая сумма отклонений всех поделочных урожаев от произвольного начала;

l — число вариантов;

n — число повторений.

сумма всех сумм по вариантам ΣV должны быть равны между собой и общей сумме всех поделочных урожаев, т. е. $\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X$. Если указанного совпадения не будет, то в вычислениях вкралась ошибка, которую следует устранить.

Таблица 26

Таблица урожаев

Вариант (сорт) ¹	Урожай по повторениям x				Суммы по вариантам V	$\bar{x}$
	1	2	3	4		
I	42,3	48,2	44,6	48,5	183,6	45,9
II	45,7	50,9	51,4	52,0	200,0	50,0
III	43,3	42,4	46,3	46,0	178,0	44,5
IV	41,0	46,1	43,3	49,2	179,6	44,9
V	42,4	45,1	45,7	48,0	181,2	45,3
VI	45,0	48,7	46,8	49,1	189,6	47,4
VII	45,9	46,7	45,5	49,9	188,0	47,0
VIII	51,8	52,8	51,4	51,6	207,6	51,9
Суммы по пов- торениям P	357,4	380,9	375,0	394,3	$\Sigma X = 1507,6$	$\bar{x}_0 = 47,1$

¹ Обозначение сортов: I — Мироновская 264 (стандарт); II — Веселоподольская 499; III — Харьковская 4; IV — Белоцерковская 198; V — Эритропермум 88; VI — Эритропермум 172; VII — Альбидум 145; VIII — Харьковская 10.

2. Выбирают произвольное начало или условную среднюю A — целое число, близкое к среднему урожаю по опыту. В данном примере $\bar{x}_0 = 47,1$, и произвольным началом, следовательно, может быть число 47. Составляют таблицу отклонений поделочных урожаев от произвольного начала $(X - A)$, находят суммы отклонений по вариантам V_A , повторениям P_A и общую сумму отклонений $\Sigma (X - A)$. Проверяют правильность расчетов по равенству $\Sigma (X - A) = \Sigma P_A = \Sigma V_A$. Все полученные отклонения и их суммы возводят в квадрат и записывают в соответствующие графы правой части таблицы 27.

Затем по формулам таблицы 25 определяют суммы квадратов отклонений для различных источников варьирования и все полученные цифры записывают под таблицей 27.

3. Составляют таблицу дисперсионного анализа, вычисляют значение средних квадратов и отношение дисперсии вариантов к дисперсии ошибок, т. е. фактическое значение критерия F (табл. 28).

Теоретическое значение критерия F находят по таблице 2 приложений для числа степеней свободы дисперсии вариантов $v_1 = 7$ и дисперсии ошибок $v_2 = 21$. В данном примере $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, что указывает на существенные различия между вариантами (сортами) при 5%-ном и 1%-ном уровнях значимости.

Таблица отклонений и квадратов отклонений от произвольного начала $A = 47$

Вариант	Отклонения от произвольного начала (X-A)				V_A	Квадраты отклонений				V_A^2
	1	2	3	4		1	2	3	4	
I	-4,7	1,2	-2,4	1,5	- 4,4	22,09	1,44	5,76	2,25	19,36
II	-1,3	3,9	4,4	5,0	12,0	1,69	15,21	19,36	25,00	144,00
III	-3,7	-4,6	-0,7	-1,0	-10,0	13,69	21,16	0,49	1,00	100,00
IV	-6,0	-0,9	-3,7	2,2	- 8,4	36,00	0,81	13,69	4,84	70,56
V	-4,6	-1,9	-1,3	1,0	- 6,8	21,16	3,61	1,69	1,00	46,24
VI	-2,0	1,7	-0,2	2,1	1,6	4,00	2,89	0,04	4,41	2,56
VII	-1,1	-0,3	-1,5	2,9	0	1,21	0,09	2,25	8,41	0
VIII	+4,8	5,8	4,4	4,6	19,6	23,04	33,64	19,36	21,16	384,16
P_A	-18,6	4,9	-1,0	18,3	$\Sigma (X-A) = 3,6$	345,96	24,01	1,00	334,89	$[\Sigma (X-A)]^2 = 12,96$

Общее число наблюдений $ln = 8 \times 4 = 32$.

$$\text{Корректирующий фактор } C = \frac{[\Sigma (X - A)]^2}{ln} = \frac{12,96}{32} = 0,40.$$

Виды варьирования (суммы квадратов):

$$\text{общее } C_V = \Sigma (X - A)^2 - C = (22,09 + 1,44 + 5,76 + \dots + 21,16) - 0,40 = 332,44 - 0,40 = 332,04;$$

$$\text{повторений } C_P = \Sigma P_A^2 : l - C = (345,96 + 24,01 + 1,00 + 334,89) : 8 - 0,40 = 87,83;$$

$$\text{вариантов (сортов) } C_V = \Sigma V_A^2 : n - C = (19,36 + 144,00 + \dots + 384,16) : 4 - 0,40 = 191,31;$$

$$\text{остаточное (ошибки) } C_Z = C_V - (C_P + C_V) = 332,04 - (87,83 + 191,31) = 52,90.$$

Таблица 28

Таблица дисперсионного анализа

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы ν	Средний квадрат s^2	F		
				фактическое	теоретическое	
					0,05	0,01
Общее	332,04	31				
Повторений	87,83	3				
Вариантов	191,31	7	27,33	10,85	2,50	3,65
Остаточное (ошибки)	52,90	21	2,52			

Несмотря на то, что применение общего критерия значимости указывает на существенные различия между вариантами опыта, из этого автоматически не следует, что каждый вариант существенно отличается от всех других. Поэтому следующий этап обработки материалов заключается в определении существенности частных различий, т. е. тех сравнений любой пары вариантов, которые представляют интерес в данном исследовании. Если же фактический критерий F устанавливает несущественность всех разностей, когда $F_{\text{факт}} \leq F_{\text{теор}}$, необходимость в оценке частных различий между отдельными парами вариантов отпадает, все они находятся в пределах точности опыта.

4. Для характеристики точности опыта и существенности частных различий вычисляют:

а) обобщенную ошибку средней:

$$s_x^* = \sqrt{\frac{s_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2,52}{4}} = 0,79 \text{ ц};$$

* В. Н. Перегудов (1960) обозначает ошибку средней буквой E (названная буква английского егор — ошибка).

б) относительную ошибку средней (точность опыта):

$$s_{\bar{x}}\% = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}_0} \cdot 100 = \frac{0,79}{47,1} \times 100 = 1,68\%;$$

в) ошибку разности:

$$s_d = 1,414 s_{\bar{x}} = 1,414 \times 0,79 = 1,12 \text{ ц};$$

г) наименьшую существенную разность для 5%-ного (или 1%-ного) уровня значимости:

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,1 \times 1,12 = 2,3 \text{ ц};$$

$$HCP_{01} = t_{01} s_d = 3,8 \times 1,12 = 4,3 \text{ ц}.$$

Теоретические значения критерия t находят по таблице 1 приложений для числа степеней свободы остаточной дисперсии и принятого уровня значимости. В данном примере при $v = 21$ $t_{05} = 2,1$ и $t_{01} = 3,8$.

Представленная выше таблица дисперсионного анализа и все последующие расчеты обязательны в журнале и отчете о полевом опыте. В печатных работах основные статистические показатели, характеризующие точность опыта и существенность различий по вариантам, дают обычно в компактной форме внизу итоговой таблицы урожая (табл. 29).

Таблица 29

Урожай сортов озимой пшеницы

Вариант (сорт)	Урожай (в ц с 1 га)	Отклонение от стандарта (в ц с 1 га)	Группа
I Мироновская 264 (стандарт) . .	45,9	—	—
II Веселоподольская 499	50,0	4,1 *	I
III Харьковская 4	44,5	—1,4	II
IV Белоцерковская 198	44,9	—1,0	II
V Эритропермум 88	45,3	—0,6	II
VI Эритропермум 172	47,4	1,5	II
VII Альбидум 145	47,0	1,1	II
VIII Харьковская 10	51,9	6,0 **	I

Примечание. Точность опыта — 1,68%; $HCP_{05} = 2,3$ ц с 1 га; $HCP_{01} = 4,3$ ц с 1 га.

Такая таблица позволяет оценить точность опытной работы и существенность разностей по вариантам. В данном примере точность опыта очень хорошая, так как значение $s_{\bar{x}}\% < 2$. Что касается различий по сортам, то два сорта (II и VIII) превышают стандарт с 5%-ным уровнем значимости; остальные сорта несущественно отличаются от стандарта: разности между стандартом и любым из этих вариантов не выходят за пределы $\pm HCP_{05}$ и,

следовательно, находятся в пределах точности опыта. Один сорт (VIII) превышает стандарт не только при 5%-ном, но и при 1%-ном уровне значимости.

Величину наименьшей существенной разности используют не только при оценке разностей между опытными вариантами и стандартом, но и при оценке различия между любой парой вариантов. Когда разность больше НСР, она признается существенной, если меньше или равна НСР — несущественной.

Дисперсионный анализ по приведенной схеме обработки однофакторного опыта используется в системе государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. На основании наименьшей существенной разности при 5%-ном уровне значимости (в сортоиспытании эту величину обозначают через γ) все сорта распределяют на три группы. К первой группе относят сорта, превышающие стандарт на величины больше НСР, ко второй группе — сорта, урожаи которых отклоняются от стандарта в пределах $\pm$ НСР, и к третьей — все сорта, существенно уступающие стандарту по урожаю. Эта группировка приведена в последней колонке таблицы 29.

При работе с малозначными цифрами или использовании счетных машин суммы квадратов отклонений определяют непосредственно по фактическим данным, т. е. от фактического нуля. Формулы для вычисления в однофакторных опытах при дисперсионном анализе даны в таблице 30.

Таблица 30

Формулы для вычисления по фактическим данным

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы v	Средний квадрат (дисперсия) s^2	Отношение дисперсий F
Общее — C_T	$\Sigma X^2 - C$	$ln - 1$	—	—
Повторений — C_P	$\Sigma P^2 : l - C$	$n - 1$	—	—
Вариантов — C_V	$\Sigma V^2 : n - C$	$l - 1$	$s_V^2 = C_V : (l - 1)$	$s_V^2 : s_Z^2$
Остаточное (ошибки) — C_Z	$C_T - (C_P + C_V)$	$(l - 1)(n - 1)$	$s_Z^2 = C_Z : (l - 1) \times$ $\times (n - 1)$	—

Примечание. X — поделяночный урожай;
 P — суммы урожаев по повторениям;
 V — суммы урожаев по вариантам;

$C = \frac{(\Sigma X)^2}{ln}$ — корректирующий фактор (поправка);

ΣX — общая сумма всех поделяночных урожаев;

l — число вариантов;

n — число повторений.

Порядок расчетов сумм квадратов отклонений по фактическим данным на том же опыте с пшеницей (табл. 26) ведут в следующей последовательности.

Общее число наблюдений $ln = 8 \times 4 = 32$.

Корректирующий фактор $C = \frac{(\sum X)^2}{ln} = \frac{1507,6^2}{32} = 71\,026,80$.

Виды варьирования (суммы квадратов):

общее $C_y = \sum X^2 - C = (42,3^2 + 48,2^2 + 44,6^2 + \dots + 51,6^2) - 71\,026,80 =$
 $= 332,04$;

повторений $C_p = \sum P^2 : l - C = (357,4^2 + 380,9^2 + 375,0^2 + 394,3^2) : 8 -$
 $- 71\,026,80 = 87,83$;

вариантов $C_v = \sum V^2 : n - C = (183,6^2 + 200,0^2 + 178,0^2 + \dots + 207,6^2) : 4 -$
 $- 71\,026,80 = 191,31$;

остаточное (ошибки) $C_z = C_y - (C_p + C_v) = 332,04 - (87,83 + 191,31) =$
 $= 52,90$.

Теперь можно заполнять таблицу дисперсионного анализа и дать характеристику точности опыта и существенности конкретных различий. Все последующие расчеты в точности подобны тем, которые приведены на страницах 273—274, так как использовали одни и те же исходные данные и, следовательно, получили одинаковые суммы квадратов отклонений для всех видов рассеяния.

ОБРАБОТКА ОПЫТОВ, ПРОВЕДЕННЫХ СТАНДАРТНЫМИ МЕТОДАМИ

Составление таблицы урожаев для опытов, проведенных стандартными методами, значительно отличается от определения средних урожаев в пределах вариантов в опытах, поставленных методом обычных повторений. Дело в том, что при частом расположении контролей имеются различные возможности приведения урожаев изучаемых вариантов к среднему плодородию поля по показателям стандарта (контроля). Существует несколько способов вычисления показателя стандарта (обозначим его буквой K) для какой-либо делянки опытного варианта, т. е. того предполагаемого урожая, который дал бы стандарт, если бы он занимал данную делянку.

1) За показатель K часто необоснованно рекомендуется принимать урожай ближайшего, парного с опытным вариантом стандарта. 2) В качестве показателя K может приниматься средняя арифметическая двух ближайших делянок стандартов. Этот показатель наиболее приемлем при размещении стандартных делянок через каждую опытную, т. е. при ямб-методе. 3) В опытах с размещением стандартов через 2—3 опытные делянки и более за показатель K может быть взят урожай интерполированного контроля. Сравнение опытных вариантов с парным контролем обычно дает большую ошибку, чем сравнение их со средним арифметическим двух ближайших стандартных делянок или с интерполированным контролем, которые правильнее отражают исходное плодородие опытных делянок и более устойчивы для сравнения, так как в основе вычисления интерполированного и среднего арифметического показателя K лежит не один, а два поделочных урожая.

Следует обратить внимание еще на одну характерную особенность обработки результатов опытов, проведенных стандартными методами. Она обусловлена тем, что мы не имеем права непосредственно сравнивать опытные делянки между собой, так как нередко они сильно удалены пространственно, особенно при длинных схемах, и, следовательно, могут быть расположены на различных по плодородию участках. В этих случаях варианты сравнивают между собой через стандарт, т. е. все урожаи приводят к общему среднему контролю.

Существует несколько методов приведения урожаев к среднему стандарту: разностный, процентный, регрессионный. В опытной работе наибольшее распространение получил разностный метод, основанный на допущении, что варьирование урожаев опытных вариантов и соседних стандартов идет параллельно, т. е. увеличивается (или уменьшается) примерно на одну и ту же величину. Он имеет некоторое преимущество перед процентным, так как дает более высокую точность и требует меньше вычислений.

Пример цифровой обработки данных при размещении стандартного варианта через два опытных, т. е. дактиль-методом, приведен в таблице 31.

Таблица 31

Таблица фактических урожаев (в ц с 1 га) и приведение их к среднему стандарту

Вариант (сорт) ¹	Фактические урожан				Отклонения от интерполированного стандарта					Урожай, приведен- ные к среднему стандарту
	по повторениям			средние	по повторениям X			суммы по вариантам V	средние	
	1	2	3		1	2	3			
Стандарт	30,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I	31,9	34,9	34,4	33,7	1,2	2,1	1,0	4,3	1,4	34,4
II	38,4	38,0	39,5	38,6	7,1	5,1	5,9	18,1	6,0	39,0
Стандарт	32,0	33,0	33,8	—	—	—	—	—	—	—
III	32,9	35,6	34,8	34,4	0,6	2,5	0,2	3,3	1,1	34,1
IV	38,1	41,5	42,5	40,7	5,3	8,4	7,1	20,8	6,9	39,9
Стандарт	32,8	33,2	36,2	$\bar{x}_0 = 33,0$	—	—	—	—	—	33,0
Суммы по повторениям P					14,2	18,1	14,2	$\Sigma X = 46,5$	—	—

¹ Обозначения вариантов (сортов ячменя): стандарт — Винер; I — Ярославский 4; II — Эректум 36; III — Винер 185; IV — Немчиновский.

Общее число наблюдений-разностей $ln = 4 \times 3 = 12$.

Корректирующий фактор $C = (\Sigma X)^2 : ln = 46,5^2 : 12 = 180,2$.

Виды варьирования (суммы квадратов):

общее $C_y = \Sigma X^2 - C = (1,2^2 + 2,1^2 + \dots + 7,1^2) - 180,2 = 273,8 - 180,2 = 93,6$;

повторений $C_P = \Sigma P^2 : l - C = (14,2^2 + 18,1^2 + 14,2^2) : 4 - 180,2 = 182,7 - 180,2 = 2,5$;
 вариантов $C_V = \Sigma V^2 : n - C = (4,3^2 + 18,1^2 + 3,3^2 + 20,8^2) : 3 - 180,2 = 263,2 - 180,2 = 83,0$;
 остаточное (ошибки) $C_Z = C_V - (C_P + C_V) = 93,6 - (2,5 + 83,0) = 8,1$.

Вычисления ведут в следующем порядке.

1. Определяют разности (отклонения) между урожаями с опытных делянок и интерполированных (или средних) стандартов. Так, для первой делянки I варианта разность равна $31,9 - (2 \times 30,0 + 32,0) : 3 = 1,2$, второй $34,9 - (2 \times 32,8 + 33,0) : 3 = 2,1$ и третьей $34,4 - (2 \times 33,2 + 33,8) : 3 = 1,0$; для первой делянки II варианта разность составляет $38,4 - (30,0 + 2 \times 32,0) : 3 = 7,1$ и т. д. При вычислении интерполированного контроля для вариантов, находящихся на стыках повторений (в данном случае вторые и третьи делянки I и II вариантов), учитывают фактическое расположение стандартных делянок в опыте.

2. Определяют средний урожай стандарта в опыте $\bar{x}_0$ суммированием урожаев всех контролей и делением суммы на число дат. В данном опыте $\bar{x}_0 = 33,0$ ц с 1 га.

3. Находят суммы отклонений по вариантам V , повторениям P и общую сумму отклонений ΣX ; определяют среднее отклонение для каждого варианта.

4. Приводят фактические урожаи к среднему урожаю стандарта. Для этого к среднему урожаю стандарта $\bar{x}_0$ прибавляют (учитывая знак) среднее отклонение по варианту.

5. Методом дисперсионного анализа определяют суммы квадратов отклонений. Для этой цели используют не поделеночные урожаи, приведенные к сравнимому виду, а отклонения от интерполированного (или среднего) стандарта. Все расчеты сумм квадратов отклонений помещают под таблицей урожаев (см. табл. 31).

6. Составляют таблицу дисперсионного анализа (табл. 32) и дают оценку точности опыта и существенности частных различий.

Таблица 32

Таблица дисперсионного анализа

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы v	Средний квадрат s^2	F		
				фактическое	теоретическое	
					0,05	0,01
Общее	93,6	11				
Повторений	2,5	2				
Вариантов	83,0	3	23,67	17,5	4,8	9,8
Остаточное (ошибки) . .	8,1	6	1,35			

Фактическое значение критерия F больше теоретического. Следовательно, между сортами есть существенные различия по урожаям при 5%-ном и 1%-ном уровнях значимости.

Для характеристики точности опыта и существенности частных различий вычисляют:

а) обобщенную ошибку средней разности:

$$s_d = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \sqrt{\frac{1,35}{3}} = 0,67 \text{ ц};$$

б) относительную ошибку средней (точность опыта):

$$s_x\% = \frac{s_d}{\bar{x}_0} \cdot 100 = \frac{0,67}{33,0} \cdot 100 = 2,03\%;$$

в) наименьшую существенную разность для 5%-ного (или 1%-ного) уровня значимости:

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,4 \times 0,67 = 1,63 \text{ ц};$$

$$HCP_{01} = t_{01} s_d = 3,7 \times 0,67 = 2,48 \text{ ц}.$$

Теоретические значения критерия t берут из таблицы 1 приложений в зависимости от числа степеней свободы остаточной дисперсии и принятого уровня значимости.

Итоговая таблица результатов опыта и статистической обработки может быть следующей (табл. 33).

Т а б л и ц а 33

Урожай сортов ячменя

Вариант (сорт)	Урожай (в ц с 1 га)	Отклонение от стандарта (в ц с 1 га)	Группа
Винер (стандарт)	33,0	—	—
Ярославский 4	34,4	1,4	II
Эректум 36	39,0	6,0 **	I
Винер 185	34,1	1,1	II
Немчиновский	39,9	6,9 **	I

П р и м е ч а н и е. Точность опыта — 2,03%; $HCP_{05} = 1,63$ ц с 1 га; $HCP_{01} = 2,48$ ц с 1 га.

Результаты статистической обработки позволяют сделать следующий вывод: урожай сортов Эректум 36 и Немчиновский существенно превышают стандарт на 1%-ном уровне значимости, а Ярославского 4 и Винер 185 несущественно отличаются от стандарта: прибавки находятся в пределах точности опыта как для 1%-ного, так и 5%-ного уровня значимости.

Особенностью проведенного статистического анализа является обработка не фактических урожаев, а отклонений их от стандарта, т. е. разностей. Поэтому по формуле ошибки средней сразу находят обобщенную ошибку средней разности s_d , которая и используется для расчета относительной точности опыта и наименьшей существенной разности. Если же статистической обработке подвергаются поделочные урожаи, приведенные к сравнимому виду, то все расчеты ведут обычным способом.

Статистическую оценку результатов полевых опытов, заложенных стандартными методами, проводят иногда разностным способом попарных сравнений. В этих случаях порядок вычислений следующий: определяют разности между урожаями с опытных делянок и стандартов (интерполированных, средних или примыкающих), находят сумму разностей и среднюю разность. Разности и их сумму возводят в квадрат, определяют ошибку разности s_d и критерий существенности t (табл. 34).

Таблица 34

Оценка результатов полевого опыта разностным методом попарных сравнений

Повторения	Урожай пшеницы по вариантам (в ц с 1 га)		Разности в урожаях d	Квадраты разностей d^2
	опыт X_1	стандарт X_2		
1	34,2	32,4	1,8	3,24
2	36,2	34,0	2,2	4,84
3	28,5	29,0	-0,5	0,25
4	32,4	31,2	1,2	1,44
5	32,7	31,3	1,4	1,96
6	33,4	31,1	2,3	5,29
	$\Sigma X_1 = 197,4$ $\bar{x}_1 = 32,9$	$\Sigma X_2 = 189,0$ $\bar{x}_2 = 31,5$	$\Sigma d = 8,4$ $d = 1,4$; $(\Sigma d)^2 = 8,4^2 = 70,56$	$\Sigma d^2 = 17,02$

$$s_d = \sqrt{\frac{\Sigma d^2 - (\Sigma d)^2 : n}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{17,02 - 70,56 : 6}{6(6-1)}} = 0,42 \text{ ц};$$

$$t = \frac{d}{s_d} = \frac{1,4}{0,42} = 3,3^*.$$

Для пяти степеней свободы ($6-1=5$) табличное значение $t_{05} = 2,6$ и $t_{01} = 4,0$. Вывод: разность в урожаях пшеницы между опытным вариантом и стандартом существенна на 5%-ном уровне, так как $t_{\text{факт}} > t_{05}$. При более строгой оценке разности (1%-ный уровень значимости) нулевая гипотеза не отвергается и различие не может быть признано существенным ($t_{\text{факт}} < t_{01}$).

Простой метод статистической оценки данных полевых опытов предложен В. Баровым (В. Баров, Й. Шанин, 1965). Существенность разности двух сравниваемых вариантов (сортов) оценивают по критерию Ψ^2 (пси-квадрат), который определяют по формуле:

$$\Psi^2 = \frac{(\Sigma d)^2}{\Sigma d^2},$$

где d — разности между урожаями сравниваемых вариантов.

Фактическое значение критерия пси-квадрат сравнивают с теоретическим. Если $\Psi^2_{\text{факт}} > \Psi^2_{\text{теор}}$, то различие доказано; в противном случае различие несущественно. Теоретические (стандартные) значения Ψ^2 даны в таблице 35.

Стандартные значения Ψ^2 (по В. Барову)

Число повторностей	Уровень вероятности (значимости)			Число повторностей	Уровень вероятности (значимости)		
	0,95 (0,05)	0,99 (0,01)	0,999 (0,001)		0,95 (0,05)	0,99 (0,01)	0,999 (0,001)
2	1,9869	1,9995	2,0000	10	3,6269	5,3994	7,1750
3	2,7072	2,9463	2,9940	11	3,6496	5,5117	7,4562
4	3,0848	3,6767	3,9294	12	3,6690	5,6069	7,6985
5	3,2947	4,2062	4,7440	13	3,6850	5,6870	7,9095
6	3,4149	4,5887	5,4251	14	3,6985	5,7543	8,0941
7	3,5007	4,8725	5,9882	15	3,7103	5,8147	8,2542
8	3,5615	5,0903	6,4550	16	3,7198	5,8669	8,4022
9	3,6011	5,2609	6,8451				

При оценке результатов опыта по критерию пси-квадрат первоначальные расчеты ведут так же, как и при разностном методе: вычисляют разности в урожаях и сумму их; разности и сумму возводят в квадрат и определяют сумму квадратов разностей. Затем определяют фактическое значение критерия пси-квадрат. Для примера таблицы 34 оно равно:

$$\Psi^2 = \frac{(\sum d)^2}{\sum d^2} = \frac{70,56}{17,02} = 4,1457.*$$

Для шести повторностей теоретическое значение критерия $\Psi_{05}^2 = 3,4149$ и $\Psi_{01}^2 = 4,5887$ (см. табл. 35). Вывод: разность существенна на 5%-ном уровне значимости ($\Psi_{\text{факт}}^2 > \Psi_{05}^2$) и не-существенна на 1%-ном уровне ($\Psi_{\text{факт}}^2 < \Psi_{01}^2$).

Таким образом, на основании критерия пси-квадрат получен тот же конечный вывод, что и при оценке данных опыта разностным методом. Однако нетрудно заметить разницу между этими методами, а именно, сокращение вычислений при определении критерия Ψ^2 .

ЛАТИНСКИЙ КВАДРАТ

Из приведенных выше примеров видно, что в полевом опыте большая часть общей изменчивости урожаев обусловлена различиями плодородия почвы повторений. Чем резче варьирует плодородие в пределах повторений, тем большая часть общей изменчивости результативного признака входит в сумму квадратов повторений. В том случае, когда число вариантов невелико, делянки на опытном участке можно размещать латинским квадратом. Этот метод дает возможность учесть варьирование плодородия почвы в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Особенность расположения делянок латинским квадратом состоит в том, что каждый вариант опыта встречается только один раз как в ряду, так и в столбце, следовательно повторениями можно считать и ряды

и столбцы. Когда данные об урожаях сведены в таблицу и просуммированы по рядам и столбцам, варьирование итоговых величин будет характеризовать неоднородность почвы в двух направлениях. Его можно устранить из общей суммы квадратов отклонений, вычисляя суммы квадратов отклонений для этих двух компонентов (рядов и столбцов).

При вычислении изменчивости почвы по рядам и столбцам не учитываются различия между вариантами, так как все они в равной степени представлены в каждом ряду и столбце. Случайное варьирование (ошибки) определяют как остаток в результате вычитания сумм квадратов отклонений трех источников варьирования — вариантов, рядов и столбцов — из общей суммы квадратов отклонений.

Формулы для вычисления результатов опытов, проведенных латинским квадратом, при дисперсионном анализе даны в таблице 36.

Таблица 36

Формулы для вычисления

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы ν	Средний квадрат s^2	Отношение дисперсий F факт
Общее — C_V	$\Sigma (X - A)^2 - C$	$n^2 - 1$	—	—
Столбцов — C_C	$\Sigma C_A^2 : n - C$	$n - 1$	—	—
Рядов — C_P	$\Sigma P_A^2 : n - C$	$n - 1$	—	—
Вариантов — C_V	$\Sigma V_A^2 : n - C$	$n - 1$	$s_V^2 = C_V : (n - 1)$	$s_V^2 : s_Z^2$
Остаточное — C_Z	$C_V - (C_C + C_P + C_V)$	$(n - 1) \times (n - 2)$	$s_Z^2 = C_Z : (n - 1)(n - 2)$	—

Примечание:

X — поделочный урожай;

A — произвольное начало;

C_A — сумма отклонений поделочных урожаев от произвольного начала по столбцам;

P_A — то же, по рядам;

V_A — то же, по вариантам;

$C = \frac{[\Sigma (X - A)]^2}{n^2}$ — корректирующий фактор;

$\Sigma (X - A)$ — общая сумма отклонений всех поделочных урожаев от произвольного начала;

n — число повторений (рядов и столбцов).

Пример статистической обработки результатов полевого опыта по изучению действия симазина на кукурузу, заложенного в 1964 г. на очень пестром участке методом латинского квадрата 4×4 .

Схема опыта и урожай зеленой массы кукурузы в центнерах с гектара приведены в таблице 37. Суммы по рядам и столбцам указывают на сильную изменчивость плодородия почвы опытного участка. Варьирование сумм урожаев по рядам (от 1193 до 1523)

и столбцам (от 1173 до 1466) больше, чем варьирование сумм в пределах вариантов (от 1238 до 1388). Следовательно, любой опыт, заложенный на этом участке методом обычных повторений, будет менее точен, чем латинским квадратом, который дает возможность не только установить изменчивость плодородия почвы в двух направлениях, но и устранить ее в процессе статистической обработки.

Статистический анализ данных об урожаях в полевом опыте, проведенном латинским квадратом, ведут в следующей последовательности.

1. Составляют таблицу урожаев (табл. 37) и определяют суммы по рядам P , столбцам C , вариантам V и общую сумму всех поделяночных урожаев ΣX . Суммы урожаев по вариантам находят суммированием всех поделяночных урожаев для соответствующего варианта. В данном примере V равны:

$$\begin{aligned} \text{I вариант} & 321 + 324 + 247 + 392 = 1284; \\ \text{II вариант} & 397 + 276 + 263 + 302 = 1238; \\ \text{III вариант} & 372 + 274 + 367 + 363 = 1376; \\ \text{IV вариант} & 376 + 367 + 296 + 349 = 1388. \end{aligned}$$

Правильность вычислений проверяют по равенству $\Sigma X = \Sigma P = \Sigma C = \Sigma V$. Если указанного совпадения не будет, то в вычисления вкралась ошибка, которую следует устранить.

Таблица 37

Схема и урожай (в ц с 1 га)¹ в опыте, проведенном латинским квадратом 4×4

Столбцы Ряды	1	2	3	4	Сумма по		Средние по вариантам $\bar{x}$
					рядам P	вариантам V	
1	I	III	IV	II	1193	I	I
	321	274	296	302		1284	321,0
2	IV	II	I	III	1262	II	II
	376	276	247	333		1238	309,5
3	III	I	II	IV	1308	III	III
	372	324	263	349		1376	344,0
4	II	IV	III	I	1523	IV	IV
	397	367	367	392		1388	347,0
Суммы по столбцам C	1466	1241	1173	1406	$\Sigma X = 5286$ $\bar{x}_0 = 330,6$		

¹ Обозначения вариантов: I — без симазина; II — симазин 1 кг; III — симазин 2 кг; IV — симазин 4 кг на 1 га.

2. Выбирают произвольное начало — целое число, близкое к среднему урожаю по опыту $\bar{x}_0$ (в данном примере $A = 330$), составляют таблицу отклонений поделяночных урожаев от условной средней $(X - A)$, находят суммы отклонений по рядам P_A , столб-

цам C_A , вариантам V_A и общую сумму всех отклонений $\Sigma (X - A)$. Проверяют правильность вычислений по равенству: $\Sigma (X - A) = \Sigma P_A = \Sigma C_A = \Sigma V_A$. Все отклонения и их суммы возводят в квадрат и записывают в соответствующие графы правой части таблицы 38. Затем по формулам таблицы 36 определяют суммы квадратов отклонений для различных источников варьирования и все полученные цифры записывают под таблицей 38.

Таблица 38

Таблица отклонений и квадратов отклонений от произвольного начала ($A = 330$)

Столбцы Ряды	(X - A)				Суммы по		Квадраты отклонений					
					рядом P_A	вариантам V_A						
	1	2	3	4			1	2	3	4	P_A	V_A
1	1 -9	III -56	IV -34	II -28	-127	I -36	81	3136	1 156	784	16 129	1 296
2	IV 46	II -54	I -83	III 33	-58	II -102	2 116	2916	6 889	1089	3 364	10 404
3	III 42	I -6	II -87	IV 19	-32	III 56	1 764	36	7 569	361	1 024	3 136
4	II 67	IV 37	III 37	I 62	203	IV 68	4 489	1369	1 369	3844	41 209	4 624
C_A	146	-79	-167	86	$\Sigma (X - A) =$ -14		21 316	6241	27 889	7396	$[\Sigma (X - A)]^2 =$ 196	

Общее число наблюдений $n^2 = 4 \times 4 = 16$.

Корректирующий фактор $C = \frac{[\Sigma (X - A)]^2}{n^2} = \frac{196}{16} = 12,2$.

Виды варьирования (суммы квадратов):

общее $C_Y = \Sigma (X - A)^2 - C = (81 + 3136 + \dots + 3844) - 12,2 = 38 155,8$;
 столбцов $C_C = \Sigma C_A^2 : n - C = (21 316 + 6241 + 27 889 + 7396) : 4 - 12,2 = 15 698,3$;
 рядов $C_P = \Sigma P_A^2 : n - C = (16 129 + 3 364 + 1 024 + 41 209) : 4 - 12,2 = 15 419,3$;
 вариантов $C_V = \Sigma V_A^2 : n - C = (1296 + 10 404 + 3 136 + 4624) : 4 - 12,2 = 4852,8$;
 остаточное $C_Z = C_Y - (C_C + C_P + C_V) = 38 155,8 - (15 698,3 + 15 419,3 + 4852,8) = 2175,4$.

Влияние факторов, организованных и не организованных в исследовании, проявилось в следующих размерах (в %):

влияние столбцов 41,2 ($C_C : C_Y$)
 » рядов 40,3 ($C_P : C_Y$)
 » вариантов 13,0 ($C_V : C_Y$)
 » случайных факторов 5,5 ($C_Z : C_Y$)

влияние всех факторов 100,0

3. Составляют таблицу дисперсионного анализа, определяют фактическое значение критерия F (табл. 39) и дают оценку точности опыта и существенности частных различий.

Таблица 39

Таблица дисперсионного анализа для латинского квадрата

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы ν	Средний квадрат s^2	F		
				фактическое	теоретическое	
					0,05	0,01
Общее	38 155,8	15				
Столбцов	15 698,3	3				
Рядов	15 419,3	3				
Вариантов	4 852,8	3	1617,6	4,5	4,8	9,8
Остаточное (ошибки)	2 175,4	6	362,5			

Теоретическое значение критерия F находят по таблице 2 приложений по числу степеней свободы для вариантов $\nu_1 = 3$ и остатка $\nu_2 = 6$. В данном примере $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$, что указывает на отсутствие существенных различий между вариантами.

Для характеристики точности опыта и существенности частных различий вычисляют:

а) обобщенную ошибку средней:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \sqrt{\frac{362,5}{4}} = 9,5 \text{ ц};$$

б) относительную ошибку средней (точность опыта):

$$s_{\bar{x}}\% = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}_0} \cdot 100 = \frac{9,5}{330,6} \cdot 100 = 2,88\%;$$

в) ошибку разности:

$$s_d = 1,414 s_{\bar{x}} = 1,414 \times 9,5 = 13,4 \text{ ц};$$

г) наименьшую существенную разность для 5%-ного (или 1%-ного) уровня значимости:

$$\text{НСР}_{05} = t_{05} s_d = 2,4 \times 13,4 = 32,2 \text{ ц};$$

$$\text{НСР}_{01} = t_{01} s_d = 3,7 \times 13,4 = 49,6 \text{ ц}.$$

Теоретическое значение критерия t находят по таблице 1 приложений по числу степеней свободы остаточной дисперсии и принятому уровню значимости.

На основании таблицы дисперсионного анализа и наименьшей существенной разности приходят к выводу, что симазин в дозе 1—4 кг на 1 га не оказал существенного влияния на урожай кукурузы и, следовательно, эти дозы могут быть рекомендованы, если они окажутся эффективными для борьбы с сорняками.

В данном случае, однако, представляет интерес не столько оценка эффективности изучаемых факторов, сколько техника статистического анализа и оценка эффективности проведения опытов методом латинского квадрата с точки зрения их точности. Цифровой пример, разобранный выше, показывает, что обработка данных полевых опытов, проведенных латинским квадратом, незначительно отличается от обычной схемы дисперсионного анализа и не вызывает затруднений. Об эффективности же схемы латинского квадрата вопрос можно сформулировать следующим образом: какова была бы ошибка опыта, проведенного на этом же участке методом обычных повторений? Размещение вариантов латинским квадратом будет оправдано в том случае, если точность опыта от такой постановки эксперимента увеличится.

Дисперсионный анализ дает возможность определить приблизительно ту ошибку опыта, которая могла быть, если бы не вычленилось варьирование столбцов или рядов в латинском квадрате.

Для данного примера, если за повторения взять столбцы, то относительная точность опыта составит 6,3%, а ряды — около 6,6%, тогда как размещение латинским квадратом обеспечивает точность опыта 2,88%.

Следовательно, метод латинского квадрата, при котором учитывается и исключается изменчивость плодородия почвы в двух направлениях, оказался наиболее эффективным. Применение латинского квадрата повышает эффективность полевого опыта, т. е. достигается более высокая точность опыта при данном числе повторений или для достижения той же точности требуется меньшая повторность опыта.

Следует отметить, что здесь сравнение методов проведено тогда, когда форма и расположение делянок остаются неизменными. Поэтому приведенные выше соотношения эффективностей различных методов при другой форме и расположении делянок, возможно, будут изменяться и не в пользу латинского квадрата.

ЛАТИНСКИЙ ПРЯМОУГОЛЬНИК

Статистический анализ данных об урожаях в полевом опыте, проведенном по методу латинского прямоугольника, не отличается принципиально от обработки данных опыта, размещенного латинским квадратом.

Пример обработки данных опыта по изучению ориентированного размещения растений кукурузы, который проведен в учебно-опытном хозяйстве Всесоюзного сельскохозяйственного института заочного образования (Московская область) в 1964 г. по методу латинского прямоугольника $4 \times 4 \times 2$. Семена гибрида Буковинский 3 и сорта Одесская 10 высевали пунктирным способом с обычным и ориентированным размещением семян в почве, при котором семена размещались острым концом вниз и узкой стороной вдоль ряда. Такой посев обеспечивал ориентацию листьев поперек ряда.

Кроме того, посеы ориентировали в отношении стран света: рядки размещали с запада на восток и с севера на юг.

Схема этого опыта и урожай зеленой массы кукурузы в центнерах с гектара приведены в таблице 40. Статистическую обработку данных проводят в следующей последовательности.

1. Составляют таблицу урожаев (табл. 40), определяют суммы по рядам P , столбцам C , вариантам V и общую сумму всех поделочных урожаев ΣX . Суммы урожаев по вариантам вычисляют суммированием всех поделочных урожаев для соответствующего варианта. Например, для I варианта $V = 413 + 420 + 362 + 437 = 1632$; для II варианта $V = 421 + 370 + 590 + 389 = 1534$ и т. д.

Правильность вычислений проверяют по равенству $\Sigma X = \Sigma P = \Sigma C = \Sigma V$.

Таблица 40

Схема и урожай (в ц с 1 га)¹ в опыте, проведенном латинским прямоугольником $4 \times 4 \times 2$

Ряды \ Столбцы	1	2	3	4	Суммы по		Среднее по вариантам $\bar{x}$
					рядам P	вариантам V	
1	428 (V) 413 (I)	593 (VII) 606 (III)	354 (II) 470 (VIII)	498 (IV) 620 (VIII)	3982	1632 (I) 1534 (II)	408 384
2	637 (VII) 637 (III)	420 (V) 420 (I)	548 (IV) 536 (VIII)	389 (II) 369 (VI)	3976	2531 (III) 2186 (IV)	633 546
3	465 (VI) 421 (II)	552 (VIII) 520 (IV)	403 (V) 362 (I)	611 (VII) 678 (III)	4012	1613 (V) 1754 (VI)	403 438
4	527 (VIII) 620 (IV)	450 (VI) 370 (II)	527 (VII) 590 (III)	362 (V) 437 (I)	3883	2368 (VII) 2235 (VIII)	592 559
Суммы по столбцам C	4168	3941	3790	3964	$\Sigma X = 15863$ $\bar{x}_0 = 495,7$		

¹ Обозначения вариантов: I — Буковинский 3, обычный посев, рядки с запада на восток; II — Буковинский 3, обычный посев, рядки с севера на юг; III — Буковинский 3, ориентированный посев, рядки с запада на восток; IV — Буковинский 3, ориентированный посев, рядки с севера на юг; V — Одесская 10, обычный посев, рядки с запада на восток; VI — Одесская 10, обычный посев, рядки с севера на юг; VII — Одесская 10, ориентированный посев, рядки с запада на восток; VIII — Одесская 10, ориентированный посев, рядки с севера на юг.

2. Выбирают произвольное начало (в данном случае $A = 500$), составляют таблицу отклонений поделочных урожаев от условной средней $(X - A)$, находят суммы отклонений по рядам P_A , столбцам C_A , вариантам V_A и общую сумму всех отклонений $\Sigma (X - A)$. Правильность вычислений проверяют по равенству $\Sigma (X - A) = \Sigma P_A = \Sigma C_A = \Sigma V_A$. Все отклонения и суммы

отклонений возводят в квадрат и по формулам находят суммы квадратов отклонений для различных источников варьирования (табл. 41).

Таблица 41

Таблица отклонений и суммы отклонений от произвольного начала ($A = 500$)

Столбцы Ряды	X - A				Суммы по	
	1	2	3	4	рядов P_A	вариантам V_A
1	-72 (V) -87 (I)	93 (VII) 106 (III)	-146 (II) -30 (VI)	-2 (IV) 120 (VIII)	-18	-368 (I) -446 (II)
2	137 (VII) 157 (III)	-80 (V) -80 (I)	48 (IV) 36 (VIII)	-111 (II) -131 (VI)	-24	531 (III) 186 (IV)
3	-35 (VI) -79 (II)	52 (VIII) 20 (IV)	-97 (V) -138 (I)	111 (VII) 178 (III)	12	-387 (V) -246 (VI)
4	27 (VIII) 120 (IV)	-50 (VI) -130 (II)	27 (VII) 90 (III)	-138 (V) -63 (I)	-117	368 (VII) 235 (VIII)
Суммы по столбцам C_A	168	-69	-210	-36	$\Sigma (X - A) = -147$	

Общее число наблюдений $nl = 4 \times 8 = 32$.

Корректирующий фактор $C = \frac{[\Sigma (X - A)]^2}{nl} = \frac{147^2}{32} = 675$.

Виды варьирования (суммы квадратов):

общее $C_Y = \Sigma (X - A)^2 - C = (72^2 + 93^2 + \dots + 63^2) - 675 = 307\,284$;

столбцов $C_C = \Sigma C_A^2 : l - C = (168^2 + 69^2 + 210^2 + 36^2) : 8 - 675 = 9\,122$;

рядов $C_P = \Sigma P_A^2 : l - C = (18^2 + 24^2 + 12^2 + 117^2) : 8 - 675 = 1\,167$;

вариантов $C_V = \Sigma V_A^2 : n - C = (368^2 + 466^2 + \dots + 235^2) : 4 - 675 = 266\,649$;

остаточное $C_Z = C_Y - (C_C + C_P + C_V) = 307\,284 - (9\,122 + 1\,167 + 266\,649) = 29\,346$.

Влияние организованных и неорганизованных (случайных) факторов проявлялось в данном опыте в следующих размерах (в %):

влияние столбцов	3,0 ($C_C : C_Y$)
» рядов	0,7 ($C_P : C_Y$)
» вариантов	86,8 ($C_V : C_Y$)
» случайных факторов	9,5 ($C_Z : C_Y$)

влияние всех факторов 100,0

3. Составляют таблицу дисперсионного анализа, определяют фактическое значение F (табл. 42) и дают оценку точности опыта и существенности частных различий.

Таблица дисперсионного анализа для латинского
прямоугольника $4 \times 4 \times 2$

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы ν	Средний квадрат s^2	F		
				факти- ческое	теоретическое 0,05	0,01
Общее	307 284	31				
Столбцов	9 122	3				
Рядов	1 167	3				
Вариантов	266 649	7	38 092,7	23,4	2,6	3,8
Остаточное (ошибки)	29 346	18	1 630,3	—	—	—

Значение F_{05} и F_{01} находят по таблице 2 приложений по числу степеней свободы для вариантов $\nu_1 = 7$ и остатку $\nu_2 = 18$. Для данного примера $F_{\text{факт}} > F_{01}$. Следовательно, в опыте имеются существенные различия между вариантами на 1%-ном уровне значимости.

Для характеристики точности опыта и существенности частных различий вычисляют:

а) обобщенную ошибку среднего:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \sqrt{\frac{1630,3}{4}} = 20,2 \text{ ц};$$

б) относительную ошибку средней (точность опыта):

$$s_{\bar{x}}^0/\% = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}_0} \cdot 100 = \frac{20,2}{495,7} \cdot 100 = 4,07\%;$$

в) ошибку разности:

$$s_d = 1,414s_{\bar{x}} = 1,414 \times 20,2 = 28,5 \text{ ц};$$

г) наименьшую существенную разность:

$$HCP_{05} = t_{05}s_d = 2,1 \times 28,5 = 59,8 \text{ ц};$$

$$HCP_{01} = t_{01}s_d = 2,9 \times 28,5 = 82,6 \text{ ц}.$$

Теоретическое значение критерия t находят по таблице 1 приложений по числу степеней свободы остаточной дисперсии и уровню значимости.

На основании общего критерия F и наименьшей существенной разности приходят к выводу, что между изучаемыми вариантами есть существенные (достоверные) различия. Разности в урожаях между любыми парами вариантов, превосходящие 59,8 ц, значимы на 5%-ном уровне, а 82,6 ц — на 1%-ном уровне. Следовательно, проявилось существенное влияние ориентированного посева на урожай зеленой массы сортов кукурузы Буковинский 3 и Одесская 10. Разности в урожаях кукурузы, высеянной с запада на восток и с севера на юг, несущественны и находятся в пределах точности опыта.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ (АНАЛИЗОВ)

Статистическая обработка данных полевых и лабораторных наблюдений (биометрических измерений, анализов почвы и растений, показателей качества урожая, засоренности, пораженности посевов болезнями и вредителями и т. п.) основана на принципах, изложенных применительно к данным об урожаях в полевом опыте. Метод статистической обработки наблюдений должен соответствовать структуре, схеме и условиям эксперимента. Совершенно ясно, что если отсутствие критериев точности и существенности не позволяет объективно оценить полученные цифры, то механическое, произвольное использование методов математической статистики ведет к ошибкам и неправильным выводам, которые могут быть сделаны на основании результатов наблюдений.

Пробы часто отбирают со всех параллельных делянок, а затем составляют смешанный образец для тех или иных анализов. Иногда их берут после смешивания всей продукции варианта, например после поделяночного учета урожая или только с одного повторения. Но при таком методе отбора проб экспериментатор теряет возможность дать статистическую оценку полученным данным, так как любое число параллельных анализов характеризует однородность смешанного образца и точность определения, а не репрезентативность выборки. Такой метод взятия проб для полевых или лабораторных наблюдений допустим на первых этапах опытной работы, когда необходимо получить предварительные данные. В тех случаях, когда надо оценить существенность различий между вариантами, следует отбирать и анализировать пробы с каждой делянки опыта отдельно и после анализа полученные данные обрабатывать статистически.

Таким образом, при проведении полевых или лабораторных наблюдений (анализов) экспериментатор сталкивается в сущности с той же проблемой, что и при проведении полевого опыта. И если опыт заложен без повторностей, дробные учеты (например, урожаев внутри делянки) характеризуют пестроту плодородия почвы только этой делянки, и показатель варьирования урожаев нельзя использовать для оценки различий между вариантами. Поэтому при планировании как самого опыта, так и наблюдений (анализов), по которым необходимо иметь статистические показатели точности выборки и существенности различий по вариантам, надо предусмотреть повторность, т. е. отбор и анализ образцов почв или растений с параллельных делянок отдельно.

Анализ смешанного образца хотя и указывает на различия между вариантами, но не дает экспериментатору возможности рассчитать статистические критерии для объективного суждения о существенности этих различий.

Количество объективной информации, которое может быть получено в результате наблюдений, зависит от способа отбора образцов

(проб почвы, площадок для подсчета культурных и сорных растений и т. п.). В связи с тем, что процедура отбора образцов неизбежно содержит больший или меньший элемент субъективности, нужно специально подчеркнуть важность тщательной предварительной разработки всех деталей планирования отбора образцов.

Метод отбора образцов необходимо устанавливать в соответствии с важностью получаемой информации и требуемой точностью. Если в определенном исследовании признано желательным применить систематический отбор образцов, то экспериментатор должен четко представлять, что, получая оценку среднего, он лишается, строго говоря, возможности определить точность наблюдения и, следовательно, статистически оценить существенность различий между полученными средними по вариантам опыта. Поэтому для тех наблюдений, которые признаны в данном опыте важными и требующими статистической оценки, необходим случайный отбор образцов, когда каждое растение или любая точка в пределах учетной делянки полевого опыта имеет равный шанс быть представленной в выборке.

Рендомизацию можно ограничить, разбив, например, делянку на отдельные участки, и с каждого участка брать определенное количество растений или проб почвы, но основной принцип случайного отбора единиц в выборку внутри каждого участка должен быть сохранен. Теоретически лучшая точность и репрезентативность (от франц. *representative* — представляющий собой что-либо) выборки будет получена при наибольшем дроблении участка, чтобы в каждой получаемой части можно было взять одну пробу (одно растение, одну площадку, одну скважину и т. п.). На практике это теоретическое пожелание необходимо привести в соответствие с требуемой точностью наблюдения и имеющимися возможностями.

Особенно часто для отбора образцов растений рекомендуют выбирать «типичные» места делянки, «типичные» площадки, растения и т. д. Такие рекомендации противоречат объективному количественному подходу к оценке изучаемых явлений, так как определение типичного — это заранее сформированное субъективное мнение исследователя о характере действия тех или иных факторов.

В. Н. Перегудов (1944) исследованиями по методике отбора растительных проб показал, что пробные площадки необходимо разбрасывать по возможности по всем повторениям опыта, даже за счет сокращения проб внутри делянки. При такой системе отбора проб они точнее представляют вариант, тогда как самый рациональный отбор проб только на одной делянке варианта не может репрезентовать всю совокупность одноименных делянок.

Второй очень важный вывод этих исследований касается отбора «типичных» проб: свободный отбор «типичных» проб способствует накоплению разнонаправленных, а поэтому наиболее опасных, систематических, субъективных ошибок, искажающих оценку вариантов. В опыте с 13 сортами яровой пшеницы, например, наблю-

датель, отбирающий, по его мнению, безусловно «типичные» пробы (площадки для подсчета), почему-то стремился преувеличить количество растений на 1 кв. м для сортов с меньшей густотой и уменьшить число растений у сортов с большей густотой стояния. Итогом такой субъективной оценки типичного было отсутствие различий между сортами по признаку густоты стояния (табл. 43).

Таблица 43

Число растений пшеницы на 1 кв. м

Группа сортов	Фактическая густота	Густота стояния по безусловно типичным пробам	Отклонение от фактической густоты
С меньшей густотой стояния	238	266	+28
Со средней густотой стояния	283	280	—3
С большей густотой стояния	307	276	—31

Необходимо указать еще на одно обстоятельство, которое не учитывается при рекомендациях выбирать «типичные» для варианта (сорта) пробы. Оно заключается в том, что оценка типичного сильно варьирует в зависимости от индивидуальных особенностей и состояния наблюдателя во время работы (бодр и внимателен, утомлен и т. п.). Например, при простой визуальной оценке процента площади, закрываемой надземными частями растений, оценки отдельных наблюдателей из группы 8 человек отличались от средней групповой на 25% (П. Грейг-Смит, 1967).

Таким образом, отбор единиц изучаемой совокупности для наблюдений должен быть беспристрастным и базироваться на принципах случайной выборки. Только в этом случае наблюдение будет репрезентативным и его характеристики в наибольшей степени будут соответствовать характеристикам всей совокупности растений или почвы опытных делянок.

Другим важным условием репрезентативности выборочного наблюдения является объем выборки. Для грубой оценки необходимого числа единиц, например растений, при определении средней высоты или веса, достаточного для характеристики совокупности объектов, можно воспользоваться методом последовательного подсчета средних из 5, 10, 15, 20, 25, 30 и т. д. индивидуальных измерений. Средние наносят на график, откладывая по оси ординат средние значения, а по оси абсцисс — число образцов (растений), лежащих в основе определения средних. По мере увеличения объема выборки точность среднего возрастает, и сильные колебания средних в начале графика начнут постепенно затухать, это и укажет на достаточный объем выборки, когда дальнейшее увеличение числа образцов уже не будет оказывать существенного влияния на характеристику среднего значения (рис. 67).

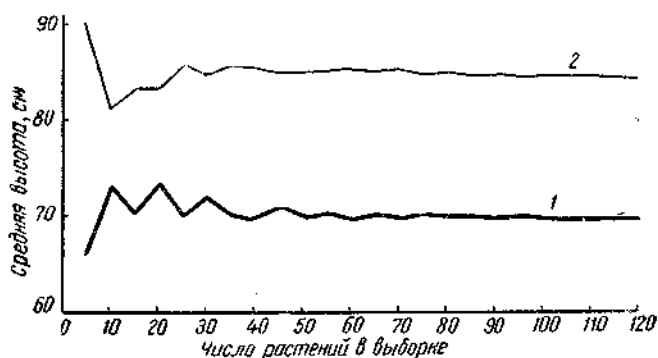


Рис. 67. Колебания средней высоты льна при разном числе растений в выборке с делянки 100 кв. м:
1 — без удобрений; 2 — удобрено NPK.

Итак, для наиболее важных наблюдений (анализов), которые имеют самостоятельное значение и требуют статистической оценки, необходимо планировать отбор проб со всех повторений опыта и отказаться от преднамеренного, свободного выбора в пробу «типичных» растений, «типичных» мест делянки и т. д. В каждом конкретном случае надо разработать такую методику отбора проб, которая исключала бы свободу выбора и субъективную оценку типичного. Соблюдая эти условия, экспериментатор может с большей уверенностью считать полученные данные репрезентативными и пригодными для достоверной оценки изучаемых вариантов.

Чтобы ознакомиться с техникой статистической обработки наблюдений (анализов), приведем несколько цифровых примеров.

В полевых опытах особенно часто проводят динамические наблюдения за влажностью почвы, содержанием подвижных форм элементов питания, засоренностью посевов и т. д. Дисперсионный анализ полученных в результате наблюдений данных позволяет статистически оценить эффекты изучаемых вариантов. В таблицах 44 и 45 представлены данные по определению влажности почвы для одного срока взятия почвенных проб и дана статистическая оценка полученных результатов. Образцы почвы для анализа отбирали с трех несмежных повторений полевого опыта ($n = 3$) и для каждого образца провели по два параллельных определения ($n_1 = 2$).

В ы в о д: по варианту В наблюдается статистически доказанное на 1%-ном уровне (две звездочки **) в табл. 44) уменьшение содержания влаги, а по варианту С — также статистически доказанное, но на более низком, 5%-ном, уровне значимости (одна звездочка *) накопление влаги в пахотном слое почвы.

Аналогичным образом могут быть статистически обработаны результаты учета засоренности посевов (табл. 46 и 47). В этом опыте наблюдалась очень сильная вариабельность количества сорняков

**Техника расчетов при дисперсионном анализе
данных о влажности почвы (в %)**

Варианты опыта	Повторения, X			Суммы по вариантам V	$\bar{x}$	Разность
	1	3	5			
A (контроль)	11,6 12,0	13,9 14,6	10,6 10,2	72,9	12,15	—
B	10,6 10,9	12,4 13,2	8,9 9,6	65,6	10,93	—1,22**
C	12,9 12,2	13,4 14,9	11,8 10,9	78,1	13,02	+0,87*
Суммы по повторениям P	72,0	84,4	62,0	$\Sigma X=216,6$	$\bar{x}_0=12,04$	—

Общее число наблюдений $lnn_1 = 3 \times 3 \times 2 = 18$.

Корректирующий фактор $C = \frac{(\Sigma X)^2}{lnn_1} = \frac{216,6^2}{18} = 2606,4$.

Виды варьирования (суммы квадратов):

общее $C_Y = \Sigma X^2 - C = (11,6^2 + 12,0^2 + \dots + 10,9^2) - 2606,4 = 57,9$;

повторений $C_P = \Sigma P^2 : ln_1 - C = (72,0^2 + 84,4^2 + 62^2) : 6 - 2606,4 = 42,8$;

вариантов $C_V = \Sigma V^2 : nn_1 - C = (72,9^2 + 65,6^2 + 78,1^2) : 6 - 2606,4 = 13,2$;

остаточное $C_Z = C_Y - (C_P + C_V) = 57,9 - (42,8 + 13,2) = 1,9$.

Таблица 45

Таблица дисперсионного анализа

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы v	Средний квадрат s^2	F		
				фактическое	теоретическое	
					0,05	0,01
Общее	57,9	17				
Повторений	42,8	2				
Вариантов	13,2	2	6,6	45,2	3,8	6,7
Остаточное (ошибки)	1,9	13	0,146			

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,146}{4}} = 0,22\%;$$

$$s_{\bar{x}} \% = \frac{s_{\bar{x}} \cdot 100}{\bar{x}_0} = \frac{0,22 \times 100}{12,04} = 1,83\%;$$

$$s_d = 1,414 s_{\bar{x}} = 1,414 \times 0,22 = 0,31\%;$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,2 \times 0,31 = 0,68\%;$$

$$HCP_{01} = t_{01} s_d = 3,0 \times 0,31 = 0,93\%.$$

Техника расчетов при дисперсионном анализе данных
по учету количества сорняков (на 1 кв. м)

Варианты опыта	Повторения, X				Суммы по вариантам V	$\bar{x}$	Разность
	1	2	3	4			
A (контроль)	164 174	102 161	257 302	103 108	1371	171	—
B	201 218	157 187	317 400	102 148	1730	216	+45
C	207 114	87 101	113 88	56 74	845	106	—65
D	35 48	34 47	102 67	30 27	390	49	—122**
Суммы по повторениям P	1161	876	1651	648	$\Sigma X = 4336$	$\bar{x}_0 = 135,5$	

Общее число наблюдений $mn_1 = 4 \times 4 \times 2 = 32$.

Корректирующий фактор $C = \frac{(\Sigma X)^2}{mn_1} = \frac{4336^2}{32} = 587\,216$.

Виды варьирования (суммы квадратов):

общее $C_Y = \Sigma X^2 - C = (164^2 + 174^2 + \dots + 27^2) - 587\,216 = 254\,460$;

повторений $C_P = \Sigma P^2 : m_1 - C = (1161^2 + 876^2 + 1651^2 + 648^2) : 8 - 587\,216 = 70\,544$;

вариантов $C_V = \Sigma V^2 : m_1 - C = (1371^2 + 1730^2 + 845^2 + 390^2) : 8 - 587\,216 = 121\,367$;

остаточное $C_Z = C_Y - (C_P + C_V) = 254\,460 - (70\,544 + 121\,367) = 62\,549$.

Таблица 47

Таблица дисперсионного анализа

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы ν	Средний квадрат s^2	F		
				фактическое	табличное	
					0,05	0,01
Общее	254 460	31				
Повторений	70 544	3				
Вариантов	121 367	3	40 456	13,4	3,0	4,6
Остаточное (ошибки)	62 549	25	2 622			

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \sqrt{\frac{2622}{4}} = 25,6;$$

$$s_{\bar{x}} \% = \frac{s_{\bar{x}} \cdot 100}{\bar{x}_0} = \frac{25,6 \times 100}{135,5} = 18,9\%;$$

$$s_d = 1,414 s_{\bar{x}} = 1,414 \times 25,6 = 36,2;$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,1 \times 36,2 = 76,0 \text{ штук на 1 кв. м};$$

$$HCP_{01} = t_{01} s_d = 2,8 \times 36,2 = 101,3 \text{ штуки на 1 кв. м}.$$

как по повторениям опыта, так и внутри каждой делянки. Поэтому принятый метод учета — по двум площадкам ($n_1 = 2$) на каждой делянке опыта, заложенного в четырех повторениях ($n = 4$), оказался недостаточно точным: он позволил статистически доказать только эффект варианта D .

Вывод: разности средних по вариантам $\bar{x}_A - \bar{x}_B$ и $\bar{x}_A - \bar{x}_C$ несущественны и находятся в пределах случайных колебаний засоренности; разность между контролем и вариантом C существенна на 1%-ном уровне значимости (две звездочки ** в табл. 46).

§ 6. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ОПЫТОВ

Статистическую оценку результатов вегетационных опытов проводят методом дисперсионного анализа. Он дает возможность проверить нулевую гипотезу (H_0), т. е. гипотезу о том, что изучаемые эффекты в данном эксперименте оказались незначимыми и между вариантами опыта нет существенных различий. Если $F_{\text{факт}} \leq F_{\text{теор}}$, то нулевая гипотеза не отвергается, когда $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ и, следовательно, в данном эксперименте имеются существенно различающиеся варианты, то приобретает смысл оценка частных различий по t -критерию.

Особенностью данных большинства вегетационных опытов является то, что они представляют статистический комплекс, состоящий из нескольких независимых выборок. Декоррелированность выборок достигается ежедневным перемещением сосудов на вагонетке. Это создает для всех опытных растений наиболее выравненные условия произрастания (освещения, нагревания и т. п.) и, следовательно, устраняет сопряженность урожаев по вариантам внутри повторений.

Дисперсионный анализ статистических комплексов, состоящих из нескольких независимых выборок, например вариантов вегетационного опыта, позволяет разложить суммарную дисперсию результативного признака C_y на две величины: дисперсию, обусловленную действием изучаемых факторов (вариантов), или дисперсию между выборками C_v , и дисперсию внутри выборок C_z , характеризующую случайное варьирование результативного признака, например урожая в параллельных сосудах. В общем виде вариативность урожаев в вегетационном однофакторном опыте может быть представлена выражением: $C_y = C_v + C_z$.

Техника расчетов при дисперсионном анализе данных показана на примере вегетационного опыта по оценке действия минеральных удобрений на лен-долгунец.

1. Составляют таблицу урожаев (табл. 48), подсчитывают суммы по вариантам V и общую сумму всех урожаев ΣX , вычисляют средние урожаи по вариантам и средний урожай по опыту. Для проверки правильности вычислений все подсчеты делают дважды.

Урожай льна в вегетационном опыте

Вариант	Урожай (в г) на сосуд по повторностям, $\bar{X}$				Суммы по вариантам V	$\bar{x}$
	1	2	3	4		
Контроль	20,8	24,6	22,9	23,7	92,0	23,0
N	25,7	26,0	24,1	27,3	103,1	25,8
P	26,0	29,9	30,0	28,0	113,9	28,4
K	30,4	26,1	29,3	27,4	113,2	28,3
НРК	44,9	49,2	46,4	47,0	187,5	46,8
					$\Sigma X = 609,7$	$\bar{x}_0 = 30,5$

2. Выбирают произвольное начало A — целое число, близкое к среднему урожаю по опыту: в данном примере удобно взять число 30. Составляют таблицу отклонений и квадратов отклонений от A , находят суммы отклонений по вариантам и общую сумму отклонений. Все полученные отклонения и их суммы возводят в квадрат, записывают в соответствующие графы правой части таблицы 49 и по формулам таблицы 25 (см. стр. 270) определяют суммы квадратов отклонений для общего варьирования C_Y и варьирования вариантов C_V . Остаточное варьирование C_Z находят как остаток по равенству: $C_Z = C_Y - C_V$. Все полученные цифры записывают под таблицей 49.

Таблица 49

Отклонения и квадраты отклонений от произвольного начала $A = 30$

Вариант	$X - A$				Суммы V_A	$(X - A)^2$				V_A^2
	1	2	3	4		1	2	3	4	
Контроль . .	-9,2	-5,4	-7,1	-6,3	-28,0	84,64	29,16	50,41	39,69	784,00
N	-4,3	-4,0	-5,9	-2,7	-16,9	18,49	16,00	34,81	7,29	285,61
P	-4,0	-0,1	0,0	-2,0	-6,1	16,00	0,01	0,00	4,00	37,21
K	0,4	-3,9	-0,7	-2,6	-6,8	0,16	15,21	0,49	6,76	46,24
НРК	14,9	19,2	16,4	17,0	67,5	222,01	368,64	289,96	289,0	4316,49

$$\Sigma (X - A) = 9,7 \quad [\Sigma (X - A)]^2 = 9,7^2 = 94,09$$

Общее число наблюдений $ln = 5 \times 4 = 20$.

Корректирующий фактор $C = \frac{[\Sigma (X - A)]^2}{ln} = \frac{94,09}{20} = 4,70$.

Виды варьирования (суммы квадратов):

общее $C_Y = \Sigma (X - A)^2 - C = (84,64 + 18,49 + \dots + 289,00) - 4,70 = 1467,03$;

вариантов $C_V = \Sigma V_A^2 : n - C = (784,00 + 285,61 + 37,21 + 46,24 + 4316,49) : 4 - 4,70 = 1362,69$;

остаточное $C_Z = C_Y - C_V = 1467,03 - 1362,69 = 104,34$.

3. Составляют таблицу дисперсионного анализа, вычисляют значение средних квадратов и фактическое значение F -критерия (табл. 50).

Таблица 50

Таблица дисперсионного анализа

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы ν	Средний квадрат s^2	F		
				фактическое	теоретическое	
					0,05	0,01
Общее	1467,0	19				
Вариантов	1362,7	4	340,67	48,8	3,1	4,9
Остаточное (ошибки)	104,3	15	6,95			

Теоретические значения критерия F находят по таблице 2 приложений для числа степеней свободы вариантов $\nu_1 = 4$ и дисперсии ошибки $\nu_2 = 15$. В данном примере $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ и между вариантами есть существенные различия на 5%-ном и 1%-ном уровнях значимости.

4. Для характеристики существенности частных различий вычисляют:

а) обобщенную ошибку среднего

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \sqrt{\frac{6,95}{4}} = 1,31 \text{ г};$$

б) среднюю ошибку разности

$$s_d = 1,414s_{\bar{x}} = 1,414 \times 1,31 = 1,85 \text{ г};$$

в) наименьшую существенную разность

$$\text{НСР}_{05} = t_{05}s_d = 2,1 \times 1,85 = 3,88 \text{ г на сосуд};$$

$$\text{НСР}_{01} = t_{01}s_d = 3,0 \times 1,85 = 5,55 \text{ г на сосуд}.$$

Теоретические значения критерия t находят по таблице 1 приложений для принятого уровня значимости и числа степеней свободы ошибки $\nu_2 = 15$.

Итоговая таблица данных вегетационного опыта может быть следующей (табл. 51).

Таблица 51

Урожай воздушносухой массы льна-долгунца в вегетационном опыте с удобрениями

Вариант	Урожай (в г на сосуд)	Прибавки урожая (в г на сосуд)
Без удобрений	23,0	—
N	25,3	2,8
P	28,4	5,4*
K	28,3	5,3*
НРК	46,8	23,8**

Примечание. $\text{НСР}_{05} = 3,9$ г на сосуд; $\text{НСР}_{01} = 5,6$ г на сосуд.

Здесь одной звездочкой (*) обозначены прибавки, существенные на 5%-ном, а двумя звездочками (**) — на 1%-ном уровне значимости. Поскольку прибавка от N меньше $НСР_{05}$, то эффект азота в данном опыте не доказан; эффекты Р и К существенны на 5%-ном, а NPK — на 1%-ном уровне.

При работе с малозначимыми цифрами или использовании счетных машин суммы квадратов отклонений в однофакторных вегетационных опытах определяют непосредственно по фактическим данным, используя соотношения: $C_Y = \Sigma X^2 - C$; $C_V = \Sigma V^2 : n - C$ и $C_Z = C_Y - C_V$. Корректирующий фактор определяют по формуле: $C = \frac{(\Sigma X)^2}{ln}$. Все последующие расчеты полностью подобны тем, которые описаны на странице 298 в пунктах 3 и 4.

В вегетационных и особенно вегетационно-полевых опытах часто бывает такое территориальное расположение сосудов, которое создает неравные условия выращивания растений в отдельных повторениях или блоках, включающих несколько повторений. Например, в опытах с большим количеством вариантов и повторностей сосуды одного или нескольких повторений могут располагаться на одной вагонетке, а других повторений — на другой. В подобных случаях положение во многом аналогично полевому опыту, и здесь возникает еще один существенный источник колебания урожаев, а именно, вариация по условным повторениям (вагонеткам или стеллажам и т. п.). Могут быть также какие-то особые условия эксперимента, когда сосуды на вагонетке занимают всегда определенное место и перемещать их нецелесообразно. Эффективным методом размещения сосудов в таких случаях может быть латинский квадрат, который в наибольшей степени позволяет уравновесить действие неконтролируемых переменных на все опытные растения изучаемых вариантов.

Реальные условия проведения эксперимента должны быть учтены при статистическом анализе, а систематическую вариацию результативного признака по повторениям (блокам) или рядам и столбцам при расположении сосудов латинским квадратом необходимо вычленивать из суммарной дисперсии. Таким образом, как и в полевом опыте, общая дисперсия разлагается на столько элементов, сколько имеется источников варьирования. Здесь необходимо еще раз подчеркнуть, что схему статистического анализа нужно планировать параллельно с разработкой методики проведения эксперимента, т. е. вегетационный опыт должен быть статистически обоснован.

В качестве примера рассмотрим схему и варьирование урожаев вегетационно-полевого опыта, проведенного латинским квадратом 4×4 (табл. 52).

Представленное здесь расположение сосудов без дна 20×20 см на опытном участке позволяет уравновесить действие неконтролируемых факторов. Варианты одинаково часто (по одному) встречаются во всех краевых рядах и столбцах, и каждый вариант пред-

**Схема расположения сосудов и урожай льна сорта И-7 (в г на сосуд)¹
в вегетационно-полевом опыте, проведенном латинским
квадратом 4×4**

Ряды \ Столбцы	1	2	3	4	Суммы по		Средние по вариантам $\bar{x}$
					рядам P	вариан- там V	
1	III 33,7	II 30,3	I 31,2	IV 30,4	125,6	129,6	32,4
2	IV 31,0	I 28,3	II 28,1	III 36,0	123,4	133,6	33,4
3	I 33,2	III 27,2	IV 26,9	II 35,2	122,5	137,6	34,4
4	II 40,0	IV 38,1	III 40,7	I 36,9	155,7	126,4	31,6
Суммы по столб- цам C	137,9	123,9	126,9	138,5	$\Sigma X = 527,2$		$\bar{x}_0 = 32,9$

¹ Обозначения вариантов (предшественников льна): I — лен; II — рожь; III — картофель; IV — клевер.

ставлен одним сосудом, расположенным в центре. Легко заметить, что все сосуды, занимающие четвертый ряд, характеризуются более высоким уровнем урожаев, тогда как сосуды, расположенные в центре латинского квадрата, независимо от изучаемых вариантов имеют более низкие показатели. В меньшей степени, но также довольно устойчиво наблюдается увеличение урожаев в тех сосудах, которые занимают первый и четвертый столбцы.

Таким образом, в этом вегетационно-полевом опыте существует закономерное варьирование урожаев льна, связанное с территориальным расположением сосудов, и это необходимо учитывать при планировании опыта и статистической обработки его результатов.

Статистический анализ данных об урожаях в вегетационно-полевом опыте по схеме латинского квадрата проводят так же, как это было описано для полевого опыта (см. стр. 281—286). После составления таблицы урожаев, определения сумм по рядам (P), столбцам (C), вариантам (V) и общей суммы всех урожаев (ΣX) проверяют правильность вычислений по равенству $\Sigma X = \Sigma P = \Sigma C = \Sigma V$. Затем определяют суммы квадратов отклонений для различных источников варьирования по формулам таблицы 36 (стр. 282). Все вспомогательные расчеты удобно расположить в специальной таблице 53.

Таблица отклонений и квадратов отклонений от произвольного начала $A = 30$

Ряды	Столбцы	(X - A)				Суммы		Квадраты отклонений					
		1	2	3	4	PA	VA	1	2	3	4	PA	VA
1		III 3,7	II 0,3	I 1,2	IV 0,4	5,6	9,6	13,69	0,09	1,44	0,16	31,36	92,16
2		IV 1,0	I -1,7	II -1,9	III 6,0	3,4	13,6	1,00	2,89	3,61	36,00	11,56	184,96
3		I 1,5	III -1,1	IV -3,1	II 5,2	2,5	17,6	2,25	1,21	9,61	27,04	6,25	309,76
4		II 10,0	IV 8,1	III 9,0	I 8,6	35,7	6,4	100,00	65,61	81,00	73,96	1274,49	40,96
Суммы ΣA		16,2	5,6	5,2	20,2	$\Sigma (X - A)$	$= 47,2$	262,44	31,36	27,04	408,04	$\Sigma (X - A)^2 =$ $= 2227,84$	

Общее число наблюдений $n^2 = 4 \times 4 = 16$.

Корректирующий фактор

$$C = \frac{[\Sigma (X - A)]^2}{n^2} = \frac{2227,84}{16} = 139,2.$$

Виды варьирования (суммы квадратов):
 общее $C_Y = \Sigma (X - A)^2 - C = (13,69 + 1,00 + \dots + 73,96) -$
 $- 139,2 = 280,4$;
 столбцов $C_C = \Sigma C_A^2 : n - C = (262,44 + 31,36 + 27,04 +$
 $+ 408,04) : 4 - 139,2 = 43,0$;
 рядов $C_P = \Sigma P_A^2 : n - C = (31,36 + 11,56 + 6,25 +$
 $+ 1274,49) : 4 - 139,2 = 192,7$;
 вариантов $C_V = \Sigma V_A^2 : n - C = (92,16 + 184,96 + 309,76 +$
 $+ 40,96) : 4 - 139,2 = 17,8$;
 остаточное $C_Z = C_Y - (C_C + C_P + C_V) = 280,4 - (43,0 +$
 $+ 192,7 + 17,8) = 26,9$.

Влияние на результативный признак различных факторов проявилось в размерах (в %):

влияние столбцов	15,4 ($C_C : C_Y$)
влияние рядов	68,6 ($C_P : C_Y$)
влияние вариантов	6,4 ($C_V : C_Y$)
влияние случайных факторов	9,6 ($C_Z : C_Y$)
влияние всех факторов	100,0

Таким образом, в данном опыте вариабильность урожаев обусловлена в основном территориальным расположением сосудов — варьированием рядов (68,6%) и столбцов (15,4%). Варьирование урожаев по вариантам незначительно и находится в пределах случайных колебаний (табл. 54).

Таблица 54
Таблица дисперсионного анализа

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Число степеней свободы ν	Средний квадрат S^2	F	
				фактическое	теоретическое 0,05
Общее	280,4	15			
Столбцов	43,0	3			
Рядов	192,7	3			
Вариантов	17,8	3	5,9	1,31	4,8
Остаточное (ошибки)	26,9	6	4,5		

Поскольку $F_{\text{факт}} < F_{0,5}$, следует считать, что различия средних урожаев льна по вариантам (предшественникам, удобренным НРК) могут иметь случайное происхождение, и, следовательно, нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между выборочными совокупностями не отвергается. Здесь следует специально подчеркнуть, что неопровержение H_0 не означает ее подтверждения, а свидетельствует лишь о том, что нулевая гипотеза остается неопровергнутой результатами данного эксперимента.

§ 7. КОРРЕЛЯЦИЯ И РЕГРЕССИЯ

В любой области науки возникает задача выяснить взаимозависимость между исследуемыми признаками. Для измерения силы (тесноты) и формы связи используют специальные статистические методы, получившие наименование корреляции и регрессии.

В биологии и сельском хозяйстве при изучении живых объектов (животных, растений, микроорганизмов и пр.), развивающихся под действием большого числа факторов, которые по-разному влияют на проявление различных признаков, редко приходится иметь дело с простыми функциональными связями, когда каждому значению одной величины, называемой аргументом, соответствует строго определенное значение другой величины — функции. Здесь чаще встречаются такие соотношения между переменными, когда каждому значению признака X соответствует не одно, а множество возможных значений признака Y , т. е. их целое распределение. Такие связи, обнаруживаемые лишь при массовом изучении признаков, в отличие от функциональных называются корреляционными (англ. correlation — соотношение, соответствие).

Следует помнить, что статистические методы анализа корреляции и регрессии лишь дополняют агрономический анализ количественными показателями, а не заменяют его. Корреляционная связь — это не результат математических выкладок, она заключена в природе самих явлений, и, применяя корреляционный анализ, можно только нагляднее представить закономерности, объективно существующие в природе.

Типы корреляции. По форме корреляция может быть прямолинейной и криволинейной, по направлению — прямой и обратной. Под прямолинейной корреляцией понимают такую зависимость, когда с увеличением средней величины одного признака увеличивается средняя величина другого или, наоборот, с увеличением средней величины одного признака уменьшается средняя величина другого. В первом случае корреляция называется прямой, или положительной, во втором — обратной, или отрицательной. При криволинейной корреляции результативный признак с увеличением факториального принимает значения, возрастающие до определенной величины, а затем убывающие или наоборот.

Корреляция называется простой, если исследуется связь между двумя признаками, и множественной, когда на величину одного результативного признака влияют несколько факториальных.

Прямолинейная корреляция и регрессия. Из всех прямолинейных зависимостей наибольшее распространение имеет простая корреляция. Говорят, что два признака находятся в корреляционной зависимости, если каждому значению одного из них соответствует некоторое статистическое распределение (вариационный ряд) значений

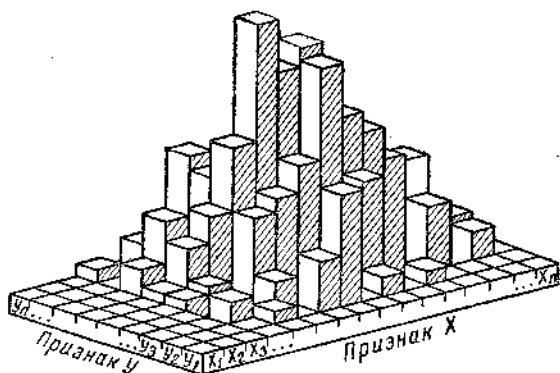


Рис. 68. Стереограмма распределения двух коррелирующих признаков.

другого (рис. 68). Если каждой величине X соответствует только определенная величина Y , то корреляционная связь переходит в функциональную, которую можно считать частным случаем корреляционной. В качестве числового показателя простой линейной корреляции, указывающего на форму и тесноту (силу) связи двух переменных величин, используют коэффициент корреляции, обозначаемый буквой r .

Коэффициент корреляции является одним из распространенных способов измерения степени и направления линейных связей между двумя переменными X и Y . Формула его имеет следующий вид:

$$r = \frac{\sum (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{ns_x s_y},$$

или, минуя вычисление стандартных отклонений s_x и s_y ,

$$r = \frac{\sum (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{x})^2 \sum (Y - \bar{y})^2}},$$

где r — коэффициент корреляции;

$(X - \bar{x})$ и $(Y - \bar{y})$ — центральные отклонения для признака X и Y от средних значений $\bar{x}$ и $\bar{y}$;

$\sum (X - \bar{x})^2$ и $\sum (Y - \bar{y})^2$ — суммы квадратов центральных отклонений по ряду X и Y ;

n — число пар наблюдений;

s_y и s_x — стандартные отклонения, вычисленные для признаков X и Y .

Значения коэффициента корреляции лежат в пределах от $+1$ до -1 . При полных связях, когда корреляционная связь превращается в функциональную, значение коэффициента корреляции равно для положительных, или прямых, связей $+1,0$, для отрицательных, или обратных, связей $-1,0$. При полном отсутствии корреляционной связи между признаками коэффициент корреляции

равен нулю. Считается, что при $r < 0,3$ корреляционная зависимость между признаками слабая, $r = 0,3-0,7$ — средняя, а при $r > 0,7$ — сильная (тесная).

Может показаться, что величина коэффициента корреляции, близкая к 0,5, уже достаточно высока и совпадение вариации двух признаков при этом должно быть у половины всех случаев. Однако теория корреляции показывает, что степень сопряженности в вариации двух величин более точно измеряется квадратом коэффициента корреляции (r^2). Например, при $r = 0,5$ не 50, а только 25% изменчивости одного признака объясняется изменчивостью другого ($0,5^2 = 0,25$, или 25%), остальная же часть сопряженности ($1-0,25 = 0,75$, или 75%) обусловлена другими факторами. При $r = 0,6$ не 60%, а около 36%, при $r = 0,8$ около 64%, а при $r = 0,95$ уже около 97% изменчивости зависимой переменной Y (результативного признака) связано с изменчивостью независимой переменной X (факториального признака).

Квадрат коэффициента корреляции (r^2) называется коэффициентом детерминации и обозначается d_{yx} . Он показывает долю (%) тех изменений, которые в данном явлении зависят от изучаемого фактора. Коэффициент детерминации является более непосредственным и прямым способом выражения зависимости одной величины от другой, и в этом отношении он предпочтительнее коэффициента корреляции. В случаях, где известно, что зависимая переменная Y находится в причинной связи с независимой переменной X , значение r^2 показывает ту долю элементов в вариации Y , которая определена влиянием X . И когда употребляют, например, выражение «50% колебаний в урожае вызывается колебаниями в выпадении осадков», то здесь 50% — коэффициент детерминации.

Для оценки надежности выборочного коэффициента корреляции вычисляют его ошибку и критерий существенности.

Стандартную ошибку коэффициента корреляции определяют по формуле:

$$s_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}.$$

Здесь s_r — ошибка коэффициента корреляции;

r — коэффициент корреляции;

n — численность выборки, т. е. число пар значений, по которым вычислен выборочный коэффициент корреляции.

Из формул следует, что коэффициенты корреляции, близкие к единице, оказываются всегда точнее коэффициентов корреляции, близких к нулю. С увеличением количества объектов исследования s_r также будет всегда уменьшаться, а точность в определении r — возрастать.

Критерий существенности коэффициента корреляции рассчитывают по формуле:

$$t_r = \frac{r}{s_r}.$$

Если $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$, то корреляционная связь существенна, а когда $t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$ — несущественна. Теоретическое значение критерия t находят по таблице Стьюдента, принимая 5%-ный, а при более строгом подходе — 1%-ный уровень значимости. Число степеней свободы принимают равным $n - 2$.

Коэффициент корреляции указывает на направление и степень сопряженности в изменчивости признаков, но не позволяет судить о том, как количественно меняется результативный признак при изменении факториального на единицу измерения, что нередко важно в познавательных и практических целях. В подобных случаях на помощь приходит регрессионный анализ.

Под регрессией понимают изменение результативного признака, называемого зависимой переменной, или функцией Y , при определенных изменениях факториального признака, называемого независимой переменной, или аргументом X .

По форме регрессия может быть прямолинейной и криволинейной. Прямолинейная регрессия — это такая зависимость, когда при любом значении аргумента одинаковые приращения его вызывают одинаковые приращения функции, криволинейная — когда при одинаковых приращениях аргумента функция имеет неодинаковые приращения. Регрессия называется простой, если изменение функции исследуется в зависимости от одного аргумента [$y = f(x)$], и множественной — от двух и более аргументов [$y = f(x, z, v...)$].

Зависимость функции от аргумента при линейной регрессии может быть выражена коэффициентом регрессии. Коэффициентом линейной регрессии называется число, показывающее, в каком направлении и на какую величину изменяется один признак (функция) при изменении другого (аргумента) на единицу измерения. Обозначают коэффициент регрессии буквой b и вычисляют по формулам:

$$b_{yx} = r \frac{s_y}{s_x} \quad \text{и} \quad b_{xy} = r \frac{s_x}{s_y}.$$

Коэффициент регрессии b_{yx} показывает, как изменяется Y при изменении X на единицу измерения, и выражается в единицах Y , а b_{xy} указывает регрессию X на Y и выражается в единицах X . При исследовании односторонней зависимости, например корреляции между урожаями Y и количеством выпавших осадков X , вычисляют только один коэффициент регрессии результативного признака Y на факториальный X , т. е. значение b_{yx} , так как регрессия X по Y лишена в подобных случаях логического смысла.

Коэффициенты регрессии имеют знак коэффициента корреляции. Произведение коэффициентов регрессии равно квадрату коэффициентов корреляции:

$$b_{yx}b_{xy} = r^2.$$

Этой формулой можно пользоваться как проверочной при вычислении коэффициентов регрессии.

Ошибку коэффициента регрессии вычисляют по формуле:

$$s_{b_{yx}} = s_r \frac{s_y}{s_x} \quad \text{и} \quad s_{b_{xy}} = s_r \frac{s_x}{s_y}.$$

Критерий существенности коэффициента регрессии определяют по формуле:

$$t_b = \frac{b}{s_b}.$$

Если определен критерий существенности для коэффициента корреляции, он может быть использован и для оценки значимости коэффициента регрессии, так как $t_b = t_r$.

Существенность коэффициента регрессии оценивают как обычно по таблице I приложений; число степеней свободы принимают равным $n - 2$.

Корреляция может быть изображена графически в виде линии регрессии. Для построения графика по оси абсцисс откладывают значения признака X , по оси ординат — значения признака Y и каждое наблюдение над двумя переменными отмечают точкой с координатами (X, Y) . Такой график называется «точечной диаграммой» или «корреляционным полем» (рис. 69). По точечному графику легко установить такие связи, которые заслуживают того, чтобы наблюдения были продолжены, или, наоборот, он может указать на нецелесообразность накопления материала подобного рода.

Точечная диаграмма часто указывает на сильный разброс индивидуальных наблюдений и не позволяет с достаточной точностью определить любое значение результативного признака Y по заданному значению X . Поэтому необходимо устранить влияние случайных отклонений и найти положение теоретической линии регрессии, т. е. усредненное течение функции при равномерном увеличении аргумента.

Принципы, положенные в основу нахождения усредненного течения функции, в некоторой степени подобны определению средней арифметической, которая наиболее близко стоит ко всем индивидуальным значениям, так что сумма квадратов отклонений их от средней есть величина наименьшая. Выравнивать эмпирические ряды можно двумя способами: графическим и аналитическим.

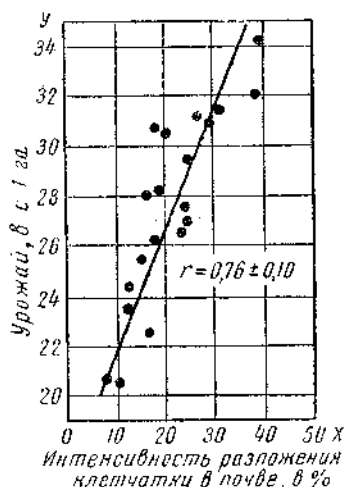


Рис. 69. Зависимость между биологической активностью почвы и урожаями озимой ржи (по материалам многолетнего опыта ТСХА).

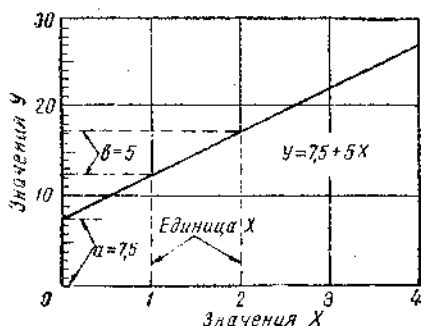


Рис. 70. График функции $Y = 7,5 + 5X$.

результаты в тех случаях, когда необходимо только грубо, приближенно выявить общую тенденцию. Поэтому лучше воспользоваться аналитическим методом и найти наилучшее положение прямой линии для соответствующих данных.

Рассмотрим кратко наиболее простой аналитический способ построения теоретической линии регрессии.

Известно, что общее уравнение прямой линии выражается формулой:

$$Y = a + bX.$$

Для истолкования смысла уравнения линейной регрессии на рисунке 70 иллюстрировано значение параметров a и b для уравнения вида

$$Y = 7,5 + 5X.$$

Значение $a = 7,5$ — ордината линии, когда $X = 0$, т. е. это общее начало отсчета и часто величина a не имеет логического смысла. Когда линия регрессии пересекает ось Y ниже нуля, то величина a отрицательная. Значение параметра a можно легко рассчитать по формуле:

$$a = \bar{y} - b\bar{x},$$

где $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние арифметические для ряда X и Y ;

b — коэффициент регрессии Y по X .

Показатель b — коэффициент регрессии Y по X — всегда имеет определенное смысловое значение. Он указывает, насколько в среднем изменяется Y при

Графический способ позволяет с достаточным приближением получить теоретическую линию регрессии без дополнительных вычислений. На точечной диаграмме при помощи прозрачной линейки с нанесенной чертой или натянутой черной ниткой проводят линию на глаз так, чтобы она располагалась как можно ближе ко всем точкам и сумма расстояний этой линии от эмпирических точек была бы наименьшей (рис. 69). Этот метод дает удовлетворительные

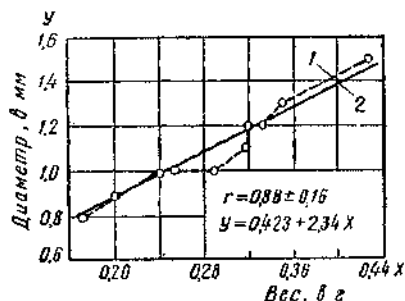


Рис. 71. Эмпирическая (1) и теоретическая (2) линии регрессии при прямой корреляции между весом и диаметром стеблей льна-долгунца.

изменении X на одну единицу измерения, например от 1 до 2 на рисунке 70. В данном примере величина $b = 5$ означает, что при возрастании значений X на одну единицу значение Y в пределах рассмотренного ряда всегда увеличивается в среднем на 5 единиц.

Цифровой пример корреляционного и регрессионного анализов для небольших выборок показан в таблице 55 и на рисунке 71.

Расчеты и построение теоретической линии регрессии удобно вести в следующей последовательности.

1. Составляют расчетную таблицу и вычисляют основные статистические показатели для коррелирующих признаков: $\bar{x}$, $\bar{y}$, s_x , s_y , r и t_r . Все полученные цифры записывают под таблицей 55.

Таблица 55

Вычисление коэффициента корреляции между весом X и диаметром Y стеблей льна-долгунца

Значение признаков		Отклонения от средней		Квадраты отклонений		Произведения ($X - \bar{x}$)($Y - \bar{y}$)
$X, г$	$Y, мм$	$(X - \bar{x})$	$(Y - \bar{y})$	$(X - \bar{x})^2$	$(Y - \bar{y})^2$	
0,17	0,8	-0,12	-0,3	0,0144	0,09	+0,036
0,20	0,9	-0,09	-0,2	0,0081	0,04	+0,018
0,24	1,0	-0,05	-0,1	0,0025	0,01	+0,005
0,25	1,0	-0,04	-0,1	0,0016	0,01	+0,004
0,29	1,0	0,00	-0,1	0,0000	0,01	0,000
0,32	1,1	+0,03	0,0	0,0009	0,00	0,000
0,32	1,2	+0,03	+0,1	0,0009	0,01	+0,003
0,33	1,2	+0,04	+0,1	0,0016	0,01	+0,004
0,35	1,3	+0,06	+0,2	0,0036	0,04	+0,012
0,43	1,5	+0,14	+0,4	0,0196	0,16	+0,056
$\Sigma X = 2,90$	$\Sigma Y = 11,0$	0,00	0,0	0,0532	0,38	+0,138

$$\bar{x} = \frac{\Sigma X}{n} = \frac{2,90}{10} = 0,29 \text{ г}; \quad \bar{y} = \frac{\Sigma Y}{n} = \frac{11,0}{10} = 1,1 \text{ мм.}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\Sigma (X - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,0532}{10 - 1}} = 0,077 \text{ г};$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\Sigma (Y - \bar{y})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,38}{10 - 1}} = 0,205 \text{ мм.}$$

$$r = \frac{\Sigma (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{ns_x s_y} = \frac{0,138}{10 \times 0,077 \times 0,205} = 0,88.$$

$$s_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,88^2}{10 - 2}} = 0,16;$$

$$t_r = \frac{r}{s_r} = \frac{0,88}{0,16} = 5,5; \quad v = n - 2 = 8; \quad t_{01} = 3,4.$$

Вывод. Корреляция между весом и диаметром стеблей льна существенна на 1%-ном уровне значимости ($t_{\text{факт}} > t_{01}$).

2. Если корреляция существенна, то существенна и регрессия, так как $t_r = t_b$, и, следовательно, необходимо продолжить анализ корреляционной зависимости и рассчитать параметры a и b в уравнении регрессии $Y = a + bX$.

$$b_{yx} = r \frac{s_y}{s_x} = 0,88 \frac{0,205}{0,077} = 2,34 \text{ (коэффициент регрессии);}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 1,1 - 2,34 \times 0,29 = 0,423;$$

$$Y = 0,423 + 2,34X.$$

Для проверки расчетов вычисляют коэффициент регрессии $b_{xy} = r \frac{s_x}{s_y} = 0,88 \frac{0,077}{0,205} = 0,331$, произведение $b_{xy}b_{yx} =$

$= 0,331 \times 2,34 = 0,7744$ и коэффициент детерминации $r^2 = 0,88^2 = 0,7744$. Расчеты сделаны правильно, так как $b_{xy}b_{yx} = r^2 = 0,7744$.

Затем по найденному уравнению $Y = 0,423 + 2,34X$ определяют теоретические усредненные значения Y для всех фиксированных значений X (иногда ограничиваются определением значений Y только для $X_{\min}$ и $X_{\max}$). В итоге получают теоретический ряд, который и используют для построения теоретической линии регрессии (табл. 56).

Таблица 56

Вычисление теоретических значений Y

X (в г)	Y (в мм)		X (в г)	Y (в мм)	
	фактические	теоретические ($Y = 0,423 + 2,34X$)		фактические	теоретические ($Y = 0,423 + 2,34X$)
0,17	0,8	0,821	0,32	1,1	1,172
0,20	0,9	0,891	0,32	1,2	1,172
0,24	1,0	0,985	0,33	1,2	1,195
0,25	1,0	1,008	0,35	1,3	1,242
0,29	1,0	1,102	0,43	1,5	1,433

3. Итогом анализа корреляции является графическое изображение результатов статистической обработки. Из таблицы 56 на график последовательно переносят значения признака X и сопряженные фактические и теоретические значения признака Y . Найденные таким образом координаты соединяют кривой и получают эмпирическую (1) и теоретическую (2) линии регрессии. На графике указывают также уравнение регрессии и значение коэффициента корреляции с его ошибкой (см. рис. 71).

Криволинейная корреляция. Если связь между изучаемыми явлениями существенно отклоняется от прямолинейной, что легко установить по виду корреляционной решетки или, еще лучше, по точеч-

ному графику, то коэффициент корреляции непригоден в качестве меры связи. Он может указывать на отсутствие сопряженности там, где налицо сильная криволинейная зависимость. Поэтому необходимым новым показателем, который правильно измерял бы степень криволинейной зависимости. Таким показателем является корреляционное отношение, обозначаемое греческой буквой η (эта).

Корреляционное отношение вычисляют по формуле:

$$\eta_{yx} = \sqrt{\frac{\sum f(\bar{y}_x - \bar{y})^2}{\sum f(\bar{y} - \bar{y})^2}},$$

где $\sum f(\bar{y}_x - \bar{y})^2$ — сумма квадратов отклонений групповых средних $\bar{y}_x$ от общей средней $\bar{y}$ (групповое варьирование). Эта величина характеризует ту часть варьирования признака Y , которая связана с изменчивостью признака X . Сумма квадратов разностей между каждой датой $\bar{y}$ и общей средней $\bar{y}$, т. е. $\sum f(\bar{y} - \bar{y})^2$, характеризует общее варьирование признака Y .

При функциональной зависимости Y от X корреляционное отношение равно единице; если оно равно нулю, то показывает некоррелированность Y от X ; при промежуточном характере корреляционной зависимости корреляционное отношение заключено в пределах:

$$0 < \eta_{yx} < 1.$$

Чем ближе η_{yx} к единице, тем сильнее, ближе функциональная зависимость Y от X , и, наоборот, чем ближе η_{yx} к нулю, тем слабее выражена эта зависимость.

Отношение сумм квадратов группового варьирования к общему, т. е. η_{yx}^2 , имеет самостоятельное значение. Оно показывает ту долю варьирования признака Y , которая обусловлена степенью колебания признака X . Эта величина, называемая индексом детерминации и обозначаемая $d_{y(x)}$, определяет процент вариации Y под влиянием X :

$$d_{y(x)} = \eta_{yx}^2 = \frac{\sum f(\bar{y}_x - \bar{y})^2}{\sum f(\bar{y} - \bar{y})^2}.$$

Порядок расчетов индекса детерминации и корреляционного отношения по данным, представленным в таблице 57, показан ниже.

Вид корреляционной решетки указывает на тесную криволинейную связь между урожаем и содержанием белка; при увеличении показателей одного признака другой принимает значения, вначале возрастающие до определенной величины, а затем убывающие. В этом случае коэффициент корреляции непригоден как показатель тесноты связи. В самом деле, получаемый $r = 0,11$ указывает на слабую зависимость, что явно противоречит фактическим данным и корреляционному отношению $\eta_{yx} = 0,76$, которое свидетельствует о тесной корреляционной связи Y с X .

Порядок вычисления корреляционного отношения η_{yx} следующий.

Зависимость между содержанием белка (‰) в зерне пшеницы и урожаем (ц/га)

X (в ц/га) Y (в ‰)	17	18	20	23	24	
17			2			
15		1		1		
14		2		1		
13	1	1			1	
12	1				1	
f	2	4	2	2	2	$\Sigma f = n = 12$
fY	25	56	34	29	25	$\Sigma fY = 169$
$\bar{Y}_x$	12,5	14,0	16,0	14,5	12,5	$\bar{y} = 169:12 =$
$(\bar{y}_x - \bar{y})$	-1,6	-0,1	+1,9	+0,4	-1,6	$= 14,1$

$$\Sigma f (\bar{y}_x - \bar{y})^2 = 2 \times 1,6^2 + 4 \times 0,1^2 + 2 \times 1,9^2 + 2 \times 0,4^2 + 2 \times 1,6^2 = 17,94;$$

$$\Sigma f (Y - \bar{y})^2 = 1 (12,0 - 14,1)^2 + 1 (13,0 - 14,1)^2 + \dots + 1 (12,0 - 14,1)^2 = 30,91;$$

$$\eta_{yx}^2 = \frac{\Sigma f (\bar{y}_x - \bar{y})^2}{\Sigma f (Y - \bar{y})^2} = \frac{17,94}{30,91} = 0,58 \text{ (или } 58\%);$$

$$r_{yx} = \sqrt{\eta_{yx}^2} = \sqrt{0,58} = 0,76;$$

$$s_{\eta} = \sqrt{\frac{1 - \eta_{yx}^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,76^2}{12 - 2}} = 0,20;$$

$$t_{\eta} = \frac{0,76}{0,20} = 3,8; \quad t_{01} = 3,2.$$

1. Изучаемую группу разбивают на классы так, чтобы в каждом было не менее двух особей, и составляют корреляционную таблицу.

2. По каждому классу X подсчитывают групповые средние $\bar{y}_x$ и определяют общую среднюю $\bar{y}$.

3. Для каждого класса X находят отклонения групповых средних от общей средней $(\bar{y}_x - \bar{y})$, возводят их в квадрат, умножают на частоту признака в каждом классе и подсчитывают общую сумму квадратов $\Sigma f (\bar{y}_x - \bar{y})^2$.

4. Определяют сумму квадратов общего варьирования $\Sigma f (Y - \bar{y})^2$. Для этого по каждой клетке корреляционной решетки находят отклонения значения признака Y от общей средней $(Y - \bar{y})$, возводят их в квадрат, умножают на частоту и полученные величины складывают.

5. Определяют значение η_{yx}^2 , η_{yx} , оценивают существенность корреляционного отношения по критерию t , принимая число степеней свободы равным $n - 2$.

Ошибку и критерий существенности корреляционного отношения рассчитывают так же, как и для коэффициента корреляции:

$$s_{\eta} = \sqrt{\frac{1 - \eta^2}{n - 2}};$$

$$t_{\eta} = \frac{\eta}{s_{\eta}}.$$

Теоретическое значение критерия t для 5%-ного или 1%-ного уровня значимости находят по таблице 1 приложений; число степеней свободы принимают равным $n - 2$.

Индекс детерминации $d_{yfx} = \eta_{yx}^2 = 0,58$ позволяет считать, что 58% варьирования показаний содержания белка в зерне обусловлено варьированием урожаев и 42% — другими факторами.

На рисунке 72 графически изображена криволинейная зависимость, где непрерывная кривая линия проведена «от руки» так, чтобы она располагалась достаточно близко ко всем эмпирическим точкам. Линия регрессии характеризует основную тенденцию зависимости Y от X и в ней снята статистическая вариация, смещающая «истинное» значение Y вверх или вниз.

Чтобы более точно определить положение линии регрессии различного типа и уравнение кривой, используют математические методы, которые изложены в работах Я. И. Лукомского (1961), Н. А. Плохинского (1961), В. Ю. Урбаха (1964) и Е. Мордэкэй и Карла А. Фокса (1966). В этих же работах подробно изложен анализ множественной корреляции.

Множественная корреляция и регрессия. Факторы, оказывающие влияние на продуктивность растений, очень многочисленны и изменчивы. Они сочетаются самым различным образом, в результате чего одинаковый урожай можно получить при разных их комбинациях. Здесь проявляется закон взаимодействия прямых и косвенных факторов и условий роста, и в итоге возникает самый неожиданный компенсационный эффект. Поэтому при выращивании растений в полезной обстановке невозможно рассматривать каждый фактор в отдельности, а действие его на урожай надо оценивать как функцию всех остальных факторов. Однако из многочисленных сочетаний факторов нужно выделить те, которые дают наиболее четкое представление о положительных и отрицательных сторонах внешней среды. Для этого используется статистический анализ множественной корреляции и регрессии.

Корреляция называется множественной, если на величину результативного признака Y одновременно влияют несколько факторных X, Z и т. д. Наиболее простой случай множественной корреляции — зависимость трех переменных, когда одна из них,

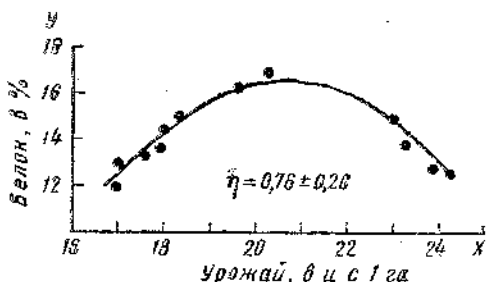


Рис. 72. Графическое изображение криволинейной связи.

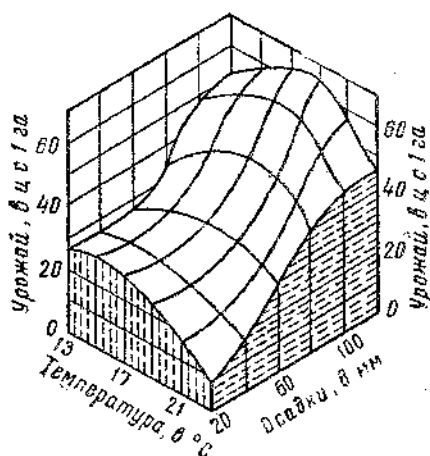


Рис. 73. Зависимость урожая соломки льна-долгунца от различного сочетания среднемесячных температур воздуха и осадков в июне (по материалам многолетнего опыта ТСХА).

ляционной зависимости урожая льна-долгунца от комбинированного влияния осадков и температуры воздуха в июне. На этой диаграмме количество осадков в миллиметрах, т. е. значения аргумента X , читаются на правой стороне основания куба, среднемесячная температура воздуха в градусах Z — вдоль левого края, а значение функции (урожая соломки льна Y) — по вертикальному ребру.

Не анализируя детально изображенную на рисунке 73 поверхность регрессии Y по X и Z , ясно, что существует криволинейная зависимость урожая льна от совместного действия осадков и температуры воздуха в июне. В центральных районах нечерноземной зоны в этот период лен находится обычно в фазе быстрого роста и характеризуется сильной реакцией на изменение метеорологических факторов.

Легко убедиться, что совместное влияние температуры и осадков по-разному отражается на урожае: при достаточном увлажнении, например, отрицательное действие высоких температур проявляется в меньшей степени, чем при недостатке осадков. С другой стороны, видно, что в условиях достаточного увлажнения осадки июня используются наиболее эффективно в диапазоне среднемесячных температур 15—19°.

В заключение нужно отметить, что корреляционный анализ не дает объяснения причинно-следственных связей. Он позволяет лишь измерить силу и форму взаимозависимости, более ясно представить существующие в природе закономерности и дает экспериментатору эффективный метод их изучения. Однако статистиче-

например урожай, рассматривается как функция (Y), а две другие — как аргументы (X и Z).

При изучении корреляции трех переменных исходные данные табулируют и для нескольких фиксированных градаций аргумента X и Z определяют наиболее вероятное значение функции Y . Полученные результаты изображают графически в виде поверхности регрессии Y по X и Z , которая дает наглядное представление о форме зависимости результативного признака от совместного действия двух переменных.

Для примера на рисунке 73 дано графическое изображение множественной корреляционной зависимости урожая льна-долгунца от температуры воздуха и осадков в июне.

ский анализ не может заменить специальных знаний, логики мышления и мастерства исследователя. Математический аппарат — это острый инструмент исследователя, но небрежное, механическое применение его ведет к ложным выводам и рекомендациям.

§ 8. ПРОБИТ-АНАЛИЗ

При изучении силы действия повреждающих факторов (излучений, химических средств борьбы с вредителями, болезнями и сорняками) на биологические объекты широко используется специальный статистический метод — пробит-анализ.

Например, чувствительность определенного вида вредителей к инсектицидам или излучениям может характеризоваться дозой, вызывающей полную гибель их. Однако измерение летальной дозы (LD или CD) для отдельной особи практически невозможно, так как гибель вредителя от дозы, даже большей, чем смертельная, наступает не сразу, а через несколько дней или даже недель. Если же доза недостаточна, чтобы вызвать гибель подопытной особи, это выясняется также лишь через некоторое время. За этот период в организме происходят восстановительные процессы. Восстановление, однако, не бывает полным, и поэтому повторять опыт на одних и тех же объектах с некоторыми интервалами и каждый раз увеличивая дозу нельзя.

Точно установить дозу, вызывающую 100%-ную летальность, при сравнительной оценке различных факторов не только не просто, но и не оправдано в связи с затратой экспериментальных объектов и биологически активных веществ. Практически вполне достаточно установить дозу, при которой погибает 50% особей, которую и принимают за усредненную характеристику летального действия повреждающего фактора и обозначают LD_{50} (или CD_{50}).

Критерий LD_{50} , показывающий, какая доза препарата (или излучения) необходима для данной популяции, чтобы вероятность гибели особей составила 50%, определяют статистическим путем. Для этого всю подопытную совокупность разбивают на группы и на каждую независимую группу, состоящую из большого числа особей, воздействуют изучаемым препаратом в различных все возрастающих дозах. В первой группе с минимальной дозой погибнут (или заболеют), очевидно, наименее устойчивые особи; во второй группе, где препарат применен в большей дозе, кроме наименее устойчивых особей, погибнет еще и часть более устойчивых и т. д. В итоге получается статистически нарастающий ряд, в котором гибель увеличивается с повышением дозы препарата.

Многочисленные экспериментальные данные, полученные в радиобиологии, токсикологии и микробиологии, показывают, что зависимость между долей отрицательно (или положительно) реагирующих особей на биологически активный препарат выражается кривой, имеющей сложную S-образную форму (рис. 74). Эта кривая не симметрична — крутизна изгиба нижней и верхней кривой не

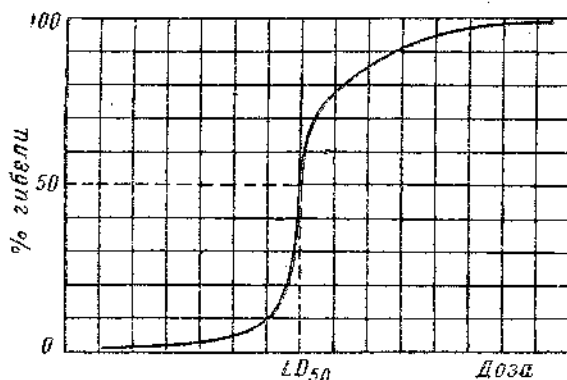


Рис. 74. Типичная кривая, выражающая зависимость процента гибели от дозы (эффект-доза).

одинакова. Математическая обработка данных, представленных графически в такой форме, очень сложна. Чтобы сделать возможной линейную интерполяцию и графически определить LD_{50} или, если это необходимо, любую другую дозы смертности, например LD_{95} или LD_{99} (кроме 0 и 100%), нужно подобрать такое преобразование координатных осей, после которого график будет представлен прямой линией.

Таким образом, решение задачи значительно упростилось бы, если S-образную кривую трансформировать в прямую линию, так как для прямой линии подобрать по нескольким экспериментальным точкам наилучшее положение проще, чем для кривой такого сложного типа. Нередко с достаточной достоверностью это можно сделать на глаз.

Существует несколько методов трансформации S-образной кривой в прямую линию (И. П. Ашмарин и А. А. Воробьев, 1962; М. Л. Беленький, 1963; К. А. Гар, 1963; В. Ю. Урбах, 1964). Ниже излагается наиболее простой способ.

На оси абсцисс откладывают логарифмы доз изучаемого препарата (или дозы облучения), а по оси ординат — процентное выражение гибели подопытных особей, трансформированное в условные вероятностные величины, называемые *пробит* (от английского *probability unit* — вероятностная единица).

Значения пробит, соответствующие данному проценту гибели особей, находят по таблице 58.

Пример. Препарат хлориндан испытывали в качестве контактного инсектицида на мухах, которых помещали в чашки по 20—25 штук (К. А. Гар, 1963). Изучали несколько концентраций препарата, причем для каждой из концентраций использовали по девять параллельных чашек. Определяли гибель мух в каждой чашке, а затем по данным гибели в девяти чашках вычисляли среднюю частоту гибели для каждой дозы препарата.

Таблица для преобразования процента частоты гибели особей в пробиты

Гибель (в %)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33

В таблице 59 приведены данные о средней гибели мух в зависимости от концентрации инсектицида и сделаны преобразования этих величин, необходимые для трансформации S-образной кривой в прямую линию, превращением процентов в пробиты (по табл. 58), а доз в их логарифмы (по таблице логарифмов или нижней шкале логарифмической линейки).

Таблица 59

Результаты опыта по испытанию действия хлориндана на мух

Доза (концентрация, в мг/л) <i>D</i>	Средняя гибель (в %)	Преобразованные значения доз и процента гибели	
		$\lg D$ (ось <i>X</i>)	значение пробит (ось <i>Y</i>)
250	13	2,398	3,87
500	15	2,699	3,96
1000	22	3,000	4,23
2000	39	3,301	4,72
8000	66	3,903	5,41

Теперь есть все необходимые данные для построения графика, выражающего зависимость «эффект-доза». По оси абсцисс откладывают логарифмы доз препарата, а по оси ординат — значения пробит. Через найденные точки проводят прямую линию, которая путем интерполяции позволяет определить LD_{50} или, если это необходимо, любую другую дозу гибели, например LD_{95} (рис. 75).

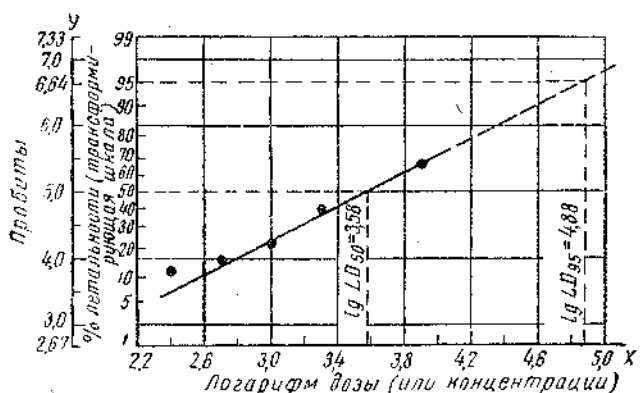


Рис. 75. Обработка результатов опыта по испытанию инсектицида с помощью пробит-анализа (расчет LD_{50} и приблизительная оценка LD_{95}).

Для получения наилучшей точности при определении LD_{50} опыт необходимо ставить так, чтобы экспериментальные точки на графике находились по разные стороны от значений LD_{50} . При выборе наилучшего положения прямой линии ее нужно располагать как можно ближе ко всем точкам, но в первую очередь к тем, которые соответствуют летальности от 15 до 85%. В данном примере провести такую прямую нетрудно. Удобнее всего это делать при помощи прозрачной линейки.

После нахождения зависимости эффект-доза легко определить LD_{50} , а также приблизительно оценить любые другие значения дозы, соответствующие определенному проценту летальности. Необходимые для этого графические построения указаны на том же рисунке 75. Они настолько просты, что не нуждаются в подробных комментариях. Так, для 50%-ной гибели (пробит равен 5) $lg LD_{50} = 3,58$. По антилогарифмам находят дозу LD_{50} , которая составляет 2800 мг/л хлориндана. Аналогично определяют концентрацию и для LD_{95} , которая составляет 75 800 мг/л хлориндана. Во всех приведенных выше расчетах логарифмы и антилогарифмы вычислены по нижней шкале логарифмической линейки.

Описанный метод относится к категории простейших модификаций системы пробитов. Он позволяет лишь приблизительно оценить LD_{95} и LD_{99} , по нему нельзя рассчитать доверительные интервалы этих значений. Поэтому возможны некоторые погрешности в установлении правильного угла наклона прямой, выражающей зависимость «эффект-доза» и, следовательно, в оценке LD_{95} и LD_{99} (на точности определения LD_{50} это сказывается незначительно). Чтобы избежать этих недочетов и провести линию, наилучшим образом отвечающую экспериментально установленным точкам, необходимо применять более сложные модификации системы пробитов, которые

изложены в специальных руководствах *. Однако использование сложных вычислительных методов не всегда приносит пользу, так как в большинстве случаев такая точность не нужна и может послужить лишь источником неоправданных иллюзий. Кроме того, в пробит-анализе, как указывает В. Ю. Урбах (1963), основной причиной неточностей является другой фактор, а именно, логарифмическая кривая эффекта, которая даже для генеральной совокупности не всегда имеет нормальную форму.

* И. П. Ашмарин и А. А. Воробьев. Статистические методы в микробиологических исследованиях, М., Медгиз, 1962; И. Л. Беленький. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. М., Медгиз, 1963; К. А. Гар. Методы испытания токсичности и эффективности инсектицидов. М., Сельхозиздат, 1963.

ПРИЛОЖЕНИЯ

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ТАБЛИЦЕЙ КВАДРАТОВ И КВАДРАТНЫХ КОРНЕЙ (ТАБЛ. 4)

Квадрат целого числа (N) находят в третьем столбце (N^2). При возведении в квадрат десятичной дроби, например 0,85, ее необходимо преобразовать в целое число 85 (умножая на 100) и по таблице найти квадрат этого числа ($85^2 = 7225$). Найденное число нужно разделить на 100^2 , или 10 000. В результате получается $\frac{7225}{10\,000} = 0,7225$.

Квадратный корень из целых трехзначных чисел (N) находят во втором столбце ($\sqrt{N}$), а из целых чисел, больших 1000, определяют приближенно: в третьем столбце (N^2) берут число, ближайшее к тому, из которого нужно извлечь корень, а ответ получают в первом (N) столбце ($\sqrt{N^2} = N$).

Для извлечения корня из десятичной дроби ее необходимо преобразовать так, чтобы число знаков справа от запятой было четным; например, 0,2 нужно преобразовать в 0,20 и получить дробь $\frac{20}{100}$.

Для извлечения корня из числителя пользуются таблицей: корень из 20 составляет 4,4721, а корень из 100 равен 10. Следовательно, корень квадратный из 0,2 будет равен $\frac{4,4721}{10} = 0,44721$.

Таблица 1

Стандартные значения критерия t (критерий Стьюдента)

Число степеней свободы ν	Уровень вероятности (значности)			Число степеней свободы ν	Уровень вероятности (значности)		
	0,95 (0,05)	0,90 (0,10)	0,999 (0,001)		0,95 (0,05)	0,90 (0,10)	0,999 (0,001)
1	12,7	63,7	637,0	13	2,2	3,0	4,1
2	4,3	9,9	31,6	14—15	2,1	3,0	4,1
3	3,2	5,8	12,9	16—17	2,1	2,9	4,0
4	2,8	4,6	8,6	18—20	2,1	2,9	3,9
5	2,6	4,0	6,9	21—24	2,1	2,8	3,8
6	2,4	3,7	6,0	25—28	2,1	2,8	3,7
7	2,4	3,5	5,3	29—30	2,0	2,8	3,7
8	2,3	3,4	5,0	31—34	2,0	2,7	3,7
9	2,3	3,3	4,8	35—42	2,0	2,7	3,6
10	2,2	3,2	4,6	43—62	2,0	2,7	3,5
11	2,2	3,1	4,4	63—175	2,0	2,6	3,4
12	2,2	3,1	4,3	176 и больше	2,0	2,6	3,3

Стандартные значения критерия F для уровня вероятности 0,95 (значности 0,05)

Число степеней свободы ν_2 для меньшей дисперсии	Число степеней свободы ν_1 для большей дисперсии, которая берется числителем												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	∞
1	164	200	216	225	230	234	237	239	241	242	245	249	254
2	185	192	192	193	193	193	194	194	194	194	194	195	195
3	101	96	93	91	90	89	89	88	88	88	87	86	85
4	77	69	66	64	63	62	61	60	60	60	59	58	56
5	66	58	54	52	51	50	49	48	48	47	47	45	44
6	60	51	48	45	44	43	42	42	41	41	40	38	37
7	56	47	44	41	40	39	38	37	37	36	36	34	32
8	53	45	41	38	37	36	35	34	34	33	33	31	29
9	51	43	39	36	35	34	33	32	32	31	31	29	27
10	50	41	37	35	33	32	31	31	30	30	29	27	25
11	48	40	36	34	32	31	30	30	29	29	28	26	24
12	48	39	35	33	31	30	29	28	28	27	27	25	23
13	47	38	34	32	30	29	28	27	26	26	25	23	21
14	46	37	33	31	30	29	28	27	26	26	25	23	21
15	45	37	33	31	29	28	27	26	26	25	24	22	20
16	45	36	32	30	29	27	27	26	26	25	24	22	20
17	45	36	32	30	28	27	26	25	25	24	23	21	19
18	44	36	32	29	28	27	26	25	24	24	23	21	19
19	44	35	31	29	27	26	25	24	24	24	23	21	18
20	44	35	31	29	27	26	25	24	24	23	22	20	18
22	43	34	31	28	27	26	25	24	24	23	22	20	17
24	43	34	30	28	26	25	24	24	23	22	22	20	17
26	42	34	30	27	26	25	24	23	23	22	22	20	17
28	42	33	30	27	26	24	24	23	22	22	21	19	16
30	42	33	29	27	25	24	23	22	22	21	21	18	15
40	41	32	29	26	25	23	22	21	21	20	20	17	14
60	40	32	28	25	24	23	22	21	20	20	19	16	13
120	39	31	27	25	23	22	21	20	20	19	18	15	12
∞	38	30	26	24	22	21	20	19	19	18	18	15	12

Стандартные значения критерия F для уровня вероятности 0,99 (значности 0,01)

Число степеней свободы v_1 для большей дисперсии, которая берется числителем														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	∞	
Изменяется от 4052 до 6366														
1	98,5	99,0	99,2	99,3	99,3	99,4	99,3	99,3	99,4	99,4	99,4	99,5	99,5	
2	34,1	39,8	29,5	28,7	28,2	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1	26,6	26,1	
3	21,2	18,0	16,7	16,0	15,5	15,2	15,0	14,8	14,7	14,5	14,4	13,9	13,5	
4	16,3	13,3	12,1	11,4	11,0	10,7	10,4	10,3	10,2	10,0	9,9	9,5	9,0	
5	13,7	10,9	9,8	9,2	8,8	8,5	8,3	8,1	8,0	7,9	7,7	7,3	6,9	
6	12,3	9,6	8,5	7,9	7,5	7,2	7,0	6,8	6,7	6,6	6,5	6,1	5,7	
7	11,3	8,7	7,6	7,0	6,6	6,4	6,2	6,0	5,9	5,8	5,7	5,3	4,9	
8	10,6	8,0	6,9	6,4	6,1	5,8	5,6	5,5	5,4	5,3	5,1	4,7	4,3	
9	10,0	7,6	6,6	6,0	5,6	5,4	5,2	5,1	5,0	4,8	4,7	4,3	3,9	
10	9,7	7,2	6,2	5,7	5,3	5,1	4,9	4,7	4,6	4,5	4,4	4,0	3,6	
11	9,3	6,9	6,0	5,4	5,1	4,8	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2	3,8	3,4	
12	9,1	6,7	5,7	5,2	4,9	4,6	4,4	4,3	4,2	4,1	4,0	3,6	3,2	
13	8,9	6,5	5,6	5,0	4,7	4,5	4,3	4,1	4,0	3,9	3,8	3,4	3,0	
14	8,7	6,4	5,4	4,9	4,6	4,3	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7	3,3	2,9	
15	8,5	6,2	5,3	4,8	4,4	4,2	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,2	2,8	
16	8,4	6,1	5,2	4,7	4,3	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,1	2,7	
17	8,3	6,0	5,1	4,6	4,3	4,0	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,0	2,6	
18	8,2	5,9	5,0	4,5	4,2	3,9	3,8	3,6	3,5	3,4	3,3	2,9	2,5	
19	8,1	5,9	4,9	4,4	4,1	3,9	3,7	3,6	3,5	3,4	3,2	2,8	2,4	
20	7,9	5,7	4,8	4,3	4,0	3,8	3,6	3,5	3,4	3,3	3,1	2,7	2,3	
22	7,8	5,6	4,7	4,2	3,9	3,7	3,6	3,3	3,2	3,1	3,0	2,6	2,2	
24	7,7	5,5	4,6	4,1	3,8	3,6	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	2,6	2,1	
26	7,6	5,5	4,6	4,1	3,8	3,5	3,4	3,2	3,1	3,0	2,9	2,5	2,1	
28	7,6	5,4	4,5	4,0	3,7	3,5	3,3	3,2	3,1	3,0	2,8	2,4	2,0	
30	7,5	5,3	4,4	3,9	3,6	3,3	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,3	1,8	
40	7,3	5,2	4,3	3,8	3,5	3,3	3,1	2,8	2,7	2,6	2,5	2,1	1,6	
60	7,1	5,0	4,1	3,7	3,3	3,1	3,0	2,7	2,6	2,5	2,3	2,0	1,4	
120	6,9	4,8	4,0	3,5	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6	2,5	2,3	2,0	1,4	
∞	6,6	4,6	3,8	3,3	3,0	2,8	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	1,8	1,0	

Таблица случайных чисел

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
5354	9142	0847	5393	5416	6505	7156	5634	9703	6221
0905	6986	9396	3975	9255	0537	2479	4589	0562	5345
1420	0470	8679	2328	3939	1292	0406	5428	3789	2882
3218	9080	6604	1813	8209	7039	2086	3369	4437	3798
9697	8431	4387	0622	6893	8788	2320	9358	5904	9539
0912	4964	0502	9683	4636	2861	2876	1273	7870	2030
4636	7072	4868	0601	3894	7182	8417	2367	7032	1003
2515	4734	9878	6761	5636	2949	3979	8650	3430	0635
5964	0412	5012	2369	6461	0678	3693	2928	3740	8047
7848	1523	7904	1521	1455	7089	8094	9872	0898	7174
5192	2571	3643	0707	3434	6818	5729	8614	2498	4129
8438	8325	9886	1805	0226	2310	3675	5058	2515	2388
8166	8325	0319	5436	6838	2460	6433	0644	7428	8556
9158	8263	6504	2562	1160	1526	1816	9690	1215	9590
6061	3525	4048	0382	4224	7148	8259	6526	5340	4064
5407	2818	0520	5941	1740	5149	9844	2847	1502	0763
0469	0435	2858	7116	3297	8454	5146	9803	1694	7949
7805	8428	5745	8141	8465	4795	1895	4487	2323	1068
7294	1214	0170	9643	7891	7304	8278	2315	7139	5594
5480	2843	9803	3828	1717	6312	0384	6252	1200	7264
1017	0106	1414	9736	3886	4753	3589	3864	0073	3626
0858	1727	3020	1831	2878	2838	1319	2199	6457	5798
8396	8903	2156	1031	6182	5094	1931	9188	1672	1510
7813	4209	5295	0605	9080	6940	9657	3423	2191	3636
2712	2516	0968	7526	2176	4057	9023	2327	4311	0281
7141	7871	2878	2990	3907	8375	6005	9452	7702	9468
2418	9661	0436	1223	9708	9354	0707	4238	0756	2190
5230	6208	2742	1087	9639	6813	1063	2620	8913	7777
3517	1376	7866	6584	6381	0218	1101	3192	5965	5250
0319	0951	3976	6372	3518	1859	9038	3474	5150	3621
7526	7460	5644	8640	0643	0916	3238	0177	2592	0264
5172	1898	6030	6677	8827	7821	9933	9523	4563	7391
2023	0950	1896	4729	1789	1111	1157	0266	0438	7535
3632	3816	4575	0738	4923	4131	0819	3361	3992	6702
0761	2838	6166	8534	5353	5737	1204	2325	2036	4714
7016	8946	5601	8984	2419	2783	8590	3063	5848	9072
8805	6267	4375	4632	7808	8335	3880	4311	8913	3182
2064	9558	0364	3464	2736	3804	0474	6169	4134	7038
4213	4917	8188	2680	9255	2981	9758	0123	2914	1370
4806	1435	4151	6129	3524	1766	0515	2039	4041	9498

XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
9659	0750	8629	0194	6464	0634	8768	4848	0194	0639
7435	8509	9929	5957	4316	9312	7117	9064	7057	4001
8928	3136	6694	9665	1451	6567	4323	3181	5109	3803
7239	8606	3422	5973	6871	0155	6452	4970	0064	2755
6189	4230	8842	8438	9307	1993	1261	0895	1946	0721
9391	0686	6258	6814	9452	9514	1625	0575	2862	2083
0575	5454	7607	8466	7397	5756	7990	7610	3372	7152
2414	3177	0522	6092	5676	2929	7822	9547	1248	5755
4959	1786	5229	5278	3729	5064	3769	4515	2149	2965
7675	5917	7563	7030	7828	3616	0843	5470	1623	8090
7078	3631	2322	2047	3286	2853	8383	6822	6753	5308
2220	0437	5423	0810	5365	3907	5452	3024	0542	6031
7110	1373	9254	9108	2496	8006	4461	3778	0713	8893
9851	5629	7187	4853	1237	1492	3482	4313	7445	9948
6272	1304	1074	2756	0501	3960	5341	5065	4350	2813
0460	6740	3087	7367	1510	0142	1294	7070	1181	6363
9737	2169	0233	4574	6973	6758	5101	0205	7507	7921
3619	6262	9775	7757	4508	8184	3815	7849	1557	5250
0602	3479	1161	6929	8317	2102	2746	5610	4462	0140
3853	9505	6494	0678	2866	0959	5326	4237	7029	4665
8483	1223	3556	2706	5042	5398	5914	2514	6782	0368
6029	3224	1083	0760	9293	6219	4021	5596	1043	5036
8760	6130	5437	5343	4563	9173	3945	7036	8215	8423
2720	2112	3924	9134	5201	2807	4084	2252	2226	9363
1912	8824	0637	0520	7326	8968	6495	4658	6495	1083
5868	5689	4508	4536	3991	5623	5779	6276	2797	2328
2574	6594	2240	5166	7082	7160	9697	1886	6571	5291
6291	7653	1658	8788	3523	0933	8410	6362	1666	0159
7866	6282	5705	3932	8230	2036	8946	5436	8854	3701
3150	9072	2852	6215	6340	6721	7466	6534	9246	2118
7082	6795	8979	8646	9154	5855	6947	5058	0606	3293
4977	2369	9315	7552	0336	8120	4330	9904	4837	8922
0248	0745	1741	1868	9947	9546	0537	8238	3041	4219
0228	7397	7161	0895	5027	7360	9844	0821	0327	3745
7509	8680	5253	5011	2165	1079	4021	2304	1605	6511
0361	5101	0516	9602	9774	5919	1464	7224	4458	6878
9142	2931	2063	5424	0995	8087	6516	8730	1546	0333
1995	8420	0149	2121	5327	0348	0717	0596	0795	1876
3834	7322	1831	4954	0920	3973	6602	6572	9270	8661
5697	4107	3677	5806	7453	0404	0779	8327	4036	7234

Таблица квадратных корней и квадратов

N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2
1	1,0000	1	46	6,7823	2 116	91	9,5394	8 281
2	1,4142	4	47	6,8557	2 209	92	9,5917	8 464
3	1,7321	9	48	6,9282	2 304	93	9,6487	8 649
4	2,0000	16	49	7,0000	2 401	94	9,6954	8 836
5	2,2361	25	50	7,0711	2 500	95	9,7468	9 025
6	2,4495	36	51	7,1414	2 601	96	9,7980	9 216
7	2,6458	49	52	7,2111	2 704	97	9,8489	9 409
8	2,8284	64	53	7,2801	2 809	98	9,8995	9 604
9	3,0000	81	54	7,3485	2 916	99	9,9499	9 801
10	3,1623	100	55	7,4162	3 025	100	10,0000	10 000
11	3,3166	121	56	7,4833	3 136	101	10,0499	10 201
12	3,4641	144	57	7,5498	3 249	102	10,0995	10 404
13	3,6056	169	58	7,6158	3 364	103	10,1489	10 609
14	3,7417	196	59	7,6811	3 481	104	10,1980	10 816
15	3,8730	225	60	7,7460	3 600	105	10,2470	11 025
16	4,0000	256	61	7,8102	3 721	106	10,2956	11 236
17	4,1231	289	62	7,8740	3 844	107	10,3441	11 449
18	4,2426	324	63	7,9373	3 969	108	10,3923	11 664
19	4,3589	361	64	8,0000	4 096	109	10,4403	11 881
20	4,4721	400	65	8,0623	4 225	110	10,4881	12 100
21	4,5826	441	66	8,1240	4 356	111	10,5357	12 321
22	4,6904	484	67	8,1854	4 489	112	10,5830	12 544
23	4,7958	529	68	8,2462	4 624	113	10,6301	12 769
24	4,8990	576	69	8,3066	4 761	114	10,6771	12 996
25	5,0000	625	70	8,3666	4 900	115	10,7238	13 225
26	5,0990	676	71	8,4261	5 041	116	10,7703	13 456
27	5,1962	729	72	8,4853	5 184	117	10,8167	13 689
28	5,2915	784	73	8,5440	5 329	118	10,8628	13 924
29	5,3852	841	74	8,6023	5 476	119	10,9087	14 161
30	5,4772	900	75	8,6603	5 625	120	10,9545	14 400
31	5,5678	961	76	8,7178	5 776	121	11,0000	14 641
32	5,6569	1 024	77	8,7750	5 929	122	11,0454	14 884
33	5,7446	1 089	78	8,8318	6 084	123	11,0905	15 129
34	5,8310	1 156	79	8,8882	6 241	124	11,1355	15 376
35	5,9161	1 225	80	8,9443	6 400	125	11,1803	15 625
36	6,0000	1 296	81	9,0000	6 561	126	11,2250	15 876
37	6,0828	1 369	82	9,0554	6 724	127	11,2694	16 129
38	6,1644	1 444	83	9,1104	6 889	128	11,3137	16 384
39	6,2450	1 521	84	9,1652	7 056	129	11,3578	16 641
40	6,3246	1 600	85	9,2195	7 225	130	11,4018	16 900
41	6,4031	1 681	86	9,2736	7 396	131	11,4455	17 161
42	6,4807	1 764	87	9,3274	7 569	132	11,4891	17 424
43	6,5574	1 849	88	9,3808	7 744	133	11,5326	17 689
44	6,6332	1 936	89	9,4340	7 921	134	11,5758	17 956
45	6,7082	2 025	90	9,4868	8 100	135	11,6190	18 225

N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2
136	11,6619	18 496	181	13,4536	32 761	226	15,0333	51 067
137	11,7047	18 769	182	13,4907	33 124	227	15,0665	51 529
138	11,7473	19 044	183	13,5277	33 489	228	15,0997	51 984
139	11,7898	19 321	184	13,5647	33 856	229	15,1327	52 441
140	11,8322	19 600	185	13,6015	34 225	230	15,1658	52 900
141	11,8743	19 881	186	13,6382	34 596	231	15,1987	53 361
142	11,9164	20 164	187	13,6748	34 969	232	15,2315	53 824
143	11,9583	20 449	188	13,7113	35 344	233	15,2643	54 289
144	12,0000	20 736	189	13,7477	35 721	234	15,2971	54 756
145	12,0416	21 025	190	13,7840	36 100	235	15,3297	55 225
146	12,0830	21 316	191	13,8203	36 481	236	15,3623	55 696
147	12,1244	21 609	192	13,8564	36 864	237	15,3948	56 169
148	12,1655	21 904	193	13,8924	37 249	238	15,4272	56 644
149	12,2066	22 201	194	13,9284	37 636	239	15,4596	57 121
150	12,2474	22 500	195	13,9642	38 025	240	15,4919	57 600
151	12,2882	22 801	196	14,0000	38 416	241	15,5242	58 081
152	12,3288	23 104	197	14,0357	38 809	242	15,5563	58 564
153	12,3693	23 409	198	14,0712	39 204	243	15,5885	59 049
154	12,4097	23 716	199	14,1067	39 601	244	15,6205	59 536
155	12,4499	24 025	200	14,1421	40 000	245	15,6525	60 025
156	12,4900	24 336	201	14,1774	40 401	246	15,6844	60 516
157	12,5300	24 649	202	14,2127	40 804	247	15,7162	61 009
158	12,5698	24 964	203	14,2478	41 209	248	15,7480	61 504
159	12,6095	25 281	204	14,2829	41 616	249	15,7797	62 001
160	12,6491	25 600	205	14,3178	42 025	250	15,8114	62 500
161	12,6886	25 921	206	14,3527	42 436	251	15,8430	63 001
162	12,7279	26 244	207	14,3875	42 849	252	15,8745	63 504
163	12,7671	26 569	208	14,4222	43 264	253	15,9060	64 009
164	12,8062	26 896	209	14,4568	43 681	254	15,9374	64 516
165	12,8452	27 225	210	14,4914	44 100	255	15,9687	65 025
166	12,8841	27 556	211	14,5258	44 521	256	16,0000	65 536
167	12,9228	27 889	212	14,5602	44 944	257	16,0312	66 049
168	12,9615	28 224	213	14,5945	45 369	258	16,0624	66 564
169	13,0000	28 561	214	14,6287	45 796	259	16,0935	67 081
170	13,0384	28 900	215	14,6629	46 225	260	16,1245	67 600
171	13,0767	29 241	216	14,6969	46 656	261	16,1555	68 121
172	13,1149	29 584	217	14,7309	47 089	262	16,1864	68 644
173	13,1529	29 929	218	14,7648	47 524	263	16,2173	69 169
174	13,1909	30 276	219	14,7986	47 961	264	16,2481	69 696
175	13,2288	30 625	220	14,8324	48 400	265	16,2788	70 225
176	13,2665	30 976	221	14,8661	48 841	266	16,3095	70 756
177	13,3041	31 329	222	14,8997	49 284	267	16,3401	71 289
178	13,3417	31 684	223	14,9332	49 729	268	16,3707	71 824
179	13,3791	32 041	224	14,9666	50 176	269	16,4012	72 361
180	13,4164	32 400	225	15,0000	50 625	270	16,4317	72 900

N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2
271	16,4621	73 441	316	17,7764	99 856	361	19,0000	130 321
272	16,4924	73 984	317	17,8045	100 489	362	19,0263	131 044
273	16,5227	74 529	318	17,8326	101 124	363	19,0526	131 769
274	16,5529	75 076	319	17,8606	101 761	364	19,0788	132 496
275	16,5831	75 625	320	17,8885	102 400	365	19,1050	133 225
276	16,6132	76 176	321	17,9165	103 041	366	19,1311	133 956
277	16,6433	76 729	322	17,9444	103 684	367	19,1572	134 689
278	16,6733	77 284	323	17,9722	104 329	368	19,1833	135 424
279	16,7033	77 841	324	18,0000	104 976	369	19,2094	136 161
280	16,7332	78 400	325	18,0278	105 625	370	19,2354	136 900
281	16,7631	78 961	326	18,0555	106 276	371	19,2614	137 641
282	16,7929	79 524	327	18,0831	106 929	372	19,2873	138 384
283	16,8226	80 089	328	18,1108	107 584	373	19,3132	139 129
284	16,8523	80 656	329	18,1384	108 241	374	19,3391	139 876
285	16,8819	81 225	330	18,1659	108 900	375	19,3649	140 625
286	16,9115	81 796	331	18,1934	109 561	376	19,3907	141 376
287	16,9411	82 369	332	18,2209	110 224	377	19,4165	142 129
288	16,9706	82 944	333	18,2483	110 889	378	19,4422	142 884
289	17,0000	83 521	334	18,2757	111 556	379	19,4679	143 641
290	17,0294	84 100	335	18,3030	112 225	380	19,4936	144 400
291	17,0587	84 681	336	18,3303	112 896	381	19,5192	145 161
292	17,0880	85 264	337	18,3576	113 569	382	19,5448	145 924
293	17,1172	85 849	338	18,3848	114 244	383	19,5704	146 689
294	17,1464	86 436	339	18,4120	114 921	384	19,5959	147 456
295	17,1756	87 025	340	18,4391	115 600	385	19,6214	148 225
296	17,2047	87 616	341	18,4662	116 281	386	19,6469	148 996
297	17,2337	88 209	342	18,4932	116 964	387	19,6723	149 769
298	17,2627	88 804	343	18,5203	117 649	388	19,6977	150 544
299	17,2916	89 401	344	18,5472	118 336	389	19,7231	151 321
300	17,3205	90 000	345	18,5742	119 025	390	19,7484	152 100
301	17,3494	90 601	346	18,6011	119 716	391	19,7737	152 881
302	17,3781	91 204	347	18,6279	120 409	392	19,7990	153 664
303	17,4069	91 809	348	18,6548	121 104	393	19,8242	154 449
304	17,4356	92 416	349	18,6815	121 801	394	19,8494	155 236
305	17,4642	93 025	350	18,7083	122 500	395	19,8746	156 025
306	17,4929	93 636	351	18,7350	123 201	396	19,8997	156 816
307	17,5214	94 249	352	18,7617	123 904	397	19,9249	157 609
308	17,5499	94 864	353	18,7883	124 609	398	19,9499	158 404
309	17,5784	95 481	354	18,8149	125 316	399	19,9750	159 201
310	17,6068	96 100	355	18,8414	126 025	400	20,0000	160 000
311	17,6352	96 721	356	18,8680	126 736	401	20,0250	160 801
312	17,6635	97 344	357	18,8944	127 449	402	20,0499	161 604
313	17,6918	97 969	358	18,9209	128 164	403	20,0749	162 409
314	17,7200	98 596	359	18,9473	128 881	404	20,0998	163 216
315	17,7482	99 225	360	18,9737	129 600	405	20,1246	164 025

N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2
406	20,1494	164 836	451	21,2368	203 401	496	22,2711	246 016
407	20,1742	165 649	452	21,2603	204 304	497	22,2935	247 009
408	20,1990	166 464	453	21,2838	205 209	498	22,3159	248 004
409	20,2237	167 281	454	21,3073	206 116	499	22,3383	249 001
410	20,2485	168 100	455	21,3307	207 025	500	22,3607	250 000
411	20,2731	168 921	456	21,3542	207 936	501	22,3830	251 001
412	20,2978	169 744	457	21,3776	208 849	502	22,4054	252 004
413	20,3224	170 569	458	21,4009	209 764	503	22,4277	253 009
414	20,3470	171 396	459	21,4243	210 681	504	22,4499	254 016
415	20,3715	172 225	460	21,4476	211 600	505	22,4722	255 025
416	20,3961	173 056	461	21,4709	212 521	506	22,4944	256 036
417	20,4206	173 889	462	21,4942	213 444	507	22,5167	257 049
418	20,4450	174 724	463	21,5174	214 369	508	22,5389	258 064
419	20,4695	175 561	464	21,5407	215 296	509	22,5610	259 081
420	20,4939	176 400	465	21,5639	216 225	510	22,5832	260 100
421	20,5183	177 241	466	21,5870	217 156	511	22,6053	261 121
422	20,5426	178 084	467	21,6102	218 089	512	22,6274	262 144
423	20,5670	178 929	468	21,6333	219 024	513	22,6495	263 169
424	20,5913	179 776	469	21,6564	219 961	514	22,6716	264 196
425	20,6155	180 625	470	21,6795	220 900	515	22,6936	265 225
426	20,6398	181 476	471	21,7025	221 841	516	22,7156	266 256
427	20,6640	182 329	472	21,7256	222 784	517	22,7376	267 289
428	20,6882	183 184	473	21,7486	223 729	518	22,7596	268 324
429	20,7123	184 041	474	21,7715	224 676	519	22,7816	269 361
430	20,7364	184 900	475	21,7945	225 625	520	22,8035	270 400
431	20,7605	185 761	476	21,8174	226 576	521	22,8254	271 441
432	20,7846	186 624	477	21,8403	227 529	522	22,8473	272 484
433	20,8087	187 489	478	21,8632	228 484	523	22,8692	273 529
434	20,8327	188 356	479	21,8861	229 441	524	22,8910	274 576
435	20,8567	189 225	480	21,9089	230 400	525	22,9129	275 625
436	20,8806	190 096	481	21,9317	231 361	526	22,9347	276 676
437	20,9045	190 969	482	21,9545	232 324	527	22,9565	277 729
438	20,9284	191 844	483	21,9773	233 289	528	22,9783	278 784
439	20,9523	192 721	484	22,0000	234 256	529	23,0000	279 841
440	20,9762	193 600	485	22,0227	235 225	530	23,0217	280 900
441	21,0000	194 481	486	22,0454	236 196	531	23,0434	281 961
442	21,0238	195 364	487	22,0681	237 169	532	23,0651	283 024
443	21,0476	196 249	488	22,0907	238 144	533	23,0868	284 089
444	21,0713	197 136	489	22,1133	239 121	534	23,1084	285 156
445	21,0950	198 025	490	22,1359	240 100	535	23,1301	286 225
446	21,1187	198 916	491	22,1585	241 081	536	23,1517	287 296
447	21,1424	199 809	492	22,1811	242 064	537	23,1733	288 369
448	21,1660	200 704	493	22,2036	243 049	538	23,1948	289 444
449	21,1896	201 601	494	22,2261	244 036	539	23,2164	290 521
450	21,2132	202 500	495	22,2486	245 025	540	23,2379	291 600

N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2
541	23,2594	292 681	586	24,2074	343 396	631	25,1197	398 161
542	23,2809	293 764	587	24,2281	344 569	632	25,1396	399 424
543	23,3024	294 849	588	24,2487	345 744	633	25,1595	400 689
544	23,3238	295 936	589	24,2693	346 921	634	25,1794	401 956
545	23,3452	297 025	590	24,2899	348 100	635	25,1992	403 225
546	23,3666	298 116	591	24,3105	349 281	636	25,2190	404 496
547	23,3880	299 209	592	24,3311	350 464	637	25,2389	405 769
548	23,4094	300 304	593	24,3516	351 649	638	25,2587	407 044
549	23,4307	301 401	594	24,3721	352 836	639	25,2784	408 321
550	23,4521	302 500	595	24,3926	354 025	640	25,2982	409 600
551	23,4734	303 601	596	24,4131	355 216	641	25,3180	410 881
552	23,4947	304 704	597	24,4336	356 409	642	25,3377	412 164
553	23,5160	305 809	598	24,4540	357 604	643	25,3574	413 449
554	23,5372	306 916	599	24,4745	358 801	644	25,3772	414 736
555	23,5584	308 025	600	24,4949	360 000	645	25,3969	416 025
556	23,5797	309 136	601	24,5153	361 201	646	25,4165	417 316
557	23,6008	310 249	602	24,5357	362 404	647	25,4362	418 609
558	23,6220	311 364	603	24,5561	363 609	648	25,4558	419 904
559	23,6432	312 481	604	24,5764	364 816	649	25,4755	421 201
560	23,6643	313 600	605	24,5967	366 025	650	25,4951	422 500
561	23,6854	314 721	606	24,6171	367 236	651	25,5147	423 801
562	23,7065	315 844	607	24,6374	368 449	652	25,5343	425 104
563	23,7276	316 969	608	24,6571	369 664	653	25,5539	426 409
564	23,7487	318 096	609	24,6779	370 881	654	25,5734	427 716
565	23,7697	319 225	610	24,6982	372 100	655	25,5930	429 025
566	23,7908	320 356	611	24,7184	373 321	656	25,6125	430 336
567	23,8118	321 489	612	24,7386	374 544	657	25,6320	431 649
568	23,8328	322 624	613	24,7588	375 769	658	25,6515	432 964
569	23,8537	323 761	614	24,7790	376 996	659	25,6710	434 281
570	23,8747	324 900	615	24,7992	378 225	660	25,6905	435 600
571	23,8956	326 041	616	24,8193	379 456	661	25,7099	436 921
572	23,9165	327 184	617	24,8395	380 689	662	25,7294	438 244
573	23,9374	328 329	618	24,8596	381 924	663	25,7488	439 569
574	23,9583	329 476	619	24,8797	383 161	664	25,7682	440 896
575	23,9792	330 625	620	24,8998	384 400	665	25,7876	442 225
576	24,0000	331 776	621	24,9199	385 641	666	25,8070	443 556
577	24,0208	332 929	622	24,9399	386 884	667	25,8263	444 889
578	24,0416	334 084	623	24,9600	388 129	668	25,8457	446 224
579	24,0624	335 241	624	24,9800	389 376	669	25,8650	447 561
580	24,0832	336 400	625	25,0000	390 625	670	25,8844	448 900
581	24,1039	337 561	626	25,0200	391 876	671	25,9037	450 241
582	24,1247	338 724	627	25,0400	393 129	672	25,9230	451 584
583	24,1454	339 889	628	25,0599	394 384	673	25,9422	452 929
584	24,1661	341 056	629	25,0799	395 641	674	25,9615	454 276
585	24,1868	342 225	630	25,0998	396 900	675	25,9808	455 625

N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2
676	26,0000	456 976	721	26,8514	519 841	766	27,6767	586 756
677	26,0192	458 329	722	26,8701	521 284	767	27,6948	588 289
678	26,0384	459 684	723	26,8887	522 729	768	27,7128	589 824
679	26,0576	461 041	724	26,9072	524 176	769	27,7308	591 361
680	26,0768	462 400	725	26,9258	525 625	770	27,7489	592 900
681	26,0960	463 761	726	26,9444	527 076	771	27,7669	594 441
682	26,1151	465 124	727	26,9629	528 529	772	27,7849	595 984
683	26,1343	466 489	728	26,9815	529 984	773	27,8029	597 529
684	26,1534	467 856	729	27,0000	531 441	774	27,8209	599 076
685	26,1725	469 225	730	27,0185	532 900	775	27,8388	600 625
686	26,1916	470 596	731	27,0370	534 361	776	27,8568	602 176
687	26,2107	471 969	732	27,0555	535 824	777	27,8747	603 729
688	26,2298	473 344	733	27,0740	537 289	778	27,8927	605 284
689	26,2488	474 721	734	27,0924	538 756	779	27,9106	606 841
690	26,2679	476 100	735	27,1109	540 225	780	27,9285	608 400
691	26,2869	477 481	736	27,1293	541 696	781	27,9464	609 961
692	26,3059	478 864	737	27,1477	543 169	782	27,9643	611 524
693	26,3249	480 249	738	27,1662	544 644	783	27,9821	613 089
694	26,3439	481 636	739	27,1846	546 121	784	28,0000	614 656
695	26,3629	483 025	740	27,2029	547 600	785	28,0179	616 225
696	26,3818	484 416	741	27,2213	549 081	786	28,0357	617 793
697	26,4008	485 809	742	27,2397	550 564	787	28,0535	619 369
698	26,4197	487 204	743	27,2580	552 049	788	28,0713	620 944
699	26,4386	488 601	744	27,2764	553 536	789	28,0891	622 521
700	26,4575	490 000	745	27,2947	555 025	790	28,1069	624 100
701	26,4764	491 401	746	27,3130	556 516	791	28,1247	625 681
702	26,4953	492 804	747	27,3313	558 009	792	28,1425	627 264
703	26,5141	494 209	748	27,3496	559 504	793	28,1603	628 849
704	26,5330	495 616	749	27,3679	561 001	794	28,1780	630 436
705	26,5518	497 025	750	27,3861	562 500	795	28,1957	632 025
706	26,5707	498 432	751	27,4044	564 001	796	28,2135	633 616
707	26,5895	499 849	752	27,4226	565 504	797	28,2312	635 209
708	26,6083	501 264	753	27,4408	567 009	798	28,2489	636 804
709	26,6271	502 681	754	27,4591	568 516	799	28,2666	638 401
710	26,6458	504 100	755	27,4773	570 025	800	28,2843	640 000
711	26,6646	505 521	756	27,4955	571 536	801	28,3019	641 601
712	26,6833	506 944	757	27,5136	573 049	802	28,3196	643 204
713	26,7021	508 369	758	27,5318	574 564	803	28,3373	644 809
714	26,7208	509 796	759	27,5500	576 081	804	28,3549	646 416
715	26,7395	511 225	760	27,5681	577 600	805	28,3725	648 025
716	26,7582	512 656	761	27,5862	579 121	806	28,3901	649 636
717	26,7769	514 089	762	27,6043	580 644	807	28,4077	651 249
718	26,7955	515 524	763	27,6225	582 169	808	28,4253	652 864
719	26,8142	516 961	764	27,6405	583 696	809	28,4429	654 481
720	26,8328	518 400	765	27,6586	585 225	810	28,4605	656 100

N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2
811	28,4781	657 721	856	29,2575	732 736	901	30,0167	811 801
812	28,4956	659 344	857	29,2746	734 449	902	30,0333	813 604
813	28,5132	660 969	858	29,2916	736 164	903	30,0500	815 409
814	28,5307	662 596	859	29,3087	737 881	904	30,0666	817 216
815	28,5482	664 225	860	29,3258	739 600	905	30,0832	819 025
816	28,5657	665 856	861	29,3428	741 321	906	30,0998	820 836
817	28,5832	667 489	862	29,3598	743 044	907	30,1164	822 649
818	28,6007	669 124	863	29,3769	744 769	908	30,1330	824 464
819	28,6182	670 761	864	29,3939	746 496	909	30,1496	826 281
820	28,6356	672 400	865	29,4109	748 225	910	30,1662	828 100
821	28,6531	674 041	866	29,4279	749 956	911	30,1828	829 921
822	28,6705	675 684	867	29,4449	751 689	912	30,1993	831 744
823	28,6880	677 329	868	29,4618	753 424	913	30,2159	833 569
824	28,7054	678 976	869	29,4788	755 161	914	30,2324	835 396
825	28,7228	680 625	870	29,4958	756 900	915	30,2490	837 225
826	28,7402	682 276	871	29,5127	758 641	916	30,2655	839 056
827	28,7576	683 929	872	29,5296	760 384	917	30,2820	840 889
828	28,7750	685 584	873	29,5466	762 129	918	30,2985	842 724
829	28,7924	687 241	874	29,5635	763 876	919	30,3150	844 561
830	28,8097	688 900	875	29,5804	765 625	920	30,3315	846 400
831	28,8271	690 561	876	29,5973	767 376	921	30,3480	848 241
832	28,8444	692 224	877	29,6142	769 129	922	30,3645	850 084
833	28,8617	693 889	878	29,6311	770 884	923	30,3809	851 929
834	28,8791	695 556	879	29,6479	772 641	924	30,3974	853 776
835	28,8964	697 225	880	29,6648	774 400	925	30,4138	855 625
836	28,9137	698 896	881	29,6816	776 161	926	30,4302	857 476
837	28,9310	700 569	882	29,6985	777 924	927	30,4467	859 329
838	28,9482	702 244	883	29,7153	779 689	928	30,4631	861 184
839	28,9655	703 921	884	29,7321	781 456	929	30,4795	863 041
840	28,9828	705 600	885	29,7489	783 225	930	30,4959	865 900
841	29,0000	707 281	886	29,7658	784 996	931	30,5123	866 761
842	29,0172	708 964	887	29,7825	786 769	932	30,5287	868 624
843	29,0345	710 649	888	29,7993	788 544	933	30,5450	870 489
844	29,0517	712 336	889	29,8161	790 321	934	30,5614	872 362
845	29,0689	714 025	890	29,8329	792 100	935	30,5778	874 225
846	29,0861	715 716	891	29,8496	793 881	936	30,5941	876 096
847	29,1033	717 409	892	29,8664	795 664	937	30,6105	877 969
848	29,1204	719 104	893	29,8831	797 449	938	30,6268	879 844
849	29,1376	720 801	894	29,8998	799 236	939	30,6431	881 721
850	29,1548	722 500	895	29,9166	801 025	940	30,6594	883 600
851	29,1719	724 201	896	29,9333	802 816	941	30,6757	885 481
852	29,1890	725 904	897	29,9500	804 609	942	30,6920	887 364
853	29,2062	727 609	898	29,9666	806 404	943	30,7083	889 249
854	29,2233	729 316	899	29,9833	808 201	944	30,7246	891 136
855	29,2404	731 025	900	30,0000	810 000	945	30,7409	893 025

N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2	N	$\sqrt{N}$	N^2
946	30,7571	894 916	966	31,0805	933 156	986	31,4006	972 196
947	30,7734	896 809	967	31,0966	935 089	987	31,4166	974 169
948	30,7896	898 704	968	31,1127	937 024	988	31,4325	976 144
949	30,8058	900 601	969	31,1288	938 961	989	31,4484	978 121
950	30,8221	902 500	970	31,1448	940 900	990	31,4643	980 100
951	30,8383	904 401	971	31,1609	942 841	991	31,4802	982 081
952	30,8545	906 304	972	31,1769	944 784	992	31,4960	984 064
953	30,8707	908 209	973	31,1929	946 729	993	31,5119	986 049
954	30,8869	910 116	974	31,2090	948 676	994	31,5278	988 036
955	30,9031	912 025	975	31,2250	950 665	995	31,5436	990 025
956	30,9192	913 936	976	31,2410	952 576	996	31,5595	992 016
957	30,9354	915 849	977	31,2570	954 529	997	31,5753	994 009
958	30,9516	917 764	978	31,2730	956 484	998	31,5911	996 004
959	30,9677	919 681	979	31,2890	958 441	999	31,6070	998 001
960	30,9839	921 600	980	31,3050	960 400	1000	31,6228	1 000 000
961	31,0000	923 521	981	31,3209	962 361			
962	31,0161	925 444	982	31,3369	964 324			
963	31,0322	927 369	983	31,3528	966 289			
964	31,0483	929 296	984	31,3688	968 256			
965	31,0644	931 225	985	31,3847	970 225			

ЛИТЕРАТУРА

- Ашмарин И. П. и Воробьев А. А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. М., Медгиз, 1962.
- Бейли Н. Статистические методы в биологии. Перев. с англ. М., Изд. иностр. лит., 1962.
- Беленький М. Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. М., Медгиз, 1963.
- Бородин И. Н. Краткая методика и техника проведения полевых опытов. Ростов-на-Дону, 1957.
- Боярский А. Я. Статистические методы в экспериментальных медицинских исследованиях. М., Медгиз, 1955.
- Браун Д. Методы исследования и учета растительности. Перев. с англ. М., Изд. иностр. лит., 1957.
- Бузин Н. П. Методика полевых опытов в виноградарстве. Труды ин-та «Магарач», т. 4, вып. 1, 1959.
- Вагнер Ф. Техника полевых опытов. Перев. с нем. М., изд. «Колос», 1965.
- Вольф В. Г. Статистическая обработка опытных данных, М., изд. «Колос», 1966.
- Гейслер Т. О единой методике проведения опытов в овощеводстве. Международный с.-х. журнал, № 1, 1966.
- Гар К. А. Методы испытания токсичности и эффективности инсектицидов. М., Сельхозиздат, 1963.
- Демолон А. Опыты в агрономии. Раздел в книге «Рост и развитие культурных растений». Перев. с франц. М., Сельхозгиз, 1961.
- Деревицкий Н. Ф. Опытное дело в растениеводстве. Кишинев, 1962.
- Длин А. М. Математическая статистика в технике. М., изд. «Советская наука», 1958.
- Добров Г. М. Наука о науке. Киев, изд. «Наукова думка», 1966.
- Йейтс Ф. Выборочный метод в переписях и обследованиях. Перев. с англ. М., Статиздат, 1965.
- Климентов Б. В. Полевые опыты в колхозах и совхозах. М., Сельхозгиз, 1959.
- Константинов П. Н. Основы сельскохозяйственного опытного дела. М., Сельхозгиз, 1952.
- Кудрявцева А. А. Методика и техника постановки полевого опыта на стационарных участках. М., Сельхозгиз, 1959.
- Макаров С. Н. Научные основы методики опытного дела в виноградарстве. Труды Молдавского п.-п. ин-та садоводства, виноградарства и виноделия, т. 9, Кишинев, 1964.
- Меркурьева Е. К. Основы биометрии. Изд. МГУ, 1963.
- Методика государственного сортоиспытания с.-х. культур, вып. 1—5. М., Сельхозиздат, 1961—1964.
- Методика математической обработки лабораторных опытов по изучению качества семян. М., изд. «Колос», 1964.
- Методика опытных работ на сенокосах и пастбищах. Сборник статей. Сельхозгиз, 1961.
- Методика полевого опыта. Сборник статей. Сельхозгиз, 1959.
- Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами. М., изд. «Наука», 1967.
- Методика полевых и вегетационных опытов с хлопчатником в условиях орошения, изд. 2-е., Ташкент, 1961.
- Методические указания по географической сети опытов с удобрениями, вып. 1—13. М., ВИАУ, 1959—1966.

- Методические указания по проведению полевых опытов на орошаемых землях. Киев, изд. «Урожай», 1965.
- Методические указания по закладке опытов с плодово-ягодными культурами и виноградом в Казахской ССР. Труды ин-та плодоводства и виноградарства, т. 1, ч. 2. Алма-Ата, 1961.
- Методические указания по статистической обработке урожайных данных Государственного сортоиспытания с.-х. культур. Составлены В. Н. Перегудовым. Изд. МСХ СССР, 1960.
- Мордэкай Езекиэл и Карл А. Фокс. Методы анализа корреляций и регрессии. Перев. с англ. М., изд. «Статистика», 1966.
- Назаров И. Н. Производственный эксперимент и его роль в познании. М., Соцэкгиз, 1962.
- Налимов В. В. Применение математической статистики при анализе вещества. М., Физматгиз, 1960.
- Наука о науке. Сб. статей. Перев. с англ. Под ред. В. Н. Столетова. М., изд. «Прогресс», 1966.
- Перегудов В. Н. Статистические методы обработки данных полевого опыта. М., Сельхозгиз, 1948.
- Плохинский Н. А. Дисперсионный анализ. Новосибирск, изд. Сибирского отд. АН СССР, 1961.
- Прянишников Д. Н. Полевые опыты с удобрениями. Избр. соч., т. 1. М., Сельхозгиз, 1952.
- Регирер Е. И. О профессии исследователя в точных науках. М., изд. «Наука», 1966.
- Рожественский Б. Н. Методика опытно-исследовательского дела по полеводству. Киев, 1958.
- Рокитский П. Ф. Биологическая статистика. Минск, 1964.
- Романовский В. И. Применение математической статистики в опытном деле. М., Гостехиздат, 1947.
- Сазанов В. И. Сельскохозяйственное опытное дело в растениеводстве и его методика. М., Сельхозиздат, 1962.
- Сведекор Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. Перевод с англ. М., изд. Сельхозгиз, 1961.
- Тюрин А. В. Основы вариационной статистики в применении к лесоводству. М., Гослесбуиздат, 1961.
- Уншарт Дж., Сандерс Г. Основы методики полевого опыта. Перев. с англ. М., изд. иностр. лит., 1958.
- Урбах В. Ю. Биометрические методы. М., изд. «Наука», 1964.
- Федоров А. И. Методы математической статистики в биологии и опытном деле. Алма-Ата, 1957.
- Финни Д. Д. Применение статистики в опытном деле. Перев. с англ. М., Госстатиздат, 1957.
- Фишер Р. А. Статистические методы для исследователей. Перев. с англ. М., Госстатиздат, 1958.
- Шубин М. М. Организация и методика полевых опытов в колхозах и совхозах. М., изд. «Колос», 1965.
- Щиголев Б. М. Математическая обработка наблюдений. М., Госфизматиздат, 1962.
- Баров В., Шанни Й. Методика на польския опит. София, 1965.
- Mudra A. Einführung in die Methodik der Feldversuche. Leipzig, 1952.
- Mudra A. Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche. Berlin und Hamburg, 1958.
- Solomon S. C., Hanson A. A. The principles and practice of agricultural research. London, 1964.
- Zimmermann K. Technik der Versuchswesens und der Pflanzenzüchtung. Leipzig, 1955.
- Zimmermann K. Praktische Pflanzenzüchtung. Jena, 1961.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Методика полевого опыта	
§ 1. Методы научной агрономии	7
Лабораторный метод	12
Вегетационный метод	14
Полевой метод	18
§ 2. Планирование и организация полевого опыта	25
Виды полевых опытов	25
Планирование исследования	29
Выбор и подготовка земельного участка для опыта	39
Влияние основных элементов методики на точность полевого опыта	50
§ 3. Методы размещения полевых опытов	64
Стандартные методы	6
Систематические методы	6
Случайные методы	6
§ 4. Техника закладки и проведения полевых опытов	
Разбивка опытного участка	
Полевые работы на опытном участке	
Особенности проведения опытов в условиях орошения	
Наблюдения и учеты в период вегетации	
Учет урожая	
Документация и отчетность по полемому опыту	
§ 5. Особенности методики полевого опыта при работе с отдельными культурами	16
Опыты на сенокосах и пастбищах	16
Овощные культуры	169
Плодовые и ягодные культуры	177
Виноград	189
§ 6. Постановка полевых опытов к колхозам и совхозам	197
2. Основы статистической обработки результатов исследований	
§ 1. Основные статистические характеристики вариационных рядов	213
Количественная изменчивость	215
Группировка и обработка данных при количественной изменчивости	224
Качественная изменчивость	229
§ 2. Закономерности распределения результатов наблюдений	234
§ 3. Оценка сущности разности выборочных средних	243
Оценка разности средних независимых выборок	246
Оценка разности средних сопряженных выборок	249
Оценка разности между выборочными долями	253
§ 4. Дисперсионный анализ	256

§ 5. Статистическая обработка данных полевого опыта	-
Предварительная обработка данных	-
Восстановление выпавших данных	-
Обработка опытов, проведенных методом обычных повторений	-
Обработка опытов, проведенных стандартными методами	-
Латинский квадрат	-
Латинский прямоугольник	-
Обработка данных полевых и лабораторных наблюдений (анализы)	-
§ 6. Статистическая обработка данных вегетационных опытов	-
§ 7. Корреляция и регрессия	-
§ 8. Пробы-анализ	-
Приложения	-
Литература	-

Доспехов Борис Александрович

МЕТОДИКА ПОЛЕВОГО ОПЫТА (с основами статистической обработки результатов исследований). 2-е изд., перераб. и доп. М., «Колос», 1968.
336 с. (Уч.-кн. и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

УДК 631.421:31.077.2

Редактор Л. М. Исфедова
Художественный редактор З. П. Зубрилина
Технический редактор Л. М. Белова
Корректор В. М. Русилова

Сдано в набор 20/VI 1967 г. Подписано к печати 9/II 1968 г. Т-03642. Формат 60х90 мм.
Бумага тип. № 3. Печ. л. 21. Уч.-изд. л. 21,91. Изд. № 362. Т. л. 1968 г. № 267.
Тираж 31000 экз. Заказ № 1470. Цена 83 коп.

Издательство «Колос», Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19.

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» имени А. М. Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР, г. Ленинград, Гатчинская ул., 26.