

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

П. А. Саскевич, А. Л. Исакова, С. С. Мосур

МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗАЩИТЕ РАСТЕНИЙ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия для студентов
учреждений образования, обеспечивающих получение
общего высшего образования по специальности
6-05-0811-05 Защита растений и карантин*

Горки
БГСХА
2024

УДК 632:001.891(075.8)

ББК 44я73

С20

*Рекомендовано методической комиссией
агротехнологического факультета 24.09.2024 (протокол № 1)
и Научно-методическим советом БГСХА 25.09.2024 (протокол № 1)*

Авторы:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *П. А. Саскевич*;
кандидат сельскохозяйственных наук *А. Л. Исакова*;
кандидат сельскохозяйственных наук *С. С. Мосур*

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
академик НАН Беларуси *Ф. И. Привалов*;
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *Г. А. Жолік*

Саскевич, П. А.

С20 Методы научных исследований в защите растений : учебно-методическое пособие / П. А. Саскевич, А. Л. Исакова, С. С. Мосур. – Горки : БГСХА, 2024. – 153 с.
ISBN 978-985-882-591-1.

В учебно-методическом пособии дана характеристика основных методов математической обработки экспериментальных данных, статистических методов проверки гипотез, планирования полевых опытов по защите растений и методов диагностики и учета вредных объектов.

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение общего высшего образования по специальности 6-05-0811-05 Защита растений и карантин.

УДК 632:001.891(075.8)

ББК 44я73

ISBN 978-985-882-591-1

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2024

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- μ – средняя генеральной совокупности;
 $\mu \pm 2\sigma^2$ – дисперсия генеральной совокупности;
 σ – стандартное отклонение генеральной совокупности;
 X – значение варьирующего признака;
 \bar{x} – выборочная средняя, арифметическая средняя;
 S^2 – выборочная дисперсия, средний квадрат;
 S – выборочное стандартное отклонение, среднее квадратическое отклонение;
 V – коэффициент вариации, изменчивости;
 $S\bar{x}$ – средняя ошибка выборочной средней;
 l – число вариантов;
 n – повторность, объем выборки;
 N – общее число наблюдений в опыте;
 ν – число степеней свободы;
 P – вероятность;
 P_1 – уровень значимости;
 t_{ϕ} – фактическое значение критерия t Стьюдента;
 t_{05}, t_{01} – табличные значения критерия t для 5%-ного и 1%-ного уровня значимости;
 F_{ϕ} – фактическое значение критерия F Фишера;
 F_{05}, F_{01} – табличные значения критерия F для 5%-ного и 1%-ного уровня значимости;
 χ_{ϕ}^2 – фактическое значение критерия хи-квадрат Пирсона;
 χ_{05}^2, χ_{01}^2 – табличные значения критерия хи-квадрат для 5%-ного и 1%-ного уровня значимости;
 H_0 – нулевая гипотеза;
 $НСР_{05}, НСР_{01}$ – наименьшие существенные разности для 5%-ного и 1%-ного уровня значимости;
 C – корректирующий фактор (поправка) в дисперсионном анализе;
 S_r – ошибка коэффициента линейной корреляции;
 b_{yx} – коэффициент регрессии Y по X ;
 S_b – ошибка коэффициента регрессии;
 S_{yx} – ошибка отклонения от регрессии;
 Σ – сумма, знак суммирования.

ВВЕДЕНИЕ

Для правильной постановки полевого опыта необходимы определенные теоретические знания, так как организация и проведение полевых исследований подчинены целому комплексу общепринятых методических приемов, требований и принципов. Квалифицированный специалист по защите растений должен иметь ясное представление о существующих методах полевых исследований.

Учитывая большую изменчивость природных объектов и явлений, невозможно проводить даже самые простые эксперименты без использования математических методов планирования и обработки опытных данных. Методы математической статистики позволяют правильно определить оптимальное количество исследуемых объектов, составить рациональную схему эксперимента, выбрать способ обработки и интерпретации экспериментальных данных при условии оптимального распределения рабочего времени, необходимых материалов и оборудования.

В заранее спланированном эксперименте и при наблюдениях в естественных условиях исследователь сталкивается с одновременным влиянием на объект множества внешних факторов. При этом важно определить условия, которые оказывают наибольшее влияние на изучаемый процесс, а также органы и системы организма, определяющие реакцию на это воздействие. Результаты эксперимента будут иметь соответствующую ценность только при установлении первичных связей, а не отдаленных последствий или вторичных несущественных явлений. Поэтому конечный результат исследовательской работы определяется совокупностью полезного эффекта от правильного применения методов математической статистики, современной компьютерной техники и личных творческих качеств, профессионализма самого экспериментатора.

Целью учебно-методического пособия является ознакомление студентов с основными методами научных исследований в защите растений, планирования, техники закладки и проведения экспериментов, математической обработки экспериментальных данных, статистическими методами проверки гипотез.

Глава 1. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научное исследование приобщает студента и специалиста к поиску лучших элементов агротехники и технологий, дает решения важнейших вопросов сельскохозяйственного производства в сложных и постоянно меняющихся условиях, вырабатывает творческое мышление.

Проведение экспериментов в сельском хозяйстве неизбежно требует количественной оценки явлений и процессов. Дальнейшее развитие агрономии требует разработки:

- схем опытов для выяснения влияния на урожайность сельскохозяйственных культур различных факторов (применения средств защиты растений, регуляторов роста, удобрений, способов обработки почвы, различий в сортах и т. д.);

- методов математического анализа результатов опыта;

- способов доказательства достоверности влияния того или иного фактора.

В связи с этим вопросы качества научных исследований, т. е. строгого соблюдения требований методики опытного дела и объективной оценки экспериментальных данных, а также планомерное и повсеместное внедрение новейших достижений науки, передовой практики и техники приобретают особую важность и актуальность.

***Научное исследование** – процесс изучения, эксперимента, концептуализации и проверки теории, связанный с получением научных знаний.*

Различают **фундаментальные** и **прикладные** научные исследования.

***Фундаментальные** научные исследования – экспериментальная или теоретическая деятельность, направленная на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества, окружающей природной среды.*

Результаты этих исследований используются для разработки технологий выращивания определенных культур. Исследования при этом обычно ведутся на грани известного и неизвестного, поэтому требуют часто от исследователя большого напряжения ума и интуиции, вклада больших материальных затрат.

***Прикладные** научные исследования – исследования, направленные преимущественно на применение новых знаний для достижения практических целей и решения конкретных задач.*

Прикладные исследования часто направлены на изучение факторов жизни растений и закономерностей связи между растением и средой, на создание перспективных сортов и гибридов, разработку эффективных приемов повышения урожая и качества продукции.

Конечная цель всех прикладных исследований – внедрение их результатов в практику. Разновидностью прикладных исследований являются поисковые исследования – поиск принципиально новых приемов возделывания сельскохозяйственных культур, создание комплексостойчивых сортов и т. д.

Общая задача каждого научного исследования – познание законов природы, поиск путей и средств их использования в практической деятельности.

Все исследования ведутся на *трех взаимосвязанных уровнях*: **экспериментальном, теоретическом и описательно-обобщающем**.

На *экспериментальном* уровне ставят эксперименты, накапливают факторы, анализируют их, обобщают и делают практические выводы. Эксперименты на конкретных объектах называются *физическими*. Выделяют и *мысленные* эксперименты, т. е. логическое рассуждение о том, как изменится явление, процесс, если изменить условия, которые не могут быть осуществлены в действительности по техническим или другим причинам. Все эксперименты являются источником теоретических представлений.

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

Теория (от греч. *theoria* – учение) – форма достоверных научных знаний:

– представляющая собой множество логически увязанных между собой допущений и суждений;

– дающая целостное представление о закономерностях и существенных характеристиках объектов;

– основывающаяся на окружающей реальности.

Это мысленное отражение и воспроизведение действительности, в том числе и эксперимента.

Концепция (от лат. *conceptio* – ведущая мысль) – основополагающая идея теории.

Критерии правильности научной теории – эксперимент и практика, т. е. теория используется для более глубокого понимания эксперимента, а эксперимент служит исходным материалом для создания теории.

На **описательно-обобщающем** уровне исследований описываются явления, происходящие в природе, это наблюдения за ростом и развитием растений в зависимости от погоды, за прохождением фенологических фаз: морозостойкостью, засухоустойчивостью и т. д. Для подобных наблюдений не требуются эксперименты, познание материального мира происходит путем наблюдений, накопления фактов и их использования. Познание ведется путем **суждений и умозаключений**.

Суждение – форма мышления, с помощью которой утверждают либо отрицают что-либо.

Умозаключение – мыслительная операция, с помощью которой из связанных между собой последовательных суждений выводят новые знания.

Метод – способ познания явлений природы и общественной жизни с целью построения и обоснования системы знаний, т. е. это упорядоченная деятельность исследователя, направленная на получение новых знаний

Используемые методы подразделяют на **всеобщие, общенаучные и специальные**.

Всеобщий метод применяют на всех уровнях исследований: экспериментальном, теоретическом и описательно-обобщающем, это системный подход в науке.

Работая в любой области науки, изучая любой вопрос, исследователь обязательно использует всеобщий метод, который требует рассматривать явления, объекты, предметы и все результаты исследований в их связи, взаимодействии, взаимообусловленности (*почва и растения*); в движении и изменении (*корни и надземная часть*); во времени и пространстве (*место на опытном участке*); как переход количественных изменений в качественные (*начало плодоношения*); как борьбу противоположностей, которая ведет к развитию (*растение и погода*).

Общенаучные методы широко используются в науке и включают: *выдвижение рабочих гипотез, эксперимент, наблюдения, анализ, синтез, индукцию, абстрагирование, конкретизацию, проведение аналогий, моделирование, формализацию, создание теорий.*

Выдвижение рабочих гипотез.

Гипотеза – научное предположение, выдвигаемое для объяснения некоторого явления и требующее верификации.

Конкурирующая гипотеза – альтернативное объяснение результатов исследования, которое с логической точки зрения не может быть верным, если верна исходная гипотеза.

Рабочая гипотеза – эмпирически не проверенное предположение, предсказывающее существование некоторой зависимости между переменными или объектами. Рабочие гипотезы используются для выработки предварительного плана научного исследования.

Нулевая гипотеза – предположение об отсутствии взаимосвязи или корреляции между исследуемыми переменными.

Альтернативная гипотеза – предположение, принимаемое в случае отклонения нулевой гипотезы. Альтернативная гипотеза утверждает положительную связь между изучаемыми переменными.

Если гипотезы как новые предположения выдвигаются на основе уже известных знаний, то это будут *обоснованные предположения*.

Например, каждый сорт плодовых, овощных и других культур имеет свои потенциальные урожайные возможности. Если сорт дает меньший урожай, то выдвигают рабочую гипотезу: возможно, недостаточен уровень минерального питания, и его следует повысить; режим влажности почвы не соответствует потребностям растений, и его надо изменить; необходимо увеличить число растений на гектаре и т. п.

Каждую из этих гипотез выдвигают на основе того, что уже наблюдалось в практике. Если селекционеры предлагают новый сорт, то рабочая гипотеза о его перспективности выдвигается на основании характеристики этого сорта, которую дает госкомиссия по сортоиспытанию.

Кроме обоснованных гипотез, иногда выдвигают и простые догадки, которые возникают на основе интуиции, профессионального чутья исследователя с большим опытом работы. Наиболее вероятные, правдоподобные гипотезы проверяют в *эксперименте*.

Эксперимент – это научно поставленный опыт, при котором явление вызывают искусственным путем или активно и направленно воздействуют на изучаемый объект и процессы.

Исследователь ставит изучаемый объект в различные, заранее запланированные условия, и в этом заключается преимущество эксперимента. Существенно также, что изучаемые явления можно вызвать в любое время, не ожидая, пока они возникнут в природе: организовать полив, не ожидая дождя; с помощью удобрения восстановить питательный режим почвы, не ожидая, пока это произойдет естественным путем; обрезать деревья, не ожидая естественного самоизреживания ветвей и формирования кроны. Важно также, что в одном опыте можно искусственно вызывать не одно, а несколько явлений, расчлняя их в процессе проведения опыта и анализа результатов.

В эксперименте можно сравнивать не только отдельные элементы агротехники, но и целые технологии, например интенсивную технологию выращивания культур с обычной, которая применялась раньше.

Эксперимент (опыт) – это ведущий метод агрономических исследований. Чтобы выявить лучшие агроприемы или технологии возделывания той или иной культуры, используют *наблюдение*.

Наблюдение – метод сбора первичной информации путем непосредственной регистрации исследователем событий, явлений и процессов, происходящих в определенных условиях, т. е. внимательное изучение явлений эксперимента или природы, их количественная и качественная регистрация.

Примеры наблюдений: определение даты распускания почек, цветения, завязывания плодов, роста побегов, листьев, созревания плодов, листопада и др. Наблюдают также за повреждением растений вредителями, поражением болезнями, морозо- и засухоустойчивостью, за динамикой питательного и водного режимов почвы, растений и т. п. Одно из главных наблюдений во всех экспериментах – учет урожая и его качества.

Все учеты и наблюдения необходимо проводить по методикам, соответствующим стандартам, пользуясь при этом приборами (весы, термометры, колориметры и др.), которые прошли необходимую проверку.

Наблюдения за явлениями природы включают учет атмосферных осадков, температур воздуха и почвы, влажности воздуха, числа солнечных дней, дат наступления первых заморозков осенью и последних весной, начала вегетации и цветения, их конца и т. д. В результате таких наблюдений можно сделать ценные выводы о пригодности тех или иных пород и сортов для новых зон, о возможности агроклиматического районирования плодовых и овощных культур.

Статистическое наблюдение – сбор сведений по заранее разработанному плану.

Статистическое наблюдение реализуется посредством отчетности по установленным формам, в установленные сроки; или посредством специально организованных обследований.

В зависимости от количества единиц наблюдаемого объекта различают **сплошные** и **несплошные** (частичные) наблюдения.

В зависимости от времени регистрации фактов различают **текущие** (непрерывные) наблюдения и **прерывные** наблюдения, которое подразделяют на **единовременные** и **периодические**.

Выборочное наблюдение – статистическое несплошное наблюдение, при котором из всей изучаемой совокупности отбирается определенное число единиц (выборочная совокупность), для которых регистрируются все интересующие статистику признаки и на основании которых исчисляются нужные показатели, распространяемые затем на исходную совокупность.

Лабораторное наблюдение – тип наблюдения, при котором сбор информации проводится в искусственно созданных для изучаемой группы условиях, контролируемых исследователем.

Полевое наблюдение – тип наблюдения, осуществляемый в естественных условиях реальной жизни.

Анализ (от греч. *analysis* – разложение) – мысленное или практическое расчленение предмета исследования (явлений и процессов) на составные части для более детального его изучения (составных частей, элементов).

Анализ служит отправной точкой прогнозирования, планирования, управления объектами и протекающими в них процессами.

Так, весь опыт расчленяют на повторности, каждую повторность – на опытные делянки. Растения расчленяют на отдельные органы: корни, побеги, листья, цветки, плоды, которые анализируют отдельно. В плодах определяют содержание сахаров, кислот, витаминов и т. д.

Анализ как метод исследования используют только в соединении с синтезом.

Синтез (от греч. *synthesis* – соединение) – метод научного исследования, состоящий в познании объекта исследования в единстве и взаимосвязи его частей, т. е. это объединение расчлененных и проанализированных частей в единое целое для более полных выводов и обобщений.

Проанализировав данные по каждой повторности, исследователь выводит средние значения по каждому варианту, т. е. объединяет делянки с одинаковыми вариантами. Анализируя каждый вариант, он объединяет их в единый опыт, по которому делает выводы, обобщения и как конечный синтез – рекомендации производству. Таким образом, анализ и синтез, как диалектическое единство и противоположность, помогают лучше определить эффективность изучаемых агроприемов и явлений.

Индукция (от лат. *inductio* – наведение) – это метод, с помощью которого рассуждения ведутся от фактов к конкретным выводам.

Индукция – форма умозаключения от частного к общему.

Так, при увядании листьев делают вывод о недостатке влаги, при пожелтении – о нарушении минерального питания. Если в одном из вариантов опыта выявили самый высокий урожай и высокое качество плодов или ягод, то исследователь делает вывод о целесообразности внедрения этого варианта в производство.

Дедукция (от лат. *deductio* – выведение) – метод рассуждения от общих положений к выводам.

Дедукция – форма умозаключения от общего к частному и единичному.

Например, цветные рисунки листьев плодовых или других растений указывают на недостаток определенных элементов питания. Сравнение фактической окраски листьев с рисунками позволяет путем дедуктивного мышления прийти к выводу о недостатке конкретного элемента питания у определенных растений.

Абстрагирование – это теоретическое обобщение опыта или мысленное выделение главного, самых существенных связей при отвлечении от всех остальных.

Используют два типа абстрагирования: *отождествление* – для образования понятий о системе, о классах; *изолирование* – для выделения главного.

Так, среди десятков вариантов опыта исследователь выделяет те, которые дают существенную прибавку урожая и улучшают его качество. Когда изучают образование органического вещества как результат сложных биохимических, физиологических и других процессов растения, осуществляемых с участием солнечной энергии, то, употребляя слово «фотосинтез», исследователь мысленно абстрагируется от второстепенных процессов и выделяет самое существенное в первичном создании органического вещества на Земле.

Обобщение опыта почвоведения и растениеводства привело к созданию теории почвообразовательных процессов, обобщение науки и практики агрохимии и физиологии растений позволило путем абстрагирования создать теорию минерального питания.

Третий тип абстрагирования – *абстракция идеализации*. Это мысленное представление объектов или процессов, еще не существующих в реальном мире. При этом свойства мысленно изучаемого предмета или явления доводят до идеального значения. Например, хотят вывести сорт, комплексно устойчивый против всех болезней, вредителей, морозоустойчивый, засухоустойчивый, солеустойчивый, высокопродуктивный, с отличными качествами плодов. Абстракцию идеализации

используют сначала для создания научной теории, а затем для осуществления ее на практике.

Конкретизация – метод исследования, с помощью которого от абстрактного переходят к конкретному.

Выделив в создании органического вещества главный процесс – фотосинтез и познав его сущность, исследователь мысленно возвращается к конкретному растению, к его среде, рассматривает взаимодействие растения со всеми факторами жизни. Выделив путем абстрагирования минеральное питание как агрохимический процесс, исследователь мысленно возвращается ко всем остальным процессам, в результате которых создается урожай.

Таким образом, методы абстрагирования и конкретизации весьма тесно связаны между собой, дополняют друг друга и должны использоваться исследователем наряду с такими методами, как анализ и синтез, индукция и дедукция.

Аналогия (от греч. *analogia* – сходство) – метод познания неизвестных предметов и явлений на основании их сходства с известными.

Аналогия служит одним из источников научных гипотез.

Например, в опыт вводят новый сорт яблони, о котором известно, что он по многим показателям аналогичен сорту Антей. Это значит, что новый сорт будет иметь такую же зимостойкость, устойчивость к болезням и вредителям, урожайность, такой же срок съема плодов, как и сорт Антей. Метод аналогии, основанный на сходстве предметов и явлений, составляет основу *моделирования*.

Моделирование (от лат. *modulus* – образец) – метод, который состоит в замене трудно изучаемого предмета или явления на специально созданный аналог, на удобную модель, которая потом исследуется.

Для эффективности таких исследований каждая модель должна сохранять существенные черты оригинала.

Если модель сохраняет физическую природу оригинала, например модель почвы, растительной клетки, органа, то она является *физической*.

Если модель физически не создается, а ее оригинал лишь описывается соответствующими уравнениями, то модель является *математической*.

Например, математическое описание урожая конкретного сорта плодовых культур или винограда в зависимости от факторов жизни. Моделированием являются также составление схемы опыта, вычерчи-

вание размера и формы делянки, изображение на плане метода размещения вариантов и т. д.

Формализация – метод изучения объектов при помощи отдельных элементов их форм, отражающих содержание объекта.

Это может быть, например, формула, описывающая объект.

Теория – метод, с помощью которого мысленно отражается и воспроизводится реальная действительность на основе данных практики и эксперимента.

Это система взаимосвязанных знаний, позволяющая вскрывать основные закономерности развития изучаемого объекта с целью его преобразования в интересах человечества.

Примеры теории как метода исследований: теория цикличности развития многолетних растений, теория обработки почвы, минерального питания растений и др.

1.1. Вычисление и анализ статистических характеристик количественной и качественной изменчивости

Различают 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 массой, высотой, урожаем и др.

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, количество детенышей у животных и т. д. Во втором случае значения вариант выражаются мерами объема, длины, массы и т. д., между которыми возможны любые переходы с неограниченным числом возможных значений.

Качественной изменчивостью называется такое варьирование, когда различия между вариантами выражаются качественными показателями, которые одни варианты имеют, а другие нет (цвет, вкус, форма изучаемого предмета). Если признак принимает только два взаимоисключающих значения (больной – здоровый, безостый – остистый), то изменчивость называется *альтернативной*.

Основными статистическими характеристиками количественной изменчивости являются: средняя арифметическая (\bar{x}), дисперсия (S^2),

среднее квадратическое отклонение (S), коэффициент вариации (V), ошибка средней арифметической ($S_{\bar{x}}$) и относительная ошибка ($S_{\bar{x}}\%$).

Средняя арифметическая является абстрактной величиной, характеризующей всю совокупность в целом. В простейшем случае она находится путем сложения всех вариантов выборки и деления на их число.

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

Как обобщающая характеристика средняя арифметическая (\bar{x}) обладает рядом свойств:

1. С увеличением или уменьшением индивидуальных значений выборки на или во сколько-то раз, средняя арифметическая изменяется таким же образом.

2. На числовой оси средняя арифметическая является центром колебания индивидуальных значений выборочной совокупности.

3. Сумма всех положительных и всех отрицательных отклонений от средней арифметической равна нулю.

$$\sum(X - \bar{x}) = 0.$$

4. Сумма квадратов отклонений от средней арифметической всегда меньше суммы квадратов отклонений от любого произвольного числа A , не равного средней:

$$\sum(X - \bar{x})^2 < \sum(X - A)^2.$$

Средняя арифметическая не показывает индивидуальных колебаний изучаемых признаков. Основными мерами варьирования рассеяния изучаемого признака служат дисперсия и стандартное отклонение.

Дисперсия представляет собой частное от деления суммы квадратов отклонений на число всех измерений без единицы ($n - 1$).

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

Из математической статистики известно, что при определении любых средних величин сумму всех показателей 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 число без единицы, так как одно любое отклонение зависи-

мое и может быть найдено из равенства $\Sigma(X - x)^2 = 0$. Остальные отклонения могут свободно варьировать, принимать любые значения. Число свободно варьирующих величин называется числом степеней свободы. Оно обозначается ν и в простейшем случае равно $n - 1$.

Свойства дисперсии:

1. Дисперсия показывает возможное рассеяние значений индивидуальных признаков относительно среднего значения.

2. Будучи показателем четной степени, она позволяет избавиться от отрицательных значений отклонений от средней, приводящих результаты сложения к нулю.

3. Размерность дисперсии равна квадрату размерности изучаемого признака.

Для перевода меры рассеяния в величину с размерностью изучаемой величины применяют *стандартное или среднее квадратическое отклонение*. Его получают извлечением квадратного корня из дисперсии: $S = \sqrt{S^2}$.

При вычислении дисперсии и стандартного отклонения по основным формулам нередко возникают технические неудобства. Средняя арифметическая обычно получается в виде дробного числа, поэтому отклонения $(X - x)$ и особенно их квадраты $(X - x)^2$ получаются многозначными, что затрудняет расчеты и ведет к ошибкам. Поэтому разработаны способы вычислений, основанные на том, что для получения суммы квадратов центральных отклонений $\Sigma(X - x)^2$ достаточно взять отклонения от любого произвольного числа A (удобно брать целое число, близкое к предполагаемой средней) и произвести расчеты по формуле:

$$\Sigma(-\bar{x})^2 = \Sigma(X - A)^2 - \left[\frac{\Sigma(X - A)}{n} \right]^2 = \Sigma X_1^2 - \frac{(\Sigma X_1)^2}{n}.$$

Стандартное отклонение служит показателем, который дает представление о наиболее вероятной средней ошибке отдельного, единичного измерения, взятого из данной совокупности. В пределах одного значения стандартного отклонения $(x \pm 1S)$ укладывается примерно $\frac{2}{3}$ всех наблюдений (68 % всех вариантов), то есть основное ядро изучаемого ряда величин. Возможны отклонения от средней арифметической, превосходящие $(x \pm 1S)$, но вероятность их по мере удаления от $\pm 1S$ все время уменьшается. Так, вероятность встретить варианту, отклоняющуюся от средней на величину больше $\pm 2S$, составляет 5 %, а больше $\pm 3S$ – всего около 1 %. Поэтому утроенное значение стандартного от-

клонения принято считать предельной ошибкой отдельного наблюдения.

Стандартное отклонение, выраженное в процентах к средней арифметической данной совокупности, называется *коэффициентом вариации* (V):

$$V = \frac{S}{x} 100.$$

Коэффициент вариации является относительным показателем изменчивости. Изменчивость 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 выравненности материала иногда целесообразно использовать величину, дополняющую значение коэффициента вариации до 100. Этот показатель называют *коэффициентом выравненности* и определяют по равенству: $B = 100 - V$.

Вычисление основных статистических характеристик выборочным методом всегда связано с неизбежными ошибками. *Ошибка выборочной средней* является мерой отклонения выборочной средней от средней генеральной совокупности. Она прямо пропорциональна стандартному отклонению и обратно пропорциональна корню квадратному из объема выборки:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Ошибка средней арифметической обладает рядом свойств:

1. Ошибка средней арифметической подчиняется закону нормального распределения. Это свойство дает возможность определить параметры генеральной средней с заданной надежностью $\mu = x \pm tS_x$. Вероятность нахождения генеральной средней в пределах $x \pm 1S_x$ составляет 68 %, в пределах $x \pm 2S_x$ – соответственно 95 % и $x \pm 3S_x$ – достигает 99 % и более.

2. Ошибку средней арифметической можно регулировать, изменяя объем выборки. Для каждой величины ошибки объем выборки определяют по соотношению:

$$n = \left(\frac{S}{S_x} \right)^2.$$

Ошибка средней арифметической выражается в тех же единицах измерения, что и сама средняя. Поэтому сравнить между собой ошибочность определения средних разных признаков одной и той же совокупности бывает затруднительно или даже невозможно. Такое сравнение можно провести, если ошибку выразить в процентах. Ошибка выборки, выраженная в процентах от соответствующей средней, называется *относительной ошибкой выборочной средней*:

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

Относительная ошибка средней прямо пропорциональна абсолютной ошибке и обратно пропорциональна средней арифметической.

Основными статистическими показателями качественной изменчивости являются: доля признака, показатель изменчивости, коэффициент вариации и ошибка выборочной доли.

Доля признака, или относительная численность (частота) отдельной варианты в данной совокупности 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, а во втором – 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:

$$p_1 = \frac{n_1}{N}; p_2 = \frac{n_2}{N}; p_3 = \frac{n_3}{N} \text{ и т. д.}$$

При альтернативной (двойка возможной) изменчивости доля одного признака обозначается через p , а второго через q . На основании очевидного равенства $p + q = 1$ (или 100 %), так как сумма вероятностей двух противоположных событий всегда равна единице (100 %), значение $q = 1 - p$.

Показатель изменчивости качественного признака S характеризует варьирование величин ряда относительно друг друга. Значение показателя изменчивости определяется по формуле

$$S = \sqrt[R]{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \dots \cdot p_R},$$

где p_1, p_2 и т. д. – доли признака (или процентные значения их) в общей совокупности;

R – число градаций признака.

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:

$$S = \sqrt{pq} = \sqrt{0,10 \cdot 0,90} = 0,30 \text{ (или } 30\%).$$

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 $S_{\max} = \sqrt{0,5 \cdot 0,5} = 0,50$ (или 50 %).

Значения максимальной (наибольшей) изменчивости для распределений с разным числом градаций качественных признаков даны в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Число градаций признака

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* – 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 $S = S_{\max}$.

Ошибка выборочной доли S_p – мера отклонения доли признака выборочной совокупности p от его доли по всей генеральной совокупности P вследствие неполной представительности (репрезентативности) выборки. Ошибку доли вычисляют по формуле:

$$S_p = S / \sqrt{N},$$

где S – показатель изменчивости качественного признака;

N – объем выборки.

Для альтернативного варьирования, когда значение $S = \sqrt{pq}$, формула ошибки выборочной доли примет вид:

$$S_p = \sqrt{pq / N}.$$

Здесь p и q могут быть выражены в долях единицы или процентах.

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.

1.2. Теоретические распределения

Различают эмпирические и теоретические распределения частот совокупности результатов наблюдений.

Эмпирическое распределение – распределение результатов измерений, полученных при изучении выборки, например распределение растений по высоте или массе, распределение поверхностных водоемов Могилевской области по содержанию нитратных форм азота и т. д. В основе эмпирического распределения лежат определенные математические закономерности, которые в генеральной совокупности, т. е. при очень большом числе наблюдений ($n \rightarrow \infty$), характеризуются некоторыми теоретическими распределениями.

На основе теоретических распределений построены статистические критерии, которые используются для проверки некоторых гипотез. Наиболее часто в исследовательской работе опираются на нормальное распределение или специальные распределения, получаемые из нормального для определенно поставленной задачи и при ограниченном числе степеней свободы (t , F , χ^2 – распределение, распределение Пуассона).

Нормальное распределение. Нормальным, или гауссовым, называют распределение вероятностей непрерывной случайной величины X , которое описывается следующей функцией:

$$V = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2},$$

где V – ордината кривой, или вероятность;

μ – генеральная средняя (математическое ожидание);

σ – стандартное отклонение генеральной совокупности ($n \rightarrow \infty$);

π и e – константы ($\pi \approx 3,14$; $e = 2,72$).

Положение и форма кривой нормального распределения полностью определяются двумя параметрами: генеральной средой μ , которая находится в центре распределения, и отклонением σ , которое измеряет вариацию отдельных наблюдений около средней. Максимум, или центр, нормального распределения лежит в точке $X = \mu$; точки перегиба кривой находятся при $X_1 = \mu - \sigma$ и $X_2 = \mu + \sigma$.

При $X \pm \infty$ кривая достигает нулевого значения (рис. 1.1).

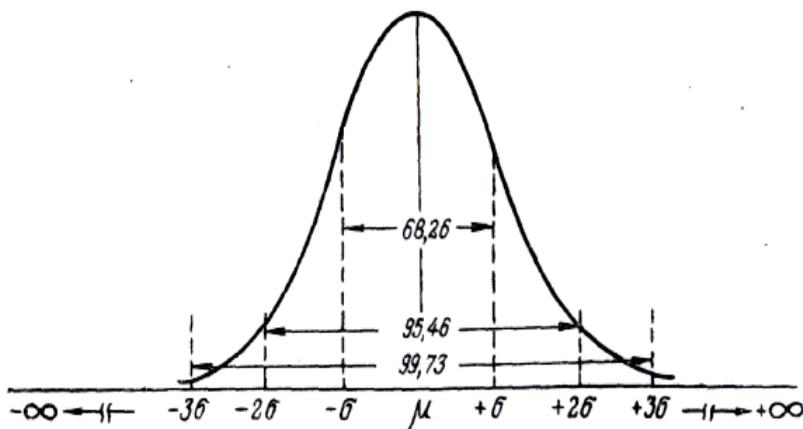


Рис. 1.1. Процент наблюдений (площадь), ограниченный кривой нормального распределения, для различных значений σ

Для нормального распределения характерны следующие закономерности:

1) в области $\mu \pm \sigma$ лежит 68,26 % (почти две трети) всех наблюдений;

2) внутри пределов $\mu \pm 2\sigma$ находится 95,46 % всех значений случайной величины;

3) интервал $\mu \pm 3\sigma$ охватывает 99,73 %, следовательно, практически все значения.

Площадь под кривой, отграниченную от среднего на t стандартных отклонений, выраженную в процентах всей площади, называют статистической надежностью, или уровнем вероятности P , т. е. вероятностью появления значения признака, лежащего в области $\mu \pm t\sigma$. Вероятность того, что значение варьирующего признака находится вне указанных пределов, называется уровнем значимости P_1 . Чем больше уровень вероятности, тем меньше уровень значимости, и наоборот.

Заметим, что средняя μ , дисперсия $\mu \pm 2\sigma^2$ и стандартное отклонение σ – параметры генеральной совокупности, когда ($n \rightarrow \infty$). Выборочные наблюдения позволяют получать оценки этих параметров. Так, выборочная средняя \bar{x} является оценкой генеральной средней μ , выборочная дисперсия S^2 – оценкой σ^2 , выборочное стандартное отклонение s – оценкой σ . Для достаточно больших выборок ($n > 20-30$ и особенно $n > 100$) закономерности нормального распределения, указанные выше для параметров генеральной совокупности, справедливы и для их оценок, а именно: в области $x \pm s$ находится 68,26 %, внутри пределов $x \pm 2s$ – 95,46 % и в интервале $x \pm 3s$ – 99,73 % всех наблюдений.

Результаты различных наблюдений, полевых и вегетационных опытов чаще всего располагаются приблизительно в соответствии с симметричной кривой нормального распределения, когда частоты вариантов, равно отстоящих от средней, равны между собой симметричны. Но нередко некоторые признаки растений и животных дают распределения, значительно отличающиеся от нормального, – *асимметричные*, или скошенные.

Асимметрия может быть положительной, или правосторонней, когда увеличиваются частоты правой части, и отрицательной, или левосторонней, когда увеличиваются частоты левой части вариационной кривой.

Причинами асимметричных распределений могут быть:

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 назы-

ваемые положительные эксцессивные распределения, имеющие вид острой пирамиды с расширенным основанием, или отрицательные эксцессивные распределения, когда в центре их имеется не вершина, а впадина, и вариационная кривая становится двухвершинной.

Многовершинные и двухвершинные кривые в большинстве случаев указывают, что в выборку попали представители нескольких совокупностей с различными средними. Например, посеяна смесь сортов, имеются закономерные различия в плодородии почвы на отдельных частях земельного участка 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.

Нормальное распределение – наиболее часто встречающийся в практике экспериментальной работы закон распределения случайной величины, т. е. величины, значение которой нельзя точно предсказать. Главная его особенность заключается в том, что он является предельным законом, к которому приближаются другие законы распределения.

***t*-распределение Стьюдента.** Закон нормального распределения проявляется при $n > 20-30$. Если же эксперимент проводят, например, в 4–6 повторностях, то естественно ожидать, что среди измерений различных параметров на параллельных делянках (среди показателей микробного числа в речной воде на одной и той же глубине) очень больших отклонений не будет. Поэтому стандартное отклонение s , подсчитанное по малой выборке, в большинстве случаев будет меньше, чем по всей генеральной совокупности σ . 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 название распределения Стьюдента (от англ. *student* – студент, псевдоним В. Госсета).

Распределение *t* Стьюдента для выборочных средних определяется равенством:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{\bar{x} - \mu}{s_x}$$

Числитель формулы означает отклонение выборочной средней от средней совокупности μ , а знаменатель является показателем, оценивающим стандартную ошибку средней генеральной совокупности. Таким образом, величина t измеряется отклонением выборочной средней \bar{x} от средней совокупности μ , выраженным в долях ошибки выборки s , принятой за единицу.

Максимумы частоты нормального и t -распределения совпадают, но форма t -распределения полностью зависит от числа степеней свободы. При очень малых значениях степеней свободы она принимает вид плосковершинной кривой, причем площадь, ограниченная кривой, больше, чем при нормальном распределении, а при увеличении числа наблюдений ($n > 30$) распределение t приближается к нормальному и переходит в него при $n \rightarrow \infty$.

Распределение t Стьюдента имеет важное значение при работе с малыми выборками: позволяет определить доверительный интервал, накрывающий среднюю совокупности μ , и проверить ту или иную гипотезу относительно генеральной совокупности. При этом нет необходимости знать параметры совокупности μ и σ , достаточно иметь их оценки \bar{x} и s для определенного объема выборки n (прил. А).

F -распределение Фишера. Если из нормально распределенной совокупности взять две независимые выборки объемом n_1 и n_2 и подсчитать дисперсии S_1^2 и S_2^2 со степенями свободы $\nu_1 = n_1 - 1$ и $\nu_2 = n_2 - 1$, то можно определить отношение дисперсий:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}.$$

Отношение дисперсий берут таким, чтобы в числителе была большая дисперсия, и поэтому $F \geq 1$.

Распределение F зависит только от числа степеней свободы ν_1 и ν_2 .

Кривые, полученные из функции распределения для всех возможных значений F , особенно при небольшом числе наблюдений, имеют асимметричную форму – длинный «хвост» больших значений и большую концентрацию малых величин F (прил. Б, В).

χ^2 -распределение. Закон распределения χ^2 (хи-квадрат) открыл К. Пирсон. Кривая распределения, полученная из функции хи-квадрат:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f - F)^2}{F},$$

где f – фактические и F – гипотетические частоты численности объектов выборки. Ее вид в сильной степени зависит от числа степеней свободы. Для малого числа степеней свободы ν кривая асимметрична, но с увеличением ν асимметрия уменьшается и при $\nu \rightarrow \infty$ кривая становится нормальной гауссовой.

Критерий χ^2 , или критерий согласия (подобия), используется для оценки степени соответствия эмпирических данных определенным теоретическим предпосылкам, нулевой гипотезе (H_0) (прил. Г).

Распределение Пуассона. Когда наступление некоторого события имеет очень малую вероятность, например небольшое число раз на 1000 и 10 000 обычных явлений, то распределение случайной величины следует определенному закону редких событий, который выражается формулой Пуассона:

$$P_x = \frac{a^x \cdot e^{-a}}{x!},$$

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 $\approx 2,718$.

Распределение Пуассона определяется одним параметром – средней. Дисперсия распределения равна средней, т. е. $s^2 = a$. Отсюда следует, что все теоретические распределения можно построить только на основании одной выборочной средней. Примером такого распределения могут служить количество сорняков в семенном зерне, число клеток в поле зрения микроскопа при большом разбавлении, рождение четырех-шести близнецов.

1.3. Статистические методы проверки гипотез

Любая разность между средними арифметическими двух генеральных совокупностей всегда существенна. В опытной работе обычно сравнивают средние величины не генеральных, а выборочных совокупностей, поэтому приходится доказывать методами математической статистики достоверность различий в действии изучаемых факторов и на основании этого делать выводы и предложения для производства.

Использование статистических методов или критериев проверки гипотез – основа принятия решений при изучении явлений, обусловленных случайной вариацией. Статистическая гипотеза – это научное предположение о тех или иных статистических законах распределения рассматриваемых случайных величин, которое может быть проверено на основе выборки. Почти всегда задача заключается в проверке нулевой гипотезы (H_0) об отсутствии реального различия между фактическими и теоретическими наблюдениями. Если в результате проверки различия между фактическими и ожидаемыми показателями близки к нулю или находятся в области допустимых значений, то нулевая гипотеза не опровергается (подтверждается). Если же различия оказываются критической для данного статистического критерия области, невозможны при нашей гипотезе и поэтому несовместимы с ней, то опровергается. Принятие H_0 гипотезы означает, что данные не противоречат предложению об отсутствии различий между фактическими и теоретическими или двумя рядами фактических распределений. Отбрасывание гипотезы означает, что эмпирические данные несовместимы с H_0 и верна другая, альтернативная гипотеза.

Справедливость H_0 проверяется вычислением статистических критериев проверки для определенного уровня значимости.

Для проверки H_0 используют критерии двух видов: параметрические и непараметрические.

Параметрические критерии – это критерии, основанные на предположении, что распределение признака в совокупности подчиняется известному закону (например, закону нормального распределения). К таким показателям относятся критерии t и S .

Непараметрические критерии – это такие критерии, использование которых не требует вычисления оценок неизвестных параметров распределения и приближенного значения распределения признака. Этими критериями пользуются только в предварительных исследованиях. Статистические показатели выборочной совокупности (выборки) являются приближенными оценками показателей (параметров) генеральной совокупности, оценка может быть точечная (представлена одним числом) или нейтральная.

Зная выборочную среднюю (\bar{x}) и ее ошибку ($S\bar{x}$) можно дать точечную оценку генеральной средней в виде $\bar{x} \pm S\bar{x}$. Это означает, что \bar{x} – оценка генеральной средней μ с ошибкой, равной $S\bar{x}$. Интервальная оценка характеризуется двумя числами – концами интервала, покрывающего оцениваемый параметр. Центр такого интервала – выбо-

рочная оценка точки, а пределы, или доверительные границы, определяются средней ошибкой оценки и уровнем вероятности. Математически доверительный интервал для генеральной средней записывается так:

$$\bar{x} \pm t \cdot S\bar{x},$$

где $t \cdot S\bar{x}$ – предельная ошибка выборочной средней при данном числе степеней свободы и принятом уровне значимости ($t_{0,5}$ или $t_{0,1}$).

Крайние точки интервала (начало $-\bar{x} - t \cdot S\bar{x}$; конец $-\bar{x} + t \cdot S\bar{x}$) называют доверительными границами. Интервальную оценку используют для статистической проверки гипотез при сравнении выборочных средних. Например, при $n = 30$ были получены такие выборочные средние и ошибки средних: $\bar{x}_1 \pm S_{\bar{x}_1} = 37,4 \pm 0,3$; $\bar{x}_2 \pm S_{\bar{x}_2} = 34,8 \pm 0,5$. Необходимо определить существенно ли различаются эти выборочные средние при 5%-ном уровне значимости, т. е. проверить нулевую гипотезу $H_0: \mu_1 - \mu_2 = d = 0$.

Для $\nu = n - 1 = 30 - 1 = 29$ степеней свободы $t_{0,5} = 2,05$, и при 95%-ном уровне вероятности средние доверительные интервалы составят:

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 \pm t_{0,5} \cdot S_{\bar{x}_1} &= 37,4 \pm 2,05 \cdot 0,3 = 37,4 \pm 0,6 (36,8 : 38,0); \\ \bar{x}_2 \pm t_{0,5} \cdot S_{\bar{x}_2} &= 34,8 \pm 2,05 \cdot 0,5 = 34,8 \pm 1,0 (33,8 : 35,8). \end{aligned}$$

Доверительные интервалы для генеральных средних перекрывают друг друга. Поэтому разность между выборочными средними

$d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 2,6$ нельзя переносить на генеральные средние μ_1 и μ_2 , так как генеральная разность между ними может быть равна нулю и быть отрицательной величиной, когда $\mu_2 > \mu_1$, поэтому $H_0: d = 0$ не отвергается.

Нулевую гипотезу об отсутствии существенных различий методом интервальной оценки можно определить другим способом – по формуле: $S_d = \sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2}$, где вначале вычисляется ошибка разности средних (S_d), а затем рассмотренные выше способом рассчитываются доверительные интервалы для генеральной разности средних $d \pm t \cdot S_d$. Величина, указывающая границу предельным случайным отклонениям, называется наименьшей существенной разностью (НСР) и определяется по соотношению $НСР = t \cdot S_d$. Если фактическая разность между

выборочными средними $d \geq \text{НСР}$, то нулевая гипотеза отвергается, а если $d < \text{НСР}$ – не отвергается. НСР используется при построении доверительных интервалов и проверке статистических гипотез.

Доверительный интервал для разности генеральных средних определяется по отношению $d \pm \text{НСР}$, где в этом отношении $\text{НСР} = t \cdot S_d$ – предельная ошибка разности выборочных средних при данном числе степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$ и принятом уровне значимости. Если по величине $\bar{x} \pm t \cdot S\bar{x}$ оцениваются доверительные границы, в которых находятся средняя арифметическая, то по величине стандартного отклонения S оценивается интервал для отдельного значения X и по всей совокупности $\bar{x} \pm t \cdot S$. Внутри этого интервала будут находиться с 95%-ным или 99%-ным уровнем вероятности значения генеральной средней μ и все индивидуальные значения варьирующей величины, где величина $t \cdot S$ – область разброса индивидуальных значений.

При сравнении средних необходимо помнить два момента: средние двух независимых выборок сравнивают, когда единицы наблюдения первой и второй выборок не связаны общим условием; сравнивают те две сопряженные выборки, в которых единицы наблюдения одной выборки сопряжены каким-то общим условием с единицами второй выборки. При сравнении средних двух независимых выборок по t -критерию Стьюдента оценивается сущность разности средних ($d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$), а при сравнении двух сопряженных выборок – сущность средней разности ($d = \sum d : n$).

Оценка разности средних независимых выборок по t -критерию и НСР_{0,5}. В теории статистики ошибка разности или сумма средних арифметических выборок при одинаковом числе наблюдений ($n_1 = n_2$) определяется по формуле:

$$S_d = \sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2},$$

где S_d – ошибка разности или суммы;

$S\bar{x}_1$ и $S\bar{x}_2$ – ошибки сравниваемых средних арифметических \bar{x}_1 и \bar{x}_2 . Гарантией надежности вывода о существенности или несущественности различий между \bar{x}_1 и \bar{x}_2 служит отношение разницы к ее ошибке. Это отношение получило название критерия существенности разности:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2}} = \frac{d}{S_d}.$$

Если $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$, то нулевая гипотеза об отсутствии существенности различий между средними опровергается, а если различия находятся в пределах случайных колебаний для принятого уровня значимости ($H_0: d = 0$) – не опровергается.

Теоретическое значение критерия t находят по таблице Стьюдента, зная, что число степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$ по принятому уровню значимости. Проверить H_0 можно по величине НСР, выраженной в единицах варьирующего признака, когда разность между средними ($d \geq \text{НСР}$) попадает критическую область существенных различий, она признается значимой и H_0 опровергается. Когда $d < \text{НСР}$ и лежит в области случайных колебаний, то H_0 не опровергается. Например, в борьбе с аскохитозом гороха было проведено протравливание семян 80%-ным ТМТД (4 кг/т) и был подсчитан % поражения растений. Необходимо определить 5%-ные доверительные интервалы и проверить значимость действия препарата. В связи с тем, что пробные площадки для учета поражения растений аскохитозом не связаны общим условием, полученные данные следует обрабатывать по типу несопряженных выборок.

Расчеты по выборкам производят в следующем порядке: считают сумму квадратов:

$$\sum (X - \bar{x}_1)^2 = \sum \bar{x}_1^2 - \frac{(\sum \bar{x}_1)^2}{n} = 716 - \frac{4}{10} = 715,6;$$

$$\sum (X - \bar{x}_2)^2 = 70 - \frac{100}{10} = 60;$$

ошибку выборочной средней

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}};$$

$$S_{\bar{x}_1} = \sqrt{\frac{715,6}{10(10-1)}} = 6,14;$$

$$S_{\bar{x}_2} = \sqrt{\frac{60}{10 \cdot (10-1)}} = 1,78;$$

относительную ошибку средней $S_x \% = \frac{S_x}{\bar{x}} \cdot 100$;

доверительный интервал для генеральной средней $\bar{x} \pm t_{0,5} \cdot S_x$.

При степенях свободы $\nu = n - 1 = 10 - 1 = 9$ по таблице Стьюдента находим $t_{0,5} = 2,26$.

Далее получим:

$$\bar{x}_1 \pm t_{0,5} \cdot S_{x1} = 34,2 \pm 2,26 \times 6,14 = 34,2 \pm 13,0 \quad (20,3 : 48,1);$$

$$\bar{x}_2 \pm t_{0,5} \cdot S_{x2} = 10 \pm 2,26 \times 1,78 = 10 \pm 4,0 \quad (6 : 14);$$

Критерий существенности определяется по формуле:

$$t = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}}.$$

Число степеней свободы находят по равенству $\nu = n - 1$, где n – число сопряженных пар.

Полученный критерий $t_{\text{факт}}$ сравнивается с теоретическим, который также находится по таблице при числе степеней свободы, равном $\nu = n_1 + n_2 - 2 = 10 + 10 - 2 = 18$, $t_{\text{теор}} = 2,10$ на 5%-ном уровне значимости. Сравнивая фактическое значение t с теоретическим, определяем, что $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$, значит, разность существенна.

Использование критерия χ^2 (хи-квадрат) для оценки степени соответствия эмпирических данных определенным теоретическим предпосылкам. Критерий χ^2 применяют, когда необходимо установить соответствие двух сравниваемых рядов распределения:

1) в генетическом анализе, когда необходимо убедиться в том, является ли обнаруженное отклонение от теоретически ожидаемого распределения (1:1, 1:3, 9:3, 9:7 и т. д.) закономерным или лежит в пределах возможных случайных колебаний;

2) в защите растений и токсикологии при изучении качественных признаков для оценки соответствия эмпирических данных теоретической предпосылке H_0 .

Нулевая гипотеза отвергается, если $\chi^2_{\text{факт}} > \chi^2_{\text{теор}}$ и не отвергается, если $\chi^2_{\text{факт}} < \chi^2_{\text{теор}}$. Теоретически ожидаемые частоты обозначают через M , а опытные, эмпирически полученные через m . Критерий χ^2 представляет собой сумму отношений квадратов разностей между частотами эмпирического и теоретического распределений к частотам теоретического распределения для данной группы.

$$\chi^2 = \frac{(m_1 - M_1)^2}{M_1} + \frac{(m_2 - M_2)^2}{M_2} + \dots + \frac{(m_n - M_n)^2}{M_n} = \sum \frac{(m - M)^2}{M}.$$

Величина $\chi^2_{\text{теор}}$ зависит от числа степеней свободы, которое определяют по формуле $(c - 1) \cdot (k - 1)$, где c – это число строк, а k – число колонок в анализируемой таблице. Значение $\chi^2_{\text{теор}}$, соответствующее определенному числу степеней свободы, находят по таблицам прил. 1.

Пример 1. При скрещивании двух сортов гороха Г. Мендель во втором поколении получил 355 желтых семян (m_1) и 123 зеленых семени (m_2). Общее количество полученных семян – 478 штук. Соответствуют ли результаты опыта теоретически ожидаемому отношению желтых семян к зеленым как 3:1? В качестве нулевой гипотезы (H_0) принимаем соотношение 3:1.

Решение. Расчеты удобно осуществлять в табл. 1.2. Сначала в соответствующие графы заносим ожидаемое расщепление и наблюдаемые частоты (m_1 и m_2) из условия задачи. Затем определим теоретически ожидаемые частоты (M_1 и M_2):

$$M_1 = 3/4 \cdot 478 = 358,5;$$

$$M_2 = 1/4 \cdot 478 = 119,5.$$

Таблица 1.2. Последовательность расчета критерия χ^2

Показатели	Семена		Сумма
	желтые	зеленые	
Ожидаемое расщепление H_0	3	1	4
Наблюдаемые частоты (m)	355	123	478
Ожидаемые частоты (M)	358,5	119,5	478
Разность ($m - M$)	-3,5	3,5	-
Квадрат разности ($m - M$) ²	12,25	12,25	-
Отношение $(m - M)^2 / M$	0,034	0,103	$\chi^2 = 0,137$

Подставляя эмпирические и теоретически ожидаемые частоты в формулу для вычисления критерия χ^2 , получим:

$$\chi^2_{\text{факт}} = \sum \frac{(m - M)^2}{M} = \frac{(355 - 358,5)^2}{358,5} + \frac{(123 - 119,5)^2}{119,5} = 0,137.$$

При числе степеней свободы, равном 1 $((c - 1) \cdot (k - 1) = (2 - 1) \times (2 - 1) = 1)$, теоретическое значение $\chi^2_{05} = 3,48$.

Вывод: так как $\chi^2_{\text{факт}} (0,137) < \chi^2_{\text{теор}} (3,48)$, то нулевая гипотеза H_0 не отвергается и различия между фактическими и теоретически ожидаемыми частотами несущественны.

Пример 2. Две группы насекомых (долгоносиков) содержали при разной температуре 25 °С и 5 °С. При первом температурном режиме из 84 насекомых погибли 16, при втором – из 50 погибли 25. Доказывают ли результаты опыта губительное действие низкой температуры на выживаемость долгоносиков?

Если между группами насекомых нет отличий по устойчивости к температуре, то доля погибших долгоносиков в обеих группах будет одинаковой, то есть ожидаемое число погибших особей должно быть пропорционально общему числу (H_0).

Решение. Условие задачи и решение оформляем в табл. 1.3.

Теоретически ожидаемые частоты вычисляем согласно нулевой гипотезе. Если из общего числа насекомых (134 шт.) погибло 30,6 % (41 шт.), то теоретически ожидаемая доля погибших в каждой группе будет такой же. Составим и решим соответствующие пропорции:

$$84 - 100 \%$$

$$X - 30,6 \%, \text{ отсюда } x = (84 \cdot 30,6) / 100 = 25,7 \text{ шт. } (M_1)$$

$$(50 \cdot 30,6) / 100 = 15,3 \text{ шт. } (M_2)$$

$$(84 \cdot 69,4) / 100 = 58,3 \text{ шт. } (M_3)$$

$$(50 \cdot 69,4) / 100 = 37,4 \text{ шт. } (M_4)$$

Таблица 1.3. Результаты опыта и расчеты теоретически ожидаемых частот

Группа насекомых (температура)	погибшие		выжившие		всего	%
	M	M	m	M		
1 (25 °С)	16	25,7(M_1)	68	58,3(M_3)	84	62,7%
2 (5 °С)	25	15,3(M_2)	25	37,4(M_4)	50	37,3%
Всего	41		93		134	
%	30,6 %	30,6 %	69,4 %	69,4 %	100 %	

Подставляя эмпирические и теоретически ожидаемые частоты в формулу для вычисления критерия χ^2 , получим:

$$\chi^2 = \frac{(16 - 25,7)^2}{25,7} + \frac{(25 - 15,3)^2}{15,3} + \frac{(68 - 58,3)^2}{58,3} + \frac{(25 - 37,4)^2}{37,4} = 14,137.$$

При числе степеней свободы равном 1 $((c - 1) \cdot (k - 1) = (2 - 1) \times (2 - 1) = 1)$, теоретическое значение $\chi^2_{05} = 3,48$.

Вывод: так как $\chi^2_{\text{факт}} (14,137) > \chi^2_{\text{теор}} (3,48)$, то нулевая гипотеза H_0 отвергается, и низкая температура достоверно является причиной гибели долгоносиков.

1.4. Дисперсионный анализ

Наряду с относительно простыми способами сравнения двух выборок (например, с помощью t -критерия) встречаются и более сложные задачи, когда необходимо сравнить несколько выборок, объединенных в единый статистический комплекс. Парное сравнение в таких случаях неудобно, так как требует длительных и сложных вычислений. Учитывая это, английским ученым Р. А. Фишером был предложен метод комплексной оценки сравниваемых средних, получивший название дисперсионного анализа.

Дисперсионный анализ основан на разложении общей дисперсии статистического комплекса на составляющие ее компоненты, сравнивая которые друг с другом посредством F -критерия можно определить, какую долю общей вариации учитываемого (результативного) признака обусловливает действие на него как регулируемых, так и нерегулируемых в опыте факторов.

Регулируемые факторы, т. е. те, которые могут регулироваться в опыте экспериментатором (дозы удобрений или пестицидов, кратность облучения и т. д.), выступают в опыте в качестве вариантов. В зависимости от того, сколько факторов регулируется, опыты могут быть одно- и многофакторные.

Пример. С помощью дисперсионного анализа необходимо установить достоверность различий массы проростков томата в зависимости от температуры проращивания и выяснить степень влияния изучаемого фактора на общую изменчивость результирующего признака (массы проростка). Данные, полученные в ходе эксперимента, представить в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Масса проростков томата, мг

Вариант	Повторения, x				Число наблюдений n	Сумма по вариантам V	Среднее по вариантам \bar{X}	
	I	II	III	IV				
16 °С	18,6	16,5	16,4	19,0	4	70,5	17,625	
19 °С	20,7	20,0	17,7	19,5	4	77,9	19,475	
22 °С	26,5	27,7	28,2	27,6	4	110	27,5	
25 °С	26,3	27,6	28,4	28,7	4	111	27,75	
Суммы по повторениям P	92,1	91,8	90,7	94,8	$\sum x = N = 16$	$\sum X = 369,4$	$23,1 =$	x_0

Здесь же начинаем вычислять необходимые показатели:

Суммы по вариантам V находят сложением данных о массе проростков в четыре повторения каждого варианта (каждую строку):

$$18,6 + 16,5 + 16,4 + 19,0 = 70,5 \text{ и т. д.}$$

Суммы по повторениям P находят сложением данных о массе проростков каждой повторности по всем вариантам (каждую колонку):

$$18,6 + 20,7 + 26,5 + 26,3 = 92,1 \text{ и т. д.}$$

Среднее арифметическое по каждому варианту находят делением сумм по вариантам на число повторений: $\left(\bar{x}\right) = V : n$;

$$70,5 : 4 = 17,625 \text{ и т. д.}$$

Правильность расчетов проверяют по равенству: $\sum X = \sum P = \sum V = 369,4$.

Для нахождения средней массы проростка по всему опыту (x_0) сумму всех измерений $\sum X$ делят на общее число делянок в опыте N :

$$x_0 = \sum X / N = 369,4 / 16 = 23,1.$$

Для облегчения дальнейших расчетов исходные данные целесообразно преобразовать по соотношению $X_1 = X - A$, приняв за A число 23, близкое к x_0 . Преобразованные данные записывают в табл. 1.5 и рассчитывают суммы по вариантам V_1 , суммы по повторениям P_1 и $\sum X_1$.

Таблица 1.5. Таблица преобразованных данных

Вариант	$X_1 = X - A = X - 23$				Сумма по вариантам V_1
	I	II	III	IV	
16 °С	-4,4	-6,5	-6,6	-4	-21,5
19 °С	-2,3	-3	-5,3	-3,5	-14,1
22 °С	3,5	4,7	5,2	4,6	18
25 °С	3,3	4,6	5,4	5,7	19
Суммы по повторениям P_1	0,1	-0,2	-1,3	2,8	$1,4 = \sum X_1$

Правильность расчетов проверяют по равенству: $\sum X_1 = \sum V_1 = \sum P_1 = 1,4$. Все данные табл. 1.5 возводят в квадрат и заполняют табл. 1.6.

Таблица 1.6. Таблица квадратов

Вариант	X_1^2				V_1^2	
	I	II	III	IV		
16 °C	19,36	42,25	43,56	16,00	462,25	
19 °C	5,29	9,00	28,09	12,25	198,81	
22 °C	12,25	22,09	27,04	21,16	324,00	
25 °C	10,89	21,16	29,16	32,49	361,00	
P_1^2	0,01	0,04	1,69	7,84	1,96 =	$(\sum X_1)^2$

Для дальнейших расчетов путем сложения находят соответствующие суммы:

$$\sum X_1^2 = (19,36 + 42,25 + \dots + 32,49) = 352,04$$

$$\sum V_1^2 = (462,25 + 198,81 + 324,00 + 361,00) = 1346,06$$

$$\sum P_1^2 = (0,01 + 0,04 + 1,69 + 7,84) = 9,58$$

Общее число наблюдений в опыте определяется умножением числа вариантов ($l = 4$) на число повторений ($n = 4$): $N = l * n = 4 * 4 = 16$.

Затем определяют корректирующий фактор (C):

$$C = (\sum X_1)^2 / N = 1,96 / 16 = 0,12.$$

Сумму квадратов отклонений рассчитываем по следующим формулам:

для общего варьирования:

$$C_y = \sum X_1^2 - C = 352,04 - 0,12 = 351,92.$$

для варьирования вариантов:

$$C_v = \sum V_1^2 / n - C = 1346,06 / 4 - 0,12 = 336,4.$$

для варьирования повторений:

$$C_p = \sum P_1^2 / l - C = 9,58 / 4 - 0,12 = 2,28.$$

для варьирования ошибки (остатка):

$$C_z = C_y - C_v - C_p = 351,92 - 336,4 - 2,28 = 13,24.$$

Для выяснения достоверности различий между вариантами данные о суммах квадратов отклонений сводим в табл. 1.7. Для заполнения этой таблицы необходимо определить число степеней свободы для общего варьирования, для повторений, для вариантов, для остаточного варьирования (ошибки).

Число степеней свободы для общего варьирования определяется общим числом наблюдений минус единицу: $N - 1 = 16 - 1 = 15$.

Также определяют степени свободы для повторений и вариантов:

$$n - 1 = 4 - 1 = 3 \text{ и } l - 1 = 4 - 1 = 3.$$

Число степеней свободы ошибки определяют умножением степеней свободы вариантов и повторений: $(n - 1) * (l - 1) = 3 * 3 = 9$.

Дисперсия для различных видов варьирования находится делением суммы квадратов вида варьирования на число степеней свободы:

$$\text{Для вариантов } S_v^2 = C_v / (n - 1) = 336,4 / 3 = 112,13.$$

$$\text{Для ошибки } S_z^2 = C_z / ((n - 1) * (l - 1)) = 13,24 / 9 = 1,47.$$

Критерий Фишера находят делением дисперсии вариантов на дисперсию ошибок: $F_{\text{факт}} = S_v^2 / S_z^2 = 112,13 / 1,47 = 76,28$.

Критерий F_{05} (теор) находят в таблицах приложения для доверительной вероятности 95 % (при 5%-ном уровне значимости). По вертикали откладывают число степеней свободы для меньшей дисперсии (ошибки), а по горизонтали – число степеней свободы для большей дисперсии (вариантов). На пересечении находят число, показывающее табличное отношение дисперсий. В нашем случае $F_{05} = 3,86$.

Сравнивая теоретическое и фактическое значения критерия F , подтверждают или отвергают нулевую гипотезу. Если $F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$, то нулевая гипотеза отвергается. Следовательно, между изучаемыми вариантами есть существенные различия. Если $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$, нулевая гипотеза подтверждается и между вариантами существенных различий нет. В последнем случае дисперсионный анализ заканчивается и вычисляется только ошибка опыта (табл. 1.7).

Таблица 1.7. Результаты дисперсионного анализа

Источник вариации	Сумма квадратов	Степени свободы	Дисперсия S^2	Критерий Фишера	
				$F_{\text{факт}}$	F_{05}
Общая C_y	351,92	15			
Повторений C_p	2,28	3			
Вариантов C_v	336,40	3	112,13	76,28	3,86
Ошибки C_z	13,24	9	1,47		

Вывод: Так как в нашем примере $F_{\text{факт}} > F_{05}$, то нулевая гипотеза опровергается. Между вариантами опыта есть достоверные различия.

Для того чтобы оценить существенность частных различий вычисляют:

а) ошибку опыта $S_x = \sqrt{S_z^2/n} = \sqrt{1,47 / 4} = 0,61$ (мг);

б) ошибку разности средних $S_d = \sqrt{2 * S_z^2/n} = \sqrt{2 * 1,47 / 4} = 0,86$ (мг);

в) наименьшую существенную разность в абсолютных и относительных показателях:

$$HCP_{05} = t_{05} * S_d = 2,26 * 0,86 = 1,94 \text{ (мг)};$$

$$HCP_{05} = (t_{05} * S_d / x_0) * 100 = 2,26 * 0,86 / 23,1 * 100 = 8,4 \text{ \%}.$$

Значение критерия t_{05} берут из таблицы прил. А для 9 степеней свободы ошибки. В нашем случае $t_{05} = 2,26$. Итоги результатов опыта и статистической обработки данных записывают в табл. 1.8.

Таблица 1.8. Результаты анализа

Вариант (температура)	Масса, мг	Отклонение от контроля		Группа
		мг	%	
19 °С (контроль)	19,475	–	–	II
16 °С	17,625	–1,85	–9,5	II
22 °С	27,5	8,025	41,21	I
25 °С	27,75	8,275	42,49	I
HCP₀₅		1,94	8,4	

В колонку «масса» переносят средние значения вариантов из табл. 1.4. Отклонения от контроля находят, отнимая от средней массы по вариантам среднюю массу проростка в контроле. Затем сравнивают полученные значения с HCP. В том случае, если величина отклонения от контроля имеет положительный знак и по модулю больше величины HCP, делают вывод о том, что данный вариант существенно превышает контроль, и его относят к I группе.

Если отклонение от контроля имеет отрицательный знак, но по модулю больше HCP, значит данный вариант существенно хуже контроля, и его относят к третьей группе. Варианты, у которых отклонение от контроля по модулю меньше HCP, несущественно отличаются от контроля, и они относятся ко второй группе.

По результатам анализа делают вывод: Масса проростков томата, полученных при 16 °С и 19 °С, существенно не отличается между собой. Проращивание же семян при более высокой температуре (22 °С и 25 °С) позволяет получить проростки с достоверно большей массой.

Дисперсионный анализ дает возможность получить представление о степени влияния того или иного фактора в общей дисперсии (изменчивости) признака. Это можно определить по следующим формулам:

а) для влияния вариантов:

$$\eta_v^2 = C_v / C_y = 336,4 / 351,92 = 0,956 \text{ или } 95,6 \text{ \%};$$

б) для влияния повторений:

$$\eta_p^2 = C_p / C_y = 2,28 / 351,92 = 0,006 \text{ или } 0,6 \text{ \%};$$

в) для влияния случайных факторов:

$$\eta_z^2 = C_z / C_y = 13,24 / 351,92 = 0,038 \text{ или } 3,8 \text{ \%};$$

г) для влияния всех факторов:

$$\eta_v^2 = \eta_v^2 + \eta_p^2 + \eta_z^2 = 1,0 \text{ (100 \%)}.$$

1.5. Корреляционно-регрессионный анализ

Для описания связей между величинами (признаками) применяют понятие функции (f), которая ставит в соответствие каждому определенному значению независимой переменной (X) определенное значение зависимой переменной (Y). Такие однозначные связи называют функциональными: $Y = f \cdot (X)$. Но в биологических науках чаще встречаются такие соотношения между переменными, когда каждому значению признака (X) соответствует не одно, а множество значений (Y). В таком случае каждый признак представляет собой функцию многих переменных: на него влияют и генетические, и средовые факторы. Поэтому зависимость между такими признаками имеет не функциональный, а стохастический характер. Эти связи обнаруживаются при массовом изучении признаков и называются корреляционными или корреляцией. Если при корреляции разным значениям одной переменной соответствуют различные распределения другой переменной, то форма стохастической связи может быть описана не как зависимость отдельных значений Y от величины X , а как зависимость частных средних (\bar{Y}_x) от значений X . Изменение функции в зависимости от определенного изменения значений одного или нескольких аргументов называется регрессией. Описанию корреляционных связей служит корреляционно – регрессионный анализ. Корреляция бывает простой (зависимость между двумя признаками) и множественной, по форме – прямой и обратной. Под прямой корреляцией понимают зависимость, которая носит линейный характер и выражается уравнением прямой линии $Y = a + bX$. Когда при одинаковых приращениях аргумента функция имеет неодинаковые изменения, корреляция называется криволинейной. Если при увеличении аргумента функция возрастает, то корреляция называется положительной или прямой, а если убывает – отрицательной или обратной.

В качестве числового показателя простой линейной корреляции, показывающего на тесноту и направление связи, используют отвлеченное безразмерное число, называемое коэффициентом корреляции. Для анализа линейной корреляции между X и Y проводят n независимых парных наблюдений, исходом каждого из которых является пара чисел $(X_1; Y_1), (X_2; Y_2), \dots, (X_n; Y_n)$. Технику вычисления коэффициента корреляции рассмотрим на примере (табл. 1.9).

Таблица 1.9. Вычисление коэффициента корреляции между продуктивностью растений озимой ржи сорта Калинка (Y) и числом зерен в колосе (X)

№ растений	Значение признаков		Отклонение от средней		Квадраты отклонений		Произведения отклонений $(y-\bar{y})(X-\bar{x})$
	Продуктивность растений Y, г/раст.	Число зерен в колосе X, шт.	$(y-\bar{y})$	$(X-\bar{x})$	$(y-\bar{y})^2$	$(X-\bar{x})^2$	
1	1,74	38	-0,13	-3	0,0169	9	0,39
2	2,06	46	0,19	5	0,0361	25	0,95
3	1,75	38	-0,12	-3	0,0144	9	0,36
4	2,00	42	0,13	1	0,0169	1	0,13
5	1,53	38	-0,34	-3	0,1156	9	1,02
6	1,78	44	-0,09	3	0,0081	9	-0,27
7	1,77	38	-0,10	-3	0,0100	9	0,30
8	1,80	37	-0,07	-4	0,0049	16	0,28
9	2,22	48	0,35	7	0,1225	49	2,45
10	2,05	41	0,18	0	0,0324	0	0

$$\Sigma y = 18,70; \quad \Sigma x = 410; \quad \Sigma (y-\bar{y}) = 0; \quad \Sigma (X-\bar{x}) = 0; \quad \Sigma (y-\bar{y})^2 = \Sigma (X-\bar{x})^2 = \Sigma (y-\bar{y})(X-\bar{x})$$

$$= 0,3978; \quad = 136; \quad = 6,15$$

$$n = 10 \quad \bar{y} = \frac{\Sigma y}{n} = \frac{18,7}{10} = 1,87 \quad \bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{410}{10} = 41$$

Коэффициент корреляции вычисляют по формуле:

$$r = \frac{\Sigma (X-\bar{x}) \cdot (Y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma (X-\bar{x})^2 \cdot \Sigma (Y-\bar{y})^2}} = \frac{6,15}{\sqrt{0,3978 \cdot 136}} = 0,836$$

или, минуя вычисления отклонений и квадратов отклонений, по формуле

$$r = \frac{\Sigma X \cdot Y - (\Sigma X \cdot \Sigma Y) : n}{\sqrt{(\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2 : n) \cdot (\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2 : n)}}$$

или через средние квадратическое отклонения

$$r = \frac{\Sigma (X-\bar{x}) \cdot (Y-\bar{y})}{n \cdot S_x \cdot S_y}$$

где

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{y})^2}{n-1}},$$

где $(X - \bar{x})$ и $(Y - \bar{y})$ – отклонения значений x и y от своих средних значений \bar{x} и \bar{y} в n сопоставимых парах.

Значения коэффициента корреляции могут находиться в пределах от +1 (при прямой функциональной связи) до -1 (при обратной функциональной связи). При полном отсутствии корреляции $r = 0$, при $r < \pm 0,3$ корреляционная зависимость слабая, при $r = \pm 0,3 - \pm 0,7$ – сильная. Знак при коэффициенте корреляции указывает направление связи: (+) – прямая зависимость, (-) – связь обратная.

Таким образом, связь между продуктивностью растений озимой ржи Калинка и числом зерен в их колосьях сильная ($r = 0,836$).

Степень связи между признаками более точно измеряется коэффициентом детерминации d_{yx} , равным квадрату коэффициента корреляции: $d_{yx} = r^2$. Он показывает долю тех измерений (%), которые зависят от изучаемого фактора. В нашем примере $d_{yx} = 0,836^2 = 0,699$, и только 69,9 % изменчивости признака Y обусловлено действием факториального признака X (числом зерен в колосе), остальная часть корреляционной связи ($1 - 0,699 = 0,301$) обусловлена другими факторами.

Коэффициент корреляции выборочных наблюдений подвержен случайным колебаниям, которые зависят от объема выборки и точности проведения наблюдений. Поэтому для оценки надежности выборочного коэффициента вычисляют его ошибку и критерий существенности. Стандартную ошибку корреляции определяют по формуле:

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1-0,836^2}{10-2}} = \pm 0,186,$$

где S_r – ошибка корреляции;

r – коэффициент корреляции;

n – число пар значений.

Чем больше число наблюдений, тем меньше будет ошибка коэффициента корреляции. Значение коэффициента корреляции обычно записывается вместе с его ошибкой: $r \pm S_r = 0,836 \pm 0,186$. Критерий существенности коэффициента корреляции вычисляют по формуле $t_r = \frac{r}{S} = \frac{0,836}{0,186} = 4,49$. Сопоставляя фактические и теоретически рассчитанные значения (t_r) при числе степеней свободы, равном $n - 2$, оцени-

вают существенность корреляционной связи. Если $t_{\text{факт}} \geq t_{\text{теор}}$, то корреляционная связь существенна, а при $t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$ – несущественна. Теоретическое значение критерия находят по таблице Стьюдента, принимая 5%-ный или 1%-ный уровни значимости.

При степенях свободы $n - 2 = 8$, $t_{0,5} = 2,45$ коэффициент корреляции в нашем случае существенен. При малых выборках и значениях r , близких к единице, распределение выборочных коэффициентов корреляции заведомо отличается от нормального, и оценка существенности коэффициента корреляции по критерию Стьюдента становится ненадежной. Роберт Фишер в этих случаях предложил преобразовывать коэффициент корреляции в величину (z), используя специальные таблицы (прил. Д).

Тогда

$$S_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}; t_z = \frac{z}{S_z}; z \pm t \cdot S_z.$$

Определив коэффициент корреляции, определяется направление и степень сопряженности и изменчивости признаков, но это не позволяет узнать, как количественно изменяется результативный признак при изменении факториального на единицу измерения. Поэтому с помощью регрессивного анализа определяется формула корреляционной зависимости. Различают регрессию простую и множественную, а по форме – прямо- и криволинейную. Сущность регрессионного анализа состоит в том, чтобы построить линию, которая наиболее точно выражала бы зависимость одного признака от другого. Коэффициент регрессии показывает, в каком направлении и на какую величину изменяется в среднем один признак (функция) при изменении другого (аргумент) на единицу измерения и вычисляется по формулам:

$$b_{yx} = \frac{\sum(X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sum(X - \bar{x})^2} = \frac{6,15}{136} = 0,0452;$$

$$b_{xy} = \frac{\sum(X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sum(Y - \bar{y})^2} = \frac{6,15}{0,3978} = 15,46.$$

Их можно вычислить и через средние квадратические отклонения:

$$b_{xy} = r \cdot \frac{S_y}{S_x}; b_{yx} = r \cdot \frac{S_x}{S_y};$$

Произведение коэффициентов регрессии равно квадрату коэффициента корреляции:

$$b_{yx} \cdot b_{xy} = r^2; r = \sqrt{0,0452 \cdot 15,46} = \sqrt{0,699} = 0,836.$$

Ошибка коэффициентов регрессии вычисляют по формулам:

$$S_{b_{yx}} = S_r \cdot \sqrt{\frac{\sum(Y - \bar{y})^2}{\sum(X - \bar{x})^2}} = 0,186 \cdot \sqrt{\frac{0,3978}{136}} = 0,186 \cdot 0,054 = 0,01;$$

$$S_{b_{xy}} = S_r \cdot \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{x})^2}{\sum(Y - \bar{y})^2}} = 0,186 \cdot \sqrt{\frac{136}{0,3978}} = 0,186 \cdot 341,8 = 63,575.$$

Критерий существенности коэффициента регрессии определяется по формуле: $t_{b_{yx}} = \frac{b_{yx}}{S_{b_{yx}}}; t_{b_{yx}} = \frac{0,0452}{0,01} = 4,52$, и он равен критерию существенности коэффициента корреляции: $t_{b_{yx}} = t_r$.

В зависимости от того, между какими признаками рассматривается связь, не всегда имеет смысл вычислять все коэффициенты регрессии. Корреляция может быть отображена графически в виде линии регрессии. Линию регрессии можно построить двумя способами – графическим и аналитическим. При графическом способе по оси абсцисс откладывают значения признака X , по оси ординат – значение признака Y . Такой график называют «точечной диаграммой» или «корреляционным полем». При аналитическом способе используют уравнение прямой линии:

$$Y = a + b \cdot X; a = \bar{y} - b\bar{x}; b = b_{yx}.$$

Уравнение линейной регрессии имеет следующий вид:

$$Y = \bar{y} + b_{yx}(X - \bar{x});$$

$$Y = 1,87 + 0,0452(X - \bar{x}) = 1,87 + 0,0452X - 0,0452 \cdot 41 = 0,02 + 0,0452X.$$

Выводы: корреляционная зависимость между продуктивностью растений озимой ржи сорта Калинка и числом зерен в колосе прямая, сильная. Продуктивность растений на 69,9 % зависит от числа зерен. При увеличении числа зерен в колосе на 1 шт. продуктивность расте-

ний увеличивается на 0,0452 г. Данная зависимость выражается уравнением $Y = 0,02 + 0,0452X$.

1.6. Обработка результатов экспериментов с помощью компьютерных программ

Использование MS Excel для обработки данных.

Microsoft Excel входит в состав пакета *MS Office* и является одним из самых популярных сегодня табличных процессоров-программ для работы с электронными таблицами. В отличие от текстового процессора *Word*, предназначенного для оформления текстовых документов, *Excel* специализирован для выполнения вычислений с табличными данными. *Excel* имеет большое количество встроенных функций для математических, статистических, финансовых и других вычислений. С другой стороны, *Excel* – это среда, ориентированная на непрограммирующего пользователя, что делает его популярным среди экономистов, бухгалтеров и других специалистов, обрабатывающих табличные данные. Документ *Excel* называется рабочей книгой, состоящей из набора рабочих листов. Книга хранится в виде файла с расширением *.xls. Одна книга может содержать до 256 рабочих листов. *Excel* имеет стандартный интерфейс *Windows*, показанный на рис. 1.2.

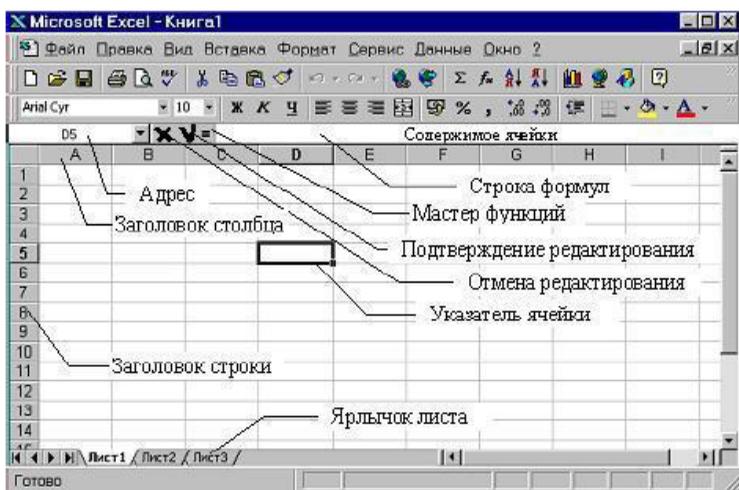


Рис. 1.2. Элементы рабочего окна MS Excel

Строка меню отличается от меню в Word заменой пункта «Таблица» на пункт «Данные», предназначенный для выполнения операций сортировки, фильтрации и некоторых других над табличными данными.

На панели форматирования следует отметить кнопку «Объединить и поместить в центре», а также «Денежный формат» и «Процентный формат».

Строка формул состоит из поля адреса, управляющих кнопок и поля содержимого ячейки. При активизации ячейки таблицы в этих полях появляется соответствующая информация.

Управляющие кнопки выполняют: отмену редактирования ячейки (кнопка с крестом); принятие редактирования (кнопка с галочкой – соответствует нажатию Enter); вызов «Мастера функций» (кнопка "="). Редактировать содержимое ячейки можно непосредственно в самой ячейке или в поле содержимого ячейки. В первом случае надо выполнить двойной щелчок по ячейке или нажать клавишу **F2**, во втором – активизировать ячейку и щелкнуть в поле содержимого строки формул.

Столбцы и строки таблицы имеют заголовки. Для столбцов заголовки – буквы латинского алфавита; для строк – целые числа. При большом количестве столбцов их заголовки состоят из двух латинских букв, например: **AD**, **BF**. Всего на рабочем листе можно разместить 256 столбцов и 65536 строк.

Указатель ячейки – рамка, выделяющая ячейку.

Ячейки Excel. Одним из центральных понятий в Excel является ссылка на ячейку. Ссылки используются для записи формул. По форме записи ссылки могут быть двух типов: **A1** и **R1C1**. В типе **A1** первым указывается заголовок столбца, вторым – заголовок строки. Например: **D5**; **G24**; **AF13**. В типе **R1C1** первой указывается строка с префиксом **R**, а вторым – числовой номер столбца с префиксом **C**, например, **R12C5**. По своим свойствам ссылки могут быть абсолютными и относительными. Во втором случае говорят просто «ссылка». Относительные ссылки обладают свойством автоматической коррекции координат ячейки при переносе (копировании) формулы в другую ячейку. Абсолютные ссылки таким свойством не обладают. В приведенных выше примерах все ссылки – относительные. Для задания абсолютной ссылки в типе **A1** добавляется знак «\$» перед заголовком столбца и (или) перед заголовком строки, например: **\$A\$10**; **D\$25**; **\$AF16**. Для типа **R1C1** номер строки и (или) столбца при задании абсолютной ссылки заключается в квадратные скобки, например, для приведенных выше примеров можно записать: **R[10]C[1]**; **R[25]C4**; **R16C[34]**.

Допускаются ссылки на другой лист, другую книгу (внешние ссылки) и другое приложение (удаленные ссылки).

Ячейка таблицы, на которой стоит указатель ячейки, является активной. Для активизации необходимо щелкнуть кнопкой мыши по ячейке.

Группа ячеек может быть выделена для выполнения различных операций. Если выделяемая область таблицы имеет прямоугольную форму, то технология ее выделения обычная – либо мышью с удержанием левой кнопки, либо клавиатурой – при нажатой клавише **Shift**. Если выделяются несмежные ячейки таблицы, то сначала следует выделить первую область, а затем, удерживая **Ctrl**, мышью выделить другие.

При необходимости ссылки на прямоугольную область таблицы говорят о диапазоне ячеек. В общем случае диапазон записывается как две ссылки на верхнюю левую и нижнюю правую ячейки прямоугольной области, разделенные двоеточием, например **D5:F13**. Диапазоном может быть частичный столбец (например, **R4:R25**) или частичная строка (например, **A12:Z12**). Если двоеточием разделены только номера строк или столбцов (например, **A:F** или **5:13**), то в диапазон входят все ячейки таблицы, ограниченные этими строками или столбцами.

Для ввода данных в ячейку, ее надо активизировать, набрать данные с клавиатуры и нажать Enter или щелкнуть мышью в другой ячейке.

Данные, вводимые в ячейку, могут быть текстом, формулой или ссылкой. Excel может определять тип данных автоматически. Если введен текст, он обычно выравнивается по левому краю ячейки. Если длина текста превышает ширину ячейки, но ячейка справа пуста, текст на экране будет занимать эту ячейку. Если же ячейка справа занята, то на экране текст ограничивается размером ячейки. Фактически же ячейка содержит полный текст, в чем можно убедиться, просмотрев ее содержимое в строке формул.

Вводимые числа выравниваются по правому краю ячейки. Для разделения целой и дробной частей десятичных чисел используется запятая. Если целая часть числа не умещается по ширине ячейки, на экран выводятся знаки «####».

Запись формул и ссылок на другие ячейки начинается со знака «=», за которым следует выражение или ссылка. Если выражение синтаксически правильно, то после завершения ввода формулы в ячейке размещается результат вычисления, иначе – сообщение типа «#ИМЯ?».

Достоинство использования ссылок и формул со ссылками в том, что при изменении данных в исходных ячейках, результат в ячейке с формулой будет скорректирован автоматически.

Функции в Excel. Для выполнения вычислений в таблицах нужны формулы. Поскольку некоторые формулы и их комбинации встречаются очень часто, то программа Excel предлагает более 200 заранее запрограммированных формул, которые называются функциями. В программе имеется упорядоченный по алфавиту полный список всех функций, в котором можно легко найти функцию, если известно ее имя; в противном случае следует производить поиск по категориям (все функции разделены по категориям, чтобы в них было проще ориентироваться). Многие функции различаются очень незначительно, поэтому при поиске по категориям полезно воспользоваться краткими описаниями функций, которые предлагает Конструктор функций. Функция оперирует некоторыми данными, которые называются ее аргументами. Аргумент функции может занимать одну ячейку или размещаться в целой группе ячеек. Конструктор функций оказывает помощь в задании любых типов аргументов, он помогает на всех этапах работы правильно применять функции.

Выделите ту ячейку, в которой должен появиться результат вычислений. Затем нажмите мышкой на пиктограмму Конструктора функций со значком *fx* и откройте диалоговое окно Конструктора «Insert Function».

В поле «Or select a category» этого окна перечислены категории функций:

Most Recently Used – функции, которые недавно использовались, это функции, которые показываются в нижнем окне «Select a function:» сразу же при открытии диалогового окна Конструктора «Insert Function»:

- All – список всех функций по алфавиту;
- Financial – финансовые функции;
- Date & Time – функции даты и времени;
- Math & Trig – математические и тригонометрические функции;
- Statistical – статистические функции;
- Lookup & Reference – функции ссылок и сносок;
- Database – функции баз данных;
- Text – текстовые функции;
- Logical – логические функции;
- Information – информационные функции;
- User Defined – функции, определенные пользователем.

При выборе категории функции в поле «Or select a category» в нижнем поле «Select a function:» появляются функции, соответствующие выбранной категории.

Построения графиков с помощью MS Excel

На рис. 1.3. показано получение графика координаты от номера ячейки X в столбце (красный график) и времени t от номера ячейки.

Для построения графиков при обработке экспериментальных результатов следует выбирать в Мастере диаграмм опцию **Точечная** и только ее.

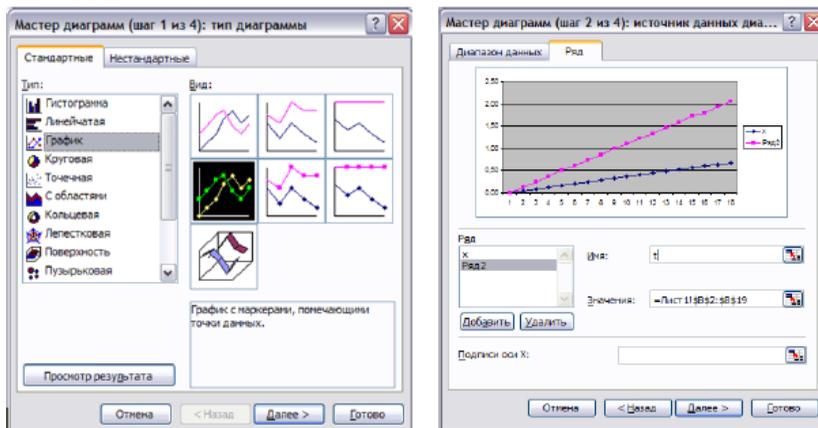


Рис. 1.3. Примеры графиков

Общая структура системы Statistica.

Statistica представляет собой интегрированную систему статистического анализа и обработки данных. Система *Statistica* содержит многофункциональную систему для работы с данными, мощную графическую систему для визуализации данных и результатов статистического анализа, набор статистических модулей, в которых собраны группы логически связанных между собой статистических процедур обработки данных, специальный инструментарий для подготовки отчетов, встроенные языки, позволяющие расширять систему.

Запуск системы Statistica. *Statistica 10* представляет собой удобный математический пакет, не требующий установки. После запуска приложения, пользователю предоставляется возможность выбрать

наиболее удобный на его взгляд и привычный вид панели инструментов.

Начало работы в *Statistica*. После запуска программы пользователю предлагается выбрать, откуда загружать исходные данные (открыть таблицу соответствующего типа).

Справочная система *Statistica*. Для получения справки о назначении тех или иных диалогов, меню, методов и других элементов пользовательского интерфейса предназначена справочная система *Statistica*. Вызвать ее можно одним из следующих способов:

- воспользоваться пунктом выпадающего меню Справка – Справка;
- контекстно-зависимый способ: для получения информации о конкретной команде меню необходимо выделить ее и нажать кнопку F1.

Выбор статистического модуля. *Statistica* состоит из набора модулей, в каждом из которых собраны тематически связанные группы процедур. При переключении модулей можно либо оставлять открытым только одно окно приложения, либо все вызванные ранее модули, поскольку каждый из них может выполняться в отдельном окне (как самостоятельное приложение Windows).

При исполнении модулей *Statistica* как самостоятельных приложений в любой момент времени в любом модуле имеется прямой доступ к «общим» ресурсам (таблицам данных, языкам BASIC и SCL, графическим процедурам).

В новой версии *Statistica 10* выбор модуля можно осуществлять посредством элементов управления на вкладках *Анализ* и *Добыча данных (DataMining)*.

После запуска модуля на экране откроется основное окно системы *Statistica*. При запуске системы в него автоматически загружается последний файл, с которым в ней работали.

Обработка данных в системе *Statistica*. Статистический анализ данных в системе *Statistica* может быть разбит на следующие основные этапы:

- 1) ввод исходных данных в электронную таблицу системы *Statistica*;
- 2) предварительные преобразования данных перед непосредственным применением конкретного статистического метода;
- 3) визуализация данных при помощи того или иного типа графиков;
- 4) статистический анализ при помощи некоторого статистического метода;
- 5) подбор модели и задание необходимых параметров в статистической процедуре;
- 6) вывод численных, текстовых и графических результатов;

- 7) подготовка и печать отчетов;
- 8) анализ результатов;
- 9) автоматизация рутинных процессов обработки при помощи макрокоманд, языка *SCL* или *Statistica BASIC*.

Типы документов в системе *Statistica*.

Statistica использует пять основных типов Документов:

- рабочие книги;
- таблицы данных (мультимедийные таблицы);
- отчеты;
- графики;
- макросы (*STATISTICA Visual Basic*).

Statistica предоставляет возможность открывать и одновременно использовать несколько Таблиц данных. Кроме хранения данных, *Statistica* использует Таблицы для отображения численных результатов Анализов и других данных (например, мультимедийных объектов, скриптов, связей). Поскольку в *Statistica 6.0* больше не существует различий между исходной Таблицей данных (*Spreadsheet*) (на основе которой *Statistica* проводит анализ) и Таблицей результатов (*Scrollsheet*, численные и текстовые результаты статистического анализа), то возможно напрямую использовать результаты одного Анализа в качестве исходных данных для другого Анализа.

Любая Таблица данных, открытая из файла, является исходной Таблицей данных. Можно открыть несколько Таблиц данных одновременно. Во избежание ошибок, Таблицу результатов (содержащую результаты Анализа) нельзя сразу же использовать в качестве исходных данных для другого анализа. Перед тем как использовать ее в Анализе, необходимо изменить ее представление.

В предыдущей версии системы *Statistica* таблица результатов представляла собой электронную таблицу с возможностью прокрутки *Scrollsheet*. В этих таблицах выводились результаты анализов, которые можно было сохранить с расширениями .scr. В данной версии результаты анализа выводятся также в таблицах результатов, но формат этих таблиц ничем не отличается от таблиц исходных данных. Вы можете использовать файл с расширением .scr в системе *Statistica*, при открытии файла .scr система автоматически переформатирует его в .sta.

Чтобы сохранять совместимость с программами *STATISTICA BASIC*, написанными в ранней версии *Statistica*, функции *STATISTICA BASIC*, использующие таблицы результатов (таблицы с расширением .scr), все еще имеются в языке *STATISTICA Visual Basic*. Когда вы записываете макрос или читаете справку SVB, термин таблица результа-

тов (*scrollsheet*) подразумевает электронную таблицу. Основное принципиальное различие в назначении таблиц в старой версии: *Spreadsheet* – для задания исходных данных, а *Scrollsheet* – для вывода результатов.

Создание файла с исходными данными. Создание нового файла может быть осуществлено двумя способами:

- на вкладке *Главная* нажать значок *создать* (в раскрывающемся списке можно выбрать требуемый объект данных);
- автоматическое создание объекта данных можно осуществлять при нажатии комбинации клавиш CTRL+N.

В системе *Statistica* строки таблиц или записи называются Наблюдениями – Cases (случайные величины), столбцы таблицы (поля) – Переменными – Variables (значения случайных величин). Например, таблица может состоять из 10 переменных, которые по умолчанию имеют имена var1, var2, ... var10 и 10 пронумерованных случаев, которые не имеют имен.

Основные операции над переменными. Для задания имен переменных и их свойств можно использовать способы, описанные далее.

Существуют следующие способы вызова основных команд:

- кнопка Переменные на панели инструментов Данные;
- двойным кликом по существующей переменной в таблице или по нажатию кнопки Спецификации можно перейти в редактирование данной переменной.

Редактирование всех переменных централизованно можно осуществлять по нажатию кнопки «Все спецификации».

Все возможные действия с переменными и наблюдениями можно осуществлять посредством инструментов на вкладке Данные (табл. 1.10).

Процедура стандартизации подразумевает следующие шаги:

Переменные. Нажмите кнопку «Переменные», чтобы вызвать стандартный диалог «Выберите переменные», который используется для выбора переменных, значения которых будут стандартизованы.

Наблюдения. Нажмите кнопку «Наблюдения» для вызова диалога «Условия выбора наблюдений». По умолчанию при вычислении средних и стандартных отклонений учитываются все наблюдения. Однако можно использовать условия выбора наблюдений для вычисления среднего и стандартного отклонений на основе выбранного подмножества наблюдений в активной Таблице данных.

Таблица 1.10. Описание инструментов вкладки Данные

	Команда	Действие
Переменные	Добавить...	Добавляет переменные (пустые строки) в электронную таблицу (ЭТ)
	Переместить...	Перемещает переменные (столбцы) в ЭТ
	Копировать...	Копирует переменные (столбцы) в ЭТ
	Удалить...	Удаляет переменные (столбцы) в ЭТ
	Спецификации	Основное диалоговое окно, в котором задаются спецификации текущей переменной. Здесь задается имя переменной, ее формат, длинное имя, при помощи которого может быть задана формула, или динамическая связь
	Все спецификации	Просмотр и редактирование спецификаций всех переменных в файле данных
	Текстовые значения	Вызов диалогового окна Менеджера текстовых значений, в котором может быть установлено или отредактировано соответствие между текстовыми и численными значениями переменной при использовании соглашения о «двойной записи». В этом диалоговом окне могут быть заданы и метки для текстовых значений
	Сдвинуть (Ляг)	Сдвиг значений переменной на один или несколько случаев вперед или назад
Преобразования	Операции с датами	Основные операции по работе с датами. Команда позволяет создать дату из значений двух или трех переменных и, наоборот, разбить дату на две или три переменные. Можно также перевести значения даты в числовые значения и наоборот
	Пересчитать	Команда позволяет пересчитать значения переменных, которые связаны формулами, при изменении данных в ЭТ
	Ранжировать	Ранжирование значений переменной
	Перекодировать	Перекодировка значений переменной
	Транспонировать	Транспонировать выделенный блок значений

Весы. Нажмите кнопку «Весы», чтобы вызвать диалог «Весы» наблюдений Таблицы данных. По умолчанию при вычислении средних и стандартных отклонений используются значения выбранных наблюдений. Вы также можете выбрать весовую переменную, нажав кнопку Весы и указать переменную, значения которой будут рассматриваться как веса. Влияние значений каждого наблюдения будут пропорциональны значениям соответствующих весов.

ОК. Нажмите кнопку «ОК» для выполнения процедуры стандартизации значений.

Отмена. Нажмите кнопку «Отмена», чтобы закрыть диалог, не изменяя данные.

Основные операции над наблюдениями приведены в табл. 1.11.

Операции с блоками. Выделение блока значений производится либо при нажатой правой кнопке мыши, либо при помощи комбинации клавиши SHIFT и стрелок управления курсором. Команды редактирования данных расположены в меню Edit (табл. 1.12).

Таблица 1.11. Команды по работе с наблюдениями

Команда	Действие
Добавить...	Добавляет наблюдения (пустые строки) в электронную таблицу (ЭТ)
Переместить...	Перемещает наблюдения (столбцы) в ЭТ
Копировать...	Копирует наблюдения (столбцов) в ЭТ
Удалить...	Удаляет наблюдения (столбцов) в ЭТ
Диспетчер имен	Задаёт имена наблюдений
Состояние наблюдений	Команда позволяет выбрать подмножество наблюдений из файла данных для анализа. Условие выбора может быть активно и не активно. Статус условия отображается в строке состояния

Создание отчета. В некоторых случаях полезно создавать файл регистрации всех результатов анализа, т. е. содержимого всех таблиц и(или) графиков, которые появляются на экране. Это позволит просмотреть все результаты последовательности тестов, полученных в данной сессии. Такой файл называется *отчетом*. Для автоматического занесения информации (создания *автоотчета*) необходимо сделать следующее.

Для создания нового Отчета выполните следующие простые действия:

- выберите «Создать...» в меню Файл или нажмите кнопку «Создать» на панели инструментов;
- в диалоге «Создать новый Документ» выберите вкладку Отчет;
- в поле Положение можно выбрать создание нового Отчета как части новой Рабочей книги, или в отдельном окне. Сделайте необходимый выбор и нажмите ОК.

Отчеты являются идеальными контейнерами для Документов *Statistica*, также как и для Объектов из других программ. При добавлении элемента в Отчет не нужно открывать сам элемент. Кроме того, не нужно самому открывать Отчет; тем не менее, для доступа к описанным здесь опциям, необходимо открыть Отчет или другой Документ *Statistica* (например, Таблицу, График или Макрос). Для добавления активного Документа *Statistica* (кроме Рабочей книги) в Отчет используйте кнопку на панели инструментов на вкладке «Главная» «Добавить

в Отчет». Когда Отчет является активным, в него можно добавлять Документы и Объекты, используя команды меню Вставка (или горячие клавиши).

Таблица 1.12. Команды редактирования данных

	Команда	Действие
Буфер обмена данных	Отменить	Отмена последнего действия
	Вырезать	Вырезает значения выделенного блока и помещает его в буфер обмена
	Копировать	Копирует блок вместе с именами случаев и переменных и с разделителями сетки
	Копировать содержание	Копируется только содержание ячеек
	Очистить	Удаление выделенного блока
	Вставить	Вставка содержимого буфера обмена
	Специальная вставка	Вставка содержимого буфера обмена вместе со связью
	Захват экрана	Помещает содержимое части экрана в буфер обмена
	Найти/заменить	Найти
Заменить		Заменить значение
Заполнить	Заполнить случайными значениями	Заполнить блок случайными значениями
	Заполнить/копировать вниз	Заполнить значение блока и копировать значения вниз. Копирует первую строку блока вниз
	Заполнить/копировать вправо	-//- в столбцы
Стандартизировать	Стандартизация столбцов	Стандартизация значений в столбцах
	Стандартизация строк	Стандартизация значений в строках
	BlockStats/ Cols – Блоковые статистики/столбцы	Вычисление основных статистик для столбцов
	BlockStats/ Rows – Блоковые статистики/строки	Вычисление основных статистик для строк
	Links – Связи	Регулировка режимов динамической связи данных

Графические возможности системы *Statistica*. В системе *Statistica* для визуализации предназначены следующие две основные группы графиков, отличающиеся подмножеством данных, на основе которых эти графики строятся.

1. *Статистические графики* (StatsGraphs – Статистические графики), предназначенные для графического представления значений пере-

менных (столбцов ЭТ) из текущего файла данных. Диалоговые окна этих графиков позволяют выбрать переменные, для которых необходимо построить графики. Они включают в себя большое количество специализированных статистических типов графиков, уже настроенных для статистической визуализации значений переменных. Для быстрого построения некоторых типов *Статистических графиков* существуют так называемые QuickStatsGraphs – быстрые статистические графики. Они включают в себя наиболее употребительные категории и типы *Статистических графиков*. Быстрый доступ к ним осуществляется при помощи контекстного меню, вызываемого при помощи щелчка правой кнопки мыши и в любом столбце ЭТ, для которых строятся графики.

2. *Пользовательские графики* служат для визуализации значений из предварительного выделенного блока в ЭТ. При этом они не содержат ряда специализированных статистических типов графиков. Доступ к ним осуществляется при помощи контекстного меню, вызываемого при помощи щелчка правой кнопки мыши, кнопок на панели инструментов и обычного выпадающего меню. Эта группа графиков включает в себя CustomGraphs – Пользовательские графики и BlockStatsGraphs – Блочные статистические графики.

Графики в системе хранятся в файлах с расширением *.stg. После того как график построен, соответствующий графический документ может быть сохранен следующим образом:

- в специальном графическом формате *.stg системы, который может быть открыт позже и использован в процессе статистического анализа;

- в растровом графическом формате (*.bmp, *.pcx);

- в графическом формате Windows метафайла (*.wmf).

Категории Пользовательских графиков.

Описание графиков представлено в табл. 1.13.

Таблица 1.13. **Описание графиков**

Категория графика	Предназначение графиков этой категории и конкретные типы графиков, которые доступны в этой категории
1	2
Двумерные графики	Для отображения на плоскости набора значений вида (X_i, Y_i) $i=1, 2, \dots, N$. Возможные типы графиков: – диаграмма рассеяния (Scatterplot, двойной осью Y, Квантиль, Частоты, Основной, Простой, Диаграмма Вороного Voronoi); – линейный график (LinePlot); – диаграмма размаха (Pangeplot); – столбчатые диаграммы (Bar); – круговые диаграммы (Pie)

1	2
Трехмерные последовательные графики	<p>Для визуализации в пространстве набора последовательностей вида $(X_i^1, Y_i^1), (X_i^2, Y_i^2), \dots, (X_i^N, Y_i^N) i = 1, 2, \dots, N$. Каждая такая серия значений отображается на плоскости, после чего эти плоскости выстраиваются в пространстве.</p> <p>Возможные типы графиков:</p> <ul style="list-style-type: none"> – диаграммы исходных данных; – гистограммы двух переменных; – диаграммы диапазонов; – диаграммы размаха
Пользовательские графики в пространстве	<p>Для визуализации в пространстве набора последовательностей вида $(X_i, Y_i, Z_i) i = 1, 2, \dots, N$.</p> <p>Возможные типы графиков:</p> <ul style="list-style-type: none"> –объемная диаграмма рассеяния (Scatterplot); –график поверхности (SurfacePlot); –карта линий уровня (ContourPlot)
Категория графика	Предназначение графиков этой категории и конкретные типы графиков, которые доступны в этой категории
Матричные графики	<p>Для визуализации связи между переменными в ЭТ. Матричный график состоит из отдельных кадров, в каждом из которых выводится свой конкретный график. На диагонали в этой таблице выводятся гистограммы, а в остальных кадрах этой матрицы – различные типы двумерных графиков:</p> <ul style="list-style-type: none"> –диаграммы рассеяния (Scatterplot (matrix)); –линейный график (Line (matrix))
Пользовательские пиктографики	<p>Для визуализации значений нескольких переменных из таблицы. График состоит из нескольких кадров, которые соответствуют случаям. В каждом кадре отображается свой пиктографик. Пиктографик состоит из нескольких элементов, каждый из которых отображает свою переменную.</p> <p>Возможные типы пиктографиков:</p> <ul style="list-style-type: none"> –лица Чернова (ChernoffFaces, Диаграмма лиц Чернова); –круги (Pies, Круговая диаграмма); –звезды (Stars, Диаграмма звезды); –лучи (SunRays, Диаграмма лучевая); –многоугольники (Poligons, Полигоны); –столбцы (Column, Столбчатая диаграмма); –линии (Lines, Линейчатая диаграмма); –профиля (Profiles, Профильная диаграмма)

Блочные статистические графики. При помощи этих графиков можно построить специализированные статистические графики: различные виды гистограмм, график разброса значений от среднего и медианы, график на нормальной вероятностной бумаге для значений из предварительно выделенного блока в ЭТ. Эти графики доступны из контекстного меню.

Статистические графики. Эти графики можно найти на вкладке «Графика» в модуле «Все виды графиков».

Галерея графиков предлагает сотни типов графического представления данных. Они не зависят от выделенного блока или текущей позиции курсора; они обрабатывают данные непосредственно из текущего файла данных.

Основные категории статистических графиков подразделяются следующим образом:

1. Двухмерные графики (2DGraphs).
2. Трехмерные последовательные графики (3DSequentialGraphs)

Каждая группа графиков включает десятки типов конкретных графиков:

– *диаграммы исходных данных* (столбцы, блоки, ленты, линии, всплески, дискретная карта линий уровня, поверхность, контуры).

Диаграммы исходных данных позволяют построить 3М-изображение последовательностей исходных данных выбранных переменных. Выбранные переменные представлены на оси *Y*, последовательные наблюдения – на оси *X*, а значения откладываются по оси *Z*. Трехмерные графики исходных данных используются для визуализации последовательностей значений. По своей сущности эти графики сходны с составными линейными графиками с тем лишь отличием, что для 3М-диаграмм исходных данных ленты, линии, параллелепипеды и другие трехмерные представления значений каждой переменной не перекрываются (как на двухмерном графике), а «раздвигаются» в трехмерной перспективе.

– *гистограммы двух переменных*;

– *трехмерные гистограммы* двух переменных используются для визуализации кросстабулирующих значений двух переменных. Их можно рассматривать как сочетание двух простых гистограмм (т. е. гистограмм одной переменной), соединенных таким образом, что можно исследовать частоты совместного появления значений двух анализируемых переменных.

– *диаграммы диапазонов* (точечные диапазоны, граничные диапазоны, диапазоны ошибок, диапазоны двойных лент, летящие ящики, летящие блоки).

– *диаграммы размаха* (точечные диапазоны, граничные диапазоны, диапазоны ошибок, диапазоны двойных лент, летящие ящики, летящие блоки).

В основном диаграммы диапазонов и диаграммы размаха используются для одних и тех же задач (на диаграммах диапазонов все значения, определяющие диапазоны, не вычисляются по данным, а являются исходными значениями переменных). В основном эти графики используются для изображения диапазонов значений для отдельных элементов анализа (наблюдений, выборок и т. д.) или вариации значений в отдельных группах или выборках.

3. Графики в пространстве (3DXYZGraphs).

Настройка графических установок. Многие опции, которые управляют процессом построения и видом отображения, могут быть заданы при помощи инструментов на вкладке «Сервис» и подвкладке «Параметры». По умолчанию в окне «Параметры» открыта вкладка «Общие».

С помощью диалогового окна, появляющегося при выборе этой команды, можно настроить конфигурацию графического окна системы и сохранить эти параметры как параметры по умолчанию. С их помощью можно изменить практически все аспекты внешнего оформления графического окна (всего более 500 параметров). Вы можете сохранить измененную конфигурацию системы, нажав «Ок».

Также настройка графических параметров становится доступна после двойного нажатия на область отображения графика:

Нажатием на кнопку «Стили» (Styles) можно перейти в диалоговое окно редактирования стилей. Из данного окна есть возможность сохранять свои стили и подгружать их для других графиков.

Щелкнув по «Списку стилей» (Listofstyles...) можно перейти к списку стандартных и сохраненных пользователем стилей для той области графика (задний фон или Ширина линий), которая редактируется.

Интерактивный графический анализ данных. Кисть, редактор данных графика. Возможно, что в русскоязычной версии пакета возникнут проблемы с отображением графиков. В связи с этим приводим описание данного раздела для англоязычной версии пакета.

В системе существует удобный инструмент для интерактивного графического анализа данных. Это так называемая *Кисть*. С помощью *кисти* можно легко установить соответствие между точками на графике и их числовыми значениями. Например, вы можете выделить необходимые точки на графике при помощи мыши и далее применить одну из следующих операций: пометить их маркером, временно удалить их из анализа или вывести их метки, перейти в режим просмотра координат.

нат этих точек. *Кисть* является мощным средством для анализа зависимостей между переменными, изучения влияния выбросов и т. д.

Основные статистики/таблицы. Во вкладке «Анализ» и далее в «Основные статистики и таблицы» объединены процедуры, наиболее часто используемые на начальном этапе обработки данных, когда выясняется структура и зависимости между данными, производится их группировка.

Для использования этого блока требуется выбрать исходные данные.

Основные элементы диалога в модуле Основные статистики/таблицы (BASICStatistic/Tables). При выборе в предлагаемом меню Descriptivestatistics – Описательные статистики перед вами откроется диалоговое окно, в котором можно:

- выбрать переменные для анализа (из уже открытого файла);
- вычислить различные описательные статистики;
- оценить близость распределения к нормальному закону;
- построить гистограммы;
- просматривать таблицы частот;
- группировать данные, разбив различными способами на классы;
- удобно визуализировать и т. д.

В этом окне имеется несколько групп кнопок. Следует обратить особое внимание на следующие:

- подробные описательные статистики (Detaileddescriptivestatistics).

Позволяет просмотреть всевозможные описательные статистики выбранных переменных;

– дополнительные настройки. Эта вкладка содержит и расширенный набор описательных статистик (позволяет вычислить отмеченные галочками дополнительные статистики).

Здесь можно задать дополнительные статистики:

- медиана и квартиль (Median&quartile);
- доверительные границы для среднего (Conf. Limitofmeans);
- альфа ошибка задает уровень значимости (Alphaerror).

Структура директорий при работе с системой Statistica. При работе с системой используются файлы трех типов:

- файлы данных с расширением.sta;
- файлы программ с расширением.stb;
- файлы отчетов с расширением.rtf.

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

2.1. Планирование

Общепринятыми приемами эмпирического научного исследования являются *наблюдение* и *опыт*. В каждой науке они имеют свои особенности и проводятся по определенным методикам. Однако не всегда наблюдение и опыт можно четко дифференцировать, так как наблюдение часто является составной частью опыта.

Проводя наблюдение, исследователь не влияет на зависимые и независимые переменные, а лишь измеряет и регистрирует их. Наблюдения широко используют в биологии, сельском хозяйстве и других областях. Например, наблюдения характерны для метеорологии (мы наблюдаем за направлением ветра и температурой воздуха, но не можем влиять на них), популяционной биологии (мы наблюдаем распределение аллелей разных генов в популяциях живых организмов), эпифитотиологии (мы наблюдаем за распространенностью и развитием заболеваний в посевах определенной культуры в различных почвенно-климатических зонах) и т. д.

Наблюдение определяют как регистрацию количественных или качественных, статичных или динамических признаков, свойств или состояний интересующего исследователя явления или процесса.

Наблюдения имеют принципиальные недостатки, которые следует принимать в расчет при формулировке выводов. При проведении наблюдательных исследований отмечаются значения переменных, которые мы считаем независимыми, и регистрируются соответствующие этим значениям величины зависимых переменных. Выявив определенную взаимосвязь (корреляцию) между первыми и вторыми, исследователь пытается обосновать причинно-следственные отношения между переменными. В наблюдательном исследовании мы никогда не можем быть уверены, что обследованные нами группы объектов различаются только тем признаком, который мы считаем независимой переменной и по которому эти группы были сформированы. Особенно это касается ретроспективных наблюдений, когда мы имеем дело с данными, полученными в прошлом. Основная причина такой ситуации лежит в нарушении фундаментального принципа выборочного метода – равной вероятности любого члена генеральной совокупности попасть в выборку. Другими словами, при проведении наблюдений выборки часто бывают неслучайными.

В отличие от наблюдений, в экспериментах исследователь варьирует независимыми переменными и определяет воздействие этих изменений на зависимые переменные.

Эксперимент, или опыт, является таким приемом научного исследования, при котором необходимые явления или процессы вызываются или изменяются искусственным воздействием на объект изучения, после чего регистрируются какие-либо их особенности, интересующие экспериментатора.

Опыты проводят в строго контролируемых условиях. Они являются основными приемами научного исследования, так как позволяют наиболее глубоко изучать явления. Опыты потенциально могут снабдить нас более качественной информацией в сравнении с наблюдениями. Только в эксперименте можно убедительно доказать причинную связь между переменными.

Классификация опытов. Одним из основных объектов наблюдений и опытов в сельскохозяйственных и биологических науках являются растения. С учетом их автотрофности, возможности выращивания в поле и лаборатории, культивирования как интактных растений, так и культур их органов, тканей и клеток, с растениями в научных исследованиях проводят четыре типа опытов: лабораторный, вегетационный, лизиметрический и полевой. Следует иметь в виду, что различия между этими основными типами в известной степени условны, и они могут сочетаться и дополнять друг друга в конкретном исследовании.

Лабораторный опыт – это исследование, осуществляемое в строго контролируемых условиях, причем в качестве изучаемых объектов могут выступать не только интактные растения, но и их отдельные части, органы или даже отдельные клетки, органеллы и макромолекулы.

Например, мы можем выделить хлоропласты из разных по устойчивости к действию высоких температур сортов пшеницы и сравнить интенсивность протекания реакции Хилла при воздействии на выделенные хлоропласты разных температур. В лабораторных опытах такого рода мы работаем с органеллами растений.

Вегетационный опыт – это исследование, при котором объектом изучения выступают интактные растения, выращиваемые в контролируемых условиях вегетационных домиков, теплиц, оранжерей, климатических камер и других сооружений.

Сущность вегетационного метода исследований состоит в том, что растения выращивают в искусственной, но агрономически обоснован-

ной обстановке, регулируемой экспериментатором. В условиях вегетационного опыта действие того или иного фактора изучается в наиболее «чистом» виде, при постоянстве или отсутствии действия других, не изучаемых факторов.

При вегетационном опыте растения выращивают в различных вегетационных сосудах в виде водных, гравийных, песчаных или почвенных культур. Совершенствование техники вегетационного метода привело к созданию сложных инженерных сооружений – фитотронов, в климатических камерах которых можно круглый год работать с растениями, моделируя для них любые условия жизни.

Лизиметрический опыт – это исследование динамики почвенных процессов и их влияния на те или иные свойства и особенности роста и развития растений в специальных лизиметрах, позволяющих учитывать и контролировать передвижение и баланс влаги и питательных веществ в естественных условиях.

В отличие от вегетационных опытов, лизиметрические проводят в поле при естественных условиях освещенности, температуры и т. д. Технически лизиметры представляют собой различного рода конструкции из кирпича, бетона, металла и других материалов, в которых почва для выращивания растений отгорожена со всех сторон от окружающей почвы. Мощность слоя почвы в лизиметре может варьировать от глубины пахотного слоя до 12 м. В зависимости от способа наполнения почвой различают лизиметры с почвой естественного строения и лизиметры с насыпной почвой. Основным оборудованием лизиметра являются приспособления, позволяющие изучать и контролировать просачивание воды и растворенных в ней веществ.

Лизиметрические опыты используют для изучения таких вопросов, как водный баланс под различными культурами, вымывание и перемещение питательных веществ почвы атмосферными осадками, определение транспирационных коэффициентов растений в естественных условиях и тому подобные. Следует иметь в виду, что полное отделение почвы в лизиметре от нижележащих слоев создает для растений иные водные, аэрационные и питательные режимы, чем в обычных полевых условиях.

Таким образом, лизиметрические опыты занимают промежуточное положение между вегетационными и полевыми экспериментами.

Для разработки практических рекомендаций производству на основе результатов лабораторных, вегетационных и лизиметрических опытов, а также для разработки наиболее обоснованных теоретических моделей изучаемых явлений, связанных с ростом и развитием расте-

ний в естественных условиях, такие результаты должны быть проверены в условиях полевого опыта.

Полевой сельскохозяйственный опыт – это исследование, осуществляемое в естественных, близких к производственным, условиях поля на специально выделенном участке.

Основной задачей полевого опыта является установление различий между вариантами опыта для качественной и количественной оценки действия разных факторов на те или иные свойства растений, и, прежде всего, на их урожай и его качество.

Полевые опыты могут сочетаться с вегетационными, что образует так называемый вегетационно-полевой опыт. При этом растения могут определенное время выращиваться в контролируемых условиях, а затем пересаживаться в поле, либо они выращиваются в поле в цилиндрических или квадратных сосудах без дна. Кроме того, в настоящее время существуют стационарные и передвижные климатические вегетационные камеры, и передвижные вегетационные домики, которые позволяют на определенное время создавать для растений контролируемые климатические условия на разных этапах вегетации. Это дает возможность экспериментатору оценить влияние каждого климатического фактора на формирование урожая, что невозможно в естественных условиях.

Полевые опыты могут быть проведены на специально выделенных для этой цели стационарных участках, либо ежегодно на новых участках, обычно на полях производственного назначения.

Классификация полевых опытов. Исходя из задач, длительности проведения, числа изучаемых факторов и других особенностей, полевые опыты могут быть классифицированы различными способами. По общей направленности исследований, полевые опыты делятся на две большие группы:

- 1) агротехнические;
- 2) опыты по сортоиспытанию.

Агротехнические опыты предназначены для оценки действия различных факторов, и, прежде всего, приемов возделывания и их сочетаний, на те или иные особенности растений. Например, на поражённость заболеваниями, а также на урожай и его качество. К этой группе относятся полевые опыты по изучению влияния на урожай растений предшественников, удобрений, способов борьбы с вредными организмами, способов обработки почвы и т. д.

В опытах по сортоиспытанию при одинаковых условиях оцениваются генетически различные сорта и гибриды растений, на основании

чего наиболее ценные по хозяйственным признакам образцы рекомендуют для районирования в той или иной зоне.

Между указанными группами полевых опытов нет резкой границы, так как в опытах по агротехнике часто включаются несколько сортов, а сортоиспытательные опыты проводят на разных агротехнических фонах.

В зависимости от количества изучаемых факторов полевые опыты подразделяют на однофакторные и многофакторные. Однофакторным является опыт, в котором изучается влияние на какой-либо показатель, например, на пораженность растений заболеванием или их урожай, количественного фактора в нескольких градациях (дозы удобрений, пестицидов, полива и т. д.), или сравнивается действие на соответствующий показатель ряда качественных однотипных факторов (разные сорта, предшественники, способы обработки почвы и т. п.).

Опыты, в которых одновременно изучается действие нескольких факторов, называются многофакторными. Примером такого опыта может быть изучение влияния на пораженность сельскохозяйственной культуры заболеванием сортовых особенностей и разных фунгицидов. При этом в одном опыте разными препаратами (один фактор) обрабатывают различные сорта растений (второй изучаемый фактор).

Опыты называют единичными, если их закладывают в отдельных пунктах, независимо друг от друга, по различающимся схемам.

Если же полевые опыты проводят одновременно по одинаковым схемам и согласованным методикам в различных почвенно-климатических условиях в масштабах определенной зоны или всей страны, то их называют массовыми, или иногда географическими. Примером таких опытов является сортоиспытание сельскохозяйственных культур, которое проводит Госкомиссия по сортоиспытанию.

По длительности проведения полевые опыты разделяют на краткосрочные, многолетние и длительные.

К краткосрочным относят опыты продолжительностью от 3 до 10 лет. Они могут быть нестационарными и стационарными. Нестационарные опыты закладываются ежегодно по неизменной схеме с одним и тем же объектом на новых участках и обычно длятся 3–4 года. Этот период считается минимально достаточным для учета влияния разных погодных условий на какой-либо признак. Стационарные опыты закладывают на стационарных участках, и длятся они обычно от 4 до 10 лет.

К многолетним относят стационарные полевые опыты продолжительностью от 10 до 50 лет, к длительным – более 50 лет. Многолетние

и длительные опыты незаменимы при изучении медленно протекающих процессов, например, при накоплении гумуса в почве. В качестве примеров длительных опытов можно привести всемирно известные опыты Ротамстедской опытной станции в Англии с монокультурами пшеницы, ячменя и многолетних трав, заложенные между 1843 и 1855 гг. С 1876 г. изучается продуктивность кукурузы в монокультуре и при 2–3-польных севооборотах в опыте Иллинойского университета в США.

Особое место среди разного рода полевых опытов занимает производственный сельскохозяйственный опыт, который представляет собой научно обоснованное исследование непосредственно в производственных условиях и направлен на решение конкретных задач совершенствования сельскохозяйственных технологий.

Требования к полевому опыту. Независимо от числа факторов, длительности проведения и т. д., ценность полевого опыта зависит от соблюдения определенных методических требований. Важнейшими из них являются:

- воспроизводимость;
- типичность;
- соблюдение принципа единственного различия;
- проведение опыта на специально выделенном участке;
- достоверность, по существу.

Важнейшее требование, которому должен отвечать опыт, – это его воспроизводимость. Каждый специалист, воспроизведя условия и методики проведения эксперимента с тем же объектом, что и его предшественник, должен получить совпадающие, по крайней мере, качественно, результаты. Невоспроизводимость ставит под сомнение любые выводы, сделанные на основе подобных экспериментов.

Под типичностью, или репрезентативностью, полевого опыта понимают соответствие условий его проведения почвенно-климатическим и агротехническим условиям района или зоны, где планируется внедрение результатов данного опыта. Любой полевой опыт должен отвечать требованию почвенно-климатической типичности. Совершенно очевидно, что нет смысла изучать, например, возможности борьбы с корневыми инфекциями в полевом опыте, заложенным на песчаных почвах, если результаты работы предполагается использовать на глинистых черноземах. Что касается соответствия опыта агротехническим производственным условиям, то это требование приложимо в основном к производственным полевым опытам.

В понятие «типичность» полевого опыта входит также требование о проведении исследований с типичными для данной зоны культурами, с использованием районированных или перспективных сортов. Если проводятся агротехнические опыты, в которых используют экологически не приспособленные к данной зоне культуры и сорта, то обычно результаты подобной работы не имеют никакой ценности, поскольку районированные культуры и сорта могут совершенно иначе реагировать на изучаемые приемы. По этой причине нельзя распространять выводы подобных опытов на обычные производственные условия. В этой же связи недопустимо, например, изучать заболевание, встречающееся на овощных культурах в теплице, на сортах открытого грунта, и наоборот.

К типичности относится также требование проведения полевого опыта при общем высоком уровне агротехники и с семенами растений высокого класса. В противном случае полевые опыты не имеют практически никакой ценности. Например, опыт с удобрениями на неокультуренной почве может производить большое впечатление, но он не будет соответствовать практическим условиям обычных старопашотных почв. Подобным же образом можно добиться впечатляющих результатов по предпосевной обработке семян, если использовать семена с низкой всхожестью.

Соблюдение принципа единственного различия означает, что все прочие условия, кроме изучаемого фактора, должны быть одинаковы. Иначе этот принцип можно назвать принципом равенства сопутствующих опыту условий. Это неперемное требование при проведении любого научного эксперимента, которое должно строго соблюдаться в опытной работе. Например, если в опыте изучается влияние дозы фунгицида на пораженность растений заболеванием, то единственным различием между вариантами опыта должны быть именно дозы. Все остальные условия (почва, сорта, предшественники, удобрения и т. д.) во всех вариантах должны быть одинаковыми.

На практике, однако, при закладке полевых опытов далеко не всегда удается соблюсти полное равенство всех условий, кроме изучаемого. Например, могут сказываться особенности микрорельефа опытного участка, различия в составе почвы в различных местах опытного участка и т. п. Эти проблемы решаются путем использования нескольких повторностей каждого варианта опыта и их размещения на опытном участке специальными методами, например, методом полностью рендомизированных блоков.

Несмотря на то, что принцип единственного различия – неременное условие любого научного эксперимента, его не следует понимать в абсолютном смысле. Например, если сравниваются два сорта пшеницы по устойчивости к какому-либо заболеванию, и один из них по своим биологическим особенностям для оптимального развития требует иной густоты посева, чем второй сорт, то было бы неразумно высевать их одинаковой нормой, так как при этом один из сортов оказался бы в заведомо невыгодных условиях. Точно так же, при испытании разных сортов, уборка урожая входит в изучаемый комплекс, а не является сопутствующим условием, которое следует выравнивать. Время уборки урожая связано с длиной вегетационного периода конкретного сорта, и было бы неправильным все сорта убирать одновременно, если длительность их вегетации различается. В подобных случаях принцип единообразия нужно понимать творчески, исходя из целесообразности и оптимальности.

Требование проведения полевого опыта на специально выделенном участке с хорошо известной хозяйственной историей является обязательным для любого полевого опыта. Опыты, проведенные не на специально выделенном и подготовленном участке (на пустырях, дачах), не имеют никакой научной или практической ценности, независимо от задач исследований. Фактически это требование является логическим следствием принципа единственного различия. Нельзя назвать полевым опытом какие бы то ни было исследования сортов или агротехники, если они проводятся на случайных участках.

Под достоверностью опыта, по существу, понимают логически правильно построенную схему и методику проведения опытов, соответствие их поставленным перед исследователем задачам, правильный выбор объекта и условий. Опыты, недостоверные, по существу, часто могут приводить к неверным выводам. К недостоверности опыта, по существу, может привести использование некачественных материалов (реактивов), оборудования и неупрежденных измерительных приборов.

Приступая к решению той или иной проблемы, исследователь, прежде всего, планирует полевой опыт. Под планированием понимают определение целей, задач и объектов исследований, разработку схемы эксперимента, выбор оптимальной структуры полевого опыта и участка для его проведения. Планирование – важнейший элемент научных исследований, представляющий собой ряд последовательных этапов работы. Ошибки, допущенные при планировании, нельзя исправить в дальнейшем ни тщательным проведением самой опытной работы, ни последующей статистической обработкой.

В наиболее общем виде, структуру планирования можно разбить на два этапа.

Первый этап включает в себя такие пункты:

- выбор темы;
- определение актуальности исследований;
- формулировку целей и задач исследований;
- выбор объекта или объектов исследований;
- сбор и критический анализ имеющейся информации относительно исследуемой проблемы;
- построение и выдвижение рабочих гипотез (теоретических моделей).

Успешное проведение опыта во многом зависит от выбора темы исследований. При этом следует представлять уровень разработанности различных вопросов в области фитопатологии, их перспективности, запросы теории и практики. При выборе темы следует руководствоваться такими критериями как актуальность, новизна, перспективность. Проблема, для решения которой проводится научное исследование, должна быть ясно и однозначно определена. Если она не может быть сформулирована, то она не может быть решена.

Уяснив проблему, следует поставить задачи, ответы на которые приведут нас к ее решению. Ответы на них и дают эксперименты, каждый из которых должен иметь четко сформулированную цель. Такой целью могут быть гипотезы, подлежащие проверке, или эффекты, подлежащие оценке. Вопреки этому, цели и задачи исследований довольно часто формулируются в общем виде, что затрудняет их выполнение в пределах одного опыта или исследования.

При выборе объекта исследований следует исходить из поставленных целей и задач, хозяйственного и научного значения различных объектов, планируемых методик и здравого смысла.

Изучение научной литературы является важным этапом работы, позволяющим избежать ненужного дублирования и не тратить время на «открытие открытого». Собственно говоря, формулировка темы, целей и задач исследования невозможны без знания имеющихся в данной области научных данных. Исследователь должен хорошо знать, что в данной области науки является изученным, что остается неизученным, и ясно представлять, почему это неизученное важно изучить. Только имея эти знания, можно четко сформулировать проблему, для решения которой будут проведены эксперименты. Кроме того, исследователь никогда не делает выводы только на основании своего эксперимента, даже если этот эксперимент и был проведен несколько раз.

В расчет всегда принимается информация, приведенная в научных публикациях других специалистов. Конечно, если работа ведется в совершенно новом направлении, в котором нет никакой информации, то основой для выводов исследователя будут только его собственные данные.

Знание научной литературы необходимо также для выдвижения рабочей гипотезы, то есть научного предположения о развитии явлений, на котором основывается объяснение ожидаемых в планируемом опыте результатов. Рабочая гипотеза, выдвигаемая до проведения эксперимента (априорно), является важнейшим методологическим инструментом организации научных исследований. Она служит отправным пунктом для составления схемы опыта. Можно сказать так, что сам опыт проводится для проверки рабочей гипотезы. Если результаты эксперимента не противоречат выдвинутой гипотезе, то она углубляется и развивается далее. Если же результаты эксперимента противоречат рабочей гипотезе, то она видоизменяется с учетом новых данных.

Второй этап планирования опыта предусматривает разработку программы исследований. Наиболее важными моментами этого этапа являются:

- определение разделов исследовательской работы;
- определение места и сроков их выполнения;
- составление схемы проведения опытов по каждому разделу;
- составление календарного плана работ по подготовке и проведению полевого опыта, уходу за растениями;
- составление плана фенологических наблюдений за развитием растения, возбудителей болезни и т. д. с конкретным указанием сроков и частоты проведения учетов и наблюдений.

2.1.1. Закладка полевого опыта

После планирования полевого опыта, специалист переходит к его непосредственному осуществлению. Прежде всего, должны быть проведены выбор и подготовка земельного участка. Земельный участок, отводимый под опыт, должен отвечать принципу типичности по отношению к почвенно-климатическим условиям той зоны, в которой предполагается использовать результаты опыта. Второе требование к почвенному участку – это однородность почвенного покрова, обеспечивающая достаточную точность опыта. Это требование нельзя рассматривать как абсолютное, так как выделить полностью однородный

участок бывает довольно трудно. Для правильного выбора и подготовки земельного участка необходимо тщательно изучить его историю, провести почвенное обследование, изучить рельеф, микрорельеф, засоренность и учесть другие возможные факторы.

2.1.2. Выбор земельного участка под опыт

На участках, хозяйственная история которых неизвестна, закладывать опыты не следует, поскольку в этом случае их результаты не имеют практической или теоретической ценности. Лучше всего участок выбирать там, где сам экспериментатор в течение нескольких лет следил за использованием будущего опытного участка и не допускал разнообразия агротехнических приемов на отдельных его частях. Если же такой возможности не было, то необходимо иметь достоверные сведения о том, что в последние 3–4 года земельный участок был полностью занят одними и теми же культурами, возделываемыми по одной технологии.

При отсутствии таких участков можно использовать под опыт поле, отдельные части которого возделывались по-разному. Однако в таких случаях необходимо, чтобы все варианты одного повторения обязательно располагались в пределах участков с одинаковой хозяйственной историей.

Требования к рельефу опытного участка зависят от целей исследовательской работы и изучаемых растений. В большинстве случаев предпочтительный ровный или с однообразным уклоном участок (не более 2,5 м на 100 м). При более значительном уклоне может произойти смыв почвы и внесенных удобрений с одних делянок на другие и даже за пределы участка. Для изучения рельефа участка проводят его подробную нивелировку для составления плана с горизонталями через 0,1–0,2 м. Данные нивелировки, нанесенные на почвенную карту, служат одним из основных показателей при планировании размещения делянок. Кроме макрорельефа, при выборе участка также следует учитывать и микрорельеф («блюдца», бугорки, мелкие ложбинки, различного рода борозды). В некоторых случаях приходится прибегать к планировке почвы, с использованием механизмов или вручную, для ликвидации впадин и бугорков, особенно для участков, на которых предполагается проводить опыты с орошением напуском.

При выборе опытного участка следует также обратить внимание на случайные факторы. В частности, опыты не следует располагать ближе 100–200 м от большого лесного массива, оврага и водоемов, 50–100 м

от жилых домов, животноводческих ферм, леса, ближе 25 м от отдельных деревьев, или ближе 10 м от плотных изгородей или проезжих дорог.

Когда выбор земельного участка сделан, проводят почвенные обследования. Необходимо убедиться в типичности почвы и в ее однообразии. Для решения этого вопроса необходимо воспользоваться почвенной картой, а при ее отсутствии – провести детальное изучение почвы. При значительной пестроте почв в пределах участка приходится довольствоваться однородностью почвы в пределах каждого повторения. Требования типичности и однообразия почвенного покрова при выборе участка не всегда могут строго соблюдаться. Не всегда типичный участок имеет достаточно однородный почвенный покров или рельеф; в то же время хорошо выровненный участок может оказаться не совсем типичным. Поэтому в каждом отдельном случае, в зависимости от различных обстоятельств, приходится в некоторой степени поступаться типичностью или выравненностью участка.

2.1.3. Подготовка и изучение участка

Предварительное изучение хозяйственной истории и обследование почвы дают ориентировочное, но далеко не достаточное представление о земельном участке. Перед закладкой полевых опытов нужно провести его дальнейшую подготовку и изучение. Подготовка и изучение участка включает 1–2, реже – больше так называемых уравнильных посевов.

Уравнильным посевом называют сплошной посев какой-либо культуры, проведенный по всей площади выбранного участка для повышения однородности почвенного плодородия. Уравнильными посевами, особенно если их применять несколько лет, можно в некоторой степени устранить пестроту земельного участка, вызванную последствием агротехнических приемов, по-разному применявшихся в прошлом на различных частях участка. Кроме того, уравнильные посевы позволяют провести тщательную борьбу с сорняками и создают необходимый агрофон для будущего опыта. Иногда вместо уравнильного посева весь участок под опыт оставляют под чистым паром, то есть после вспашки не высевается никакая культура и в течение лета тщательно убираются сорняки.

Наибольшее значение уравнильных посевов заключается в том, что глазомерная оценка выравненности растений такого посева служит решающим критерием для суждения о пригодности земельного участ-

ка под опыт. Она позволяет выделить участки, более-менее однородные по состоянию растений, и забраковать совсем непригодные, например с сильной и непонятной пестротой стеблестоя, солончаками и т. д. Если глазомерная оценка пестроты почвенного плодородия при подготовке участка не была выполнена, то невозможно быть уверенным в достоверности результатов будущего опыта, по существу.

Последний по счету уравнительный посев убирают дробно, возможно – малыми делянками, учитывая урожай на каждой из них. Такой посев называют рекогносцировочным и используют для оценки выравненности почвенного плодородия в различных местах участка.

Однако, как указывает Б. А. Доспехов (1979), рекогносцировочный посев не является обязательным. Обычно определить пригодность данного поля для закладки полевых опытов и разработать их методику можно по данным почвенного обследования и визуальной оценки изменчивости плодородия на уравнительном посеве. На основании этих данных квалифицированный экспериментатор способен достаточно удовлетворительно планировать методику будущего опыта – определять форму, размер, повторность и расположение делянок.

2.2. Основные элементы методики и техники полевого опыта

Основными элементами методики полевого опыта являются такие: число вариантов и повторностей, площадь и форма делянок, направление их размещения, метод расположения вариантов на земельном участке, система размещения повторений, метод учета урожая, организация опыта во времени.

2.2.1. Площадь, форма и направление опытной делянки

Полевой опыт ставят на делянках, имеющих определенную форму и размер. Как отмечает Б. А. Доспехов (1979), в опытном деле вопросу размера делянки часто придается гораздо большее значение, чем он заслуживает. Ранее наблюдалось увлечение большими делянками (до 1 га и более). Однако во всех странах практика опытной работы показала, что большие делянки ничего не дают, кроме увеличения затрат и снижения точности исследований.

Размер и форма делянки для различных видов полевого опыта зависят от цели и задач исследований, культуры, пестроты почвенного покрова, применяемой агротехники. Вообще говоря, размер делянки должен обеспечивать такое число растений, которое компенсирует

индивидуальные генетические различия между отдельными растениями. Поэтому чем крупнее высеваемое растение, тем больше должна быть площадь делянки, чтобы ее размер позволил поместить нужное число растений. Например, для зерновых культур считается, что для исключения влияния изменчивости отдельных растений на точность опыта, на одной делянке должно быть как минимум 80–100 растений. По данным ряда исследований, часто достаточно и 40–50 растений.

При определении размера делянки следует учитывать также особенности агротехники растений и степень механизации полевых работ. В практике опытного дела наиболее широко используются делянки площадью от 50 до 200 м². На начальных этапах исследовательской работы часто используют делянки от 10 до 50 м², однако многие опыты с успехом проводят и на делянках площадью 0,5–2 м² (иногда полевые опыты на делянках такого размера называют микроделяночными опытами). В любом случае, даже при проведении производственных опытов, нет объективных оснований к значительному увеличению площади делянок.

Форму и направление опытных делянок выбирают по результатам изучения опытного участка. Обычно вытянутая форма делянки гарантирует меньшую ошибку опыта, так как полнее охватывает пестроту земельного покрова. В фитопатологических исследованиях предпочитают делянки квадратной формы, что способствует равномерному распространению возбудителей болезни.

Достоверность опыта во многом зависит от ориентации делянок на опытном участке. Длинные стороны делянок нужно располагать в том направлении, в котором сильнее всего изменяется плодородие почвы, поскольку все варианты опыта должны быть поставлены в одинаковые условия. При наличии полевых защитных полос делянки располагают длинной стороной перпендикулярно к ним. При закладке опыта на выровненном по плодородию участке ориентация делянок не оказывает влияния на ошибку опыта.

По краям опытных делянок выделяют защитные полосы (защитки). Различают боковые и концевые защитки. Боковые защитки выделяют вдоль длинных сторон делянок для исключения влияния растений соседних вариантов. Ширина боковой защитной полосы изменяется от 0,5 до 1,5 м. Иногда боковую защитку просто пропалывают, оставляя проход между делянками.

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

Кроме этого, часто весь опытный участок или его часть с одноименными культурами засевают защитной полосой по периметру.

2.2.2. Варианты и повторности опыта

Целью любого опыта является определение различий между вариантами опыта и/или установление особенностей действия разного рода факторов на изучаемые объекты. Совокупность всех вариантов опыта составляет схему эксперимента.

Число вариантов в схеме опыта зависит от темы исследований и определяется целью и задачами эксперимента. При планировании исследований всегда нужно помнить, что число вариантов оказывает заметное влияние на точность опыта, поскольку с увеличением числа вариантов ошибка опыта возрастает. Это обусловлено тем, что с увеличением числа вариантов увеличивается площадь под опытом, возрастает пестрота почвенного плодородия и расстояние между сравниваемыми вариантами. При большом числе вариантов трудно поместить опыт или его отдельные повторения в пределах однородной по почвенному плодородию площадки. Все это увеличивает дисперсию данных опыта, и соответственно – его ошибку. Следует иметь в виду, что при более крупных делянках увеличение числа вариантов значительно сильнее увеличивает ошибку опыта, чем при делянках меньшего размера, и это необходимо учитывать при планировании эксперимента.

С другой стороны, если число вариантов очень мало, то площадь опытного участка будет использована нерационально; кроме того, малое число вариантов не всегда может дать достаточно полную характеристику изучаемым факторам. Помимо прочего, необходимо рационально использовать вегетационные периоды. Как свидетельствует практика опытного дела, следует стремиться к тому, чтобы в опыте было 8–12, максимум – 16 вариантов. Увеличение их числа требует, как правило, усложнения методов постановки опыта.

Для каждого варианта опыта используют несколько повторных делянок, поскольку повторности – наиболее действенное средство снижения ошибки опыта. Собственно говоря, проведение опыта без повторностей делает невозможной его оценку статистическими методами. Это допустимо лишь при проведении предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытов.

Повторностью опыта на территории называют число одноименных делянок каждого варианта, а повторностью во времени – число лет проведения соответствующего опыта.

Территориальная повторность дает возможность полнее охватить пестроту земельного участка и получить более точные средние значения. Повторность во времени позволяет установить действие изучаемого фактора при разных метеорологических условиях.

При увеличении повторности снижается ошибка опыта (пропорционально корню квадратному из числа повторностей). Практика полевых исследований показала, что наиболее оптимальным является проведение полевого опыта в 4–6-кратной повторности. Дальнейшее увеличение числа повторностей нецелесообразно, так как при этом возрастает общий объем работы, но ошибка снижается незначительно. Большее число повторностей применяется только для доказательства слабых эффектов воздействий различных факторов.

Результаты полевого эксперимента сильно зависят от метеорологических условий конкретного вегетационного периода (и года вообще). В этой связи, повторность во времени для краткосрочного опыта необходима для получения достаточно объективной характеристики изучаемого приема в отдельные годы – сухие, нормальные, влажные и т. д. Конкретное количество повторностей во времени зависит от задач исследований и от того, как сложатся метеорологические условия. В любом случае при планировании опытов следует учитывать, что даже при благоприятном стечении обстоятельств нельзя рассчитывать на получение сколько-нибудь достоверной информации менее чем за три года.

2.2.3. Методы размещения вариантов в полевом опыте

Повторности полевого опыта, то есть делянки, представляющие отдельные варианты опыта, на площади опытного участка размещают по определенным правилам. В простейшем случае делянки всех вариантов и повторностей размещают полностью случайно, не объединяя территориально повторности вариантов в компактные группы (повторения). Такое размещение называют методом неорганизованных повторений или полной рендомизацией (от англ. *random* – случайный, выбранный наугад) (рис. 2.1). Технически при таком размещении всю площадь опытного участка разделяют на одинаковые делянки необходимого размера, число которых определяется схемой опыта и равно произведению числа вариантов на число повторностей, а затем с помощью случайного выбора определяют, какой вариант на какой делянке будет размещен в натуре.

A	B	C	A	D
A	C	A	C	C
D	D	B	A	D
B	B	C	D	B

Рис. 2.1. Пример полностью рендомизированного размещения четырех вариантов (A...D) полевого опыта, каждый из которых представлен в пяти повторностях

Такой метод используется только в тех редких случаях, когда нет необходимости контролировать возможное закономерное варьирование почвенных условий эксперимента, и полевые опыты закладываются на хорошо выровненных земельных участках. Кроме того, он может быть эффективен, когда в опыте изучается небольшое число вариантов (2–4) и есть основание не контролировать возможное закономерное варьирование плодородия почвы опытного участка.

Однако чаще всего полевые опыты располагают на площади методом так называемых организованных повторений.

Организованным повторением полевого опыта называют часть площади опытного участка, которая включает по одной делянке (повторности) каждого варианта опыта.

Часть земельного участка, отводимая под повторение и включающая все варианты опыта, должна быть достаточно однородной. В то же время между отдельными повторениями допускаются достаточно большие различия.

Размещение повторений на опытном участке может быть сплошным и разбросанным. При сплошном размещении повторения располагаются компактно и имеют общие границы. При этом, в зависимости от конфигурации участка, повторения могут размещаться в один, два и более ярусов. В каждом ярусе должно быть целое число повторений.

При разбросанном размещении повторений они по одному или по несколько расположены в разных частях опытного участка или даже на разных участках и не имеют общих границ. К такому методу размещения повторений прибегают обычно в тех случаях, когда нет достаточного по размеру земельного участка, на котором можно было бы разместить все повторения в непосредственной близости друг от друга.

Внутри каждого повторения делянки отдельных вариантов размещают вполне определенными методами. Можно выделить три основных метода, используемых с этой целью: стандартный, систематический и рендомизированный.

При стандартном методе один или два варианта опыта чередуются с контролем или стандартом (рис. 2.2, *а*). Каждую делянку изучаемого варианта сравнивают со своим контролем. Такое размещение основано на идее, что плодородие опытного участка изменяется постепенно, и между урожаями соседних делянок имеется корреляция. Стандартный метод иногда кажется очень простым и надежным для сведения к минимуму ошибок эксперимента. Представляется, что контроль, расположенный возле каждого изучаемого варианта, даст наиболее точную оценку эффективности варианта. Однако практика применения и сравнительной оценки стандартных методов выявила их существенные недостатки, основными из которых являются следующие:

- не всегда наблюдается тесная корреляционная зависимость между урожаями рядом расположенных делянок;
- опытные варианты, расположенные далеко друг от друга, очень трудно сравнивать;
- стандартный метод очень громоздкий, что обусловлено неоправданно большим числом контрольных делянок;
- ненадежность статистических оценок при обработке данных эксперимента (точнее говоря, при стандартном размещении вариантов вообще нет никаких статистических методов оценки результатов эксперимента).

При систематическом методе опытные варианты располагают на делянках внутри повторений в определенной последовательности. Обычно при размещении повторений в один ярус варианты опыта располагают одинаково в каждом повторении. Например, если в первом повторении варианты располагались в порядке А, В, С, D и E, то такой же порядок сохраняется и во всех других повторениях (рис. 2.2, *б*). При расположении повторений в несколько ярусов обычно применяют шахматный порядок, когда последовательность вариантов в повторениях разных ярусов сдвигается.

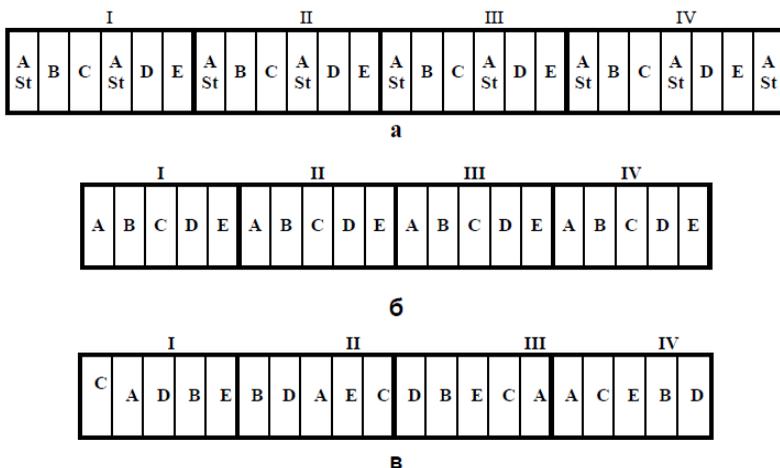


Рис. 2.2. Методы размещения пяти вариантов (А...Е) по делянкам четырех повторений полевого опыта: *а* – стандартный; *б* – систематический; *в* – рендомизированный. А – вариант, выбранный в качестве стандарта при стандартном методе, что для наглядности обозначено буквами St

Несмотря на кажущуюся простоту, систематический метод имеет недостатки и часто может приводить к грубейшим ошибкам. Недостатки систематического метода размещения обусловлены двумя причинами: непредвиденным искажением эффектов вариантов и отсутствием подходящих статистических методов для оценки результатов исследований.

В подавляющем большинстве случаев нет никаких причин использовать стандартный или систематический методы размещения вариантов по делянкам опытного участка. Всегда следует придерживаться фундаментального принципа равенства вероятности любого варианта попасть на любую делянку опытного участка, то есть прибегать к случайному размещению. Только в таком случае выводы, которые делаются на основании результатов опыта, будут обоснованным, поскольку методы статистического анализа базируются именно на принципе случайного отбора. Этот принцип соблюдается при использовании наиболее распространенного в мировой практике метода рендомизированных повторений (рис. 2.2, *в*). Такой метод позволяет уменьшить ошибку опыта при использовании дисперсионного анализа для статистической обработки результатов полевого опыта, поскольку дает возможность уменьшить случайное варьирование результатов на величину

ну, обусловленную влиянием повторений. В каждом повторении варианты распределяю по делянкам случайным образом.

Случайный метод размещения вариантов часто называют также методом рендомизированных блоков, понимая под словом «блок» повторение. Теоретические основы необходимости рендомизации в полевых сельскохозяйственных исследованиях были разработаны еще в 20–30-х годах прошлого века крупнейшим американским специалистом Р. Фишером и в дальнейшем развиты Д. Снедекором и другими.

Разновидностью рендомизированного размещения вариантов являются методы латинского квадрата и латинского прямоугольника. Использование латинского квадрата позволяет в значительной степени устранить из ошибки опыта систематическое изменение плодородия почвы по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Расположение опыта латинским квадратом требует, чтобы число повторений было равно числу вариантов. На площади делянки располагают рядами и столбцами, причем в каждом ряду и столбце должен быть полный набор всех вариантов, и при этом ни один вариант не должен повторяться ни в ряду, ни в столбце. Делянки должны быть квадратной или почти квадратной формы (рис. 2.3). При удлиненной форме делянок латинский квадрат не имеет никаких преимуществ перед обычным методом рендомизированных блоков.

Е	Д	В	А	С
В	Е	Д	С	А
С	А	Е	В	Д
Д	С	А	Е	В
А	В	С	Д	Е

Рис. 2.3. Пример размещения пяти вариантов опыта (А...Е) методом латинского квадрата

2.2.4. Особенности постановки полевых опытов в сельскохозяйственных организациях

Важной задачей массовой опытной работы в условиях производства является экспериментальное решение вопросов, которые возникают из потребностей конкретного хозяйства.

Особенности организации, методики и техники полевого опыта в производственной обстановке определяются целями и характером исследования, видом опыта, степенью производственного риска, материально-технической базой. Нет единой методики для всех опытов, которые закладываются в хозяйствах, методика и техника проведения эксперимента всегда конкретны. 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 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.

Опыт в производственной обстановке должен быть по возможности простым по технике постановки и особенно по методике и технике уборки и учета урожая. 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.

При организации опытной работы в хозяйстве 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 целесообразно поставить опыт на делянках очень небольшого размера, например при недостатке нового вида удобрений или гербицида, отсутствии большой партии семян новой культуры и 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 выясняет, а запутывает вопрос об эффективности того или иного приема, ведет 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 хозяйствах 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.

Экспериментальная работа в хозяйстве будет обречена на провал, если руководители не уделяют ей должного внимания, не сочтут ее полезной для производства и откажут экспериментатору в своевременном предоставлении техники и рабочих, не выделяют средств для приобретения необходимого оборудования, инвентаря, материалов, не будут способствовать внедрению достижений в производство.

В современных условиях опытная работа в хозяйствах – 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).

Полевые опыты, проводимые в хозяйствах, 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, 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.

Кроме опытов-проб, в хозяйствах необходимо ставить точные сравнительные полевые опыты по разработке дифференцированной агротехники, испытанию новых приемов и технологий, рекомендованных научными учреждениями. Эти опыты должны проводиться в соответствии с основными требованиями методики полевого опыта: 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 равномерной оценки посева из общего массива выделяют наиболее выровненный 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: 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 хозяйствах показывает, что целесообразная ширина делянки (полосы) для зерновых 8–16 м и для пропашных культур 5–10 м, а общая площадь ее 500–2000 м². 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.

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 методом дисперсионного анализа.

Для первоначальной оценки принципиально новых способов возделывания сельскохозяйственных культур, необходимо закладывать их на небольших делянках – 50–100 м², а в отдельных случаях 10–20 м². Методика и техника проведения этих опытов не отличаются от методики и техники полевых опытов, принятых для научно-исследовательских учреждений. Такие опыты в хозяйствах представляют исключение и ставят их на особо выделенных участках вне хозяйственного севооборота.

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 технологий, агротехническая оценка которых уже дана на опытных станциях и в полевых сравнительных опытах хозяйств, но необходимы усовершенствование и дальнейшая дифференциация их в условиях конкретного хозяйства.

Для учета эффективности нового агротехнического приема (сорта) или технологии 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 применяют. 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 применяют 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 технологии определяют учетом затрат и прибыли.

Один из лучших способов уборки зерновых культур с контрольных и опытных учетных полос – прямое комбайнирование.

Перед началом работы комбайн 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 мин промолоть 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, этикетировывают, а затем взвешивают. Рядом с контрольной полосой (на расстоянии 3–1,0 м) справа и слева делают по прокосу 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 она будет равна $2 \times 4 \times 200 = 1600 \text{ м}^2$.

Для определения влажности и массы отсортированного зерна, а также его качества при взвешивании урожая берут средние пробы около 1 кг.

После того, как будут убраны все учетные полосы, убирают урожай со всего массива тем же комбайном.

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; 3) доход на гектар площади.

Если новый агротехнический прием не требует дополнительных затрат, например оптимальный срок сева, ранний подъем зяби, минерализация обработки почвы и т. п., то в этом случае никаких расчетов, кроме агротехнической и статистической оценки, проводить не следует, так как экономический эффект таких приемов очевиден.

Важная роль в пропаганде достижений науки и передового опыта принадлежит демонстрационным, или показательным полевым опы-

там. 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.

Во время вегетации опытные посеы 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 – 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 технолог и хозяин поля. В практической работе он должен доверять лишь одному авторитету – фактам, полученным в точном опыте.

2.3. Уход и наблюдения за растениями на опытном участке

Характер полевых работ, проводимых на опытном участке, зависит от выращиваемой культуры, задач исследования и т. д. Обработка поч-

вы, если она сама не является изучаемым фактором, должна быть одинаковой, одновременной и высококачественной на всех делянках опыта. Посев растений на опытном участке, как правило, должен быть проведен в один день. Во всех опытах нормы высева желательно устанавливать по числу всхожих семян, а не по весу.

Важнейшим правилом ухода за опытом является одновременность выполнения агротехнических работ на всем участке. Если же по каким-то причинам это невозможно сделать одновременно, то в течение одного дня работы необходимо завершить на целом числе повторений. Это требование необходимо строго выполнять. Его нарушение приводит к недостоверности опыта по существу, ведь даже незначительный разрыв, например, в сроках обработки или сроках внесения удобрений, всего на 6–8 часов (особенно если за это время пройдет дождь), часто приводит к существенным различиям в росте и развитии растений.

Второе общее требование – высококачественность всех выполняемых работ и равнокачественность их для всех вариантов. Агротехнический фон на опытном участке должен быть оптимальным для проявления эффекта изучаемого приема или сорта.

В общем, уход за растениями в опытном поле не должен отличаться от ухода за соответствующими культурами в производственных условиях. Прополку, междурядную обработку, подкормку и т. д. проводят одинаково на всех делянках опыта и не растягивают во времени. К специальным работам по уходу за опытом относят поделку и прочистку дорожек, обрезку по шнуру концов делянок, а также отбивку защитных полос. Сюда же относится своевременная расстановка колышков, этикеток и т. п. На всей территории опытного участка поддерживают чистоту, не должны оставаться выполотые растения, остатки ботвы, соломы и другого мусора.

В течение вегетационного периода одновременно с уходом проводят постоянные наблюдения за растениями. Наблюдения – это неотъемлемая составляющая в достижении конечной цели полевого опыта, получении максимального урожая.

При изучении влияния на урожай разных агротехнических приемов или защитных мероприятий недостаточно изучить лишь показатели урожая. Необходимо обязательно учитывать сопутствующие условия и факторы, обуславливающие урожай: погодные условия, зимостойкость, засухоустойчивость, полегаемость, устойчивость сортов к болезням, интенсивность роста растений и время вхождения в ту или иную фазу их развития. Кроме этого, необходимо учитывать тип почв, время проведения всех работ от подготовки почвы до уборки урожая.

Только при соблюдении всех этих требований можно охарактеризовать не только полученный конечный результат – урожай, но и выяснить причины получения разных урожаев.

Фитопатологу, в отличие от растениевода, в процессе фенологических наблюдений по существу необходимо решать две теснейшим образом взаимосвязанные задачи:

1) вести наблюдения за растениями, быть внимательным к регистрации влияния различных факторов на их рост и развитие;

2) следить за развитием заболевания: знать источники инфекции, длину инкубационного периода, цикл развития возбудителя болезни, время появления первых признаков болезни, начало массового развития, диагностику заболевания и другие вопросы.

Следует особо подчеркнуть, что при регистрации различных факторов, проведении учетов пораженности важное значение имеет знание фаз развития растений и правильное применение этих знаний на практике, поскольку данные всех учетов и наблюдений должны быть сравнимы, чтобы можно было сопоставлять результаты исследований, выполненных в разные вегетационные периоды, в разных местах и разными исследователями.

Одним из важных аспектов сопоставимости результатов является точное определение фаз развития растений, при которых проводились учеты. Знание фазы развития позволяет сравнивать данные даже в том случае, когда время посева и продолжительность вегетации различаются для разных вегетационных периодов или в разных местах.

К сожалению, разные исследователи используют различные шкалы для выделения отдельных этапов развития растений. Такие шкалы обычно основаны на детальном фенологическом наблюдении.

Для разных культур используют свои шкалы для характеристики фаз развития растений. Наиболее разнообразные подходы в этом вопросе, вероятно, используют для зерновых культур. Так, часто просто отмечают фенологическую фазу – прорастание семян, всходы, выход в трубку и т. п. Часто используемой является также шкала Ф. М. Куперман, в которой этапы роста и развития растений выделяются на основании этапов органогенеза конуса нарастания. Эти этапы обозначают либо латинскими буквами от A до W, либо арабскими или римскими цифрами от 1 до 12.

В западной научной литературе часто используют числовую шкалу Фикеса, в которой каждая фаза развития растений обозначается цифрами от 1 до 12, используя десятые доли единицы для более детального описания этапов развития растений.

Каждая из упомянутых шкал идентификации фаз или этапов роста и развития растений, однако, имеет определенные недостатки. Прежде всего, они не описывают весь период вегетации растений достаточно детально. Во-вторых, они являются в значительной степени описательными и не обеспечивают достаточной информации для количественной оценки роста и развития. Вследствие этого данные с трудом поддаются компьютерной обработке.

Наиболее удовлетворительной к настоящему времени для зерновых культур является десятичная шкала, разработанная Зодаксом с соавторами в 1974 г. По этой шкале весь период развития растений разбит на 100 этапов, обозначаемых цифрами от 0 до 99, и шкала Зодакса является фактически международной.

2.4. Ведение документации по опыту

Правильное и регулярное ведение документации и отчетности по опыту является обязательным элементом экспериментальной работы. Объективный анализ и объяснение результатов исследований возможны только при условии учета и своевременного фиксирования всех выполняемых работ, сопутствующих факторов и результатов наблюдений и анализов.

Документация по полевому опыту должна быть полной по содержанию, объективной, своевременной и достоверной. Записи должны быть однотипными.

Обязательными документами полевого опыта являются:

- рабочий план (программа);
- первичная текущая документация (дневник полевых работ);
- вспомогательные документы (рабочие тетради или журналы);
- сводные документы (журнал полевого опыта);
- отчет о проведении полевого опыта.

Рабочий план (программа) опыта составляется исполнителем на определенный календарный год и утверждается на заседании кафедры вуза или отдела института. В нем указывают название темы (раздела), сроки и место проведения опыта, должность, фамилию и инициалы исполнителя и руководителя, обоснование и задачи исследования, а также методы проведения эксперимента в краткой форме.

Рабочий план также включает в себя такие пункты: схему опыта; общие условия проведения опыта (почва, агротехника и т. д.); параметры полевого опыта (площадь делянок, число повторностей и т. д.);

перечень и методику проведения учетов, наблюдений и анализов (даты проведения наблюдений за фотофазами растений, даты учетов развития заболевания, даты взятия проб и т. д.); необходимые для проведения опыта материалы и оборудование; ожидаемые результаты.

Важнейшей составной частью рабочей программы является календарный план с перечнем всех видов работ, учетов, наблюдений и анализов с указанием их объемов и сроков выполнения.

Дневник полевых работ должен быть надлежащим образом оформлен. На первых страницах указывается тема эксперимента, место его проведения, фамилии исполнителей, время проведения исследований. Далее описывается схема опыта, приводится чертеж с конкретным планом размещения вариантов на опытном участке.

В дневник заносятся в хронологическом порядке все агротехнические работы, данные учетов и наблюдений, погодные факторы, сопутствующие учетам, наблюдениям и агротехническим работам. Записи ведут непосредственно в поле или лаборатории во время выполнения работы или сразу же после ее окончания. Подчистки не допускаются, исправления следует оговаривать.

Во вспомогательных документах, начиная с момента выбора земельного участка под опыт и заканчивая уборкой урожая, следует делать подробные записи, касающиеся характеристики почвы, способов ее обработки, удобрений, подготовки семян к посеву, ухода за посевами. Необходимо систематически регистрировать фенологические наблюдения за ростом и развитием растений. Учеты болезней и вредителей растений проводят в течение всей вегетации с обязательным указанием даты их первичного появления. В документацию следует вносить сведения относительно всех явлений, которые могут повлиять на точность опыта. Особо следует обращать внимание на факторы погоды при опрыскивании растений различными препаратами в борьбе с вредителями и болезнями. Все записи проводят по специальной форме или произвольно, однако целесообразно вести записи по определенной схеме.

Журнал полевого опыта. Журнал полевого опыта является сводным документом, содержащим все необходимые данные для дальнейших обобщений и выводов. В журнале сосредоточен весь основной материал по полевому опыту (текст, таблицы, графики), на основании которого можно составить отчет.

В журнал полевого опыта обязательно заносят следующие сведения: название темы (опыта), сроки и место проведения, фамилии и

инициалы исполнителей и руководителя, цель и задачи опыта, схема и план размещения опыта, характеристика и история опытного участка, данные об особенностях почвы и агротехнике, программа и методика исследований, перечень всех проведенных работ с указанием сроков и условий выполнения, обработанные результаты учетов, наблюдений и анализов в виде таблиц, графиков, диаграмм; обработанные результаты учета урожая в пересчете, если необходимо, на 1 га; результаты статистической обработки данных.

Исправления в журнале полевого опыта недопустимы, также как и записи карандашом.

Отчет о проведении полевого опыта является заключительным этапом экспериментальной работы и оформляется в виде годового или заключительного отчета.

К числу основных требований при составлении отчета относятся четкость построения, логичность изложения материала, убедительность аргументации, краткость и точность формулировок, исключая возможность субъективного и неоднозначного толкования, достоверность и конкретность изложения результатов, доказательность выводов и обоснованность рекомендаций. Отчет обязательно должен исчерпывающе полно отражать содержание и результаты проведенной работы и иметь доступную форму изложения. Благодаря этому специалист любой категории сможет извлечь из него нужную информацию.

Отчет обычно включает следующие разделы:

- название, исполнители и руководитель темы;
- цель и задачи исследования;
- краткая история вопроса (обзор научной литературы);
- схема, методика и условия проведения эксперимента;
- результаты исследований и их обсуждение;
- выводы;
- рекомендации;
- список использованной литературы.

Научные отчеты подписываются исполнителем и руководителем.

Глава 3. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И УЧЕТА ВРЕДНЫХ ОБЪЕКТОВ

3.1. Диагностика и учет болезней растений

Успех борьбы с заболеваниями растений во многом зависит от своевременного выявления первых признаков и точного диагностирования заболевания, а также прогнозирования возможной динамики его последующего развития в зависимости от биологии возбудителя и факторов внешней среды. Правильное диагностирование болезней, особенно в полевых условиях, требует от исследователя знания особенностей паразитизма и развития возбудителя в онтогенезе растений, характерных признаков при поражении грибами из различных систематических групп. Немаловажное значение для выявления первых признаков и динамики развития болезни имеет знание источников первичной и вторичной инфекции, а также длины инкубационного периода в зависимости от климатических условий.

При диагностике заболеваний необходимо помнить о том, что на растениях развивается множество непаразитарных болезней, то есть заболеваний, связанных с отрицательным действием физических факторов (температура, водный режим, радиация), химических факторов (недостаток макро- и микроэлементов, избыток солей, действие газов), ксенобиотиков (пестицидов, гербицидов). В большинстве своем признаками отрицательного влияния абиотических факторов сходны с инфекционными болезнями, особенно вирусными, микоплазменными и бактериальными.

Учеты болезней сельскохозяйственных культур осуществляются двумя методами: маршрутными обследованиями и наблюдениями на стационарных участках.

Маршрутные обследования проводят для получения данных о поражении культур болезнями на территории определенного района. Их проводят ежегодно на одних и тех же массивах культур в двух-трех наиболее типичных хозяйствах. Количество и площади обследованных полей устанавливают с таким расчетом, чтобы охватить наблюдениями не менее 10 % площади посевов (насаждений) обследуемой культуры.

Маршрутные обследования проводят обычно 3 раза за вегетационный период: для полевых культур – при появлении всходов, в период колошения или цветения и перед уборкой урожая; для плодово-ягодных культур – сразу после цветения, спустя месяц и перед уборкой урожая.

При маршрутном обследовании проводят общую оценку состояния растений в поле, закладывают пробные площадки, на которых проводят детальное обследование. В зависимости от культуры и типа поражения посева, из растений составляют сноп или их осматривают на корню; оценивают растения в целом, плоды, листья, отрезки рядков и т. д.

Стационарные участки выделяют в базовом хозяйстве, наиболее типичном для данной зоны. Количество участков устанавливают по принципу хозяйственной значимости культур, подлежащих обследованию на пораженность болезнями. Стационарные участки размещают на двух-трех полях массива, где определенная культура поражается комплексом болезней, характерных для данной зоны. Наблюдения на стационарных участках проводят систематически, не реже чем через каждые 10 дней.

Как при наблюдениях на стационарных участках, так и при маршрутных обследованиях, отбор проб для анализа осуществляется по определенным правилам. При равномерном распределении больных растений пробы берут по одной или двум диагоналям участка; при неравномерном – по нескольким параллельным линиям. При очаговом поражении измеряют площадь очагов. В зависимости от вида вредного организма и типа насаждения (посева), единицей наблюдения может быть растение, лист, плод, отрезок рядка и т. д.

В практике опытного дела европейских стран приняты несколько иные методы наблюдений за состоянием посевов. При высокой культуре земледелия, использовании эффективных методов агротехники и хорошей выравненности земельных участков, на стационарных участках наблюдения проводят методом так называемых контрольных площадок. Контрольная площадка представляет собой квадрат со сторонами 40 шагов (около 30 м) и площадью около 900 м². Пораженность растений определяют по краю контрольной площадки в восьми точках – по ее углам и примерно посередине каждой стороны. Расстояние от края поля до первой контрольной точки должно составлять 40 шагов. Число наблюдений в каждой точке, то есть число учтенных растений, их частей, отрезков рядков и т. д. равно обычно пяти; в конечном итоге, по одной контрольной площадке получают 40 отдельных цифр.

При проведении маршрутных обследований, в подлежащем осмотру посеве прокладывают так называемые оценочные линии под прямым углом к краю поля. Линия начинается через 20 шагов (15 м) от края участка. В пяти контрольных точках, расположенных на расстоянии 20 шагов друг от друга, оцениваются по пять растений на наличие симптомов болезни. Таким образом, по каждой линии получают 25 результатов оценки.

В большинстве случаев путем визуального контроля, т. е. осмотра на месте, удается установить причину заболевания растений и диагностировать возбудителя. Все же в условиях производства не всегда удается однозначно определить причину повреждения. В таких случаях возникает необходимость в отборе образцов и их пересылке в организации службы растений или научные учреждения соответствующего профиля для проведения детального анализа. Для этой цели образцы должны быть правильно собраны и упакованы, а сопроводительные данные должны содержать достаточно информации.

При правильном отборе растительных проб вначале проводится внимательное описание визуальных симптомов повреждений: гнилей, увядания, деформаций, изменений окраски и т. д. Следует обращать внимание на специфические выделения растений (слизь, камедетечение, медвяная роса, капельки экссудата) и на присутствие возможного возбудителя (мицелий, плодовые тела). Необходимо внимательно осматривать и те части растений, на которых нет видимых симптомов поражения.

В пробе должно быть максимально возможное количество растений как с начальными, так и с наиболее типичными полностью развитыми симптомами заболевания. Рекомендуется прилагать к пробе и внешне здоровые растения.

В случае если возможен отбор целых растений, каждое растение осторожно выкапывается с корнями, не отряхивая приставшую к корням землю, поскольку она тоже исследуется. Если же отбор целых растений невозможен, в пробы включают пораженные органы с типичными симптомами, а также здоровые части.

Отобранные пробы следует сразу же упаковать и как можно быстрее передать в учреждение, которое будет проводить их исследование. Для предотвращения загнивания или плесневения следует отбирать только сухие, не смоченные дождем или росой образцы. При пересылке целых растений корни с приставшей к ним землей обворачивают влажной бумагой, полимерной пленкой или помещают в пластиковый мешочек. Для предотвращения загрязнения других частей растений, бумагу или пленку перевязывают у основания стебля.

Небольшие растения или части растений по отдельности заворачивают в сухую бумагу и упаковывают в картонные коробки или деревянные ящики для защиты от раздавливания. Нежные, быстро засыхающие растения укладывают во влажный мох, между влажными пластинами поролон или пенопласта и затем помещают в коробки, выстланные пергаментной бумагой или пленкой. Аналогично упаковы-

вают сочные, легко повреждаемые плоды – томаты, землянику, вишни. В качестве наполнителя используют опилки, торф, отходы пенопласта.

Растения большего размера, типа кустов картофеля и свеклы, заворачивают в бумагу или в пленку и затем упаковывают в ящики. Крупные ветви, части корней и стволов после обертывания бумагой можно упаковать в мешковину, деревянные ящики или обмотать соломой. Длинные и узкие растения или их части по всей длине привязывают к рейке или к палке и пересылают в таком виде. При необходимости, растения можно согнуть или разрезать, если это не влияет на симптомы заболевания.

Каждый отправленный на исследование материал должен иметь сопроводительную записку, содержащую подробную информацию относительно симптомов болезни и сопутствующих условий. В частности, существенными являются такие данные:

- точное название вида и сорта растения;
- краткое описание картины поражения и симптомов с упоминанием последовательности их появления во времени, степени пораженности, очаговое или равномерное распределение, фаза развития растения, данные о пораженности в предшествующие годы;
- характеристика местных условий – тип местности (открытая, ограниченная лесополосами или лесом, сухая или влажная), состав почвы;
- описание агротехники и технологии возделывания культуры (предшественник, удобрения, подготовка почвы, время посева, норма высева);
- сведения о погодных условиях (температура, осадки, похолодания, заморозки, туманы, град, снежный покров и т. д.);
- сведения о проведенных защитных мероприятиях, использованных препаратах и их дозах, способах обработки и кратности применения.

Методы диагностики болезней растений. При фитопатологических обследованиях устанавливается наличие заболеваний растений. Если при проведении обследования посевов и насаждений выявлены больные растения, то в первую очередь проводят диагностику заболевания, т. е. устанавливают его причину, и в случае инфекционного заболевания идентифицируют возбудителя. Для различных возбудителей инфекционных болезней растений используют следующие основные методы диагностики.

Вирусные и вирусные болезни:

Визуальный метод – установление внешних симптомов болезни путем осмотра.

Метод перезаражения – установление инфекционной природы заболевания при передаче вируса здоровому растению соком, механическим способом, насекомыми или иным способом. Доказательством инфекционности служит воспроизведение на том же виде растений симптомов, аналогичных симптомам на исследуемом образце.

Метод растений-индикаторов, с помощью которого определяется реакция некоторых растений на определенный вирус.

Иммунологический (серологический) метод – использование антител к специфическим вирусным антигенам.

Метод электронной микроскопии – с помощью электронного микроскопа устанавливают наличие возбудителя и определяют форму и размер вирусных частиц.

Анатомо-морфологический метод – установление изменения морфологических признаков у больных растений.

Метод включений – основан на анализе образованных вирусом специфических образований в клетках растений.

Бактериальные и микоплазменные болезни (бактериозы и микоплазмозы):

Визуальный метод – установление внешних симптомов болезни путем осмотра.

Культурально-морфологический метод – выделение возбудителя на питательную среду и воспроизведение симптомов заболевания путем искусственного заражения.

Микробиологический метод – выделение возбудителей на питательную среду и изучение их морфологических, культуральных и биохимических признаков.

Иммунологический (серологический) метод – использование антител к специфическим антигенам возбудителей.

Грибные болезни (микозы):

Визуальный метод – установление внешних симптомов болезни.

Микроскопический метод – определение характера изменений в пораженных тканях растений, обнаружение возбудителя и его спороношения.

Биологический метод, или метод искусственного заражения.

Культуральный метод – грибок выделяют на питательную среду и ведут наблюдение за культурально-морфологическими признаками его культуры.

Иммунологический (серологический) метод – использование антител к специфическим антигенам возбудителя.

Показатели фитопатологического контроля. Оценка состояния посевов в период вегетации на предмет пораженности болезнями производится по двум основным показателям: распространение (распространенность) и развитие болезни.

Распространение болезни – количество больных растений или отдельных его органов (листьев, плодов, клубней) в процентах от общего числа обследованных растений (органов). Оно вычисляется по формуле

$$P = \frac{n \cdot 100}{N},$$

где P – распространенность болезни, %;

N – общее число обследованных растений в пробах;

n – число больных растений или органов.

Средневзвешенный процент распространенности включает не только количество больных растений, но и обследованную площадь и рассчитывается по формуле:

$$P_c = \frac{\Sigma(S \cdot P)}{S},$$

где P_c – средневзвешенный процент распространенности болезни;

$\Sigma(S \cdot P)$ – сумма произведений площади полей на соответствующий им процент распространенности;

S – общее количество обследованных площадей, га.

Развитие, или индекс болезни отражает усредненную интенсивность поражения и выражается в баллах или процентах.

При учете развития болезни в баллах по равноступенчатой балльно-процентной шкале (когда на каждый последующий балл шкалы прибавляется постоянный процент степени поражения органов растения; например: балл 0 соответствует 0 % покрытия листовой поверхности пустулами, балл 1 – до 10 %, балл 2 – до 20 %, балл 3 – до 30 % и так далее до балла 10 – 100 %).

Развитие болезни вычисляется по формуле:

$$R = \frac{\Sigma(a \cdot b)}{N \cdot K} \cdot 100,$$

где R – развитие болезни, %;

$\Sigma(a \cdot b)$ – сумма произведений числа больных растений на соответствующий им балл поражения;

N – общее количество учетных растений (здоровых и больных);

K – высший балл шкалы учета.

При учете развития болезни непосредственно в процентах, а также при проведении учетов по неравноступенчатой балльно-процентной шкале (когда на каждый последующий балл производится нелинейное наращивание процента поражения органов; например, балл 0 – 0 %, балл 1 – до 5 %, балл 2 – до 10 %, балл 3 – до 25 %, балл 4 – до 50 %, балл 5 – 50–100 % поражения органов) развитие болезни устанавливается в соответствующих единицах (процентах и баллах) по формуле:

$$R = \frac{\sum(a \cdot b)}{N},$$

где R – развитие болезни, % (балл);

$\sum(a \cdot b)$ – сумма произведений числа больных растений на соответствующий им процент (балл) поражения;

N – общее количество учетных растений (здоровых и больных).

Учет распространенности и развития болезней растений. После выявления наличия инфекционного заболевания и идентификации возбудителя проводят оценку распространенности и развития болезни. Существует ряд общепринятых требований к определению этих показателей. Прежде всего эти требования заключаются в том, чтобы оценку распространенности и развития болезни, проводимую разными исследователями в разных зонах и при разных условиях, можно было определенным образом сравнить. Это возможно только в том случае, если учет данных показателей проводится в определенную фазу развития растений. Ведь нельзя сравнить, например, учеты распространенности ржавчины на зерновых культурах, проведенные одним исследователем в фазу кущения, другим – в фазу колошения, а третьим – в фазу восковой спелости.

Результаты будут сопоставимы, если учеты проведены на одном и том же сорте растений, одними и теми же методами и в определенную фазу. Поэтому при проведении фитопатологической оценки посевов или насаждений обязательно отмечают фазу развития растений.

Распространенность, или частота встречаемости болезни, является наиболее простым элементом учета заболевания. Она представляет собой просто долю пораженных растений или их частей от общего числа учтенных растений. Обычно *распространенность* выражают в процентах и ее величину вычисляют по формуле:

$$I = \frac{a}{N} \cdot 100,$$

где I – распространенность болезни, %;

a – число больных растений или их частей в пробе, шт.;

N – общее число учтенных растений или их частей, шт.

В некоторых случаях величины распространенности болезни вполне достаточно для характеристики состояния посевов. Это относится к заболеваниям, которые обуславливают гибель растения или тех его частей, которые и составляют урожай. К такого рода болезням относятся многие виды головни, сосудистое увядание и т. д.

Для большинства заболеваний этот показатель недостаточно полно характеризует состояние культуры. Это характерно для того большинства болезней растений, у которых существует количественная взаимосвязь между степенью поврежденности растений фитопатогеном и их структурно-функциональным состоянием, и урожаем. В таких случаях требуется количественная оценка степени повреждения растений заболеванием. И такие методы оценки применяются для целого ряда заболеваний разных культур. В основе этих методов лежит глазомерная оценка интенсивности проявления симптомов заболевания, то есть оценка ведется по количеству, величине и интенсивности проявления различного рода некрозов, пятен, налетов, пустул и т. п.

Оценка степени пораженности сельскохозяйственных культур фитопатогенами имеет два аспекта, или преследует две цели: количественную оценку степени пораженности растений и степень иммунности или устойчивости растений.

Степень пораженности растений на опытных делянках или пробных площадях в производственных посевах определяется с помощью учета интенсивности пораженности отдельных растений. Интенсивность поражения – это величина пораженной поверхности листьев (количества пораженных листьев) или интенсивность проявления симптомов заболевания на других органах растений, которая определяется глазомерно. Для ее определения существует множество шкал, которые могут быть представлены стандартными рисунками (диаграммами), схематично изображающими вид растений с разной интенсивностью поражения, либо представляют собой словесное описание внешнего вида таких растений.

Во всех шкалах интенсивность поражения растения оценивается либо в условных процентах пораженной заболеванием площади листьев или в баллах.

Для разных заболеваний различных культур с этой целью используются различные шкалы пораженности. Более того, даже для одного и того же заболевания одного и того же вида растений разные исследователи часто используют различные шкалы. В качестве примера стан-

дартной диаграммы можно привести шкалу Р. Ф. Питерсона с совто-рами пораженности пшеницы ржавчиной (рис. 3.1). На ней под схе-матическими рисунками пораженных отрезков листьев приведены условные проценты пораженности.

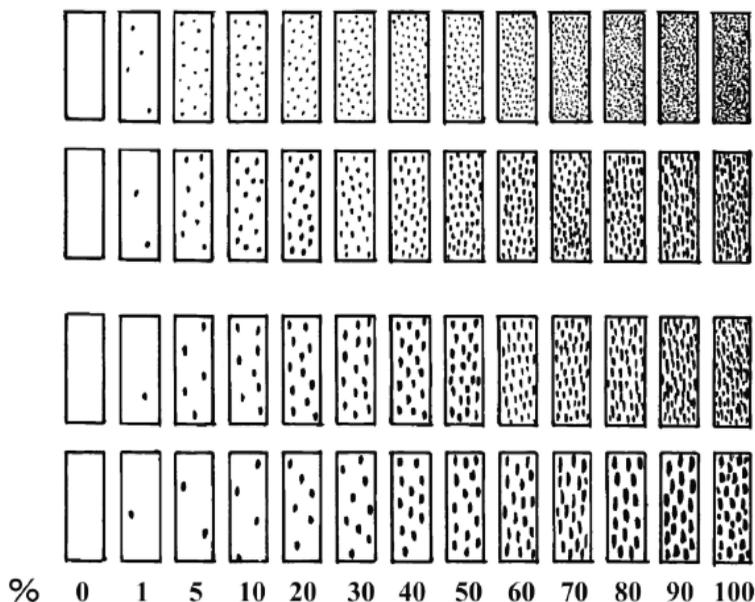


Рис. 3.1. Шкала Р. Ф. Питерсона для оценки пораженности листьев злаков стеблевой и бурой ржавчиной

После оценки пораженности каждого растения в образце вычисля-ют развитие болезни (интенсивность развития болезни, степень разви-тия болезни, индекс болезни). Если оценку интенсивности поражения проводили в условных процентах, то *развитие* болезни вычисляют по такой формуле

$$R = \frac{\sum(a \cdot b)}{N},$$

где R – развитие болезни (% или баллы);

$\sum(a \cdot b)$ – сумма произведений числа больных растений (a) на соот-ветствующий им балл или процент поражения (b);

N – общее количество растений в пробе (больных и здоровых), шт.

Если же оценку интенсивности поражения заболеванием проводили в баллах, то формула для вычисления развития болезни несколько видоизменяется:

$$R = \frac{\Sigma(a \cdot b)}{N \cdot K} \cdot 100,$$

где R – развитие болезни, %;

$\Sigma(a \cdot b)$ – сумма произведений числа больных растений (a) на соответствующий им балл или процент поражения (b);

N – общее количество растений в пробе (больных и здоровых), шт.

K – высший балл шкалы учета.

При проведении учетов пораженности растений результаты удобно записывать в виде таблицы, в которой приводятся необходимые промежуточные вычисления.

Пример 1. При учете пораженности флаговых листьев озимой пшеницы бурой ржавчиной по шкале Питерсона были получены такие результаты:

% пораженности, (a)	0	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Всего
Число растений, шт. (b)	46	51	43	34	25	31	20	23	15	11	10	3	0	312
Произведение $a \cdot b$	0	51	215	340	500	930	800	1150	900	770	800	270	0	6726

Поскольку пораженность растений оценивали в условных процентах, развитие болезни вычисляем по формуле:

$$R = \frac{\Sigma(a \cdot b)}{N} = \frac{6726}{312} = 21,56 \%$$

Пример 2. При учете пораженности проростков ячменя корневой гнилью по 4-балльной шкале были получены следующие результаты:

Балл пораженности (a)	0	0,1	0,5	1	2	3	4	Всего
Число растений, шт. (b)	53	72	87	36	30	15	6	299
Произведение $a \cdot b$	0	7,2	43,5	36	60	45	24	215,7

Так как пораженность растений оценивали в баллах, то для вычисления развития болезни используем следующую формулу, с учетом того, что высший балл шкалы учета равен четырем:

$$R = \frac{\sum(a \cdot b)}{N \cdot K} \cdot 100 = \frac{215,7}{299,4} \cdot 100 = \frac{215,7}{1196} \cdot 100 = 18,03 \%$$

Величина развития болезни для конкретной пробы (снопа) растений может изменяться от 0 %, когда ни одно из учтенных растений не имеет симптомов заболевания, до 100 %, когда все учтенные растения имеют высший балл или процент пораженности. Развитие заболевания отражает усредненную степень пораженности одного растения в пробе, характеризующую определенный массив растений.

В случае определения развития болезни в хозяйстве, районе или другой какой-либо территории, вычисляют средневзвешенный процент развития болезни по формуле:

$$R_c = \frac{\sum(R_n \cdot S_n)}{S_o},$$

где R_c – средневзвешенный процент развития болезни;

$\sum(R_n \cdot S_n)$ – сумма произведений показателя развития болезни на соответствующую ему площадь;

S_o – общая площадь всех посевов, на которых были проведены учеты.

Глазомерные оценки пораженности растений, выполненные с применением визуальных шкал учета заболеваний, являются полезными, однако они субъективны. Попытки избавиться от субъективизма привели к разработке более сложных методов учета пораженности растений заболеваниями, например к оценке площади пораженных участков листьев с применением компьютерного анализа образов, либо оценке интенсивности вызванной люминесценции пораженных тканей растений.

Более рациональной альтернативой является анализ изображений больших массивов сельскохозяйственных культур, получаемых с самолётов или спутников (дистанционное оценивание). Анализируются изображения либо в видимом свете, либо при других длинах волн электромагнитных колебаний. Такой подход позволяет получать важную информацию относительно общего состояния посевов и прогнозировать ожидаемый урожай. Однако он мало пригоден для оценки пораженности посевов именно конкретным заболеванием.

По указанной причине, шкалы визуального учета пораженности растений остаются чрезвычайно важными и применяются как в практике селекционного процесса, так и при оценке эффективности новых фунгицидов. Но всегда следует помнить об относительной точности таких учетов и о приблизительности количественных оценок, а также о субъективизме при применении таких шкал. Важным моментом является требование о проведении оценок в пределах одного опыта одним и тем же исследователем. Только при этом условии можно получить сопоставимые данные. При проведении исследовательской работы очень полезным является «слепой учет», когда образцы растений отбираются одним человеком и нумеруются в соответствии с вариантами опыта, а оценку их пораженности проводит другой специалист, не знающий соответствия номеров проб конкретным вариантам. При этом субъективизм глазомерной оценки оказывает значительно меньшее влияние на результаты учета пораженности заболеваниями вариантов опыта.

Методы оценки устойчивости растений к болезням. Одним из наиболее надежных методов контроля болезней растений является выведение устойчивых сортов. Успех селекции на устойчивость к болезням в определяющей степени зависит от правильного подбора устойчивых или иммунных родительских форм. А это, в свою очередь, зависит от эффективности применяемых методов оценки на устойчивость.

В наиболее общем плане методы оценки растений на устойчивость можно разбить на две большие группы: косвенные методы и прямые методы оценки.

Косвенные методы основаны на оценке анатомо-морфологических и физиолого-биохимических показателей растений, для которых доказана высокая корреляция с устойчивостью. Такая оценка может проводиться как при воздействии на растение патогена или его метаболитов, так и без такого воздействия.

Например, зерновые культуры с закрытым типом цветения не заражаются возбудителем пыльной головни. Далее, для некоторых болезней показано, что патологический процесс практически целиком определяется способностью фитопатогенного организма выделять специфические для определенных сортов и линий растений токсины и чувствительностью растений к этим токсинам (например, овес – викторин, кукуруза – Т-токсин, кукуруза – НС-токсин). В таких случаях есть однозначное соответствие – если сорт растений мало чувствите-

лен к специфическим токсинам, то он будет высокоустойчив к заболеванию.

Прямые методы основаны на оценке пораженности испытуемого сорта или линии растения в сравнении с восприимчивым контролем или стандартом. При их использовании растения должны быть заражены патогеном. С этой целью применяют различные инфекционные фоны.

Инфекционный фон – это наличие инфекции и условий, обеспечивающих успех заражения и развития заболевания. При создании инфекционного фона в большинстве случаев регулируют инфекционную нагрузку и условия заражения.

Инфекционная нагрузка – это количество инфекции (спор патогена) на растении-хозяине в пересчете на единицу его поверхности. От величины инфекционной нагрузки зависит заражение и последующее развитие болезни. Возбудители разных заболеваний для надежного заражения растений требуют различной величины инфекционной нагрузки. Высоко агрессивные патогены могут вызвать заражение единственной спорой, в то время как мало агрессивные требуют использования большого количества спор для надежного заражения растений. Инфекционная нагрузка может быть минимальной, средней (оптимальной) и максимальной. В последнем случае говорят о жестком инфекционном фоне.

Инфекционные фоны делят на *естественные* и *искусственные*.

Естественный инфекционный фон – это наличие инфекции или инокулюма в природных полевых условиях. Несмотря на удобство и простоту его применения, он имеет недостатки. Прежде всего естественный фон всегда представляет смесь рас или разновидностей возбудителей только данной зоны; кроме этого, невозможно контролировать инфекционную нагрузку и условия. Поэтому, прежде чем использовать естественный инфекционный фон, необходимо как минимум изучить расовый состав, соотношение рас и их типичность для данной зоны, а также характер иммунологических реакций.

Естественный инфекционный фон часто можно повысить, например, применением монокультуры (чаще для почвообитающих патогенов), или выращиванием испытуемых вариантов между восприимчивыми сортами (для болезней типа мучнистой росы или ржавчины).

Иногда, не предпринимая никаких методов заражения растений, на опытном участке создают условия, способствующие заражению растений. Так, для повышения влажности можно делать загущенные посе-

вы, или опрыскивать растения по вечерам. При этом даже в отсутствии дождей и обильных рос можно добиться сильного заражения растений болезнями, для возбудителей которых важно длительное наличие на растениях капельножидкой влаги. В подобных случаях создается так называемый провокационный фон, способствующий сильному поражению растений даже без дополнительного внесения инокулюма.

Искусственный инфекционный фон создается на опытном участке, в вегетационных домиках или в условиях фитотрона. При его создании, как правило, регулируются условия для растения, патогена и течения болезни. Обязательным является наличие жизнеспособного источника инфекции с достаточной вирулентностью. При необходимости используют маркированные биотипы или расы возбудителя болезни.

Наряду с естественным и искусственным инфекционным фоном различают недифференцированные и дифференцированные инфекционные фоны.

Недифференцированный фон – когда на одном опытном участке вносится инфекционный материал с разных сортов, регионов и т. д.

Дифференцированный фон – когда на опытном участке вносятся хорошо изученные биотипы или расы патогена. Дифференцированный фон содержит строго дозированное количество хорошо изученных рас возбудителей болезни. При дифференцированном подходе отбор на устойчивость можно вести к отдельным генам.

Для создания инфекционных фонов существует множество различных способов внесения инокулюма или заражения. Эти методические приемы зависят от биологических особенностей возбудителей и их первичной органотропности. Поэтому в зависимости от способа сохранения инфекции и заражения растений методические подходы объединяют в ряд групп. Основные из них следующие:

1. Заражение через почву. Культура патогена смешивается с почвой и создается инфекционный фон. Эти приемы используют при поражении только подземных или подземных и наземных органов, если патоген сохраняется в почве. Примерами таких заболеваний являются кила капусты, рак картофеля, корневые гнили, сосудистые микозы и другие.

2. Заражение или заsporение семян. Применяют сухое и влажное заsporение, а также вакуумный метод. Это один из способов заражения через почву, но такой методический подход связан с биологическими особенностями патогена сохраняться чаще на поверхности семян и заражать проростки, всходы. Примерами таких заболеваний яв-

ляются твердая головня пшеницы, ржи, ячменя, головня проса, пыльная головня кукурузы и др.

3. Заражение цветков. В этом случае используют ряд приемов: индивидуальное заражение каждого цветка, опыление пучками больных колосьев, вакуумный метод и другие. Такой подход применяется при пыльной головне пшеницы, ячменя, спорынье ржи и других заболеваний.

4. Заражение листьев, стеблей и ветвей. Используют сухой и влажный методы нанесения спор, а также в виде инъекций. Применяется при ржавчинных, мучнисторосяных, ложномучнисторосяных и многих других болезнях.

5. Следует отметить, что, независимо от способа создания инфекционного фона или способа заражения растений, следует учитывать тот факт, что для надежной оценки устойчивости растения должны быть свободны от различных инфекций, то есть быть заведомо здоровыми. Только в таком случае можно ожидать достаточно достоверных оценок устойчивости.

В сельскохозяйственной практике при выведении и испытании новых сортов их устойчивость к болезням должна оцениваться неоднократно как на начальных этапах селекционного процесса, так и при сортоиспытании и районировании сортов.

При отборе родительских форм и последующей оценке гибридов и сортов важнейшими показателями является степень иммунности и устойчивости растений. В таком случае интерес представляет качественная оценка иммунологической реакции растения на заражение. Такие оценки применяются в селекционных программах, в популяционных исследованиях фитопатогенных организмов и т. п. Оценка иммунологической реакции проводится с использованием шкал иммунности (в баллах или процентах), имеющих вид стандартных рисунков (диаграмм), либо описательных. Обычно баллы, описывающие самое слабое поражение, относят к реакции устойчивости, а поражения, превышающие определенный балл, относят к восприимчивости. Иммунологическая реакция определяется в лабораторных или вегетационных экспериментах в строго контролируемых условиях.

Так, например, шкала иммунности Т. Д. Страхова для оценки пораженности пшеницы ржавчиной (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Шкала иммунитета Т. Д. Страхова для оценки пораженности пшеницы ржавчиной

Балл шкалы	Описание симптомов	Иммунологическая характеристика
0	Урединии крупные, бархатистые, легко порошащие. Эпидермис листа при созревании урединий легко разрывается и обычно хорошо заметен по их краям в виде прозрачных пленок. Обычно отсутствует обесцвечивание тканей вокруг урединий	Восприимчивый сорт
1	Урединии мельче, чем в предыдущем случае, нередко собраны группами. Большинство урединий вскрывается, а часть не в состоянии прорвать эпидермис. В местах скопления урединий ткань листа обесцвечивается (хлоротические зоны)	Сорт ниже средней устойчивости
2	Урединии мелкие, рассеяны по поверхности листа. Некоторые урединии вскрываются, большинство не в состоянии прорвать эпидермис. Вокруг пустул хорошо заметны обычно округлые зоны обесцвеченной ткани листа	Среднеустойчивый сорт
3	Урединии очень мелкие, рассеяны по поверхности листа, как правило не вскрываются, урединиоспоры в них часто недоразвиты. На листе имеются светлые пятна разной формы и величины – места внедрения гриба. Вокруг недоразвитых урединий и в местах заражения хорошо заметны зоны светлой или светло-желтой ткани листа (некрозы)	Устойчивый сорт
4	Полное отсутствие урединий гриба. Места заражения обнаруживаются по мелким обесцвеченным участкам листа (хлороз и некроз). Некрозы могут отсутствовать	Высокоустойчивый или иммунный сорт

В фитопатологии для оценки устойчивости, или иммунитета одних и тех же культур к одним и тем же возбудителям заболеваний обычно предлагается много шкал. Например, для оценки иммунитета пшеницы и ржи к ржавчине, кроме шкалы Т. Д. Страхова, используется также описательная шкала Е. Мейсона и Н. Джексона, и многие другие.

В качестве другого примера шкалы иммунитета можно привести описательную 4-балльную шкалу, разработанную для оценки вирулентности изолятов возбудителей сетчатой и темно-бурой пятнистости ячменя М. М. Левитиным с соавторами (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Шкала оценки вирулентности изолятов возбудителей сетчатой и темно-бурой пятнистости ячменя

Балл шкалы	Описание симптомов
1	Точечные некрозы без хлороза
2	Некротические коричневые пятна с хлоротичным окаймлением или без хлороза, не распространяющиеся по отрезку листа
3	Некротические пятна с хлорозом, распространяющиеся по отрезку листа
4	Некротизирован весь отрезок листа

Эту шкалу используют через 4–5 суток после заражения отрезков листьев растений ячменя, культивируемых на растворе бензимидазола, суспензией конидий возбудителей.

В условиях лаборатории при искусственном заражении растений абсолютно непоражаемых сортов выявить не удастся, поэтому балл 0 в данной шкале отсутствует. Реакции растения, соответствующие баллам 1 и 2, соответствуют устойчивости, баллам 3 и 4 – восприимчивости.

Оценки потерь (недобора) урожая. На основании данных учета распространенности и развития болезней сельскохозяйственных культур можно определить размер потерь урожая. Прямой вред от болезни выражается в снижении урожая или его выбраковке вследствие низкого качества полученной продукции. Такой вред определяется по проценту погибших или не давших урожая растений, например при заболевании зерновых культур головней или пустоколосостью, при опадании завязей с плодовых культур и т. д.

В тех случаях, когда болезнь не приводит к гибели всего растения или его частей, составляющих урожай, вред от болезни не поддается непосредственному учету. Его устанавливают опытным путем при сравнении урожая здоровых и больных растений. В простейшем случае потери выражают в процентах от урожая здоровых растений и вычисляют по такой формуле:

$$L = \frac{A-a}{A} \cdot 100,$$

где L – потери урожая, %;

A – урожай здоровых растений;

a – урожай больных растений.

Данная формула дает только грубую оценку вредоносности заболевания, так как не учитывает степень его развития. Для более точной оценки эмпирически вычислены формулы для различных заболеваний

разных культур, по которым определяют их вредоносность. В некоторых случаях установлена линейная зависимость потерь урожая от числа больных растений, то есть от распространенности заболевания. Например, потери от фитофтороза на клубнях картофеля при хранении равны числу зараженных клубней. Потери урожая пшеницы от офиоболеза (в %) равны половине числа растений, зараженных офиоболезом, т. е. $L = 0,5 \cdot I$.

В большинстве случаев потери урожая связаны с развитием или распространенностью заболевания более сложной зависимостью. Подобные зависимости (представляющие собой регрессионные уравнения) устанавливают эмпирически, используя различные подходы. Например, для зерновых культур можно составить снопики больных растений с разной величиной развития болезни, и оценить средний урожай одного растения в снопике. Затем, построив регрессионное уравнение, можно оценивать потери урожая для конкретных посевов.

Часто используют препараты для химической защиты растений и сравнивают урожай необработанных и обработанных растений при разных уровнях различий в развитии заболевания. Такой подход, однако, не является достаточно надежным, поскольку обработанные фунгицидом растения могут быть свободными не только от учитываемого заболевания, но и от других болезней, что приведет к завышению оценки вредоносности именно конкретной болезни.

В настоящее время в литературе имеется множество различных регрессионных уравнений для оценки потерь урожая различных культур от болезней. В них предсказываются вероятные потери в зависимости от величины развития заболевания.

Например, потери урожая зерновых культур от мучнистой росы можно определить по такой формуле:

$$L = K\sqrt{R},$$

где L – потери урожая, %;

K – коэффициент, равный 2,0 для пшеницы и 2,5 для овса и ячменя;

R – развитие болезни в %.

Зависимость потерь урожая озимой пшеницы от степени развития полосатой мозаики выражается таким уравнением:

$$y = 101,4 - 0,7 \cdot 493R,$$

где y – урожай (в процентах от потенциального);

R – развитие болезни в %.

В некоторых случаях при вычислении вредоносности заболевания учитывается величина порога вредоносности, то есть уровня развития заболевания, превышение которого вызывает достоверные потери урожая. Например, для обыкновенной корневой гнили зерновых культур порог вредоносности считается равным 10–15 %, а потери урожая составляют от 0,6 до 1 % на каждый процент развития болезни сверх порога вредоносности (две последние цифры представляют собой границы варьирования величины коэффициента вредоносности корневой гнили).

Знать величину потерь урожая от конкретной болезни необходимо для оценки экономической эффективности приемов защиты, и, прежде всего, экономического порога вредоносности.

Экономическим порогом вредоносности заболевания называют уровень развития болезни, превышение которого делает рентабельным применение мер борьбы с ним.

Эффективность защитных мероприятий зависит от того, какие показатели мы оцениваем, то есть учитываем ли мы биологическую, хозяйственную или экономическую эффективность.

Под биологической эффективностью понимают уменьшение распространенности или развития болезни в опытном варианте в сравнении с контролем или стандартом.

Хозяйственной эффективностью называют количество сохраненного урожая, которое обеспечивает применяемый прием защиты (в абсолютных единицах или процентах).

Экономическая эффективность равна разнице между стоимостью примененного метода защиты растений и стоимостью сохраненного урожая. Фактически она характеризует рентабельность обработки растений.

Вполне очевидно, что никакого практического значения не имеют рекомендации, которые не обеспечивают достаточно высокой экономической эффективности.

Следует учитывать, что точно оценить потери урожая конкретной сельскохозяйственной культуры от конкретного заболевания довольно сложно, если вообще возможно. Во-первых, при одном и том же уровне развития болезни ее вредоносность и сам по себе урожай зависят от многих сопутствующих обстоятельств, и, прежде всего, от погодных условий. Во-вторых, урожай конкретных сортов растений зависит от уровня их толерантности, то есть от способности не снижать урожай при поражении фитопатогенным организмом. В-третьих, разные исследователи используют разные шкалы учета пораженности

одних и тех же культур одной и той же болезнью, что усложняет оценку потерь урожая, так как для каждой шкалы учета следует вычислять свое регрессионное уравнение. В этой же связи дополнительную проблему представляет субъективизм при использовании визуальных шкал учета, поскольку вызывают сомнение пригодность для всех специалистов, даже использующих одну и ту же шкалу учета, некоторого обобщенного регрессионного уравнения.

Кроме того, необходимо отметить, что потери урожая, выраженные в процентах, зависят от общего уровня урожайности в абсолютных числах. Современные дорогостоящие безопасные для окружающей среды средства защиты растений имеют высокую экономическую эффективность только при высоком уровне агротехники, в условиях интенсивного земледелия.

3.2. Фитоэкспертиза семенного материала

Качество посевного материала имеет первостепенное значение для успешного выращивания сельскохозяйственных культур.

Свыше 60 % всех опасных болезней сельскохозяйственных растений передается с семенами или посадочным материалом (клубнями, луковицами, корнеплодами). В семенном материале возбудители болезней находят благоприятные условия для перезимовки и на следующий год являются источником возобновления болезни в полевых условиях. С семенами патогенные микроорганизмы могут расселяться в новые районы обитания, заноситься в почву и накапливаться там.

Кроме болезнетворных микроорганизмов на посевном и посадочном материале обитают полезные и безвредные виды, а также сапрофиты, которые при неблагоприятных для посевного материала условиях размножаются и вызывают его порчу.

Вредоносность патогенов, передающихся с посевным посадочным материалом, может быть различной, так как зависит от многих факторов, в том числе от восприимчивости растений, вирулентности и расположения патогена, агротехнических условий возделывания, метеорологических условий выращивания культуры и т. д.

С целью предотвращения заболеваний растений необходимо в первую очередь исследовать семена, провести их фитопатологическую экспертизу, т. е. выявить зараженность болезнетворными микроорганизмами. Фитоэкспертиза семян, кроме установления наличия и степени распространения грибных и бактериальных возбудителей болезней, при своевременном и качественном проведении позволяет вести работы по

оздоровлению семян, браковать непригодные для посева семена, предупреждать занесение с семенами опасных патогенов в новые районы льносеяния, организовать прогноз и профилактику развития болезней.

Значительный вклад в разработку методики анализа семян сделан фитопатологами Г. Н. Дрониным, А. П. Будриной, И. Н. Абрамовым, Н. А. Наумовой, Э. Э. Гешеле, А. Г. Троповой и др.

Ведущая роль в разработке методов фитозащиты семян принадлежит Международной организации по анализу семян – ИСТА «International Seed Testing Association – ISTA». Поскольку в стандартах и других нормативных актах разных стран часто заложены собственные оригинальные требования к семенному и посадочному материалу, а семена являются важным объектом международной торговли, важной задачей ИСТА является разработка стандартизированных, сравнимых методов анализа семенного и посадочного материала, обеспечивающих получение результатов, сопоставимых на международном уровне.

Методика отбора проб семян для фитозащиты. Общая цель отбора проб – получение образца, достаточного для анализа, соответствующего и отражающего средние свойства и состав партии по каждому анализируемому показателю. Партия – это определенное, ясно идентифицированное количество однородных по качеству семян (одной культуры, сорта, репродукции и категории сортовой чистоты, одного года урожая и общего происхождения, занумерованных и удостоверяемых одним документом).

Оценка зараженности семян болезнями проводится в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТа 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями».

Для выявления болезней методы оценки качества семян и посадочного материала подбираются в каждом отдельном случае с учетом культуры, особенностей заражения и локализации паразита в тканях, внешних признаков поражения. В настоящее время наиболее часто применяются следующие методы: макроскопический (визуальный), гистологический, центрифугирование, инкубация семян во влажной камере, инкубация семян на питательных средах. В качестве вспомогательных используют серологический, люминесцентный и химический методы.

Метод обмывки семян (суспензии спор) и центрифугирования. Данный метод позволяет выявить зараженность семян спорами возбудителя болезней.

Для анализа из средней пробы, отобранной из партии (контрольной единицы) семян отсчитывают две рабочие пробы по 100 семян. Их помещают в отдельные пробирки, заливают водой (из расчета 10 см³ на каждую пробирку) и взбалтывают на протяжении 1 мин. В дальнейшем полученные смывы с семян можно сразу подвергнуть обследованию под микроскопом или для повышения достоверности выявления патогенов произвести осаждение находящихся во взвешенном состоянии спор центрифугированием. В последнем случае полученные смывы с семян от каждой пробы семян сливают в отдельные пробирки центрифуги и центрифугируют в течение 10–15 мин при частоте вращения 2000–2500 об/мин. По окончании процесса из пробирок осторожно (не взбалтывая) сливают 9 см³ надосадочной жидкости. Оставшийся осадок взмучивают пипеткой и из каждой пробирки готовят по 5 препаратов. Для установления вида гриба препараты просматривают под микроскопом.

Количественный учет спор проводят в камере Горяева. Среднюю заспоренность на одно семя проводят по следующим формулам:

$$1) X = \frac{(N_c \cdot 10)}{100} \text{ – при анализе без центрифугирования;}$$

$$2) X = \frac{N_c}{100} \text{ – при анализе с центрифугированием;}$$

где N_c – количество спор в 1 см³ суспензии, шт.;

10 – объем воды, взятой для смыва, см³;

100 – количество семян, взятых для анализа, шт.

Величину N_c устанавливают, умножая обнаруженное число спор на 250 тыс., в случае подсчета спор в больших квадратах камеры Горяева, на 400 тыс., если споры подсчитывают в малых квадратах камеры, на 1111, если подсчет ведут по всей площади камеры.

За итоговый результат анализа принимают среднюю арифметическую величину результатов анализов двух проб, проведенных со смывов разных пробирках.

Биологический метод фитозащиты семян. Фитозащиту семян биологическим методом проводят посредством анализа семян во влажной камере или на питательных средах различного состава (картофельный подкисленный и картофельно-глюкозный агары).

Для анализа необходимы:

1) четыре рабочие пробы по 50 семян в каждой, отобранные из среднего образца партии, предназначенного для фитозащиты;

- 2) четыре сухие стерильные чашки Петри или Коха;
- 3) стерильный субстрат для проращивания семян, которым может служить:
 - а) фильтровальная бумага (в 2 слоя);
 - б) марля (в 3 слоя);
- 4) термостат, растильня, автоклав, бактериологическая камера (стерильный бокс), сушильный шкаф;
- 5) вспомогательные приборы (пинцеты, препаровальные иглы, оберточная бумага, пипетки, спиртовые (газовые) горелки);
- 6) дезинфицирующие и моющие средства (бактерицидная лампа, 1%-ный раствор марганцево-кислого калия, спирт, бытовые моющие средства);
- 7) стерильная вода.

Дезинфекция приборов, принадлежностей и оборудования.

Термостаты не реже одного раза в месяц обеззараживают бактерицидными лампами в течение 8 ч. Не реже одного раза в 10 дней их моют горячей водой с моющими средствами и дезинфицируют 1%-ным раствором марганцево-кислого калия. Непосредственно перед каждым анализом термостаты протирают спиртом или дезинфицируют бактерицидной лампой в течение 30 мин.

Воду стерилизуют 30 мин в автоклаве под давлением 0,09807 МПа (1 атмосфера) или кипятят такое же время от момента закипания в химических колбах, закрытых ватными пробками.

Фильтровальную бумагу, вату, марлю, пипетки, чашки Петри (Коха), применяемые для анализа, заворачивают в оберточную бумагу и стерилизуют в течение 1 ч в сушильном шкафу при температуре 130 °С (при немедленном их использовании стерилизацию можно проводить без заворачивания в бумагу) или в автоклаве под давлением 0,09807 МПа (1 атмосфера) в течение 40–50 мин. Растильни, стекло, на котором выделяют навески и отсчитывают семена, совки, чашки весов и другие предметы дезинфицируют спиртом. Препаровальные иглы пинцеты и другие небольшие металлические принадлежности стерилизуют над пламенем горелки непосредственно в процессе анализа, давая им остыть перед использованием.

Дезинфекция питательных сред является неотъемлемой частью процесса их приготовления.

Стерилизацию питательных сред проводят в автоклаве под давлением, без давления (текучим паром) или в кипятильнике.

Питательную среду без глюкозы стерилизуют под давлением 0,09807 МПа (1 атм) в течение 30 мин. Питательные среды с глюкозой стерилизуют под давлением 0,04904 МПа (0,5 атм) в течение 25 мин.

Стерилизацию питательных сред текучим паром проводят в два приема по 1 ч через сутки. В перерыве между первым и вторым приемами стерилизуемые жидкости держат при температуре 25–30 °С.

Ход анализа семян во влажной камере. Слегка приоткрыв с одной стороны крышки сухих стерильных чашек Петри (или Коха), на их дно помещают влагоудерживающий субстрат для проращивания (три слоя марли, или два (допускается три) слоя фильтровальной бумаги). Увлажняют субстрат уже в чашках при помощи пипетки, также слегка приоткрывая с одного края крышку. Нормальным считается увлажнение, если при наклоне чашки с субстрата стекает несколько капель воды.

Семена перед закладкой не дезинфицируют и раскладывают на субстрат равномерно, на расстоянии 1–2 см друг от друга с помощью пинцета.

Закрытые чашки с заложенными в них семенами помещают в термостат для проращивания на 7 суток при температуре 22–25 °С.

По истечении отмеченного времени осмотр семян растений производят визуально, а для достоверности можно провести микроскопирование образовавшихся на семенах колоний микроорганизмов.

На проросших семенах грибница образуется на семядолях или она окутывает весь проросток, ткани которого под грибницей загнивают. Иногда загнивание наблюдается без развития мицелия. Ослизнение отсутствует.

Анализ на питательных средах. В производственных условиях чаще всего ограничиваются анализом семян во влажных камерах. В исключительных случаях, а также в научных целях, возникает потребность в более точном, детальном анализе на питательных средах.

Приборы и принадлежности, их дезинфекция и подготовительный этап к анализу семян на питательной среде практически аналогичны анализу во влажной камере. Исключением является отсутствие потребности во влагоудерживающих субстратах (марлевые кружочки и фильтровальная бумага) для чашек Петри (Коха), вместо которых необходимы питательные среды: картофельный подкисленный агар – для выявления полиспороза, аскохитоза, фузариоза и антракноза, или картофельно-глюкозный агар – для выявления пасмо.

Для приготовления картофельного агара на 1 л воды берут 200 г очищенного и чисто вымытого картофеля. Измельченный кубиками картофель помещают в воду, доводят ее до кипения и кипятят 40 мин. После этого полученный бульон фильтруют через несколько слоев марли, добавляют в него 20 г агара и подогревают смесь до получения однородного состава. Полученную жидкость в горячем состоянии

фильтруют через несколько слоев марли с прослойкой ваты и подвергают стерилизации в автоклаве под давлением 1 атмосфера (0,09807 МПа) в течение 30 мин, или же двукратно по 1 часу с интервалом в одни сутки обрабатывают текучим паром. В перерыве между первым и вторым приемами стерилизуемые жидкости держат при температуре 25–30 °С. После стерилизации в субстрат добавляют стерильный 50%-ный раствор лимонной кислоты из расчета 5–10 см³ на 1 л (\approx 1 капля на 10 см³) или концентрированную молочную кислоту из расчета 4 см³ на 1 л.

Приготовленный и простерилизованный картофельный агар в горячем виде разливают по стерильным чашкам Петри в бактериологической камере (стерильном боксе). Слой агара в чашке должен составлять 3–4 мм (при диаметре чашки Петри 9,5–10 см на каждую чашку необходимо \approx 10 см³ агара).

Приготовление картофельно-глюкозного агара аналогично приготовлению картофельного. Отличием является добавление перед стерилизацией на 1 литр сваренного отфильтрованного картофельного агара 20–30 г глюкозы. Стерилизация питательной среды проводится под давлением 0,04904 МПа (0,5 атм) в течение 25 мин, или текучим паром проводят в два приема по 1 ч через сутки. В перерыве между первым и вторым приемами стерилизуемые жидкости держат при температуре 25–30 °С.

Раскладку семян на питательную среду проводят после ее застывания равномерно, на расстоянии 1–2 см друг от друга в бактериологической камере (стерильном боксе) стерильным пинцетом, который периодически необходимо обжигать пламенем горелки. Семена перед закладкой не дезинфицируют.

Закрытые чашки с заложенными в них семенами помещают в термостат для проращивания на 7–8 суток при температуре 22–25 °С после чего осмотр семян льна производят визуально, а для достоверности проводят микроскопирование образовавшихся на семенах колоний микроорганизмов.

Анализ семян в рулонах фильтровальной бумаги. Данный метод применим преимущественно для зерновых культур, однако он также может быть использован и для фитоэкспертизы семян льна на зараженность бактериозом, фузариозом, антракнозом и крапчатостью.

Для анализа берут четыре рабочих пробы семян по 100 или по 50 штук, и полоски фильтровальной бумаги. Если анализируют пробы по 100 семян, длина полоски бумаги должна быть 108–112 см, а если

анализируют пробы по 50 семян – 53–57 см. Ширина полосок – 10 см. Бумагу перед анализом увлажняют до полной влагоемкости.

Семена раскладывают на полосках бумаги в одну линию, равномерно по всей длине, с интервалом между семенами в 1–2 см на расстоянии 2–3 см от верхнего и боковых краев бумаги. Разложив семена, их покрывают аналогичной полоской фильтровальной бумаги, а поверх нее – полоской полиэтилена (для препятствия пронизывания рулона корнями и проростками и облегчения разворачивания рулона в конце анализа). Все заворачивают в трехслойный рулон, ставят вертикально в сосуды и помещают в термостат с температурой 22–25 °С. Для предотвращения подсыхания рулонов на дне сосудов должно быть небольшое количество воды (2–3 мм), которую нужно менять каждые 3 дня.

Разворачивание рулонов и осмотр семян производят на 7–8 сутки после закладки. Диагностику болезней производят по симптомам, описанным при рассмотрении анализа во влажной камере.

Обработка результатов фитоэкспертизы семян биологическим методом (во влажной камере, на питательных средах и в рулонах бумаги). Анализу подвергают каждое проросшее семя (семядоли, стебель и корешок) и все непроросшие семена. Если семядоли проростков не освободились от семенной кожуры, ее удаляют иголкой, а семядоли тщательно рассматривают с наружной и внутренней стороны.

Зараженными считаются семена льна, у которых на семядолях, стеблях или корешке видны невооруженным глазом признаки болезни.

Количество семян, зараженных каждой болезнью, записывают в рабочую карточку. По каждой из четырех проб подсчитывают количество семян, зараженных каждой болезнью, и общее количество зараженных семян. Если на семенах обнаружено несколько возбудителей, то учет проводят по болезни, признаки которой наиболее выражены, в случае, если болезни выражены в одинаковой степени, – по наиболее вредоносному заболеванию. Болезни льна по их вредоносности располагают в следующем порядке: фузариоз, антракноз, крапчатость, бактериоз. Зараженность семян сапрофитными грибами учитывают отдельно и в общую зараженность не включают.

Зараженность семян (X) в процентах вычисляют по формуле:

$$X = \frac{N}{n} 100,$$

где N – суммарное количество зараженных семян в четырех пробах, шт.;
 n – общее количество семян, взятых для анализа, шт.

Достоверность результатов проверяют по формуле:

$$\chi^2 = 4n \frac{[(A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2) - (N_1^2 / 4)]}{[N_1 \cdot (n - N_1)]},$$

где A_1, A_2, A_3, A_4 – количество зараженных семян в каждой из четырех проб;

$$N_1 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4.$$

Анализ считают правильным и законченным, если χ^2 меньше 16,27. Если χ^2 больше или равен 16,27, то анализ повторяют до получения достоверного результата. Если количество зараженных семян во всех пробах 5 и меньше, проверку достоверности анализа не проводят.

Если в сумме по всем пробам зараженных семян больше, чем здоровых, то в формулу подставляют число здоровых семян по пробам.

3.3. Учет поврежденностей растений, вызываемых вредителями

Существующие методы оценки результатов опыта представляют две основные группы. Это определение: а) снижения численности или гибели вредителя и б) снижения поврежденности растений, вызываемого вредителем. Тип учетных единиц, их величина и частота различны в зависимости от вида вредителя, защищаемой культуры и свойств испытываемых препаратов.

Учеты насекомых, обитающих на растениях, проводят путем визуального осмотра по 25 стеблей в 4-кратной повторности и тлей – на отдельных >100 стеблях, собранных по случайному принципу. Учет ряда листогрызущих и плодоповреждающих гусениц в 10–20 пробах по 5 растений и т. д.

Следует помнить, что выбор учетных проб должен быть случайным и беспристрастным. По всем вариантам опыта учет должен проходить в один день. Сроки и кратность учетов зависят от свойств оцениваемых препаратов, способа применения, вида вредителя. Первый, так называемый предварительный, учет проводят непосредственно перед обработкой делянок. Последующие учеты в опытах с традиционными химическими или микробиологическими препаратами проводят через 3, 7 и 14 дней после обработки. При применении препаратов длительного действия последующие учеты проводят еще через 1–2 недели. При изучении регуляторов развития членистоногих (РР) первые учеты проводят на 7 или 14 сутки и далее с недельным интервалом до 28–42 дней.

Однако при внесении обработанных семян или гранулированных препаратов против вредителей всходов (проволочники, подгрызающие совки, тли на ряде культур, льняные блошки), луковой и капустных мух, картофельной моли и др. предварительный учет отсутствует и первый учет проводят после появления первых особей членистоногих (или повреждений) в контроле, последующие учеты – с недельным интервалом на протяжении 2–3 недель. В отдельных случаях проводят всего один учет в период уборки урожая (морковная муха, гороховая и соевая плодоярки, кукурузный мотылек, проволочники на картофеле и др.) или после его уборки. Для ряда вредителей (различные виды плодоярок, щитовок, жуков, минирующих мух и др.) наряду с численностью определяют также и степень поврежденности частей или плодоорганов растений в те же сроки, что и при учете их численности или в период уборки урожая.

Показатели энтомологического контроля. Основными, наиболее распространенными показателями, характеризующими энтомологическую обстановку являются плотность, встречаемость вредителей, средневзвешенная плотность популяции и поврежденность растений. Расчет их производится по представленным ниже формулам:

1) *плотность популяции:*

$$\Pi = \frac{\sum n}{\sum S_{\text{проб}}},$$

где Π – плотность, шт/м²;

$\sum n$ – суммарное количество выявленных вредителей во всех пробах анализа, шт.;

$\sum S_{\text{проб}}$ – суммарная площадь проанализированных пробных площадок, м²;

2) *встречаемость:*

$$B = \frac{N_{3п} \cdot 100}{N_{п}},$$

где B – встречаемость, %;

$N_{3п}$ – количество проб, заселенных вредителем, шт.;

$N_{п}$ – суммарное количество проанализированных проб, шт.;

3) *средневзвешенная плотность популяции:*

$$N_{\text{ср}} = \frac{\sum \Pi \cdot S}{\sum S},$$

где $N_{\text{ср}}$ – средневзвешенная плотность популяции вредителя, %;
 $\sum P \cdot S$ – сумма произведений плотности вредителей (шт/м²) на соответствующую ей площадь посевов (га);
 $\sum S$ – сумма обследованных площадей посевов, га;
 4) *процент поврежденных (заселенных) растений:*

$$П_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot 100}{N_{\text{р}}},$$

где $П_{\text{пр}}$ – процент поврежденных (заселенных) растений;

$N_{\text{пр}}$ – число поврежденных (заселенных) растений в пробе, шт.;

$N_{\text{р}}$ – общее количество растений в пробе, шт.

Определение биологической эффективности. Уровень биологической эффективности пестицида характеризуется его способностью снижать заселенность или поврежденность культуры конкретным вредителем на опытных участках в сравнении с необработанным контролем, что, в итоге, должно сказаться на повышении урожайности. Однако сохраненный урожай не может служить показателем биологической эффективности соединения, так как она зависит от комплекса различных факторов, лишь частично связанных с его активностью и маскирующих действие обработки. Поэтому в качестве критерия биологической эффективности используют процент снижения численности вредителя или поврежденности различных органов растений (корней, листьев, стеблей, генеративных органов), отражающий эффект непосредственного действия пестицида на подопытный объект.

Расчет биологической эффективности необходимо проводить по формуле Хендерсона и Тилтона (1955), которая учитывает изменения численности как в опытном, так и контрольном вариантах:

$$\mathcal{E} = 100 \cdot \left(1 - \frac{O_{\text{п}} K_{\text{д}}}{O_{\text{д}} K_{\text{п}}}\right),$$

где \mathcal{E} – эффективность, выраженная процентом снижения численности вредителя с поправкой на контроль;

$O_{\text{д}}$ – число живых особей перед обработкой в опыте;

$O_{\text{п}}$ – число живых особей после обработки в опыте;

$K_{\text{д}}$ – число живых особей в контроле в предварительном учете;

$K_{\text{п}}$ – число живых особей в контроле в последующие учеты.

Для расчета биологической эффективности пестицидов, когда исходную численность вредителей невозможно учесть перед обработкой,

используют формулу Эббота (1925). Эта формула интегрирует влияние факторов, определяющих естественную смертность в контроле:

$$\mathcal{E} = \frac{100(K - O)}{K},$$

где \mathcal{E} – эффективность, выраженная процентом снижения численности вредителя с поправкой на контроль;

K – число живых особей в контроле в данный срок учета;

O – число живых особей в опыте в данный срок учета.

Формулу Эббота необходимо применять также для расчета биологической эффективности по показателю снижения поврежденности генеративных или вегетативных частей растений. В последнем случае, например при повреждении какой-либо культуры листогрызущим вредителем степень поврежденности листовой поверхности рассчитывают путем умножения числа листьев учетных растений с конкретным баллом повреждения на величину балла. Сумма этих произведений по всем баллам делится затем на число учетных листьев в повторности.

Учет урожая при проведении испытаний средств борьбы с вредителями. Учет урожая при испытании инсектицидов может оказаться полезным в следующих случаях:

– выявление положительного или отрицательного влияния испытуемого препарата на урожай;

– выявление достаточности биологической эффективности препарата, для сохранения урожая по количественным и качественным показателям.

Для ответа на первый вопрос в течение всего учетного периода проводят наблюдения за состоянием культурных растений на обработанных делянках, отмечают признаки как отрицательного влияния оцениваемых препаратов на защищаемые растения (угнетение всходов, проявление ожогов, скручивание листьев, изменение окраски), так и положительного действия (стимуляция роста и развития, ускорение созревания, улучшение качества продукции). При проявлении указанных эффектов для объективной оценки следует установить влияние препарата на урожай. Степень проявления фитотоксического действия оценивают по следующему шкале (табл. 3.3).

Для ответа на второй вопрос достаточно сравнить количество или качество урожая на контрольных и опытных делянках. Особенно это важно для вредителей, ведущих скрытый образ жизни и плохо поддающихся (учетам численности и вредоносности (минеры, злаковые мухи, стволовые вредители, листовертки и др.)), а также для вредителей,

влияющих на качество урожая за счет снижения потребительских свойств продукции или стандартности из-за ухудшения ее товарного вида (загрязнение продукции личиночными шкурками, экскрементами, липкими выделениями, изменение окраски и др. К таким вредителям относятся тли, капустная совка, вредная черепашка, щитовки, хлебные клопы и др.

Таблица 3.3. Шкала оценки фитотоксического действия препарата

Балл	Степень повреждения	% повреждения
0	нет повреждений	0
1	незначительные	до 5
2	слабые	до 10
3	умеренные	до 25
4	сильные	до 50
5	очень сильные	более 50

Необходимо определение этого влияния и при оценке препаратов против переносчиков вирусных заболеваний (тлей на картофеле и сахарной свекле). Обязательно оценивают влияние на урожай препаратов при поздних сроках их применения против вредителей, поражающих конечную продукцию сельскохозяйственных культур (плодожорки, зерновки, клопы и др.). Оценку урожая проводят в полевых и производственных опытах путем отбора проб, количество и размер которых зависят от особенностей сельскохозяйственной культуры и вида вредителя. Учету подлежит основная продукция (зерно, корнеплоды, клубни, плоды и т. д.). При сборке урожая отбирают также среднюю пробу для передачи (пересылки) в соответствующие организации с целью анализа остаточного количества препаратов в продукции.

3.4. Методы учета сорных растений

Определение засоренности посевов осуществляется с разными целями: 1 – для получения сведений об общей засоренности полей, что позволяет принимать объективные решения о целесообразности защитных мероприятий, предсказывать последующую их засоренность в севообороте и организовывать профилактические мероприятия, достаточно визуальной (глазомерной) оценки численности и видового состава сорняков. Чтобы оценить эффективность гербицида в производственных условиях необходимы более точные сведения о засоренности поля до и после применения препарата. Поэтому, несмотря на относительную трудоемкость приемов, в этом случае требуется применение

количественных методов оценки засоренности. Визуальные методы можно использовать как вспомогательные в производственных опытах, особенно при больших размерах делянок, при условии, что эта работа выполняется опытными специалистами.

2 – для детального учета численности, видового состава, динамики засоренности, влияния систем защиты растений и т. п. в стационарных условиях полей учеты проводятся количественным и количественно-весовым методами.

Наиболее распространен учет засоренности на учетных площадках. Размер учетной площадки 0,25 м². Учетные площадки могут быть постоянными и скользящими.

Постоянные площадки выделяют и закрепляют колышками до применения гербицидов. Использование постоянных площадок повышает точность и достоверность учетов. Чтобы иметь возможность определять надземную массу сорняков в разные сроки учетов, используют постоянные связанные (удвоенные) площадки.

В условиях больших площадей производственного опыта, когда трудно закрепить и сохранить в целостности значительное число постоянных площадок, а также при необходимости увеличения их количества, используют скользящие (пробные) площадки, которые выделяют при каждом учете заново. Учет сорняков проводят произвольным наложением учетных рамок примерно через равные промежутки. Учетные площадки следует располагать по наибольшей диагонали (или по двум диагоналям) делянки.

На стационарных площадках сорняки учитывают одновременно с другими вредными организмами. Размер площадок 0,25 м², а при учетах многолетних корнеотпрысковых сорняков – 1 м². При этом подсчитывают число сорняков по видам и их общее количество, определяют их высоту, занимаемый ярус, фазу развития, их вегетативную массу. Виды, неизвестные обследователю или сомнительные, следует гербаризировать для последующего определения.

Многие многолетние виды сорных растений по характеру засоренности (ярко выраженная куртинность) не могут быть правильно учтены наложением пробных площадок (способом для учета всех сорняков). При слабом засорении и небольшом размере делянок подсчет розеток и стеблей проводится на площади всей делянки.

Хорошим показателем оценки засоренности полей служит проективное покрытие поверхности почвы сорняками. Исходя из степени покрытая площади верхними частями растений, оценка засоренности дается по 5-балльной шкале:

- 0 – сорняков нет;
- 1 – проективное покрытие до 10 %;
- 2 – 11–25 %;
- 3 – 26–50 %;
- 4 – более 50 % площади

Размерность шкалы от 1-го ко 2-му баллу отражает пороговый уровень численности для большинства сорных растений по их проективному покрытию (не выше 10–12 %). Более детально оценить проективное покрытие позволяет шестибальная шкала (табл. 3.4).

Учет можно проводить и визуально с использованием одной или нескольких известных шкал глазомерной оценки численности сорняков – А. М. Туликова, А. И. Мальцева, М. В. Маркова, А. В. Фисюнова, Б. М. Смирнова и др. Эти методы (глазомерно-численный, проективный и комбинированный) следует использовать при наличии обученного персонала после прохождения тестовой проверки.

Таблица 3.4. Шкала оценки численности сорных растений по их проективному покрытию

Баллы	Степень покрытия почвы сорняками
1	Сорняки встречаются единично, степень покрытия близка к нулю, 1–3 сорняка на 10 м ²
2	Степень покрытия: до 5 %, 3–5 сорняков на 1 м ²
3	5–20 %, 5–15 сорняков на 1 м ² , культурные растения доминируют над сорняками
4	20–50 %, 20–30 сорняков на 1 м ² , культурные растения еще доминируют над сорняками
5	50–70 %, число сорняков равно или больше числа культурных растений, культура под угрозой
6	75–100 %, сплошное засорение. Сорняки значительно преобладают над культурными растениями

При испытании почвенных гербицидов, которые вносятся до посева или после посева, но до появления всходов культуры, учет исходной засоренности не проводят, но учитывают данные о засоренности опытного участка за предшествующий период.

Вначале определяется степень проективного покрытия сорняков по видам в контроле и на опытной делянке (в каждой повторности каждого варианта).

Эти данные суммируют для определения общей степени покрытия во всех повторностях контроля и вариантов опыта, после чего определяют среднюю общую степень покрытия. Затем высчитывают уменьшение степени покрытия в варианте с гербицидом по сравнению с

контролем и определяют процент снижения общей засоренности. Также подсчитывают и процент снижения засоренности в вариантах с гербицидами и для отдельных видов сорняков и (или) биологических групп. Этот метод более трудоемкий, чем количественно-весовой учет. Если же не проводить подсчеты по снижению покрытия, а заносить в таблицы лишь результаты визуальных наблюдений, выраженные в баллах, то экономятся время и труд, но уменьшается уровень точности оценок.

Комбинированные методы учета засоренности посевов основаны на использовании обычно двух (реже нескольких) показателей численности, каждый из которых взаимно дополняет и контролирует другой. При этом визуальное определение одного показателя сопровождается одновременным визуальным или прямым определением других показателей.

Так, по методу А. А. Хребтова (цит. по: Б. А. Доспехов и др., 1987; В. А. Захаренко, 2000) обилие сорного компонента характеризуют двумя показателями: визуально определяют численность сорняков и одновременно прямым подсчетом учитывают численность и массу сорняков на единице площади. Метод корректирует баллы визуальных оценок и придает им ареальное количественное обоснование.

3.4.1. Определение запаса семян сорных растений в почве

Определение запаса семян сорных растений в почве проводят для характеристики поля (делянки) и для выявления динамики запаса в пахотном слое семян, плодов и соплодий сорных растений.

Для выполнения первой задачи важно определить среднюю засоренность почвы всеми видами сорняков и отдельно по их биологическим группам или важнейшим представителям. Установить особенности распределения сорных растений по видам и в количественном отношении по отдельным участкам поля. При необходимости извлеченные из почвы семенные зачатки разбирают на три группы: живые, вышедшие из покоя, живые, покоящиеся и мертвые.

Особенности динамики засоренности выясняют для того, чтобы оценить эффективность комплекса мероприятий по борьбе с сорняками. Динамика засоренности семенными зачатками складывается из двух противоположных процессов: очищения почвы от запаса семян сорняков и их пополнения. Баланс этих двух процессов определяет общую направленность динамики засоренности поля. При изучении динамики засоренности почвы семенными зачатками проводят перио-

дический учет их общего и видового запаса. Пробы почвы чаще всего берут несколько раз за сезон: осенью при заложении опыта, весной – при массовом прорастании семян сорняков и в конце исследований – сразу же после уборки. Чтобы данные были сопоставимы, желательно пользоваться буром, позволяющим взять почву на всю глубину пахотного слоя. При этом глубина бурения от весны к лету уменьшается, что вызывается оседанием земли. В многолетних опытах пробу берут только один раз за сезон. В этом случае данные разных лет сопоставимы.

Определение засоренности почвы включает отбор почвенных образцов, извлечение из них семян сорняков, подсчет и определение их видового состава и всхожести.

Для этого берут пробы почвы с помощью специальных буров полойно на глубину 0–10 и 10–20 см или 0–5, 5–10, 10–15, 15–20 см.

Перед началом работ необходимо точно высчитать площадь бура, уточнить число проб на делянке и иметь коэффициент пересчета на 1 м² или на 1 га. С каждой делянки до 1000 м² должно быть взято проб почвы с площади не менее 300 см². В зависимости от площади сечения бура число скважин для делянки будет изменяться. Пробы берут с разных мест делянки по диагонали, через определенные расстояния.

Если анализ образцов производят не сразу, то взятые образцы почвы быстро доводят до воздушно-сухого состояния путем высушивания их тонким слоем на листах плотной бумаги.

Для выделения семян из образцов существует ряд методов: отмывки, проращивания, ручного отбора и по удельному весу. Наиболее распространенным из них является первый. Его сущность заключается в следующем. Вначале сито (высотой не менее 13 см) с почвой помещают в воду, чтобы почва намочилась, а затем промывают до тех пор, пока из сита не будет стекать чистая вода. Семена сорняков и песок с сита после промывки раскладывают тонким слоем на бумагу для быстрой просушки (в противном случае семена сорняков могут прорасти). После просушки пробу пропускают через набор сит с диаметрами отверстий 3 мм, 1 мм и 0,25 мм. Во время сортирования пробы снизу набора сит ставят поддонник, а сверху закрывают крышкой. Фракцию с поддонника не анализируют, а выбрасывают, фракции с разных сит поочередно переносят на разборную доску, где выделяют семена сорняков (при необходимости используют лупу). Затем их разбирают по видам и определяют по коллекции или по соответствующим определителям.

Значительная часть семян оказывается нежизнеспособной. Поэтому

после подсчета семян определяют их всхожесть. Для проращивания отбирают 4 пробы по 100 семян каждого вида, укладывают их на фильтровальную бумагу в чашки Петри и помещают в термостат. Каждые 5 дней подсчитывают количество проросших семян и одновременно пинцетом удаляют проросшие семена вместе с проростками. При последнем подсчете суммируют количество проросших семян и определяют их процентное содержание. Так как семена сорняков прорастают недружно, то в термостате их выдерживают не менее 15 суток. Полученные результаты дают четкое представление о степени и типе засоренности почвы, видовом составе сорных растений и жизнеспособности их семян.

Конечным показателем засоренности почвы является число семян в общем объеме почвы в пахотном слое на 1 га или число семян в пробе известной массы, в массе почвы (принимая во внимание объемную массу почвы) на 1 га. Устанавливают общий запас семян сорняков в целом и по видам, а также запас жизнеспособных семян. При количестве семян сорняков в пахотном слое почвы 0–20 см до 5 млн/га засоренность считают очень слабой; 5–15 – слабой; 15–50 – средней; 50–100 – сильной; более 100 млн/га – очень сильной.

Способ оперативного прогноза количественного и видового состава сорных растений основан на создании условий для ускоренного прорастания семян непосредственно в полевых условиях. В конце февраля – начале марта по диагонали обследуемого поля в 4–5 местах на равном расстоянии друг от друга закладывают площадки размером 1,5×1,5 м (учетная площадь 1×1 м). Площадки покрывают двумя слоями прозрачной полиэтиленовой пленки, края ее присыпают. Под пленкой создаются благоприятные условия для прорастания семян сорняков (температура на 3–5 °С выше по сравнению с открытым полем), что позволяет до начала полевых работ определить видовой и количественный состав сорняков с точностью до 93 %.

3.4.2. Учет засоренности посевов

Сорные травы подавляют культурные растения главным образом своей надземной массой. Поэтому основным и обязательным показателем воздействия агрономических приемов на сорную растительность должна быть засоренность посевов надземными частями сорняков.

По надземным частям сорных трав прежде всего можно определить:

1) характер засоренности посева (ботанический класс сорняка, семейство, вид, биологическая группа и т. п.);

2) обилие сорняков или степень засоренности посевов (количество или масса с единицы площади);

3) характер распределения сорняков в пространстве:

3.1) по поверхности полей, массивов, регионов (равномерное, куртинное);

3.2) по вертикальному разрезу (профилю) посева (ярусность);

4) иногда необходимо отметить фазу вегетации сорняков, так как в разные фазы они имеют далеко не одинаковую надземную массу и обладают различной устойчивостью к гербицидам;

5) степень подавленности сорняков культурными растениями, а при необходимости и многие другие показатели, характеризующие эффективность агрономических приемов.

В зависимости от задач исследования, равномерности или пятнистости распределения биологических групп сорняков по полю и возможностей исследователя, применяют разные методы учета засоренности и различные их сочетания.

Важнейшие из них: 1) глазомерный; 2) количественный; 3) количественно-весовой; 4) метод учета степени взаимоподавленности культурных и сорных растений.

Глазомерный метод учета засоренности посевов.

В практике опытного дела глазомерный учет засоренности посевов применяют в сочетании с количественно-весовым или как самостоятельный метод. Предложил этот метод А. И. Мальцев (1909 г.), положив в его основу систему Друде.

С помощью глазомерного учета дают общую характеристику поля или делянки, определяют отдельно для каждого участка степень засоренности (обилие сорняков), характер засоренности (ботанический состав сорных растений и их распределение по изучаемой площади), ярусность, а также фазы вегетации сорняков.

Ширину осматриваемой полосы при глазомерном учете засоренности устанавливают исходя из задачи обследования и технической вооруженности. Если выявляют карантинные и трудноотделимые сорняки, а их необходимо отмечать даже в том случае, когда они встречаются единично или небольшими куртинами, то при осмотре делянок невооруженным глазом ширина проглядываемой полосы должна составлять 5–10 м – по 2,5–5 м в одну и другую сторону от линии прохода.

Для определения, какими сорняками засорено поле, при небольшой площади (до 50 га) необходимо делать остановки через каждые 50, а на

больших площадях – через каждые 100 м (8–10 или 25 остановок). На каждой остановке посеы обследуют глазомерно в радиусе 2 м вокруг себя и определяют, какими сорняками засорено поле или участок, и записывают данные определения в ведомость учета сорняков. Затем также глазомерно определяют степень засоренности (по четырехбалльной системе):

– слабая засоренность (балл 1 – единичные сорняки, занимают до 5 % стеблестоя сорняков и льна) по глазомерному учету чаще всего соответствует засоренности в 10–50 стеблей сорняков на 1 м² (2–15 г сухой массы);

– средняя (балл 2 – сорняки занимают до 25 % стеблестоя культурных растений) – в 50–200 стеблей (15–70 г/м²);

– сильная (балл 3 – сорняки занимают свыше 25 % стеблестоя культурных растений. Сорных растений много, но их меньше, чем культурных) – в 150–600 стеблей (80–200 г/м²);

– очень сильная (балл 4 – сорняки преобладают над посевами) – в 500–2000 стеблей (180–800 г/м²).

Во время учета могут встречаться сорняки, которые в поле трудно определить. В этом случае в ведомости и в гербарии их записывают только под номером и после их определения в лаборатории этот номер заменяют названием сорняка. Важно также при учете засоренности посева устанавливать ярусность сорняков, а также их фазу развития. Ярусность определяют следующим образом:

3-й ярус – сорняки ниже $\frac{1}{4}$ высоты льна (низкорослые). Они остаются в стерне, а их семена не попадают в урожай;

2-й ярус – сорные растений более $\frac{1}{2}$ высоты стеблей льна и одинаковые по высоте с ними. При тереблении попадают в урожай и засоряют семена;

1-й ярус – сорные растения выше стеблей льна. Часто осыпаются до уборки.

Для обозначения фазы развития сорняков применяют начальные буквы фаз: в – всходы, р – розетка, с – стеблевание, б – бутонизация, ц – цветение, п – плодоношение, о – отмирание.

Общий фон засоренности посевов, характеризуемый преобладанием тех или иных сорняков глазомерным методом определяется так же точно, как и количественно-весовым.

Точность глазомерного учета снижается, если требуется установить видовой состав не только ведущих, но и всех других сорняков. Причина меньшей точности глазомерного метода в том, что при его использовании не учитывают сорняки, скрытые стеблестоем посевов.

В этом случае при обследовании малых площадей (стационарные опыты, небольшие делянки в производственных условиях) глазомерный учет дает значительно худшие результаты.

Глазомерный метод незаменим при выявлении всего видового состава сорняков на больших производственных массивах. Если использовать для этих целей количественно-весовой метод, то необходимо взять очень много проб. Объем работы получается настолько значительным, что он практически невыполним. Поэтому метровок обычно закладывают немного. В таких условиях более точным оказывается глазомерный метод. Помимо того, получаемые с помощью этого метода данные облегчают учет засоренности посевов другими приемами. В отдельных случаях глазомерная оценка является обязательной составной частью более сложных способов. В первую очередь метод актуален на больших производственных площадях. Его можно использовать также на небольших делянках стационарного опыта.

При стационарных исследованиях глазомерный учет проводят на каждой делянке. Обследователь обходит делянку, внимательно осматривая всю его площадь.

В большинстве руководств такой обход рекомендуется проводить по двум диагоналям.

При глазомерном учете засоренности в условиях производства с целью экономного расходования времени маршрут надо строить так, чтобы обход полей делать по возможности без холостых переходов.

Глазомерный учет наибольшую точность оценки засоренности дает при осмотре посевов в ранние фазы, когда их стеблестой еще не сомкнулся и даже на довольно большом расстоянии хорошо просматривается. Но в этом случае не всегда успевают появиться и поэтому не учитываются поздние сорняки. В зависимости от задачи исследования и возможностей его делают 1–3 раза в сезон.

Количественный метод учета засоренности посевов.

Учет надземной массы сорной растительности проводят количественным методом, путем наложения стационарных площадок, где учитывают ботанический и биологический состав сорняков, а также их распределение по полю или делянке и степень засоренности посевов. Кроме того, можно установить ярусность, фазы вегетации сорняков и другие показатели. На опытных делянках количество закладываемых площадок определяется размером делянки и характером ее засоренности. На сильно и равномерно засоренных участках закладывается меньше площадок, на менее засоренных и более пестрых – больше.

На делянке для определения засоренности должно быть следующее количество учетных площадок размером 50×50 см:

- до 50 м² – две площадки на 4–6 повторностях;
- от 50 до 100 м² – 2–4 площадки на всех повторностях;
- больше 100 м² – 6–8 площадок на всех повторностях.

Перед наложением площадок на делянку надо внимательно осмотреть ее, ознакомиться с ее общей засоренностью и выявить типичную для нее засоренность и густоту стеблестоя. В углах стационарных площадок ставят колышки и тщательно обтягивают шпагатом. Чтобы легче отыскать площадки в посевах, перед уборкой надо один из колышков иметь высотой 1 м.

На площадках должно быть одинаковое количество рядков культурных растений. Стационарные площадки закладывают не менее чем на трех повторностях по длинным сторонам делянки с таким расчетом, чтобы можно было проводить подсчет растений льна и сорняков с защитных полос.

Характер засоренности в производственных массивах устанавливают путем наложения учетных рамок (до 50 га – 5 рамок, от 50 до 100 га – 10, свыше 100 га – 20 рамок) на местах, характеризующих среднее состояние стеблестоя сорняков и льна, а также видовой состав сорняков.

Учет сорных растений может проводиться в зависимости от задач исследований в следующие сроки:

- перед закладкой опыта;
- через 2–3 недели после лущения, перед зяблевой вспашкой (по мере появления «шилец») пырея ползучего и всходов двудольных сорняков;
- перед ранне-весенней обработкой почвы;
- перед предпосевной обработкой почвы (через 6–8 дней после ранне-весенней обработки);
- перед химической прополкой;
- через 30 дней после проведения химпрополки;
- перед уборкой.

Если определение засоренности является сопутствующим фактором изучения, то можно ограничиться одним учетом – в конце вегетационного периода.

Учет сорных растений можно проводить также с помощью специальной рамки. Рамки делают из дерева или толстой проволоки. Удобны проволочные рамки, изготовленные из четырех полуметровых отрезков проволоки, склепанных на концах друг с другом так, чтобы по-

лучился квадрат (0,25 м²). При этом рамка легка и удобна как в работе, так и при транспортировке.

На посевах с низким стеблестоем достаточно хорошо накладываются учетные рамки.

В поздние сроки вегетации, когда стеблестой становится высоким, накладывать рамки значительно труднее. Здесь лучше пользоваться рамкой, сделанной из дерева или толстой проволоки, но без одной стороны. Такую трехстороннюю рамку на учетной точке ставят в одно из междурядий посева несоединенными концами вниз. Поворачивая рамку в руках, ее этими концами постепенно вдвигают в посев и устанавливают так, чтобы четвертой стороной служил один из рядков посева.

Труднее работать при поникшем и полегшем стеблестое. Чтобы правильно наложить четырехстороннюю (да и трехстороннюю) рамку, стебли приходится тщательно разбирать, так как иначе масса пробы может быть преувеличена или приуменьшена. На сильно полегших посевах, используют четырехстороннюю рамку, накладывая ее поверх полегшего стеблестоя. Надземную массу посева вместе с сорняками вдоль краев рамки обрезают. При разборе пробы подсчитывают культурные и сорные растения, имеющие корни, так как именно они и находились в пределах рамки. Обрезание травостоя вдоль краев рамки дает возможность правильно определить сухой и сырой вес массы сорных и культурных растений.

Учет засоренности после наложения рамок проводят путем подсчета сорняков и растений льна на корню или путем их выдергивания. Во втором случае вырывают сорняки, начиная с самых крупных, высоких и преобладающих видов, одновременно подсчитывая их и записывая данные в рабочую тетрадь (табл. 3.5).

Таблица 3.5. Ведомость учета сорных растений в посевах по видовому составу

Наименование сорняков	Сорняков, шт.			Степень засоренности (в баллах или %)
	во всех пробах	на одну пробу	на 1 м ² площади посевов	

Примечание. Всего сорняков в пересчете на 1 м², шт.

Выдернутые сорняки в сопровождении этикетки завертывают в бумагу, чтобы в дальнейшем, если необходимо, провести другие исследования.

Если учет засоренности проводят путем закладки стационарных площадок, то выдергивать сорняки и культурные растения можно только в конце вегетационного периода при проведении последнего учета.

В рабочем помещении сорняки в пробах разбирают по видам или биологическим группам и подсчитывают в них число стеблей, измеряют (если необходимо) длину, определяют кустистость (ветвистость) и семенную продуктивность, проводят другие определения.

При необходимости сорняки разбирают по ярусам, фазам вегетации и т. д. Сорные травы, содержащие семена, можно обмолачивать для определения их семенной продуктивности.

Иногда такой обмолот целесообразно провести отдельно для каждого яруса или вида сорняков.

Количественно-весовой метод учета засоренности посевов.

Для правильной оценки агротехнических приемов и химической прополки с точки зрения влияния их на засоренность посевов необходимо учитывать и весовой процент засоренности посевов. Поэтому, как правило, при учете засоренности посевов в опытах, кроме видового состава сорняков и их количества, определяют вес сырой и (или) сухой массы сорняков, причем, главнейшие и преобладающие виды сорняков взвешивают обязательно в отдельности, а второстепенные виды могут быть объединены в биологические группы.

Взятие проб для количественно-весового учета проводят так же, как и при количественном методе. Отбор проб с поля для разбора их в лаборатории проводят в сухую погоду, так как сырые пробы быстро подвергаются порче и трудно высушиваются. Срезать пробу в поле не рекомендуется, так как высота среза может колебаться в больших пределах. Кроме того, в пробу не попадают стелящиеся и отчасти вьющиеся сорняки.

В лабораторных условиях после разборки по видам или биологическим группам, подсчета стеблей, измерения длины и проведения других определений срезают корневую часть у сорняков до семядолей, так как вес сухой массы определяют только по надземной части.

Учет массы сорняков преимущественно проводят в воздушно-сухом виде. Их высушивают в помещении не допуская попадания прямых солнечных лучей в подвешенном состоянии.

Сухой вес определяют отдельно для каждой биологической группы или основных видов сорняков. Все другие виды объединяют в группу прочих сорняков.

Сырые сорняки взвешивают в поле сразу после взятия пробы. Так как определять сырой вес сорняков в полевых условиях сложно, такой вид учета желателно проводить в исключительных случаях, когда подсушивание сорняков приводит к искажению получаемой информации. Например, при изучении действия гербицидов. Под их действием сорные травы начинают завядать и подсыхать еще на корню, чего не бывает в контрольном варианте. Для установления степени подсыхания поврежденных растений весьма желателно знать их сырой вес.

3.4.3. Учет надземных побегов корнеотпрысковых сорняков

Многие многолетники (бодяк и осот желтый, вьюнок полевой и др.) по своему характеру засорения полей (ярко выраженной куртинности) не могут быть правильно учтены наложением пробных площадок способом для учета всех сорняков. Для этих сорняков при проведении экспериментальных работ требуется сплошной подсчет растений (розеток и стеблей) на стационарной площадке. При слабом засорении и небольшом размере делянок этот подсчет проводится на площади всей делянки. При сильном засорении для подсчета выделяют стационарные площадки в пределах куртины размером примерно в 16–20 м² при 2–3-кратной их повторности на делянке. Чтобы все повторные учеты строго проводились на отведенных для первого подсчета площадках необходимо на плане опыта нанести их размещение с указанием расстояния от сторон делянок.

3.4.4. Определение вегетативных зачатков многолетних сорняков в почве

К числу жизнедеятельных зачатков сорняков в почве относят части корней и корневищ способные к регенерации. Учету подлежат вегетативные зачатки осота желтого, осота розового (бодяка), пырея ползучего, хвоща полевого и др.

Учет производят наложением пробных площадок площадью 0,25–1,00 м². Количество учетных площадок на делянке зависит от размера делянки и равномерности засорения и колеблется для пырея ползучего от 5 до 10 и для глубокоукореняющихся от 2 до 5 площадок.

После предварительного окапывания вокруг учетной площадки производят выемку почвы по намеченным программой слоям: для пырея ползучего на глубину до 20 см, для бодяка и других глубокоукореняющихся не мельче 40 см. Все вегетативные органы размножения (корневища и корни) тщательно выбирают из почвы и помещают в мешочки с этикетками, на которых обозначают: название опыта, № делянки, № пробы, глубину слоя почвы и дату взятия пробы. Попутно исследователь описывает характер расположения отрастания и состояние подземных органов, которые характеризуют биологическую особенность данного вида.

В лаборатории все корни и корневища промывают, а затем разбирают по видовому составу, ориентируясь по соответствующим надземным частям. Затем определяют их общую длину и общий вес по каждому виду и пересчитывают на 1 м².

Измерение длины корней и корневищ производят в сыром состоянии. По окончании измерений пробы высушивают до воздушно-сухого состояния и взвешивают.

Если исследуется один вид (например, пырей или бодяк), то в поле из почвы выбирают отрезки не всех видов, а только одного, изучаемого.

Направленность динамики засоренности почвы вегетативными зачатками, как и семенными, устанавливают с помощью периодических учетов, сроки которых приурочивают к началу и завершению опыта, началу и концу вегетационных периодов сорняков и переломным пунктам в динамике, которые выясняются при изучении биологии сорных растений.

Динамика засоренности почвы вегетативными зачатками, как и семенными, складывается из двух процессов: очищения от них почвы и нового засорения. Но существо этих процессов несколько иное, чем при динамике засоренности семенными зачатками. Очищение почвы идет за счет старения и последующего отмирания вегетативных зачатков, засорение же – путем нарастания в длину старых зачатков и образования на старых или от других подземных органов растений новых зачатков. Чтобы определить, как идет очищение и одновременно засорение почвы вегетативными зачатками, необходимо зачатки расчленять на возрастные группы: молодые, старые и отмершие. Количество молодых зачатков показывает, если период между смежными учетами достаточный, сколько образовалось новых зачатков, количество же

мертвых (при своевременном учете они разложиться не успевают) – сколько их погибло.

Скорость обоих процессов зависит от погодных условий и агротехники. В частности, дискование поля, засоренного мелкокорневищными сорняками, ускоряет как нарастание, так и отмирание зачатков, а частота применения этого агротехнического мероприятия определяет направленность процесса – очищение участка или увеличение его засоренности. Таким образом, достигается оценка изучаемого приема.

Определение глубины залегания горизонтальных корневищ пырея и других сорных растений.

Для принятия правильного решения о глубине вспашки и других обработок почвы на поле или ином участке необходимо знать глубину залегания корневищ пырея и других корневищных растений. Обследование глубины залегания производят до обработки участка, а если необходимо, то и после уборки культурных растений. Глубину залегания (выходов) корневищ устанавливают при помощи специальных разрезов почвы с нанесением выходов на миллиметровую бумагу при соответствующем масштабе.

Разрез (яму) копают следующих размеров: длина – 110 см, ширина – 30–40 см, глубина для пырея – 25 см. Одну из длинных сторон стенок ямы сглаживают лопатой для того, чтобы выходы корневищ были ясно заметны.

По краю ямы кладут размеченную на сантиметры метровую линейку так, чтобы по обе стороны от концов ее до конца ямы оставалось 5 см. Пользуясь другой, более короткой сантиметровой линейкой путем соответствующих промеров в вертикальном направлении, последовательно определяют место нахождения выходов корневищ. Найденные точки заносят на план миллиметровки.

Разрезов на участке необходимо сделать от 5 до 10, в зависимости от однородности получаемых данных и величины участка.

3.4.5. Наблюдения за культурными растениями и оценка состояния сорных растений

Появляясь в посевах, сорняки вступают во взаимодействие с культурными растениями. Оно обычно выражается во взаимном подавлении, проявляющимся прежде всего в выпадении растений, уменьшении длины и массы надземных частей, а также семенной продуктивности.

Взаимоподавление культурных и сорных растений определяют путем анализа проб, собранных при учете засоренности посевов количественно-весовым методом. Для детального изучения взаимовлияния культурных и сорных растений при постановке опыта необходимо запланировать как минимум три варианта: 1) посев культуры с ручной прополкой; 2) естественный для опытного участка сорный ценоз без посева культуры; 3) посев культуры с применением изучаемого способа борьбы с сорняками (химпрополка и др.). При необходимости такие опыты можно дополнять вариантами с различными защитными мероприятиями.

После разбора проб сорняков по видам и биологическим группам оценивают общее состояние культурных растений в различных вариантах, а также сорных растений в разных вариантах. В качестве показателей для оценки степени подавленности культуры и (или) сорных растений обычно выступает масса, длина стебля, кустистость или ветвистость сорняков, семенная продуктивность. По каждому из этих показателей в отношении сорняка, а также культуры степень подавленности можно выразить в процентном отношении.

Наряду с учетом численности и массы сорных растений в течение всего периода вегетации ведут визуальные наблюдения за их состоянием на обработанных гербицидами делянках и в контроле. Отмечают признаки повреждения сорных растений (скручивание листьев, верхушек, искривление стебля, изменение цвета и т. п.), сроки и степень проявления этих признаков, сроки гибели растений или возвращения их к норме.

Наряду с выявлением эффективности нового гербицида против сорной растительности изучают и его влияние на культуру. Определяют влияние препарата на время появления всходов культурных растений, их густоту, сроки прохождения основных фаз роста и развития, структуру урожая. Отмечают признаки повреждения, задержку или усиление роста, изменение формы вегетативных и генеративных органов, изменение цвета, появление ожогов и т. п. Такие наблюдения возможно проводить следующим образом:

а) на специально выделенной площадке, которую содержат в течение всего вегетационного периода в чистом состоянии;

б) изучаемые варианты сравнивают с чистым контролем (ручная прополка), или эталоном, или с контролем без прополки.

Густоту всходов культуры учитывают первый раз после появления массовых всходов культуры и второй – через 15–20 суток после перво-

го. Результаты представляют в виде средних по варианту абсолютных чисел (на 1 м²) и в процентах к контролю.

Оценку фаз роста и развития культуры проводят визуально. При этом отмечают дату начала наступления и массовое нахождение растений в каждой фазе, то есть день, когда 10–15 % и 50–75 % растений вступило в эту фазу.

Видимые симптомы повреждений культурного растения учитываются путем оценки, которая проводится на посевах или насаждениях, отдельных растениях, или их частях. При этом определяется процентная доля поврежденной массы растений по сравнению с необработываемым контролем.

Изреженность лучше оценивать по признаку «Густота стояния растений».

На симптомы повреждения могут влиять также другие абиотические факторы: обеспеченность микро- и макроэлементами, обработка почвы атмосферные условия и биотические факторы: поражение болезнями и вредителями, засоренность. Поэтому необходимо подвергнуть тщательному контролю необработываемый вариант опыта.

Оценка фитотоксичности. Под фитотоксичностью подразумевают повреждения культурных растений, вызванные применением гербицидов. Эти повреждения могут оказывать отрицательное влияние на рост и развитие растений. Все это может отражаться также на величине урожая и его качестве.

Симптомы повреждений. Изреженность (уменьшение количества растений, его органов или частей органов). Изменение окраски (изменение типичной для данного вида или сорта окраски: хлороз, антоциановая окраска и др.). Отмирание (отмирание растительных тканей, органов или целых растений). Увядание (увядание отдельных органов, частей растений или целого растения). Аномалия роста (отклонение растения или отдельных органов от нормального вида. Например, гипертрофия, увеличение числа органов). Влияние на процессы роста и развития растения (торможение или ускорение определенных фаз роста растения или его органов, общее торможение или ускорение роста, отсутствие образования генеративных органов, влияние на пол, преждевременное опадание завязей, плодов и т. д.). Выделения (вытекание сока, слизи, живицы).

Глава 4. УБОРКА УРОЖАЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Уборка – учет урожая требуют большого внимания и аккуратности. За несколько дней до уборки нужно осмотреть опытный участок и при необходимости сделать выключки, но не более 1/3 делянки. Чтобы опыт с одной-двумя выпавшими из учета делянками привести к сравнимому виду, результаты их должны быть восстановлены статистическим методом (по Б. А. Доспехову, 1985). Урожай на учетных делянках убирают после уборки продукции с защитных полос и выключек.

Урожай убирают способом и в сроки, которые устанавливают на месте. Все опытные делянки желательно убирать в один день, одним и тем же способом. Если это технически не удастся сделать, то уборку необходимо проводить по мере необходимости с учетом сроков созревания культуры в каждом из изучаемых вариантов опыта.

Уборку урожая зерновых, зернобобовых и кормовых культур необходимо проводить малогабаритной техникой, технических – поделочно вручную. Иногда, допускается уборка урожая методом пробного снопа. При этом с каждой делянки берут не менее одного снопа с площади 1 м². Сроки уборки определяются созреванием урожая в контроле.

Учет урожая (Y_p^x , ц/га) для зерновых культур проводят по формуле:

$$Y_p^x = \frac{ax\delta \cdot 100}{b \cdot S},$$

где a – масса всего урожая с делянки, включая солому, кг;

δ – масса зерна, обмолоченного от пробных снопов, кг;

b – масса пробных снопов зерновой культуры сразу после уборки, кг;

S – площадь делянки, м².

Величина урожая с приведением к стандартной влажности (Y_p^0 , ц/га) рассчитывается следующим образом:

$$Y_p^0 = \frac{Y_p^x \cdot (100 - \omega_y)}{100 - \omega_{ст}},$$

где ω_y – влажность собранного урожая, %;

$\omega_{ст}$ – стандартная влажность для данной культуры, %.

Стандартные величины влажности, следующие: подсолнечник, горчица, рапс, лен – 13 %; пшеница, ячмень, рожь, овес, гречиха, кукуруза, соя, горох, кормовые бобы, фасоль – 14 %.

Экономическая оценка результатов экспериментальных данных, полученных в результате проведенных опытов или по данным хозяйственной деятельности отдельных сельскохозяйственных предприятий позволяет научно обосновать экономическую эффективность мероприятий по использованию и повышению технологических приемов защитных мероприятий.

В ряде случаев экономические расчеты выполняются по всем вариантам опыта, хотя следует оценивать те из них, которые представляют наибольший интерес для производства, а при низких уровнях урожайности сельскохозяйственных культур вовсе не рекомендуется определять экономическую эффективность.

Показатели оценки по результатам опыта и хозяйственной деятельности предприятия необходимо сводить в таблицы, графики, схемы, рисунки, которые сопровождаются текстом. Текст должен содержать их анализ с соответствующими выводами и не повторять все приведенные в них цифровые данные.

Для более полного отражения сущности экономической эффективности того или другого агротехнического приема, его результата нельзя ограничиваться одним показателем (сопоставлением суммы стоимости продукции и суммы затрат), нужно использовать совокупность экономических показателей.

Экономическую эффективность агротехнических мероприятий более полно характеризуют основные показатели производительности труда, себестоимости всей продукции, себестоимости дополнительной продукции, экономии прямых затрат (или снижения себестоимости продукции), дополнительного чистого дохода, рентабельности (окупаемости) производственных затрат, окупаемости материальных затрат (пестицидов) продукцией и рентабельности.

В зависимости от учета стоимости полученной продукции и затрат показатели экономической эффективности агромероприятий могут быть исчислены по всему урожаю и всем затратам или по дополнительной продукции и дополнительным затратам. Для расчета этих показателей по вариантам опыта необходимо иметь следующие учетные в опыте или хозяйственные данные: фактический выход основной и побочной продукции с 1 га и со всей площади посева в контроле (Π_{ϕ}); тоже по данным вариантов опыта (Π_0); дополнительный выход продукции (Π_d), который определяется:

$$\Pi_d = \Pi_0 - \Pi_{\phi} \text{ или } \Pi_d = \Pi_{\phi} - \Pi_0 .$$

Стоимость товарной продукции (C_{ϕ}) или дополнительной товарной продукции ($C_{д}$) для хозрасчетной эффективности определяется в оценке по действующим зональным закупочным ценам с учетом качества продукции по сортности, стандартности, срокам ее выхода и других качественных характеристик путем перемножения продукции на цену:

$$C_{\phi} = П_{\phi} \cdot Ц_{з} \text{ или } C_{д} = П_{д} \cdot Ц_{з} .$$

Побочная продукция и продукция кормовых культур (кроме сена) пересчитывается в кормовые единицы, которые затем оцениваются по закупочной цене на овес аналогичным образом.

Все затраты ($Z_{в}$) или дополнительные затраты ($Z_{д}$) на проводимое мероприятие или агроприем определяются исходя из технологических карт и нормативных расчетов или из принятых стабильных нормативов по статьям производственных затрат для исчисления себестоимости продукции растениеводства (приемы расчетов этих затрат приводятся ниже в соответствующих подразделах). На основе перечисленных исходных данных определяются показатели экономической эффективности результатов опыта или хозяйственных данных.

Чистый доход ($Ч_{д}$) или дополнительный чистый доход ($Ч_{д.д}$) определяются как разность между стоимостью продукции и затратами на ее получение:

$$Ч_{д} = C_{\phi} - Z_{в} \text{ или } Ч_{д.д} = C_{д} - Z_{д} .$$

Уровень рентабельности производства продукции ($P_{в}$) или дополнительной продукции ($P_{д}$) определяют отношением чистого дохода ($Ч_{д}$) ко всем затратам ($Z_{в}$) ($Z_{ц}$) или дополнительного чистого дохода ($Ч_{д.д}$) к дополнительным затратам ($Z_{д}$) и умножением на 100:

$$P_{в} = \frac{Ч_{д} \cdot 100}{Z_{в}} \text{ или } P_{д} = \frac{Ч_{д.д} \cdot 100}{Z_{д}} .$$

Этот показатель может выражаться также в виде окупаемости затрат (дополнительных затрат) стоимостью продукции (дополнительной продукции). Он определяется отношением стоимости продукции или стоимости дополнительной продукции к сумме всех затрат или дополнительных затрат, выражается в рублях и означает, сколько рублей стоимости продукции получено на каждый рубль затрат.

В зависимости от особенностей культуры общая сумма затрат распределяется на основную и побочную (или сопряженную) продукцию следующим образом:

по зерновым культурам общая сумма затрат по возделыванию и уборке распределяется на зерно и зерноотходы. После вычитания из общей суммы нормативных затрат по уборке соломы их распределяют на зерно и зерноотходы пропорционально удельному весу содержания в них полноценного зерна. Себестоимость 1 ц зерна семеноводческих посевов определяется распределением общей суммы затрат, отнесенной на полноценное зерно, по репродукциям пропорционально их стоимости по ценам реализации на массу зерна;

по техническим культурам общая сумма затрат распределяется по видам продукции пропорционально их стоимости по закупочным ценам;

по картофелю, сахарной свекле, кормовым корнеплодам, овощам и бахчевым. Себестоимость 1 ц этих видов продукции определяется делением общей суммы затрат по их возделыванию и уборке (после исключения из затрат стоимости использованной ботвы) на массу клубней, корней и так далее;

по сеяным однолетним и многолетним травам, используемым для получения с одной площади посевов нескольких видов продукции. При исчислении себестоимости сумма затрат распределяется на объекты исчисления себестоимости по следующим коэффициентам: однолетние травы – сено – 1,0, семена – 9,0, солома – 0,1, зеленая масса – 0,25; многолетние травы – сено – 1,0, семена – 75,0, солома – 0,1, зеленая масса – 0,3;

по улучшенным и естественным сенокосам и культурным пастбищам. При получении из этих угодий нескольких видов продукции общая сумма затрат распределяется пропорционально сбору продукции с 1 га, исчисленному в кормовых единицах;

по продукции многолетних насаждений. Себестоимость 1 ц плодов и ягод определяется делением общей суммы затрат (после исключения стоимости черенков, усов, отводков, отпрысков, чубуков по цене их реализации) на массу продукции. При выращивании посадочного материала сумма затрат по каждому участку распределяется по количеству выкопанной продукции для реализаций и оставленной в грунте на дорастивание. Исходя из суммы затрат, отнесенной на выкопанную продукцию, определяется себестоимость 1000 шт. посадочного материала.

4.1. Экономическая оценка результатов исследований, выполненных на экспериментальных участках и в производственных условиях

При проведении экономической оценки результатов опытов, выполненных на экспериментальных участках и в производственных условиях, сумма всех затрат по возделыванию культуры и уборке урожая определяется на основании технологических карт предприятий по установленным нормативам.

Технологическая карта служит документом оценки не только знаний особенности технологии выращивания культуры, очередности выполнения рабочих процессов, их объемов, календарных и агротехнических сроков, состава и потребности агрегатов, количества работников, но и правильности отражения основных видов прямых производственных затрат, а также затрат живого труда.

Исходя из данных технологических карт и нормативных расчетов производятся расчеты всей суммы производственных затрат на 1 га посева (посадки) по перечню статей, принятых при исчислении себестоимости продукции растениеводства.

При оценке вариантов опыта по экономическим показателям, часто урожайность культуры и ее прибавки в отдельных вариантах являются наибольшими, а показатели экономической эффективности по этим вариантам в связи с различной величиной дополнительных затрат невелики. В таких случаях лучшими принято считать варианты, находящиеся в пределах показателей от максимальной урожайности (прибавки) культуры до наивысшего уровня рентабельности производства (окупаемости затрат).

На основании результатов научных исследований и расчетов производственных затрат можно определить основные показатели экономической эффективности по каждому варианту опыта (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Сравнительная экономическая эффективность применения пестицидов при возделывании сельскохозяйственных культур (ячмень)

Показатели	Вариант опыта (пестицид)			
	1	2	3	4
Урожайность с 1 га, ц (в т.ч. после доработки, ц/га)				
Стоимость продукции с 1 га, руб.				
Производственные затраты на 1 га, тыс. руб. (в т. ч. отнесено на зерно, тыс. руб.)				
Себестоимость 1 ц зерна, тыс. руб.				
Чистый доход на 1 га, тыс. руб.				
Рентабельность производства, %				

4.2. Экономическая эффективность применения средств защиты растений

На практике экономическую эффективность очень многих агроприемов и мероприятий определяют путем сравнения стоимости дополнительной продукции (предельный доход) с дополнительными затратами (предельные издержки), учитывая только прямые производственные затраты без различных накладных расходов (и с ними). Поэтому вместо показателей «чистый доход» и «уровень рентабельности» применяются показатели «условный чистый доход» и «условный уровень рентабельности». Среди этой группы мероприятий важное место занимает химизация сельского хозяйства, в том числе применение химических средств защиты растений от вредителей, болезней, сорной растительности, а также минеральных и органических удобрений под культуры и в системе севооборотов. При их внесении в течение ряда лет наблюдается последствие, проявляющееся в некотором росте урожайности культур, но оно существенно уступает прямому их действию.

Основными показателями, характеризующими экономическую эффективность результата опыта или проводимых мероприятий, являются: выход продукции с 1 га в контроле и в опыте, дополнительный выход продукции (прибавка), стоимость дополнительной продукции, условный чистый доход, условный уровень рентабельности или окупаемости дополнительных затрат. Для расчета этих показателей используются следующими учетными данными опытов и справочно-нормативными материалами (прейскурантами).

Принято включать накладных расходов 20 % от суммы дополнительных затрат.

Стоимость дополнительной продукции (C_D) определяется умножением физической величины ($ц$, т) дополнительной продукции ($П_D$) на закупочную цену ($Ц_3$):

$$C_D = П_D \cdot Ц_3.$$

Проведенные расчеты, таким образом, по каждому варианту опыта записываются в виде табл. 4.2.

Таблица 4.2. Стоимость дополнительной продукции

Вариант опыта	Норма расхода препарата, л(кг)/га	Средняя урожайность, ц(т)/га	Прибавка урожайности, ц(т)/га	Стоимость дополнительной продукции, руб/га
1				
2				
4				
4				
5				

Примечание: 1 – контроль (без обработки); 2–5 – изучаемые пестициды.

Дополнительные затраты на применение средств защиты растений определяются:

- стоимость пестицидов по видам, ассортименту и ценам на них;
- стоимость доставки пестицидов в хозяйство;
- затраты на подготовку рабочей жидкости;
- затраты на погрузку пестицидов по норме внесения и расценкам за 1 т;
- затраты на транспортировку пестицидов по норме внесения и расценкам;
- затраты на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая по перспективным расценкам на 1 ц продукции.

Проведенные расчеты по каждому варианту опыта записываются в виде табл. 4.3.

Таблица 4.3. Расчет дополнительных затрат на применение средств защиты растений и доработку дополнительного урожая

Вариант опыта	Стоимость препарата, руб/га	Дополнительные затраты, руб/га			Всего дополнительных затрат (включая 20 % накладных), руб/га
		на транспортировку рабочего состава и обработку посева	на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая	итого	
1					
2					
3					
4					
5					

Примечание: 1 – контроль (без обработки); 2–5 – изучаемые пестициды.

На основании произведенных расчетов стоимости дополнительной продукции (табл. 4.2), дополнительных затрат на применение средств защиты растений и доработку дополнительного урожая (табл. 4.3) определяются основные показатели экономической эффективности по каждому варианту опыта и сводятся в табл. 4.4.

При оценке результатов опытов по техническим культурам наряду с рентабельностью (окупаемостью) затрат преимущество отдается показателям уровню общей урожайности и уровню общей ее прибавки. По овощным и кормовым культурам в таких случаях основным показателем следует считать уровень окупаемости средств химизации.

Таблица 4.4. Экономическая эффективность применения средств защиты растений по вариантам опыта

Вариант опыта	Стоимость дополнительной продукции, руб.	Всего дополнительных затрат, тыс. руб.	Себестоимость 1 ц дополнительной продукции, тыс. руб.	Условный чистый доход, тыс. руб.	Рентабельность производства % или окупаемость дополнительных затрат, руб.
1					
2					
3					
4					
5					

Примечание: 1 – контроль (без обработки); 2–5 – изучаемые пестициды.

На основании полученных экспериментальных данных: стоимость дополнительной продукции, всего дополнительных затрат; себестоимость 1 ц дополнительной продукции; условный чистый доход можно рассчитать рентабельность применения средств защиты растений.

Анализ данных расчетов, выполненных по указанной таблице, позволяет сделать вывод об экономической эффективности применяемых средств защиты растений при возделывании сельскохозяйственных культур.

4.3. Окупаемость средств защиты растений величиной сохраненного урожая от вредных организмов

РУП «Институт защиты растений» (профессор Л. В. Сорочинский) предложил метод экономического обоснования применения средств защиты растений, сущность которого заключается в определении величины сохраняемого от потерь урожая, при которой затраты на защитные мероприятия будут окупаться. При этом представляется возможность определения величины сохраненного урожая, при которой затраты на защиту растений будут окупаться с заданной нормой рентабельности.

Данный метод определяет целесообразность, ассортимент, объем закупок и применения пестицидов на стадии планирования закупочных мероприятий с учетом прогнозируемой продуктивности сельскохозяйственных культур.

Основными показателями, которые используются при расчетах, являются следующие: затраты на проведение отдельных защитных мероприятий (протравливание семян, борьба с болезнями и т. д.) или в целом систем защиты той или иной сельскохозяйственной культуры от комплекса вредных организмов; закупочные цены на сельскохозяйственную продукцию.

Расчет величины сохраненного урожая ($Y_{\text{сохр}}$), которой окупаются затраты на защиту растений (ц/га), можно проводить по формуле:

$$Y_{\text{сохр}} = \frac{З \cdot (100 + P)}{Ц \cdot 100},$$

где $З$ – затраты на защиту растений, руб/га (в статью затрат включена стоимость препаратов с торговой наценкой и расходы на их внесение);

$Ц$ – закупочная цена на продукцию, руб/ц;

P – заданная норма рентабельности, %.

Оценка экономической эффективности проводимых мероприятий предусматривает сопоставление полученного эффекта в виде стоимости сохраненной части урожая и затрат на проведение этих мероприятий.

На основании произведенных расчетов стоимости сохраненной части урожая, совокупности затрат на защиту растений (цены и расценки на препараты и выращиваемую продукцию, нормативные затраты на уборку, доработку и транспортировку сохраненной части урожая), ко-

которые сводятся в табл. 4.5, определяется окупаемость пестицидов величиной сохраненного урожая от вредителей, болезней и сорняков.

Таблица 4.5. Окупаемость пестицидов величиной сохраненного урожая от вредных организмов

Пестициды	Норма расхода, кг(л)/га	Стоимость пестицида, руб/кг(л)	Стоимость пестицида, руб/га	Затраты на защиту, руб/га (с учетом внесения пестицидов)	Окупаемость пестицида величиной сохраненного урожая, ц/га
1	2	3	4	5	6

При определении целесообразности проведения защитных мероприятий важно знать, какое количество продукции необходимо сохранить, чтобы окупались вложенные средства на защиту растений. И хотя использование более дорогого препарата предполагает соответствующую биологическую эффективность его и более широкий спектр действия, производитель сельскохозяйственной продукции имеет возможность выбора необходимого пестицида в зависимости от финансового состояния, планируемой урожайности и фитосанитарной ситуации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
2. Дудук, А. А. Научные исследования в агрономии / А. А. Дудук, П. И. Мозоль. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 336 с.
3. Елисеев, С. Л. Научные исследования в агрономии: учеб. пособие / С. Л. Елисеев. – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2020. – 178 с.
4. Задорина, Н. А. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ: учеб. пособие / Н. А. Задорина. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 100 с.
5. Защита растений от болезней: учеб. пособие / В. А. Шкаликов [и др.]; ред. В. А. Шкаликова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: КолосС, 2003. – 255 с.
6. Литхл, Т. М. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ (пер. с англ. Б. Д. Кирюшина). – М.: Колос, 1981. – 320 с.
7. Методические указания по проведению регистрационных испытаний гербицидов в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию; Институт защиты растений; сост.: С. В. Сорока, Т. Н. Лапковская. – Несвиж: МОУП «Несвиж. укрупн. тип. им. С. Будного». – 2007. – 58 с.
8. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов, родентицидов и феромонов в сельском хозяйстве / РУП «Ин-т защиты растений»; под ред. Л. И. Трепашко. – Несвиж: МОУП «Несвиж. укрупн. тип. им. С. Будного», 2009. – 320 с.
9. Моисейченко, В. Ф. Основы научных исследований в плодоводстве, овощеводстве и виноградарстве / В. Ф. Моисейченко, В. А. Заверюха, М. Ф. Трифонова. – М.: Колос, 1994. – 383 с.
10. Обработка экспериментальных данных в MS Excel: метод. указания к выполнению лабораторных работ для студентов дневной формы обучения / сост.: Е. Г. Агапова, Е. А. Битехтина. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 32 с.
11. Организационно-экономическое обоснование дипломных работ: метод. указания / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия; сост.: А. А. Галиевский, А. С. Тихоненко, Т. Л. Хроменкова. – Горки, 2006. – 56 с.
12. Основы научных исследований: методические указания / БГСХА; сост.: В. З. Шарапо, Е. В. Равков, В. И. Бушуева [и др.]. – Горки, 2000. – 60 с.
13. Практикум по методике опытного дела в защите растений / В. Ф. Пересыпкин, С. Н. Коваленко, В. С. Шелестова [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 175 с.
14. Пискунов, А. С. Методы агрохимических исследований / А. С. Пискунов. – М.: Колос, 2004. – 312 с.
15. Равков, Е. В. Основы научных исследований и УИРС. Статистические методы обработки экспериментальных данных : учеб.-метод. пособие / Е. В. Равков, Г. И. Витко, М. Н. Авраменко. – Горки : БГСХА, 2018. – 80 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Значения критерия t на 5, 1 и 0,1%-ном уровне значимости

Число степеней свободы	Уровень значимости		
	0,05	0,01	0,001
1	12,71	63,66	–
2	4,30	9,93	31,60
3	3,18	5,84	12,94
4	2,78	4,60	8,61
5	2,57	4,03	6,86
6	2,45	3,71	5,96
7	2,37	3,50	5,41
8	2,31	3,36	5,04
9	2,26	3,25	4,78
10	2,23	3,17	4,59
11	2,20	3,11	4,44
12	2,18	3,06	4,32
13	2,16	3,01	4,22
14	2,15	2,98	4,14
15	2,13	2,95	4,07
16	2,12	2,92	4,02
17	2,11	2,90	3,97
18	2,10	2,88	3,92
19	2,09	2,86	3,88
20	2,09	2,85	3,85
21	2,08	2,83	3,82
22	2,07	2,82	3,79
23	2,07	2,81	3,77
24	2,06	2,80	3,75
25	2,06	2,79	3,73
26	2,06	2,78	3,71
27	2,05	2,77	3,69
28	2,05	2,76	3,67
29	2,05	2,76	3,66
30	2,04	2,75	3,65
50	2,01	2,68	3,50
100	1,98	2,63	3,39
∞	1,96	2,58	3,29

Значения критерия F на 5%-ном уровне значимости (вероятность 95 %)

Степень свободы для меньшей дисперсии (знаменателя)	Степень свободы для большей дисперсии (числителя)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	249	252	253
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,41	19,45	19,47	19,49
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,74	8,64	8,58	8,56
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,25	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,77	5,70	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,68	4,53	4,44	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,27	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,84	3,75	3,71
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,57	3,41	3,32	3,28
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,28	3,12	3,03	2,98
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,07	2,90	2,80	2,76
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,91	2,74	2,64	2,59
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,79	2,61	2,50	2,45
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,69	2,50	2,40	2,35
13	4,64	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,60	2,42	2,32	2,26
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,95	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,53	2,35	2,24	2,19
15	4,54	3,60	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,48	2,29	2,18	2,12
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,24	2,13	2,07
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,62	2,55	2,50	2,45	2,38	2,19	2,08	2,02
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,15	2,04	1,98
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,55	2,48	2,43	2,38	2,31	2,11	2,00	1,94
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,28	2,08	1,96	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,05	1,93	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,47	2,40	2,35	2,30	2,23	2,03	1,91	1,84
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,45	2,38	2,32	2,28	2,20	2,00	1,88	1,82
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,18	1,98	1,86	1,80
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,41	2,34	2,25	2,24	2,16	1,96	1,84	1,77
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	1,95	1,82	1,76
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	1,91	1,78	1,72
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,12	2,09	1,89	1,76	1,69
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,07	2,00	1,79	1,66	1,59
50	4,03	3,18	2,79	2,55	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,95	1,74	1,60	1,52
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,10	2,03	1,97	1,92	1,85	1,63	1,48	1,39

Значения критерия F на 1 %-ном уровне значимости (вероятность 99 %)

Степени свободы для меньшей дисперсии (знаменателя)	Степени свободы для большей дисперсии (числителя)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	5981	6022	6056	6106	6234	6302	6334
2	98,49	99,01	99,17	99,25	99,30	99,33	99,34	99,36	99,38	99,40	99,42	99,46	99,48	99,49
3	34,12	30,81	29,45	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	27,05	26,60	26,35	25,23
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,54	14,37	13,93	13,69	13,57
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,45	10,27	10,15	10,05	9,89	9,47	9,24	9,13
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,72	7,31	7,09	6,99
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,45	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,47	6,07	5,85	5,75
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,67	5,25	5,06	4,96
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	5,11	4,73	4,51	4,41
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,96	4,83	4,71	4,33	4,12	4,01
11	9,85	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,40	4,02	3,80	3,70
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,39	4,30	4,16	3,75	3,56	3,46
13	9,07	6,70	5,74	5,20	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	3,96	3,59	3,37	3,27
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,80	3,43	3,21	3,11
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,67	3,29	3,07	2,97
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,78	3,69	3,61	3,45	3,18	2,96	2,86
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,45	3,08	2,86	2,76
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,85	3,71	3,60	3,51	3,37	3,00	2,78	2,68
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,30	2,92	2,70	2,63
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	3,23	2,86	2,63	2,53
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,66	3,51	3,40	3,31	3,17	2,80	2,58	2,47
22	7,94	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,12	2,75	2,53	2,42
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,07	2,70	2,48	2,37
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,25	3,17	3,03	2,66	2,44	2,33
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,46	3,32	3,21	3,13	2,99	2,62	2,40	2,29
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,17	3,09	2,96	2,58	2,36	2,25
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,76	3,53	3,36	3,23	3,11	3,03	2,90	2,52	2,30	2,18
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,06	2,98	2,84	2,47	2,24	2,13
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,88	2,80	2,66	2,29	2,05	1,94
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,18	3,02	2,88	2,78	2,70	2,56	2,18	1,94	1,81
100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,20	2,99	2,82	2,69	2,59	2,51	2,36	1,98	1,73	1,59

Значение критерия χ^2

Число степеней свободы	Уровень значимости							
	0,99	0,95	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,01
1	0,10	0,45	1,32	2,71	3,84	6,63
2	0,02	0,10	0,58	1,39	2,77	4,61	5,99	9,21
3	0,11	0,35	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	11,34
4	0,30	0,71	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	13,28
5	0,55	1,15	2,67	4,35	6,63	9,24	11,07	15,09
6	0,87	1,64	3,45	5,35	7,84	10,64	12,59	16,81
7	1,24	2,17	4,25	6,35	9,04	12,02	14,07	18,48
8	1,65	2,73	5,07	7,34	10,22	13,36	15,51	20,09
9	2,09	3,33	5,90	8,34	11,39	14,68	16,92	21,67
10	2,56	3,94	6,74	9,34	12,55	15,99	18,31	23,21
11	3,05	4,57	7,58	10,34	13,70	17,28	19,68	24,72
12	3,57	5,23	8,44	11,34	14,85	18,55	21,03	26,22
13	4,11	5,89	9,30	12,34	15,98	19,81	22,36	27,69
14	4,66	6,57	10,17	13,34	17,12	21,06	23,68	29,14
15	5,23	7,26	11,04	14,34	18,25	22,31	25,00	30,58
16	5,81	7,96	11,91	15,34	19,37	23,54	26,30	32,00
17	6,41	8,67	12,79	16,34	20,49	24,77	27,59	33,41
18	7,01	9,39	13,68	17,34	21,60	25,99	28,87	34,81
19	7,63	10,12	14,56	18,34	22,72	27,20	30,14	36,19
20	8,26	10,85	15,45	19,34	23,83	28,41	31,41	37,57
21	8,90	11,59	16,34	20,34	24,93	29,62	32,67	38,93
22	9,54	12,34	17,24	21,34	26,04	30,81	33,92	40,29
23	10,20	13,09	18,14	22,34	27,14	32,01	35,17	41,64
24	10,86	13,85	19,04	23,34	28,24	33,20	36,42	42,98
25	11,52	14,61	19,94	24,34	29,34	34,38	37,65	44,31
26	12,20	15,38	20,84	25,34	30,43	35,56	38,89	45,64
27	12,88	16,15	21,75	26,34	31,53	36,74	40,11	46,93
28	13,56	16,93	22,66	27,34	32,62	37,92	41,34	48,28
29	14,26	17,71	23,57	28,34	33,71	39,09	42,56	49,59
30	14,95	18,49	24,48	29,34	34,80	40,26	43,77	50,89
40	22,16	26,51	33,66	39,34	45,62	51,80	55,76	63,69
50	29,71	34,76	42,94	49,33	56,33	63,17	67,50	76,15
60	37,48	43,19	52,29	59,33	66,98	74,40	79,08	88,38
70	45,44	51,74	61,70	69,33	77,58	85,53	90,53	100,42
80	53,54	60,39	71,14	79,33	88,13	96,58	101,88	112,33
90	61,75	69,13	80,62	89,33	98,64	107,56	113,14	124,12
100	70,06	77,93	90,13	99,33	109,14	118,50	124,34	135,81

**Критические значения коэффициента корреляции
на 5%-ном и 1%-ном уровне значимости**

Степени свободы ($n - 2$)	0,05	0,01	Степени свободы ($n - 2$)	0,05	0,01	Степени свободы ($n - 2$)	0,05	0,01
1	0,997	1,000	16	0,468	0,590	35	0,325	0,418
2	0,950	0,990	17	0,456	0,575	40	0,304	0,393
3	0,878	0,959	18	0,444	0,561	45	0,288	0,372
4	0,811	0,917	19	0,433	0,549	50	0,273	0,354
5	0,754	0,874	20	0,423	0,537	60	0,250	0,325
6	0,707	0,834	21	0,413	0,526	70	0,232	0,302
7	0,666	0,798	22	0,404	0,515	80	0,217	0,283
8	0,632	0,765	23	0,396	0,505	90	0,206	0,267
9	0,602	0,735	24	0,388	0,496	100	0,195	0,254
10	0,576	0,708	25	0,381	0,487	150	0,159	0,208
11	0,553	0,684	26	0,374	0,478	200	0,138	0,181
12	0,532	0,661	27	0,367	0,470	300	0,113	0,148
13	0,514	0,641	28	0,361	0,463	400	0,098	0,128
14	0,497	0,623	29	0,355	0,456	500	0,068	0,115
15	0,482	0,606	30	0,349	0,449	1000	0,062	0,081

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	5
1.1. Вычисление и анализ статистических характеристик количественной и качественной изменчивости	13
1.2. Теоретические распределения	19
1.3. Статистические методы проверки гипотез	24
1.4. Дисперсионный анализ	32
1.5. Корреляционно-регрессионный анализ	37
1.6. Обработка результатов экспериментов с помощью компьютерных программ.....	42
Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВОГО ОПЫТА	58
2.1. Планирование.....	58
2.1.1. Закладка полевого опыта.....	67
2.1.2. Выбор земельного участка под опыт.....	68
2.1.3. Подготовка и изучение участка.....	69
2.2. Основные элементы методики и техники полевого опыта.....	70
2.2.1. Площадь, форма и направление опытной делянки.....	70
2.2.2. Варианты и повторности опыта.....	72
2.2.3. Методы размещения вариантов в полевом опыте.....	73
2.2.4. Особенности постановки полевых опытов в сельскохозяйственных организациях.....	78
2.3. Уход и наблюдения за растениями на опытном участке.....	84
2.4. Ведение документации по опыту.....	87
Глава 3. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И УЧЕТА ВРЕДНЫХ ОБЪЕКТОВ	90
3.1. Диагностика и учет болезней растений.....	90
3.2. Фитоэкспертиза семенного материала.....	109
3.3. Учет поврежденностей растений, вызываемых вредителями.....	116
3.4. Методы учета сорных растений.....	120
3.4.1. Определение запаса семян сорных растений в почве.....	123
3.4.2. Учет засоренности посевов.....	125
3.4.3. Учет надземных побегов корнеотпрысковых сорняков.....	132
3.4.4. Определение вегетативных зачатков многолетних сорняков в почве.....	132
3.4.5. Наблюдения за культурными растениями и оценка состояния сорных растений	134
Глава 4. УБОРКА УРОЖАЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ.....	137
4.1. Экономическая оценка результатов исследований, выполненных на экспериментальных участках и в производственных условиях.....	141
4.2. Экономическая эффективность применения средств защиты растений.....	142
4.3. Окупаемость средств защиты растений величиной сохраненного урожая от вредных организмов	145
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	147
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	148

Учебное издание

Саскевич Павел Александрович
Исакова Анастасия Леонидовна
Мосур Сергей Сергеевич

**МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ЗАЩИТЕ РАСТЕНИЙ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. П. Савицц*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 12.12.2024. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 9,07. Уч.-изд. л. 8,45.
Тираж 40 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.