



УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



В. Ф. МОИСЕЙЧЕНКО, М. Ф. ТРИФОНОВА,
А. Х. ЗАВЕРЮХА, В. Е. ЕЩЕНКО

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АГРОНОМИИ

Допущено Министерством сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям



МОСКВА «КОЛОС» 1996

ББК 41.4я73
О68
УДК 631.5(075.8)

Редактор *А. А. Белоусова*

Рецензенты: доктор с.-х. наук, профессор *И. П. Фирсов* (Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина), доктор с.-х. наук, академик *В. П. Гудзь* (Украинский аграрный университет), кандидаты с.-х. наук *В. М. Калиберда* (Украинский аграрный университет), *А. А. Яценко* (Институт сахарной свеклы Украинской академии аграрных наук)

Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко, М. Ф. Трифонова, А. Х. Заверюха, В. Е. Ещенко. — М.: Колос, 1996. — 336 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
ISBN 5—10—003276—6.

Описаны современные методы планирования исследований, рассказано о закладке опытов и особенностях агротехники на опытных участках, приведены унифицированные методики учета и наблюдений, программы для многофакторных дисперсионных, а также корреляционных и регрессионных анализов результатов опытов.

Для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям.

О 3704010100 — 057
035(01) — 96

Без объявления

ББК 41.4я73

ISBN 5—10—003276—6

© Издательство «Колос», 1996

Часть 1

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. ОПЫТНОЕ ДЕЛО

1.1.1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ОПЫТНОГО ДЕЛА

Опытное дело в агрономии зародилось одновременно с возникновением земледелия, когда с помощью примитивного орудия — заостренной палки — первобытный человек начал рыхлить почву и высевать в нее семена, передавая свой опыт из поколения в поколение.

Опытное дело совершенствовалось одновременно с возникновением и совершенствованием учебных заведений, особенно высших. Первым высшим учебным заведением в России была Киево-Могилянская академия, основанная в 1615 г., а ее первым ученым-естествоиспытателем, ботаником, метеорологом был Ионикий Галятковский. В стенах академии учились многие выдающиеся русские ученые, в том числе М. В. Ломоносов, которому принадлежат слова: «Один опыт я ставлю выше тысячи мнений, рожденных единственно воображением».

Своеобразными зародышами научных исследований были аптекарские огороды, созданные в 1629 г. под Москвой, а затем и в других районах России. Научными исследованиями руководило «Вольное экономическое общество», организованное в 1765 г.

Первые опытные работы были начаты в 1790 г. М. Г. Ливановым в с. Богоявленское вблизи г. Николаева, а первое опытное учреждение (Бутырский хутор) создано под Москвой в 20-х гг. XIX столетия. В 1840 г. в Горы-Горецком (Белоруссия) было организовано первое опытное поле. По инициативе Д. И. Менделеева в 1867 г. были заложены еще четыре опытных поля в Московской, Петербургской, Смоленской и Симбирской губерниях.

В 1895—1897 гг. организованы первые опытные сельскохозяйственные станции: Вятская, Энгельгардская и Ивановская. В конце XIX в. в России уже работали 10 опытных и селекционных станций, 13 опытных полей, 2 лаборатории и 2 контрольно-семенные станции с 60 научными сотрудниками.

В 1913 г. из 214 научных учреждений было 44 опытные станции, 78 опытных полей и 92 лаборатории, но еще не было научно-исследовательских институтов. К 1940 г. число научных учреждений увеличилось более чем в 4 раза, а число научных сотрудников превысило 10 тыс. В составе научных учреждений было много институтов. Так, в 1922 г. был создан Центральный научно-исследовательский институт по сельскому хозяйству, в 1924 г. — Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур, а в 1929 г. организована Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук во главе с выдающимся ученым Н. И. Вавиловым. Академия располагала большой сетью научно-исследовательских институтов и новых опытных станций как отраслевого, так и зонального значения.

Еще больше увеличилось количество научных учреждений за послевоенные годы. Только в системе Министерства сельского хозяйства в 1973 г. функционировало 671 научное учреждение, в которых работало около 60 тыс. сотрудников. Научной работой занимаются ученые в сельскохозяйственных учебных заведениях России, а также в проблемных лабораториях и на тысячах госсортоучастков.

Огромный вклад в опытное дело внесли ученые В. В. Докучаев, П. А. Костычев, А. А. Измаильский, А. И. Душечкин, А. Г. Дояренко, Д. Н. Прянишников и многие другие. Особенно активно работал в области опытного дела А. Г. Дояренко, который в 1918, 1919, 1921 гг. организовывал Всероссийские съезды опытников. Он первым начал читать в 1907 г. курс опытного дела в Петровской сельскохозяйственной академии, усовершенствовал применение математической статистики в исследованиях, редактировал «Научно-агрономический журнал».

Первая кафедра опытного дела в России была организована П. Н. Константиновым, который написал фундаментальную работу «Основы сельскохозяйственного опытного дела». Известными методистами опытного дела были Н. Ф. Деревицкий, В. Н. Перегудов, П. Г. Найдин, А. С. Молостов и многие другие. Но особое место в совершенствовании и становлении методики за последние 30 лет принадлежит Б. А. Доспехову, заведующему кафедрой земледелия и методики опытного дела, автору учебника «Методика полевого опыта», выдержавшего пять изданий за 1965—1985 гг.

1.1.2. СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

В России в сельском хозяйстве функционируют следующие научные учреждения: лаборатории (обычные и проблемные), опорные пункты, опытные поля, научные отделы, опытные станции, институты, академии наук.

Элементарной единицей среди научных учреждений является

научная *лаборатория*, которая входит в состав научного отдела или кафедры вуза. Лаборатория может быть и отдельным научным учреждением на производстве или в составе академии наук. В высших учебных заведениях создаются еще проблемные лаборатории для решения научно-технических проблем фундаментальных наук. Могут быть и отраслевые лаборатории, которые создают для решения актуальных прикладных задач отрасли. Лаборатории могут быть составной частью опорного пункта, опытной станции или института.

По специализации создаются лаборатории агрохимии, физиологии растений, почвоведения, защиты растений и др.

Опорный пункт — это научное подразделение опытной станции или института, которое создается на производстве. Его деятельность организуют и планируют те научные учреждения, которым подчинен опорный пункт. По длительности функционирования опорные пункты могут быть временными или постоянными в зависимости от поставленных задач. В соответствии со своим профилем эти пункты ведут работы по проверке и уточнению разработанных опытными станциями или институтами способов производства продукции земледелия в конкретных хозяйствах. Задачей опорных пунктов также является оказание методической помощи хозяйствам во внедрении достижений науки и передового опыта, в определении экономической эффективности внедренных рекомендаций.

Опытные поля призваны проводить многолетние стационарные полевые опыты для выявления лучших приемов возделывания сельскохозяйственных культур в конкретных почвенно-климатических условиях. На них изучают эффективность минеральных и органических удобрений, типы севооборотов, способы борьбы с эрозией почв, технологии выращивания культур. На опытные поля также возлагается работа по пропаганде и внедрению достижений науки в производство. Опытные поля входят в состав опытных станций или непосредственно институтов и проводят работу под их методическим руководством.

Научный отдел — основная структурная часть опытной станции или института. В состав отделов входят научные лаборатории, которые занимаются конкретной тематикой. По специализации существуют научные отделы земледелия, агрономии, селекции, генетики, экономики и др. На опытных станциях могут создаваться комплексные отделы: агрохимии и почвоведения, селекции и генетики, растениеводства и кормопроизводства и т. п.

Опытные станции осуществляют научную разработку агротехнических мероприятий в конкретных естественно-экономических условиях и дают рекомендации производству. Они ведут пропаганду достижений науки и передовой практики. Станции

подразделяются на отраслевые, которые подчинены отраслевым научно-исследовательским институтам; самостоятельные отраслевые, которые подчинены непосредственно Министерству сельского хозяйства и продовольствия; государственные комплексные опытные станции, подчиняющиеся областным (краевым) управлениям сельского хозяйства.

Научно-исследовательские институты — это учреждения, которые разрабатывают теоретические проблемы сельскохозяйственной науки и практические рекомендации для развития определенных отраслей агрономии. Институты могут быть как зональными, так и отраслевыми.

Основные задачи агрономической науки в институтах следующие: разработка теории и практики повышения плодородия почвы; углубление исследований в борьбе с эрозией почв и их засолением; агроклиматическое обоснование размещения сельскохозяйственных культур в различных зонах России; разработка рациональных структур посевных площадей и севооборотов в соответствии со специализацией хозяйств; создание новых высокопродуктивных сортов растений, обладающих комплексной устойчивостью против вредителей, болезней, переувлажнения, засухи, засоления почв; исследование вопросов химизации и мелиорации почв при соблюдении экологической безопасности; разработка теории и практики программирования и прогнозирования урожаев; постоянное совершенствование методики опытного дела как основы эффективности научных исследований. Научно-методическое руководство этими институтами осуществляет Российская академия сельскохозяйственных наук.

Академия сельскохозяйственных наук — высшее научное учреждение России. Ее членами являются выдающиеся ученые, которые руководят институтами и отделениями академии в различных краях и зонах. Академия разрабатывает важнейшие проблемы во всех отраслях сельскохозяйственной науки.

Основные задачи академии: развитие теоретических исследований по ведущим направлениям сельскохозяйственной науки; выявление принципиально новых путей технического прогресса; совершенствование методов научных исследований для повышения теоретического уровня и эффективности исследовательских работ; изучение и обобщение достижений мировой науки и содействие наиболее полному использованию достижений науки и передового опыта в сельскохозяйственном производстве.

Высшим руководящим органом академии является Общее собрание академиков и членов-корреспондентов, а между собраниями — Президиум академии.

1.1.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

Опытное дело в агрономии — это научно-исследовательская работа, основная задача которой — разработка теории и практики повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, качества продукции при минимальных затратах труда и средств.

Научные исследования, эксперименты проводятся как в поле, так и в вегетационных домиках, теплицах, фитотронах, где строго регулируются условия жизни растений.

Опыт, эксперимент в агрономии — это искусственное создание различных условий для исследуемых растений с целью выявления наиболее эффективных вариантов в процессе учетов и наблюдений. *Вариантами* называют те различные условия, при которых выращивают растения в опытах. Вариантами могут быть отдельные агроприемы, элементы технологий и даже разные технологии, набор сортов, различные почвы, склоны. Различия между вариантами должны быть такими, чтобы между растениями можно было найти существенную, статистически доказуемую разницу. Например, это разница 30 кг/га между дозами последующего и предыдущего вариантов в опытах с удобрениями, разница 2—3 см между вариантами в опытах с глубиной вспашки, различия на 0,25—0,30 дозы в опытах с пестицидами и т. п.

Среди многих вариантов опыта один или несколько являются контрольными, с ними сравнивают все остальные варианты.

Контрольный вариант — это, как правило, условия агротехники, рекомендованные научными учреждениями конкретной зоны для данного хозяйства в период постановки опыта. Такие рекомендованные условия агротехники считаются в хозяйстве лучшими по урожайности и качеству продукции. Так, если под озимую пшеницу дозы вносимого азота составляли 60 кг/га, то среди пяти вариантов (30, 60, 90, 120, 150 кг/га) доза 60 кг/га должна быть контрольной, с ней сравнивают все остальные варианты. В данном опыте эта доза является производственным контролем. Иногда в научных целях используют абсолютный контроль: в опытах с дозами удобрений — вариант без удобрений; с пестицидами — вариант без пестицидов; в опытах с орошением — вариант без орошения.

В опытах с изучением глубины обработки почвы в качестве контроля берут ту глубину, на которую раньше обрабатывали почву в данном хозяйстве. В опытах с изучением предшественников контрольным вариантом будет наиболее распространенный и наилучший в структуре посевных площадей предшественник.

При сортоизучении вариантами опыта является набор сортов. Понятие «контрольный сорт» заменяют на понятие «стандарт». *Стандарт* — лучший сорт среди районированных и наиболее распространенных, с которым сравнивают остальные изучаемые сорта. Так, среди сортов озимой пшеницы Ахтырчанка, Миро-

новская 61, Ивановская 60, Альбатрос одесский, которые выращивают в лесостепной зоне, стандартом может быть сорт Ахтырчанка — один из лучших районированных сортов.

С контрольным вариантом агротехнического опыта и со стандартом в сортоиспытании сравнивают все остальные варианты или сорта.

Схема опыта — это перечень логично подобранных вариантов с определенными контролями (стандартами), объединенных конкретной темой, идеей. Так, для темы «Изучение предшественников озимой пшеницы» в лесостепной зоне схема опыта (предшественники) может быть такой: 1) черный пар; 2) многолетние травы; 3) кукуруза на силос; 4) горох; 5) однолетние травы.

При изучении сортов в схему опыта включают не только районированные, но и перспективные сорта и даже завезенные из-за границы. Агротехнические приемы, технологии и сорта изучают в пределах экспериментальных единиц, т. е. на опытных делянках.

Опытная делянка в полевых опытах — это земельная площадь прямоугольной формы определенного размера, на которой изучают только один из вариантов опыта — агроприем, технологию, сорт и т. д. Так, в опытах с предшественниками озимой пшеницы на опытной делянке может быть лишь один из предшественников, при изучении сортов — один из сортов, входящих в схему опыта.

Опытные делянки состоят из учетной части, которая находится внутри, и защитной, которая ограничивает ее снаружи (рис. 1).

Все учеты и наблюдения проводят на учетной части делянок, которая является элементарной учетной единицей в опытах. Защитную часть (полосы) выделяют для того, чтобы исключить взаимное влияние вариантов. Ширина продольных защитных полос (защиток) обычно составляет 1,0—1,5 м. Однако в опытах с орошением, пестицидами (которые может сдувать ветер) ширину продольных защиток надо увеличивать до 2—3 м. Поперечные защитки используют не только для исключения взаимного влияния вариантов, но и для разворота почвообрабатывающих, посевных и уборочных агрегатов, поэтому их ширина должна обеспечивать нормальный разворот сельскохозяйственных машин и орудий. Еще более широкими делают защитки вокруг всего опыта (для защиты от наездов транспорта, дорожной пыли, погрыв животными, хищений и т. п.).

Повторность опыта — число делянок в каждом опыте с одинаковым содержанием вариантов, т. е. с одинаковыми агротехническими приемами или сортами растений. Плодородие почвы имеет территориальную изменчивость: в одном месте оно выше, в другом — ниже. Если варианты не повторять в пространстве, то одни из них окажутся в лучших условиях плодородия почвы,

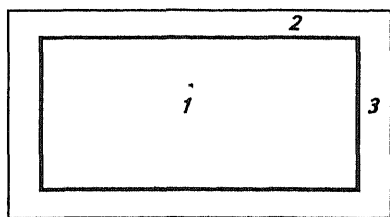


Рис. 1. Опытная делянка:
1 — учетная часть; 2, 3 — продольная и поперечная защитные части

I				II				III			
1	3	4	2	4	1	2	3	2	4	3	1
30	90	120	60	120	30	60	90	60	120	90	30

Рис. 2. Повторность и повторение в опыте с дозами минеральных удобрений:

арабскими цифрами обозначены варианты, римскими — повторения; повторность в опыте равна трем; 30, 60, 90, 120 — дозы удобрений, кг д. в. на 1 га

другие — в худших. В таком случае будет нарушен основной принцип опытной работы — объективность результатов. Все варианты опыта повторяют несколько раз, чтобы получить статистически достоверную оценку результатов исследований (рис. 2).

Повторение — это часть площади опыта с полным набором вариантов согласно схеме опыта.

Повторность опыта необходимо соблюдать не только в пространстве, но и во времени (см. раздел 1.3.5).

Достоверность опыта методическая — это четкое соблюдение всех методических требований: планирование опыта на современном уровне знаний, правильный выбор условий и объектов исследований, безошибочное закладывание и проведение опытов, правильный выбор и применение соответствующих методов статистической обработки данных, а также объективное обобщение результатов исследований.

Достоверность опыта статистическая состоит в определении достоверности (существенности) разниц между средними арифметическими значениями (\bar{x}), корреляций (r), регрессий (R_{xy}) и др. с помощью статистических критериев (t , F) и наименьших существенных разностей НСР.

Ошибка опыта (наблюдения) — разница между действительным значением исследуемого показателя и результатами исследований. Эту ошибку выражают в тех же самых единицах, что и изучаемый показатель, и обозначают s_x .

Относительная ошибка опыта (наблюдения) — это ошибка опыта, выраженная в процентах по отношению к среднему арифметическому значению, обозначается $s_x\%$.

Точность опыта — величина, обратная его ошибке. Чем ниже относительная ошибка опыта, тем выше его точность. При значении $s_x\%$ более 7 % точность опыта считается неудовлетворительной.

Корреляция — взаимное соотношение показателей в опыте, их зависимость между собой. Например, зависимость массы урожая от атмосферных осадков (простая, парная корреляция) или же зависимость массы урожая от атмосферных осадков, температуры воздуха, его влажности, удобрений и т. п. (множественная корреляция). Эти зависимости выражаются коэффициентом корреляции, который обозначается буквой r .

Регрессия — степень и характер изменения одного из показателей в опыте на единицу измерения другого. Например, увеличение или уменьшение массы урожая на 100 кг внесенных удобрений; колебание сахаристости корней сахарной свеклы в процентах при изменении урожая на 1 т. Регрессия обозначается R_{xy} . С увеличением одного из показателей второй также может увеличиваться, тогда мы встречаемся с прямолинейной корреляцией. Но бывают и такие явления, когда с постоянным увеличением доз удобрений урожайность сначала увеличивается, затем стабилизируется на одном уровне, а потом снижается. Такая зависимость называется криволинейной.

Методы размещения вариантов в опытах подразделяются на случайные (рэндомизированные), т. е. выбранные по жребию; систематические — варианты размещаются в последовательности, которая указана в схеме опыта; стандартные, когда контрольный вариант размещается возле опытного.

1.2. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научное исследование — это изучение конкретного объекта, явления или предмета для раскрытия закономерностей его возникновения и развития. Характерные черты научных исследований: объективность, возможность воспроизведения, доказательность и точность результатов.

Различают следующие этапы научных исследований: предварительный анализ существующей информации по исследуемому вопросу; изучение условий и методов решения задач; формулирование исходных гипотез и их теоретический анализ; планирование, организация опыта (эксперимента) и его проведение; анализ и обобщение результатов опыта; проверка исходных гипотез на основе исследованных факторов, окончательное формулирование новых закономерностей и законов, их объяснение и научные предсказания; внедрение предложений в производство по результатам прикладных исследований.

1.2.1. УРОВНИ И ВИДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводят на трех основных взаимосвязанных уровнях — эмпирическом (экспериментальном), теоретическом и описательно-обобщающем.

На эмпирическом (экспериментальном) уровне исследований ставят эксперименты, накапливают факты, анализируют их и делают практические выводы. *Эксперименты* являются источником познания, критерием истинности гипотез и теорий. Если эксперименты ставят на конкретных объектах, то они называются физическими. Используют также мысленные эксперименты — логическое рассуждение об изменении явлений и процессов при таких условиях, которые нежелательно создавать в физическом эксперименте. Это могут быть опыты с очень высокими или низкими температурами, давлением, большой концентрацией пестицидов и т. п.

В эксперименте объект исследований изучают в тех условиях, которые планируется исследовать. Эти условия контролируют и регулируют, а результаты учитывают с достаточно высокой точностью. Эксперименты могут быть качественными, если в них учитывают наличие или отсутствие того или иного качественного показателя (поврежденные или не поврежденные морозами или вредителями, пораженные или не пораженные болезнями растения и т. п.), и количественными, если в них учитывают количественные показатели (рост растений, их урожайность, процент сахара в корнях сахарной свеклы или белка в зерне пшеницы и т. п.). В экспериментах можно исключить влияние побочных факторов, выделяя исследуемое явление; можно вводить новые факторы, усложнять опыт; результаты исследований можно многократно воспроизводить. В опыте можно изучать и те явления, которые не наблюдаются в природе, используя для этого мысленный эксперимент; можно создавать новые объекты исследований — сорта, пестициды и т. п.

Вычислительные эксперименты основываются на компьютерных расчетах математических моделей и выборе из их множества оптимальных.

Все эксперименты служат источником теоретических представлений.

На теоретическом уровне исследований синтезируются новые знания, формулируются общие закономерности в определенной области. *Теория* — это система обобщенных знаний, объяснение определенных явлений действительности. Результаты экспериментов в обобщенном виде становятся частью определенной теории. Теория также помогает интерпретировать результаты эмпирических исследований. Критерием правильности теории является эксперимент.

Однако теория — это не сумма отдельных результатов экспе-

римента, а новая ступень познания. Например, в эксперименте выявлена тесная корреляционная связь между условиями среды и урожайностью сахарной свеклы. Анализируя и обобщая результаты исследований с применением методов математической статистики, в частности корреляционного анализа, можно вывести уравнение регрессии для планирования и прогнозирования будущего урожая. Это основа теории планирования и прогнозирования производства сельскохозяйственной продукции. Результаты исследований поглощения питательных элементов полевыми культурами являются основой для построения теории минерального питания растений.

На о п и с а т е л ь н о - о б о б щ а ю щ е м уровне исследований эксперименты не проводят, а описывают явления, которые происходят непосредственно в природе. Например, наблюдения за ростом и развитием растений в зависимости от погодных условий, прохождением фенологических фаз, морозостойкостью, засухоустойчивостью и т. п. Исследователь регистрирует все явления и процессы, обобщает агрономические объекты без активного влияния на них. На основании таких наблюдений и обобщений можно делать выводы и рациональные предложения для производства, при этом используют такие формы мышления, как суждение и умозаключение.

Суждение — это такая форма мышления, когда утверждают либо отрицают существование явления, процесса. Суждение может быть объективным или ошибочным.

Умозаключение — такая форма мышления, когда из одного или нескольких связанных между собой суждений выводят новые знания. Например, известно, что новый гибрид кукурузы имеет такое же качество, как и районированный сорт. Можно сделать умозаключение, что качество нового гибрида, его устойчивость к болезням, вредителям и т. п. будут такими же, как и у районированного сорта.

В зависимости от познавательной или практической цели научные исследования условно подразделяются на фундаментальные и прикладные. Условность такого деления состоит в том, что на определенных этапах, при определенных условиях фундаментальные исследования могут переходить в прикладные, и наоборот. Это свидетельствует о тесной взаимосвязи научного познания с практикой.

Фундаментальные исследования направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы. Их результатом является законченная система научных знаний и ориентация на использование этих знаний в определенной отрасли практической деятельности человека. Примеры таких исследований — изучение процессов фотосинтеза, биологической фиксации азота из воздуха, тайн наследственности, расшифровка молекул ДНК, РНК и т. п. Такие исследования ведутся на грани

известного и неизвестного. Из-за некоторой неопределенности фундаментальных исследований повышается роль случая и приобретает особое значение интуиция исследователя.

Фундаментальное исследование может быть вольным теоретическим или целенаправленным. Вольное теоретическое исследование обычно возглавляет видный ученый, который определяет направление работ на основании своих идей. Целенаправленное исследование ограничивается отраслью науки, объект исследований выбирают члены научного коллектива.

Прикладные исследования в агрономии направлены на изучение факторов жизни растений и взаимосвязей между растениями и средой, на создание перспективных сортов и гибридов. Главная задача этих исследований — разработка эффективных приемов повышения урожайности сельскохозяйственных растений и улучшения качества продукции.

Прикладные исследования проводят путем выполнения научно-исследовательских работ, в результате чего получают экспериментальные данные. Наиболее эффективные варианты исследований внедряют в производство (например, оптимальные глубины и способы обработки почвы; лучшие предшественники; нормы и сроки посева семян и т.п.).

Разновидностью прикладных являются поисковые исследования — разработка принципиально новых агроприемов, создание сортов, комплексно устойчивых к болезням, вредителям, неблагоприятным условиям внешней среды. Одной из разновидностей прикладных исследований является также опытно-конструкторская работа.

1.2.2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В НАУКЕ

Системный подход начал занимать одно из ведущих мест в научном познании, особенно во второй половине XX в. Его сущность состоит в исследовании объектов как систем (например, исследование живого организма с его составными частями, внутренними и внешними связями, сведение главной информации об организме в единую теорию, раскрытие сущности организма, его целостности). Яркий пример системного подхода в науке — развитие академиком В. И. Вернадским учения о биосфере и ноосфере, основу которого составляет новый тип сложных объектов глобального масштаба — биогеоценоз. Идеи системного подхода используют также в систематике растений, экологии, при изучении фотосинтеза и т. д. В частности, одним из объектов экологического исследования является экосистема.

Значение системного подхода заключается в следующем: понятия и принципы системного подхода имеют более широкую познавательную реальность по сравнению с прежними подходами; в основе системного подхода лежат поиск конкретных меха-

низмов целостности объекта и выявление достаточно полной технологии его связей (такая связь была установлена в экологии благодаря представлению о пищевых цепях сообществ); сложный объект нуждается не в одном, а в нескольких расчленениях, одно из которых является наиболее обоснованным и лучше всего фиксирует свойства объекта исследований, его структуру (пример такого подхода — определители болезней, вредителей, сортов растений и т. п.).

В системном подходе используют такое понятие, как *системный анализ*, в котором тесно переплетены элементы науки и практики. Его важнейшие принципы сводятся к следующему: процесс анализа должен начинаться с определения и четкой формулировки конечных целей; всю проблему рассматривают как единую систему со всеми взаимосвязями и последствиями каждого возможного ее решения; необходимо выявлять и анализировать альтернативные пути достижения цели; цели отдельных подсистем не должны противоречить одна другой и целям всей программы. Исследование сложных систем предполагает гармоничное соединение аналитических и синтетических методов изучения структуры объекта и его функций. В некоторых разделах современной биологии используют преимущественно системные подходы, это позволяет свести в единое целое всю информацию при разработке комплексных программ охраны природы, экологии, генетики и т. д.

Для эффективного изучения сложных биологических систем на основе системного подхода необходимо сконцентрировать и объединить не только комплекс сложных методик, но и такие методы исследований, как описательный, сравнительный, экспериментальный и исторический.

Системный подход широко используют в странах с развитой рыночной экономикой.

1.2.3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Метод — это упорядоченная деятельность исследователя, направленная на получение новых знаний. Используемые в агрономии методы подразделяют на общенаучные и конкретно-научные (специальные).

Общенаучные методы. Из общенаучных методов в агрономии чаще всего используют выдвижение гипотезы, эксперимент, наблюдения, анализ, синтез, индукцию, дедукцию, абстрагирование, конкретизацию, аналогию, моделирование, формализацию, инверсию, обобщение и т. д.

Гипотеза — научное предположение, истинное значение которого является неопределенным. Различают гипотезы как метод развития научных знаний и как составную часть научной теории. Если гипотезы выдвигают для развития знаний, то сна-

чала высказывают определенные предположения, которые потом проверяют экспериментально.

Если гипотеза выдвинута на основе уже известных знаний, то она является обоснованным предположением. Кроме того, гипотезы могут быть простыми догадками. Например, в хозяйстве выявилась низкая урожайность районированного сорта озимой пшеницы Заря. Анализируя причину, можно выдвинуть несколько рабочих гипотез: уровень минерального питания низкий и его надо повысить; соотношение питательных элементов не соответствует требованиям культуры и сорта; при выращивании данного сорта не учитывают особенностей предшественников; нормы высева не отвечают уровню плодородия почвы и т. д.

Каждую из гипотез выдвигают на основании того, что наблюдается на практике. Гипотезы проверяют в экспериментах (при выращивании данного сорта пшеницы на различных уровнях минерального питания, соотношения питательных элементов, после различных предшественников, с разными нормами высева и т. п.). Если при улучшении названных элементов агротехники урожайность и качество продукции не повышаются, то выдвигают предположение о необходимости замены данного сорта на другой, более перспективный.

Когда селекционер предлагает новый сорт определенной культуры, то рабочую гипотезу о перспективности данного сорта выдвигают на основе его характеристики, которую дает Госкомиссия по сортоиспытанию.

При выдвигании рабочих гипотез пользуются следующими правилами: гипотезы должны соответствовать фактам, которых они касаются; из выдвинутых гипотез наиболее приемлема та, которая объясняет большее число фактов; для объяснения фактов связь гипотез с ними должна быть наиболее тесной; противоречивые гипотезы не могут быть одновременно истинными; при выдвигании гипотез необходимо осознавать достоверность выводов из них.

Гипотезы как догадки менее распространены в научных исследованиях, но они могут иметь большое значение (например, догадка Ньютона о законе всемирного тяготения, догадка Резерфорда о получении энергии от ядерных реакций, Либиха — о минеральном питании растений).

Э к с п е р и м е н т — метод познания, с помощью которого в искусственно созданных и контролируемых условиях изучают объекты и происходящие в них процессы. С помощью экспериментов проверяют гипотезы.

В эксперименте то или иное явление создают искусственно, не ожидая, пока оно появится в природе (орошают, удобряют, высевают семена разными нормами, на различную глубину, используют фунгициды, инсектициды, гербициды и т. п.). В одном и том же эксперименте можно изучать несколько явлений, при

этом опыт становится многофакторным. В процессе исследований факторы можно расчленять для более детального изучения каждого.

Экспериментально можно изучать не только отдельные элементы агротехники, но и целые технологии (например, новые технологии выращивания сельскохозяйственных культур в сравнении со старой). Эксперимент (опыт) — ведущий метод агрономических исследований вместе с выдвижением гипотез и наблюдениями.

Наблюдения — целенаправленное сосредоточение внимания исследователя на явлениях, происходящих в эксперименте, или на явлениях природы, их количественная и качественная регистрация. Цель наблюдений в научной агрономии — выявление лучших элементов агротехники, технологий, сортов, почв и т. п., способствующих повышению урожайности и качества продукции. Основные требования к наблюдениям: получение однозначных результатов исследований; объективность и возможность контроля с помощью повторного наблюдения; использование для наблюдений точных приборов; правильная интерпретация результатов.

Примеры наблюдений: определение морозо-, зимо-, засухоустойчивости растений, повреждения вредителями, поражения болезнями и т. д. Кроме того, наблюдают за явлениями природы: атмосферными осадками, температурой воздуха и почвы, влажностью воздуха, количеством солнечных и пасмурных дней, наступлением первых осенних и последних весенних заморозков, началом вегетации растений и ее окончанием, прохождением фаз у растений непосредственно в природе. В результате таких наблюдений можно сделать ценные выводы об агроклиматическом районировании различных культур и их сортов. Разновидностью наблюдений является учет урожая и качества продукции.

Учеты и наблюдения необходимо проводить по специальным апробированным методикам в соответствии с государственными стандартами. Все приборы для учетов и наблюдений должны проходить проверку не менее одного раза в год в Государственной инспекции по стандартам, результаты проверки оформляют актом.

Анализ — метод исследований, с помощью которого исследуемый объект мысленно или физически расчленяют на составные части для детального изучения. Например, опыт сначала анализируют по каждой делянке, затем по повторностям, вариантам. Растения анализируют в динамике их роста через определенный интервал времени или же по фазам роста. Для определения химического состава растений их сначала расчленяют на отдельные органы (листья, стебли, корни, плоды), которые потом анализируют специальными методами. В корнеплодах са-

харной свеклы путем химического анализа определяют содержание сахара, в зерне злаковых культур — белка, в клубнях картофеля — крахмала и т. д.

В научных исследованиях применяют несколько видов анализа. Один из них состоит в том, что после расчленения объекта на составные части определяют соотношения между ними. Другой вид анализа — классификация почв, растений, болезней, вредителей и т. п. Известны также анализы математические, формально-логические и др. Анализ как метод исследований используют в связи с синтезом.

Синтез — соединение расчлененных и проанализированных частей исследуемого объекта или нескольких объектов в единое целое. Задача синтеза — на основании детального анализа получать необходимые данные для выводов и обобщений. В определенной мере синтез противоположен анализу, но они взаимозависимы и взаимообусловлены. Например, анализируя данные каждого повторения опыта, исследователь вычисляет среднее арифметическое по каждой делянке, варианту. Анализ каждого варианта ведет к их объединению в опыте, после чего делают выводы, обобщения. Заключительный этап синтеза — рекомендации для производства.

Синтез как метод исследования имеет различные формы: взаимосвязь теорий как объединение конкурентных гипотез; построение гипотетико-дедуктивных теорий и др. В современной науке синтез используют не только для исследования отдельного объекта в определенной отрасли науки, но и для связи разных наук.

Индукция — метод исследований, с помощью которого суждения ведут от фактов к конкретным выводам. Например, если листья растений желтеют в период вегетации, то делают вывод о недостатке азота; если они приобретают фиолетовый оттенок — о недостатке фосфора; если листья вянут — об ухудшении водного режима растений.

Дедукция — метод исследований, который позволяет с помощью анализа общих положений и фактов делать частные одиночные выводы.

Апробацию сортов сельскохозяйственных культур с помощью морфологических признаков тех или иных сортов проводят также с использованием дедуктивного метода. По фактическому соотношению питательных элементов в растениях или по визуальным показателям делают выводы об уровне обеспеченности сельскохозяйственных растений удобрениями также с применением дедуктивного метода.

Абстрагирование — мысленное выделение основного в объекте исследований, его наиболее существенных связей. Используют два типа абстрагирования: отождествление (для создания понятий о системах, классах) и изолирование (для выделе-

ния основного среди второстепенного, что наиболее важно в абстракции). Так, среди десятков вариантов агротехнического опыта исследователь выбирает самые эффективные, существенно отличающиеся от других. Селекционер выделяет среди сотен гибридов лучшие по наиболее важным показателям (не только по урожайности, но и по качеству продукции, стойкости к неблагоприятным условиям среды).

Когда изучают создание растением органического вещества как результат сложных химических, биохимических, физиологических, микробиологических и других процессов при участии солнечной энергии, то употребляют слово «фотосинтез». При этом исследователь абстрагируется от второстепенных процессов, выделяя зеленые листья и содержащийся в них хлорофилл как наиболее существенные объекты в первичном создании органического вещества. С помощью абстракции можно прогнозировать результаты экспериментов, это универсальный метод познания.

Иногда используют абстракцию идеализации — мысленное представление объектов или процессов с оптимальными параметрами, пока реально не существующих. Так, идеальный сорт пшеницы должен иметь высокую урожайность, отличные хлебопекарные качества, быть устойчивым к болезням, вредителям, морозо-, зимо- и засухоустойчивым, не полегать при высоком агрофоне и т. п. Абстракцию идеализации используют сначала для создания теории, а потом для изучения в эксперименте и применения на практике.

К о н к р е т и з а ц и я — метод исследований, с помощью которого от абстрактного переходят к конкретному. Например, выделив в создании органического вещества основной процесс — фотосинтез — и поняв его сущность, исследователь мысленно возвращается к растению, его среде, к системе среда — растение, рассматривает взаимодействие растения со всеми факторами его жизни. Таким образом, методы абстракции и конкретизации взаимосвязаны, дополняют друг друга.

А н а л о г и я — метод, благодаря которому знания об известных уже объектах, предметах, явлениях переносятся на другие, похожие на них. При этом вывод делается по аналогии. Так, если в хозяйстве внедряют новый сорт картофеля и о нем известно, что он аналогичен районированному сорту Пригожий, то это значит, что он будет таким же ранним, устойчивым к раку и картофельной нематоде, будет так же слабо поражаться вирусными болезнями, как и сорт Пригожий.

Поскольку изолированно взятая аналогия не имеет доказательной силы, ее используют вместе с другими методами познания, придерживаясь следующих требований: аналогия должна основываться на существенных свойствах и большом числе общих качеств; связи между сравниваемыми показателями долж-

ны быть тесными; аналогия как метод должна выявлять не только схожесть объектов, но и разницу между ними. Метод аналогий, основанный на подобии показателей, предметов и явлений, является основой моделирования.

М о д е л и р о в а н и е — метод исследования объектов, процессов и явлений на их моделях. Сущность моделирования — замена объектов, которые трудно изучать, на специально созданные аналоги — модели. Для того чтобы исследования на моделях были эффективными, каждая из них должна иметь черты оригинала. Если модель сохраняет физическую природу оригинала, то это физическая модель. Так можно моделировать почву, растительные клетки, органы, растения. Математическую модель не создают, объект лишь описывают соответствующими уравнениями (например, математическое описание урожайности определенной культуры или сорта в зависимости от условий внешней среды).

Пример самого простого моделирования в опытном деле — составление схемы опыта, вычерчивание в масштабе опытной делянки, схематичное изображение всего опыта с выделением повторений, защиток и обозначением места каждого варианта.

Различают моделирование структуры объекта и моделирование его поведения, т. е. процессов, которые происходят в объекте исследований. Моделирование как метод используется вместе с другими методами, часто с экспериментом, и называется в таком случае модельным экспериментом.

Ф о р м а л и з а ц и я — метод изучения объектов с помощью отдельных элементов их форм, которые отображают содержание объекта исследования. Чаще всего формализацию применяют с использованием математики, приводя доказательства в виде последовательных формул. Например, урожайность культуры зависит от типа почвы (X_1), содержания в ней азота (X_2), фосфора (X_3), калия (X_4), влажности (X_5), аэрации почвы (X_6) и других факторов (X_n). Величину урожая последовательно вычисляют сначала через зависимость от каждого из них, после чего выводят общую формулу: $Y = f(X_1 X_2 X_3 X_4 \dots X_n)$. Использование подобных формул с определенными коэффициентами — сущность метода формализации.

И н в е р с и я — метод необычного изучения объектов, явлений (под определенным углом и даже с противоположной стороны); соединение несовместимого, деление неделимого. Основное в методе инверсии — это отказ от общепринятых взглядов и приемов. Например, перед химическим анализом образцы растений сначала высушивают, затем берут навески и анализируют определенными методами. Но при высушивании образцов высокими температурами в них происходят превращения, в результате которых может существенно измениться биохимический состав, результаты анализа будут искажены. Следовательно, для

биохимических анализов растения необходимо обезводить противоположным способом, т. е. отрицательными температурами, путем вымораживания. При этом биохимические изменения в растениях прекращаются, анализ покажет фактическое содержание органических веществ в растениях.

Обобщение — метод, с помощью которого мысленно переходят от отдельных факторов, явлений и процессов к отождествлению в мыслях; от одного понятия, суждения к более общему. Так обобщают результаты исследований для каждого повторения, затем для всего опыта, конкретного хозяйства, группы хозяйств, которые находятся в аналогичных почвенно-климатических условиях. Обобщать можно факты, суждения и научные теории. Для этого используют такие методы, как абстрагирование, конкретизация, анализ, синтез, индукция, дедукция, и др.

Специальные методы. К специальным методам исследований относятся те, которые применяют в научной агрономии, поэтому их еще называют конкретно-научными. В эту группу входят лабораторный, вегетационный, лизиметрический, вегетационно-полевой, полевой, экспедиционный методы. Каждый из них можно использовать совместно с другими специальными и общенаучными методами.

Лабораторный метод используют для анализа растений и среды их обитания в лабораторных условиях для изучения взаимодействий растений с внешней средой, обмена веществ в растениях, оценки качества урожая, исследования физических, химических, микробиологических свойств почвы и т. д.

С помощью химического анализа почвы в лаборатории определяют обеспеченность различных почв питательными элементами в зависимости от предшественника, обработки почвы, системы удобрений. Определяют содержание макро- и микроэлементов в растениях, массу растений и проводят расчеты, получают информацию о выносе из почвы питательных элементов теми или иными культурами.

Изучение влажности почвы, содержания в ней семян сорных растений, их корневищ и корневых отпрысков, анализ структуры и других физико-химических свойств почвы позволяет получить данные о ее окультуренности и пригодности для выращивания сельскохозяйственных растений. С помощью проращивания посевного материала в термостатах определяют всхожесть семян растений и др.

Лабораторный метод предполагает не только детальный анализ, но и всесторонний объективный синтез результатов исследований с последующей их проверкой на практике.

Известно, что в годы с чрезмерными атмосферными осадками содержание сахара в корнях сахарной свеклы может значительно снижаться, о чем свидетельствуют результаты лабораторных анализов. Но это не означает, что увеличение количества осадков

обязательно приводит к ухудшению качества сахарной свеклы. Необходимо всесторонне проанализировать другие факторы жизни растений (питательный, воздушный и температурный режимы почвы), оптимизация которых при увеличении количества атмосферных осадков предотвратит ухудшение качества урожая.

Без лабораторного метода исследований нельзя обойтись при проведении вегетационных и полевых опытов, его используют при выборе земельной площади для опытных участков, при планировании и проведении опытов. Лабораторный метод сопутствует другим специальным методам исследований.

Вегетационный метод — исследование растений, выращиваемых в сосудах в стеклянных домиках при строго контролируемых условиях внешней среды сроком от нескольких дней до нескольких месяцев. С многолетними растениями исследования можно проводить несколько лет. Основная цель вегетационного метода — изучать влияние отдельных факторов жизни растений, сущность процессов, которые происходят в растении, в почве и в системе почва — растение.

Вегетационный метод позволяет поддерживать в соответствии с программой исследований различные условия — влажность, обеспеченность питательными элементами, pH раствора, освещение, температуру и т. д. Однако результаты вегетационного метода нельзя непосредственно переносить на производственные условия. Влияние отдельных факторов жизни на продуктивность растений можно детально изучать лишь в природных условиях, т. е. в поле. Поскольку в вегетационных опытах условия среды четко регулируются, то количество вегетационных периодов, т. е. повторностей во времени, можно сократить до минимума.

Благодаря вегетационному методу было исследовано много важных вопросов агрономической науки: доступность растениям фосфора из фосфоритной муки; роль клубеньковых бактерий в усвоении азота бобовыми растениями из воздуха; значение навоза как дополнительного источника диоксида углерода для растений и многое другое. Вегетационный метод нередко используют параллельно с полевым.

Очень эффективным оказался вегетационный метод при изучении влияния различных внешних факторов на минеральное питание растений и обмен веществ в них, при исследовании зависимости роста растений от температуры корневой зоны и воздуха. С помощью этого метода изучают роль воды в питании растений, явления фотопериодизма и т. д. В вегетационных домиках можно сравнивать плодородие различных почв и эффективность выращивания на них сельскохозяйственных культур при одинаковых условиях.

Вегетационный метод имеет и недостатки. В вегетационных сосудах нет всех горизонтов почвы, которые свойственны полю, нет подпочвы и тех особенностей водного режима, которые

складываются на полях под открытым небом. Часто в сосудах питательным субстратом служат песок, гравий, вода и т. п. Из-за этого вегетационный опыт не позволяет ответить на вопрос, как будет влиять изучаемый фактор на урожайность растений в полевых условиях. Еще один из недостатков — значительные материальные затраты на сооружение вегетационных домиков и их оборудование.

Д. Н. Прянишников, оценивая вегетационный и полевой методы, отмечал, что первый из них более точен, но меньше подходит для непосредственного внедрения его результатов в производство; второй, т. е. полевой, наоборот, менее точен, но более практичен. Поэтому эти два метода взаимно дополняют друг друга.

Л и з и м е т р и ч е с к и й метод — исследование растений и свойств почвы в поле для изучения баланса влаги и элементов питания. Такие исследования проводят в очень больших сосудах — лизиметрах, которые периодически взвешивают. Жизнь растений и свойства почвы изучают непосредственно в поле, где лизиметры устанавливают в выкопанные ямы так, чтобы надземная часть растений находилась в тех же условиях, что и у окружающих растений. Дно лизиметра имеет отверстие, через которое собирают промывные воды в специальные поддоны для химических анализов.

В зависимости от целей исследований и размера самих растений высота почвы в лизиметрах может колебаться от 0,25 до 2 м, но чаще всего 1,0—1,5 м. По способу наполнения почвой различают два типа лизиметров: с насыпной почвой, т. е. с нарушением ее естественного сложения, и с естественным строением, когда в лизиметр вставляют монолит, вырезанный из почвы. В насыпные лизиметры почву насыпают по горизонтам, просеивая, смешивая и уплотняя ее до естественного объема. В зависимости от задач опыта лизиметры могут быть с растениями или без них (т. е. с черным паром).

Лизиметры делают из бетона (на 1—2 м³ почвы) или из металла (диаметром 20—100 см), иногда используют металлические лейки диаметром до 50 см. Для периодического взвешивания в верхней части делают отверстия или ушки, за которые их поднимают.

Для удобства сбора промывных вод под лизиметрами оборудуют освещенные коридоры. Независимо от конструкции лизиметров их размещают возле лабораторий отдельными группами в соответствии с тематикой исследований.

С использованием лизиметрического метода изучают следующие основные вопросы: динамика влажности почвы; передвижение атмосферных осадков и увлекаемых ими питательных веществ сквозь почву; состав воды, которая фильтруется через почву; вымывание минеральных солей из почвы и удобрений; потери питательных элементов в процессе многолетнего удобре-

ния; транспирация и испарение влаги почвой; водопроницаемость различных почв и др.

Несмотря на то что лизиметрические исследования проводят в поле, их условия еще не очень близки к полевым. Для устранения этого недостатка используют вегетационно-полевой метод.

Вегетационно-полевой метод — исследование растений непосредственно в поле в металлических цилиндрах, т. е. в сосудах без дна. Этот метод является промежуточным между вегетационным и полевым.

Почва в цилиндрах отделена от почвы поля лишь сбоку, а снизу она контактирует с почвой в естественном состоянии или подпочвой. Такие цилиндры можно устанавливать не только на специально выделенных площадках, но и непосредственно на полях, где выращивают определенные культуры, на различных агрофонах, на почвах различного типа, на участках с различной экспозицией и крутизной склонов и т. п.

С помощью вегетационно-полевого метода изучают эффективность удобрений, плодородие генетических горизонтов почвы, моделируют условия почвенной среды. Для этого в цилиндры в зависимости от вариантов опыта вносят изучаемые элементы питания в различных дозах и соотношениях, создают различную реакцию почвенного раствора, разную плотность почвы и т. п. Вместе с тем в цилиндры можно высевать разные культуры как в чистом виде, так и в смесях, с разной нормой посева и на разную глубину, с применением подкормок или без них.

Для опытов используют металлические цилиндры высотой от 0,3 до 1,0 м. Их закапывают или забивают так, чтобы верхняя часть цилиндра была на 10 см выше уровня почвы. Повторность должна быть, как минимум, 3-кратной. В контрольных вариантах создают такие условия, как и в поле, где установлены лизиметры. Таким образом, влияние факторов жизни растений изучают в условиях, близких к естественным.

Вегетационно-полевой метод применяют также в селекционной работе, агрометеорологии, земледелии и растениеводстве, где моделируют необходимые условия почвенной среды. А если использовать еще и передвижные климатические камеры из полиэтиленовой пленки, то можно моделировать и различные погодные условия в разные фазы развития растений, уменьшая отрицательное влияние погоды на формирование урожая.

Одно из преимуществ вегетационно-полевого метода заключается в том, что для его использования нет необходимости в специальных помещениях (вегетационных домиках, теплицах, фитотронах). Однако детальное изучение культур в естественных условиях возможно лишь при использовании полевого метода.

Полевой метод — это проведение полевых опытов (экспериментов). Основной метод научной агрономии, ибо с его помощью связываются теоретические исследования с практическими.

На основе полевых экспериментов разрабатывают рекомендуемые агроприемы, технологии и испытывают сорта для сельскохозяйственного производства.

Основная задача полевого метода — выявление достоверных различий между вариантами опытов, количественная оценка влияния факторов жизни на урожайность растений и качество продукции. Почти все важные научные проблемы агрономической науки решаются с помощью полевого метода исследований. Например, глубину, сроки и способы обработки почвы изучают непосредственно в поле. Так же изучают технологии выращивания экологически чистой продукции, структуру посевных площадей, лучшие предшественники, способы и нормы орошения, мероприятия по борьбе с водной и ветровой эрозией почв, по коренной мелиорации почв, эффективность органических и минеральных удобрений и т. п. В агрономии используют различные виды полевых опытов. Полевые опыты, проводимые в научных учреждениях и на производстве, направлены на то, чтобы дать оценку экономической эффективности вариантов и внедрить лучшие из них в производство.

Несмотря на то что полевой метод — основной в научной агрономии, его не следует противопоставлять другим специальным и общенаучным методам. Эффективность полевого метода значительно повышается в сочетании с другими методами, выбор которых определяется программой исследований.

Экспедиционный метод используют для изучения и обобщения агрономических вопросов непосредственно на производстве с помощью обследования посевов культур (и сортов).

Основные цели экспедиционных исследований: выяснение причин полегания культур, гибели озимых и многолетних трав; изучение условий выращивания высоких и низких урожаев сельскохозяйственных культур в отдельных хозяйствах, в районе или области; изучение причин ухудшения или улучшения качества продукции; определение содержания в продукции пестицидов, радионуклидов и нитратов, которое превышает допустимые нормы, и др. Во время экспедиционных обследований выявляют также распространение злостных и карантинных сорняков, болезней и вредителей сельскохозяйственных культур, целесообразную структуру посевных площадей, лучшие предшественники, наиболее рациональные севообороты, перспективные сорта для конкретных хозяйств, их групп, районов, определенных почвенно-климатических зон.

Этим методом целесообразно также исследовать эффективность способов, сроков и глубины обработки почвы. При выборе способов борьбы с эрозией почв с помощью экспедиционного метода сначала выявляют причины распространения эрозии, а затем факторы, которые способствуют ее предотвращению, в конкретных хозяйствах или районах.

Экспедиционный метод используют для почвенных обследований. При этом копают почвенные разрезы, описывают их, берут образцы почвы для физических и химических анализов. С помощью геологических буров определяют уровень грунтовых вод, что имеет большое значение для выяснения гидрологических условий на отдельных полях и в севооборотах в целом. Подобные исследования периодически проводят научные учреждения в пределах региона, который они обслуживают, их могут проводить и специалисты вузов.

Для изучения эффективности того или иного агроприема при экспедиционных обследованиях определяют урожайность сельскохозяйственных культур с учетом качества продукции. Урожайность за предшествующие годы берут из годовых отчетов хозяйств. Собранные данные увязывают с погодными условиями за определенные годы (атмосферные осадки, температура и влажность воздуха, температура почвы и т. д.). Для детального анализа зависимостей пользуются соответствующими методами математической статистики.

Данные о плодородии почв, содержании в них питательных элементов можно взять в хозяйствах из Книги истории полей. Во время экспедиционных обследований можно отобрать образцы почв и проанализировать их в химических лабораториях. В составе экспедиции целесообразно иметь специалистов по земледелию (или растениеводству), защите растений, агрохимика-почвоведу и др. Собранный материал анализируют, математически обрабатывают и обобщают. Результаты исследований публикуют в научной литературе, а в популярной форме — в газетах соответствующих районов и областей.

1.3. АГРОНОМИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ

1.3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОПЫТОВ

Агрономические опыты объединяют в две большие группы: агротехнические и опыты по сортоиспытанию. Кроме того, опыты подразделяют на полевые — проводимые в естественных условиях, и на проводимые в искусственных условиях (в теплицах, вегетационных домиках, фитотронах и даже в космосе). Промежуточное положение занимают опыты в лизиметрах.

Полевые опыты для удобства их использования подразделяют по месту проведения; по длительности; по числу изучаемых факторов; по географическому охвату объектов исследований (рис. 3).

Подразделение опытов по месту проведения. Выделяют опыты, проводимые в научных учреждениях или учебных заведениях, и те, которые проводят в условиях производства.

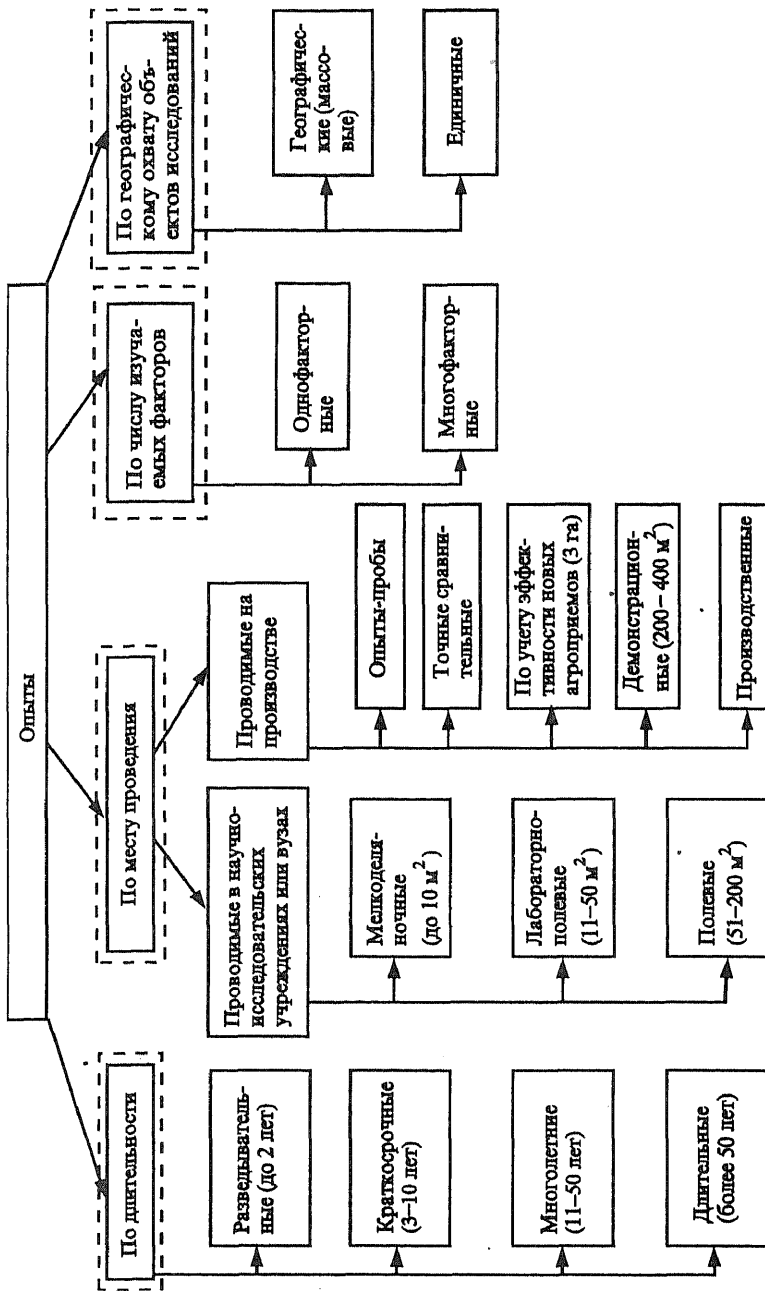


Рис. 3. Классификация полевых опытов

Опыты в научных учреждениях или учебных заведениях подразделяют на мелкоделяночные, лабораторно-полевые и полевые. Мелкоделяночные опыты проводят на опытных делянках площадью до 10 м², лабораторно-полевые — 11—50 и полевые — 51—200 м² и более.

Опыты на производстве подразделяют на опыты-пробы, точные сравнительные опыты, опыты по учету эффективности новых агроприемов, демонстрационные и производственные.

Опыты-пробы закладывают на производственных посевах, где выделяют полосы шириной в один проход жатки или комбайна. Длина таких делянок должна быть в 5—10 раз больше ширины.

В точных сравнительных опытах ширина делянки с культурами сплошного способа посева составляет 8—16, а с пропашными — 5—10 м, общая площадь таких делянок 500—2000 м². Как правило, ширина делянки должна быть кратной ширине прохода почвообрабатывающих, посевных и уборочных агрегатов, чтобы полнее механизировать наиболее трудоемкие процессы.

Для опытов по учету эффективности новых агроприемов в производстве выделяют контрольные полосы, ширина которых должна соответствовать ширине прохода уборочного агрегата, а длина — длине загонок. Общая площадь каждой из этих полос до 3 га.

В демонстрационных опытах площадь опытных делянок обычно в два раза больше, чем в полевых опытах научных учреждений, и составляет 200—400 м². Это необходимо для максимальной механизации производственных процессов.

Производственные опыты проводят на всей площади севооборота, на площади полевой бригады и даже целого хозяйства или административного района.

Подразделение опытов по длительности их проведения. Различают разведывательные, краткосрочные, многолетние и длительные опыты.

Разведывательные (временные) опыты проводят на протяжении 1—2 лет для выявления тех агроприемов или сортов растений, которые необходимо изучать в последующих опытах. К разведывательным опытам относятся и рекогносцировочные посевы для выявления степени изменения плодородия почвы на месте будущего опыта.

Краткосрочные опыты проводят в течение 3—10 лет, обычно на протяжении ротации севооборота. Краткосрочными являются также опыты, которые ведут студенты для написания дипломных работ или аспиранты во время подготовки диссертации.

Многолетние опыты проводят 11—50 лет в научно-исследовательских учреждениях или высших учебных заведениях на специально выделенных участках (стационарах).

Длительные опыты ведут более 50 лет в отдельных институтах, почвенно-климатических зонах, краях, республиках.

Подразделение опытов по числу факторов, которые изучают. Фактор — это элемент агротехники или сорт, т. е. прием, которым исследователь воздействует на растения. По количеству изучаемых факторов выделяют однофакторные и многофакторные опыты. В однофакторных опытах изучают лишь один фактор (только различные площади питания, только сроки посева или же несколько сортов растений, но на одном агротехническом фоне).

Многофакторные опыты включают одновременно несколько факторов — различные площади питания, сроки посева, несколько сортов и т. п. Эти опыты более сложные, однако они дают больше информации и поэтому имеют большую научную и практическую ценность.

Подразделение опытов по географическому охвату объектов исследований. По этому показателю различают географические (или массовые) и единичные опыты. Географические опыты проводят в различных почвенно-климатических зонах по единой методике, разработанной научным координационным центром. Эти центры координируют исследования, принимают отчеты, обобщают результаты исследований и дают рекомендации.

Единичные опыты проводят также в разных географических пунктах, но не по единой программе учреждения-координатора, а по схеме, созданной отдельными исследователями или их группами. Безусловно, более ценными являются географические опыты, которые позволяют обобщать результаты в пределах района, области, края и в отдельных почвенно-климатических зонах.

1.3.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЫТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КОНКРЕТНЫХ ЗАДАЧ

Мелкоделяночные опыты используют для изучения глубины заделки семян, площадей питания, норм посева, способов внесения удобрений и т. д. В этих же опытах проводят первичную проверку совершенно новых агроприемов, доз гербицидов, инсектицидов, фунгицидов, в том числе избыточных доз, которые могут угнетать растения или приводить к их гибели.

Передвижение удобрений и пестицидов в почве, особенно после атмосферных осадков или орошения, лучше изучать также в мелкоделяночных опытах. Такие опыты ставят, если имеется мало семян новых сортов или гибридов, ограниченное количество новых пестицидов (для больших делянок их не хватает).

Соотношение сторон таких делянок может быть 1×2, 1×4, 2×2, 2×4, 2×5 м. Так как размеры делянок небольшие, то защитные полосы здесь не выделяют, а делают лишь узкие дорожки для

прохода при осмотре делянок и проведении на них учетов и наблюдений. Число вариантов в мелкоделяночных опытах может быть либо незначительным (когда изучают узкий вопрос), либо большим, если надо сравнить много сортов новых культур или большой набор удобрений, пестицидов и т. п.

Повторность в этих опытах может колебаться от 3 до 8. Как правило, чем меньше площадь делянки, тем больше повторность.

Лабораторно-полевые опыты являются первым или вторым этапом полевых исследований после мелкоделяночных опытов. Выявив лучшие варианты в мелкоделяночных опытах, исследователь проверяет их в лабораторно-полевых экспериментах. Эти исследования можно проводить и без предварительной проверки на малых делянках, в частности при изучении вопросов с использованием механизации.

Основная цель лабораторно-полевых опытов — выявить взаимосвязь между растением и средой. Характерная особенность этих исследований заключается в том, что в них кроме многочисленных учетов и наблюдений в поле проводят всесторонние лабораторные исследования — химические анализы растений, почвы, структурный анализ урожая. Эти анализы дают возможность полнее выявить связи между опытными растениями и условиями их выращивания. Лабораторно-полевые опыты чаще бывают многофакторными. Число вариантов в них может составлять 20—30 и более.

Поскольку площадь опытных делянок в лабораторно-полевых опытах небольшая (11—50 м²), эти опыты проводят в 5—6-кратной повторности.

В полевых опытах изучают действия факторов жизни и условий агротехники на урожай растений и его качество. Главная задача полевых опытов — выявление не только лучших, эффективных вариантов, но и причин повышения или снижения урожая и его качества в зависимости от условий выращивания.

В условиях, близких к производственным, полевые опыты проводят с максимально возможной механизацией агротехнических приемов. Площади опытных делянок и их защитные полосы должны быть такими, чтобы можно было использовать необходимые сельскохозяйственные машины и орудия. Для культур с небольшой площадью питания (зерновые злаки, одно- и многолетние травы) используют опытные делянки площадью 50—100 м², для пропашных культур — до 200 м². В зависимости от конкретных условий и от целей опыта размер опытных делянок в полевых опытах может увеличиваться или уменьшаться.

Повторность в этих опытах, как правило, 4—5-кратная. Она может быть и большей, если плодородие почвы сильно варьирует. В мировом опытном деле наблюдается тенденция уменьшения размера опытных делянок при увеличении повторности. Это весьма эффективно при использовании малогабаритной техники.

Для полевых опытов выбирают несколько лучших вариантов из лабораторно-полевых, поэтому число вариантов в схеме уменьшают примерно до 10. Лучшие из них рекомендуют для применения на производстве.

Опыты-пробы проводят в производственных условиях, основная их цель — выявить агроприемы, которые можно использовать для совершенствования технологии выращивания определенных культур, улучшения их роста, повышения урожайности и качества продукции непосредственно на производственных посевах.

Если специалист хозяйства заметил отклонения в состоянии растений в каком-то месте посева, он выделяет здесь делянки — полосы определенной ширины. Например, на части посевов озимой пшеницы растения начали желтеть. Специалист выдвигает гипотезу о возможном недостатке азота, проводит подкормку азотными удобрениями и наблюдает за изменением цвета листьев, учитывает рост растений. Положительные результаты опытов-проб сразу же внедряются в производство в этом же хозяйстве.

Лучшие варианты опытов-проб можно дополнительно изучать в дальнейшем для установления лучших градаций определенных факторов, которые испытывались.

Точные сравнительные опыты ставят в соответствии с требованиями методики полевых опытов в научных учреждениях или вузах. Площадь опытных делянок увеличивают до такого размера, чтобы можно было осуществить полную механизацию всех производственных процессов. Для этого ширина учетной части опытной делянки должна равняться ширине захвата сеялки, комбайна или почвообрабатывающего агрегата. Длина опытных делянок может быть равна длине гонов, агрегаты должны разворачиваться за пределами делянок. Общая площадь таких опытных делянок может достигать до 3 га. Однако не следует увлекаться большими размерами, ибо это приводит к снижению точности опытов.

Точные сравнительные опыты ставят с небольшим числом вариантов (порядка четырех) и в 3—4-кратной повторности. Если плодородие почвы варьирует в пространстве, повторность опытов увеличивают. Поскольку в точных сравнительных опытах число сопутствующих учетов и наблюдений за растениями и внешней средой ограничено, то особое внимание уделяют учету урожая и его качеству — главным показателям эффективности агроприемов.

Опыты по учету эффективности новых агроприемов используют как для проверки агроприемов, уже рекомендованных научными учреждениями, так и для их усовершенствования в конкретных условиях хозяйства. Для этого в поле севооборота, где внедряется новый агроприем, в различных

местах выделяют 3—4 контрольные полосы шириной, равной ширине захвата агрегата каждая. Эти полосы выделяют так, чтобы они охватывали все разнообразие почвенного плодородия поля, где проводится опыт.

Возле каждой контрольной полосы выделяют опытные, на которых применяют и изучают новый агроприем (вариант). Чтобы результаты исследований можно было сравнивать, число опытных и контрольных полос, их размер и форма должны быть одинаковыми. Границы всех полос фиксируют кольшками. Урожай начинают учитывать сначала на опытных полосах, затем переходят на контрольные и только после этого убирают урожай на остальной части поля. Экономическую эффективность внедрения нового агроприема определяют путем сопоставления затрат труда и средств со стоимостью дополнительного урожая.

Демонстрационные (показательные) опыты призваны пропагандировать достижения науки и передового опыта непосредственно на производстве. Их закладывают в передовых показательных хозяйствах для наглядной демонстрации преимуществ новых технологий или сортов и гибридов в конкретных условиях района, а также в научных учреждениях и вузах. Методика этих опытов аналогична методике полевых опытов в научных учреждениях.

Поскольку такие опыты предназначены для демонстрации, делают дороги и дорожки для прохода. На каждой опытной делянке размещают этикетки, где указывают номер повторения и содержание варианта. Устанавливают стенд со схемой опыта и схематичным планом размещения вариантов, размером опытных делянок, шириной защиток и т. д.

Размер опытных делянок в демонстрационных опытах должен способствовать максимальной механизации агротехнических приемов.

Несмотря на то что опыты-пробы, точные сравнительные, опыты для учета хозяйственной эффективности новых агроприемов и демонстрационные опыты проводят в условиях производства, они еще не являются производственными.

Производственные опыты — это комплексные научные исследования, целью которых является изучение не отдельных элементов агротехники, а технологий в целом, организационно-хозяйственных мероприятий. Такие опыты проводят на территории бригад, отдельных хозяйств и даже их групп.

Производственные опыты закладывают, как правило, в передовых хозяйствах с определенной специализацией, где внедряют новые технологии выращивания культур. В этих же опытах изучают и экономическую эффективность внедряемых технологий и систем земледелия.

В искусственных условиях чаще всего используют вегетационные опыты, которые проводят в вегетацион-

ных домиках в специальных емкостях, называемых вегетационными сосудами. Эти сосуды могут быть стеклянными, металлическими, керамическими, деревянными. В качестве питательного субстрата чаще всего используют почву, иногда песок, гравий, редко — воду. В зависимости от питательного субстрата вегетационные опыты подразделяют на почвенные, песчаные, водные, водно-гравийные и аэропонные культуры.

Основная цель вегетационных опытов — количественная оценка действия и взаимодействия факторов жизни растений в строго контролируемых условиях внешней среды. Здесь можно дозировать и контролировать почти все факторы жизни растений — питательный, водный, воздушный, температурный режимы, освещение и др.

В вегетационных опытах можно изучать: плодородие различных почв, их горизонтов, подпочв; влияние доз удобрений и соотношений элементов питания в них; рост растений в зависимости от температуры воздуха, питательного субстрата, его влажности и аэрации и т. п.

Песчаные и водные культуры используют для выявления симптомов недостатка, а также избытка тех или иных макро- и микроэлементов. Для этого из питательного субстрата поочередно удаляют определенные элементы питания, создавая их недостаток для растений, или увеличивают дозы, создавая их избыток. Делают цветные фотографии или зарисовки результатов опытов, описывают внешний вид растений.

Все вегетационные опыты проводят на протяжении вегетационного периода, отсюда их название. В холодный период года вегетационные домики не отапливаются и опыты в них не проводят.

Опыты в теплицах можно проводить на протяжении всего года как с листопадными, так и с вечнозелеными растениями. В теплицах круглогодично изучают влияние температуры и влажности как питательного субстрата, так и воздуха, интенсивности освещения и его качества на растения. Их здесь выращивают не только в вегетационных сосудах, но и в коробах, а также на грядках, выделяя для этого часть теплицы с одинаковыми условиями внешней среды.

Опыты в фитотронах дают возможность изучать процессы жизни растений в зависимости от освещения, длины дня, влажности и температуры почвы и воздуха; определять оптимальные условия для роста и развития растений; выявлять приспособленность растений к неблагоприятным условиям среды; изучать стойкость растений и их сортов к возбудителям различных болезней и вредителям; выявлять экстремальные условия для растений; имитировать различные климатические условия; выращивать несколько урожаев в год, ускоряя селекционные процессы.

Фитотрон — это камера или комплекс камер для выращи-

ния растений в строго регулируемых с помощью автоматики искусственных условиях. Самым простым фитотроном является вегетационный шкаф — маленькая камера площадью около 1 м². Ухаживать за растениями можно через специальный люк в боковой стенке шкафа. Другой тип фитотрона — вегетационная камера — комната площадью около 5 м². Растения выращивают здесь на стеллажах, входят в комнату через дверь. Наиболее совершенный вид фитотрона — станция искусственного климата — комплекс стационарных камер, размещенных в отдельном помещении. Здесь с успехом можно имитировать различный климат в соответствии с программой исследований и автоматически его регулировать.

Лизиметрические опыты занимают промежуточное положение между опытами, которые проводят в искусственных и в естественных условиях. Растения выращивают в очень больших сосудах в поле, недалеко от лабораторий, под открытым небом. Верхний край сосуда должен быть несколько выше уровня почвы, внизу сосуда есть отверстие, чтобы собирать промывные воды для последующих химических анализов.

Лизиметрические опыты проводят для изучения передвижения воды в корнеобитаемом слое почвы, водного баланса, передвижения питательных веществ и их вымывания, нарастания органической массы растений, испарения почвой влаги и т. д.

Одной из разновидностей промежуточных опытов являются вегетационно-полевые — для них используют металлические цилиндры, устанавливаемые в поле. В них почва сосуда цилиндра ограничена лишь сбоку, а внизу она контактирует с почвой поля.

1.3.3. СПЕЦИФИКА ОПЫТОВ ПО СОРТОИСПЫТАНИЮ

Сортоиспытание — это изучение и оценка сортов и гибридов сельскохозяйственных культур в сравнении со стандартом (контрольным сортом). Различают станционное и государственное сортоиспытание.

Станционное сортоиспытание осуществляют в селекционно-опытных учреждениях, оценивая сорта и гибриды, выведенные в этом селекционном учреждении или в вузе. Цель станционного испытания — изучение и отбор лучших сортов и гибридов для передачи их в государственное сортоиспытание.

Государственное сортоиспытание — это заключительный этап селекционного процесса, после которого наиболее удачные сорта, гибриды, линии, популяции получают официальное признание как лучшие в сравнении со стандартами (контролями) по урожайности, качеству продукции, экономической эффективности, стойкости к болезням, вредителям, неблагоприятным условиям среды и т. д.

Современная госсортосеть включает: государственные сортоиспытательные участки на самостоятельном балансе; госсортоучастки на базе коллективных хозяйств или государственных сельскохозяйственных предприятий; государственные сортоиспытательные станции; лаборатории по оценке качества испытываемых сортов, инспекции по сортоиспытанию. Возглавляет всю сортосеть Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур.

Сортоиспытание ведут в несколько этапов: расширенное, расширенное конкурсное, конкурсное, производственное, технологическое-экономическое.

Расширенное испытание (изучение) проводят в коллекционных посевах научных учреждений и вузов при расширенном наборе сортов или гибридов по сокращенной программе. Основная задача при этом — выявить лучшие сорта и гибриды для включения их в расширенное конкурсное испытание на государственных сортоучастках или станциях.

Расширенное конкурсное сортоиспытание имеет основной задачей сократить сроки изучения сортов и гибридов, выявить реакцию каждого из них на изменяющиеся условия внешней среды, включая экстремальные. Весьма важно также установить стабильность и уровень количественных и качественных показателей, поражаемость сортов болезнями и повреждаемость вредителями, в короткий срок определить ареал сорта и его пригодность для интенсивной технологии выращивания.

Конкурсное сортоиспытание — это дальнейшее всестороннее углубленное изучение и оценка новых сортов, которые выделялись в предыдущем расширенном наборе по урожайности, качеству продукции, устойчивости к болезням и вредителям, пригодности к новым технологиям возделывания, в сравнении со стандартами. В задачу конкурсного сортоиспытания входят также подготовка предложений о перспективности новых сортов для конкретной области или зоны и определение экономической целесообразности промышленного семеноводства.

Производственное сортоиспытание окончательно определяет пригодность сорта, выделившегося в конкурсном испытании, для новых технологий и определяет его экономическую эффективность. Эти испытания проводят либо на производстве, либо на государственных сортоиспытательных станциях с применением той технологии выращивания, которая принята в данном административном районе. Площадь посева каждого сорта для зерновых и крупяных культур должна быть не менее 2 га.

Основной научно-производственной единицей сортоиспытания является *сортоучасток*. Его организуют на базе лучших хозяйств либо научных учреждений и вузов.

Технологическо-экономические испытания проводят для выявления сортов, лучше всего соответствующих энергосбе-

регающим технологиям выращивания сельскохозяйственной продукции в полевых условиях. При этом изучают хранение и переработку, а также получение продуктов переработки новых сортов по сравнению со стандартом.

Для определения качества продукции новых сортов некоторых культур по согласованию с заинтересованным министерством проводят фабричные испытания. Для установления оригинальности нового сорта, его однородности на некоторых сортоиспытательных станциях проводят идентификацию сортов зерновых и других культур. Иногда в опыты включают не только отечественные, но и зарубежные сорта.

По рекомендации авторов сортов или по предложениям Госкомиссии испытание сортов проводят после разных предшествующих, при различных нормах посева и т. п.

На некоторых сортоучастках или станциях изучают сортовую агротехнику (нормы высева семян, сроки и способы посева, удобрения, пестициды и др.). В таких учреждениях, как правило, есть два севооборота: один — для конкурсного испытания, другой — для изучения сортовой агротехники.

Государственные сортоиспытательные учреждения могут быть комплексными, где изучают сорта различных культур, и специализированными. Последние испытывают определенные группы культур — зерновые, технические, прядильные, кормовые — и обслуживают не одну, а несколько почвенно-климатических зон. Имеются также сортоиспытательные учреждения, которые изучают сорта в орошаемых зонах земледелия или на осушенных землях.

1.3.4. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОПЫТАМ

При проведении опытов необходимо: соблюдать принцип единственного логического различия; выдерживать правило целесообразности; проводить опыты с соблюдением их типичности; учитывать пригодность условий для проведения определенных опытов; соблюдать условие воспроизводимости результатов опыта в идентичных условиях; в случае необходимости вводить дополнительные контроли и варианты; проводить исследования на перспективных культурах и сортах; тщательно вести документацию опыта; проводить в опытах лишь те основные и сопутствующие учеты и наблюдения, которые необходимы для выполнения программы исследований; учитывать точность и достоверность опытов; определять взаимозависимости и взаимообусловленности между учитываемыми показателями опытов.

Принцип единственного логического различия. Согласно этому принципу (правилу) исследователь может изменять лишь изучаемый фактор при строгом постоянстве всех остальных условий

опыта. Например, в однофакторном опыте изучают продуктивность подсолнечника (сорт Енисей 503) в зависимости от густоты посева: 40, 50, 60 и 70 тыс. растений на 1 га. Согласно принципу единственного логического различия в этом опыте изменяют лишь густоту посева, остальные элементы агротехники (предшественник, удобрения, обработка почвы, сроки, глубина и способ посева, используемые агрегаты, уход за посевами, метод уборки) должны быть одинаковыми. Лишь при такой постановке опыта можно выявить, какая густота посева конкретного сорта наиболее эффективна в определенной почвенно-климатической зоне.

Если изучают новую технологию выращивания какой-либо культуры, то в опыте изменяют лишь элементы, характерные для новой технологии, остальные оставляют без изменений. Однако новые технологии можно изучать с использованием не одного, а нескольких сортов. При этом опыт становится многофакторным и каждый из сортов изучают при тех технологиях, которые предусмотрены схемой опыта.

Правило целесообразности. Среди сортов озимой пшеницы и других злаков есть стойкие и нестойкие к полеганию. Эта особенность сортов сильнее всего проявляется в годы с большим количеством осадков в фазы выхода растений в трубку — колошения. Сравнить такие сорта при одинаковом плодородии почвы нецелесообразно, поэтому стойкие против полегания сорта, например Безостую 1, высевают после лучших предшественников, на площадях, хорошо удобренных органическими и минеральными удобрениями. Только в таких условиях полностью раскрываются потенциальные возможности сорта Безостая 1, урожайность которого даже в производственных условиях превышает 10 т/га.

Поскольку полегание хлебов затрудняет их уборку и сильно снижает урожайность, нестойкие к полеганию сорта, например Мироновскую 808, высевают на таких агрофонах, которые не вызывают полегания.

Различные сорта злаковых культур имеют неодинаковую степень кушения. Если все изучаемые в опыте сорта высевать с одинаковой нормой, то ко времени сбора урожая посевы одних сортов будут загущенными, а других — несколько изреженными. Сорта с высоким коэффициентом кушения, например Мироновскую 808, высевают с меньшей нормой, чем сорта с низким коэффициентом кушения.

На плодородных, хорошо обеспеченных влагой почвах нормы высева также снижают. Кроме того, их дифференцируют в зависимости от высоты растений. Полукарликовые сорта высевают из расчета 5,5—6,0 млн всхожих зерен на 1 га, сорта со средней длиной стебля — 4,5—5,0 млн, а средневысокие — 4,0—4,5 млн.

В соответствии с правилом целесообразности борьбу с болез-

ниями проводят лишь на тех посевах, сортах или в тех вариантах опыта, где распространены болезни. Если среди испытуемых сортов или в отдельных вариантах опыта болезнь отсутствует, то применение фунгицидов нецелесообразно.

Иногда в одном и том же хозяйстве, где имеются легкие и тяжелые по гранулометрическому составу почвы, необходимо изучить их влияние на продуктивность определенной культуры. В соответствии с правилом целесообразности глубина посева на этих почвах не должна быть одинаковой. Так, на легких почвах озимую пшеницу высевают на глубину 6—8, на тяжелых — 2—3 см (несмотря на то что согласно принципу единственного различия глубина посева как будто бы должна быть одинаковой).

В опытах, где изучают разные нормы орошения, урожай созревает в разные сроки. Чем больше норма полива, тем позднее заканчивается вегетация и тем позже собирают урожай. В контрольном варианте, т. е. без полива, урожай созревает раньше и его убирают раньше. Это согласуется с правилом целесообразности, хотя согласно принципу единственного различия урожай как будто бы надо убирать во всех вариантах одновременно. Однако это было бы грубой методической ошибкой.

То же касается и сроков основной обработки почвы под озимую пшеницу после разных предшественников. Нельзя обрабатывать почву в одни и те же сроки после предшественников, которые значительно различаются по срокам уборки урожая. Именно поэтому обработку почвы проводят сразу же после сбора урожая предшественника, соблюдая правило целесообразности.

Типичность опыта. Опыты необходимо проводить в таких условиях, которые соответствовали бы природной зоне, почвам, особенностям выращиваемой культуры и сорту, уровню механизации, глубине залегания грунтовых вод, организационно-экономическим условиям и т. п.

В каждой почвенно-климатической зоне для опыта подбирают соответствующие зоне культуры с определенным соотношением их в структуре посевных площадей. Так, при проведении опытов с техническими культурами нужно учитывать, что в структуре посевных площадей степной зоны более 10 % занимает подсолнечник, а в лесостепи около 20 % — сахарная свекла. Из многолетних трав в лесостепи культивируют в основном клевер, а в степи — люцерну.

В каждой почвенно-климатической зоне в агротехнических опытах необходимо использовать районированные, а также новые, наиболее перспективные сорта, которые через несколько лет после окончания исследований станут районированными.

В процессе исследований необходимо также учитывать типичность погоды. Это значит, что в большинство лет исследований количество атмосферных осадков и равномерность их распределения, температура и влажность воздуха, их колебания должны

быть близкими к многолетним нормам. Лишь при таких условиях можно сделать объективные выводы для конкретных условий земледелия.

Системы обработки почвы, удобрения, нормы высева, сроки посева и глубина заделки семян также должны быть типичными для определенной зоны и соответствовать особенностям почвы, подпочвы, склонов и т. п. Однако уровень агротехники не всегда должен быть таким, как в большинстве хозяйств района или области, поскольку на производстве не всегда и не везде придерживаются рекомендаций научных учреждений. Технология выращивания сельскохозяйственных культур в опыте должна быть перспективной, ориентированной на постоянное повышение плодородия почвы.

Как правило, опыты проводят на типичных и окультуренных почвах, которые занимают наибольшие площади в зоне. Типичными должны быть подпочва (материнская порода), уровень залегания грунтовых вод, крутизна склона, а также уровень механизации. В опытах используют те почвообрабатывающие машины, посевные, уборочные агрегаты и другие орудия, которые есть в передовых хозяйствах. Исключением являются мелкоделательные опыты, где почти все агротехнические операции выполняют вручную.

Типичность — одно из основных условий опыта. Нарушение правила типичности обесценивает опыт и приводит к тому, что его результаты не могут быть рекомендованы производству. Однако типичные условия могут быть пригодными для опыта не всегда.

Пригодность условий для опыта. Для проведения опыта на надежном методическом уровне необходимо соблюдать требование пригодности условий для опыта. Например, запланирован опыт по изучению доз минеральных удобрений от 30 до 150 кг д. в. на 1 га. Участок имеет типичную почву, склон, уровень грунтовых вод. В предшествующий опытному году на всей площади были внесены минеральные удобрения в дозе 180 кг д. в. на 1 га. Пригодна ли эта земельная площадь для опыта, где планируется изучать действие минеральных удобрений в дозах, значительно меньших, чем было внесено в предшествующий исследованию год? Нет, непригодна, ибо на фоне высоких доз ранее внесенных удобрений нельзя изучать действие меньших доз без искажения результатов исследований.

Для изучения доз гербицидов непригоден участок, где в предшествующие годы их вносили в дозах, превышающих запланированную схему опыта. Непригодна для изучения действия противозлаковых гербицидов площадь, где злаковые сорняки мало распространены. На посевах, стойких к определенным болезням сортов, не следует изучать эффективность различных фунгицидов и их доз.

Воспроизводимость результатов. В соответствии с этим требованием исследователь, повторяя опыт во времени по идентичной методике и в аналогичных условиях, должен получить такие же результаты, как и в предыдущих опытах. Воспроизводимость результатов важна для проверки достоверности полученных ранее данных и уверенного внедрения лучших вариантов в производство.

Для воспроизведения опытов в аналогичных условиях исследователь должен детально описывать все эти условия: место проведения опытов (населенный пункт, район, область), почва (тип, гранулометрический состав, химические свойства, уровень грунтовых вод, экспозиция и крутизна склона), погода, особенности предшественников, культура и сорта, сущность технологии выращивания, машины и орудия для механизации, специфические особенности проведения опытов и т. п.

Необходимо тщательно описывать методику исследований: схему опыта и контроль, размер опытных делянок, соотношение их сторон, ширину защитных полос, повторность, метод размещения вариантов, методику учетов и наблюдений, сроки выполнения работ и т. п.

В годы с разными погодными условиями, особенно по количеству осадков, температуре и влажности воздуха, урожайность и качество продукции в опытах могут меняться.

Введение дополнительных вариантов и контролей. В опытах с изучением эффективности органических и минеральных удобрений для построения схемы опытов берут дозы, применяемые в хозяйстве. Чаще всего это полное минеральное удобрение (60 или 90 кг д. в. NPK на 1 га) и навоз (20 т/га). При этом не вычленяется содержание питательных элементов в навозе. В результате такого опыта нельзя дать ответ, какие удобрения — органические или минеральные — более эффективны. В схему опыта необходимо ввести еще один вариант — NPK в дозах, эквивалентных содержанию этих элементов в навозе. Поскольку содержание питательных элементов в органических удобрениях может колебаться, то его определяют перед внесением навоза, рассчитывают дополнительный вариант и вводят его в схему опыта.

Исследуя эффективность добавок микроэлементов к минеральным удобрениям (например, марганца к суперфосфату), кроме вариантов «без суперфосфата» и «марганизированный суперфосфат» необходимо ввести вариант «суперфосфат обычный» (т. е. без марганца). Для изучения чистого действия марганца вводят еще один вариант — «марганец» в дозе, которую добавляют к марганизированному суперфосфату. Тогда в схеме будет достаточное число вариантов, чтобы полностью ответить на поставленные в опыте вопросы. Аналогично составляют схемы в

опытах с изучением новых форм удобрений, вводя дополнительные варианты.

В опытах, где изучают вопросы подкормок пропашных культур во время междурядного рыхления почвы, к вариантам опыта (без подкормки и с подкормкой) добавляют вариант с междурядной обработкой, но без удобрений. Без этого варианта нельзя выяснить, что же действует — подкормка или рыхление почвы. Изучая некорневое питание в растворе воды, в схему опыта необходимо дополнительно включить вариант с чистой водой.

В опытах с удобрениями необходимо ответить на вопрос: всегда ли нужен абсолютный (чистый, т. е. без удобрений) контроль? Так, если изучают дозы удобрений или соотношение элементов питания в них, то за контроль, как правило, берут наиболее эффективные в данном хозяйстве дозы и соотношения. Однако есть исследования с удобрениями, где в схему опыта включают чистый контроль, т. е. вариант без удобрений. Это опыты, в которых изучают коэффициенты использования удобрений или проводят физиологические исследования.

Чистый контроль обязательно вводят в опытах, где изучают действие фунгицидов, инсектицидов и других препаратов по защите растений, для обоснования целесообразности применения тех или иных пестицидов против конкретных болезней и вредителей.

Изучая вопросы протравливания семян перед посевом определенными препаратами, в схему опыта вводят следующие варианты: без протравливания; с протравливанием (например, фундазолом или гранозаном) в 10 л воды на 1 т семян; замачивание семян в 10 л воды без фундазола или гранозана. Последний вариант введен в качестве дополнительного контроля для того, чтобы вычленил влияние воды и пестицида.

Проведение исследований на перспективных сортах. Все опыты рекомендуется проводить, как правило, с районированными сортами. Длительность исследований может составлять 3—5 лет, а в опытах с многопольными севооборотами она обычно равна количеству полей севооборота. За это время некоторые районированные сорта могут быть заменены новыми, более перспективными, поэтому выводы, сделанные относительно уже снятых с производства сортов, окажутся малопригодными. Следовательно, опыты необходимо проводить на перспективных сортах.

Для выявления перспективных сортов перед постановкой опыта исследователь обычно консультируется со специалистами госсортоучастков, обслуживающих определенные зоны, а также соответствующих областных госсортоинспекций. Не следует брать для агротехнических опытов сорта, исключенные из районирования.

Тщательное ведение документации. Всю научную документацию ведут с соблюдением определенных правил: своевремен-

ность записей, полнота сведений об опыте, однотипность записей в динамике вегетационного периода и по годам, достоверность и точность.

Документацию можно подразделить на основную и дополнительную. К основной относятся полевой журнал (дневник научного работника), главная книга опыта, рабочая программа и отчет о научно-исследовательской работе; к дополнительной — лабораторный журнал, рабочая тетрадь, таблицы разных форм для всесторонних анализов, ленты самописцев и т. п.

Если опыт проводят в поле, то дневник научного работника называют *полевым журналом*. В полевой журнал записывают место проведения опыта (область, район, хозяйство, севооборот, номер поля); схему опыта; представляют схематический план опыта с выделением повторений, указанием места каждого варианта; дают чертеж опытной делянки с указанием ширины и длины учетной площади делянки, ширины продольных и поперечных защитных полос, площадей делянки и ее учетной части. Здесь же описывают условия проведения опыта: почву, рельеф, предшественники, сроки внесения и дозы удобрений, нормы высева семян и их качество, сроки посева, состояние всходов. Описывают уход за посевами, методику всех учетов и наблюдений, фиксируют нарушения методики исследований и технологии выращивания. Указывают причины изреживания или уничтожения посевов вредителями, приводят результаты поражения растений болезнями и повреждения вредителями, данные фенологических наблюдений. Указывают также места и площадь выключек на опытных делянках, места выбракованных делянок, результаты урожайности и качества продукции, данные физических и химических анализов почвы и растений. Приводят результаты математической обработки методами вариационной статистики, данные экономической эффективности агроприемов и сортов.

В полевом журнале собрана не только главная, но и детальная информация об опыте. Содержание журнала может видоизменяться в зависимости от цели опыта и исследуемой культуры.

Главная книга опыта отличается от полевого журнала тем, что ведется только в лаборатории. В нее переносят всю основную информацию из полевого журнала. Кроме того, в главной книге опыта излагают всю программу исследований: тема с научным обоснованием, методы исследований (общенаучные и специальные), рабочие гипотезы или несколько конкурирующих. В главной книге опыта приводят схему опыта с выделением контрольных вариантов, размеры опытных делянок, ширину защиток, представляют схему опыта в виде чертежа. Описывают методики учетов и наблюдений с указанием их авторов, указывают сроки проведения этих учетов, а также агротехнических работ, отбора образцов. Кроме того, в главную книгу опыта переносят из по-

левого журнала результаты всех учетов и наблюдений с основными статистическими показателями.

Рабочую программу составляют на весь период исследований, т. е. на несколько лет. Кроме того, на каждый год работы составляют годовые планы научно-исследовательской работы. Один из разделов такого плана — календарный план, где в хронологическом порядке указывают все работы и сроки их проведения на протяжении года.

Примерный план (в скобках указан приблизительный объем в страницах): введение (1); обзор научной литературы (10); условия проведения опыта — место, почва, погода, агротехника, сорта (3); методика исследований — схема опыта, чертеж деланки и всего опыта, методика учетов и наблюдений (5); календарный план всех работ в опыте (4); список использованной литературы (3).

Годовой отчет о научно-исследовательской работе. В тексте отчета приводят только средние арифметические данные каждого варианта опыта, а в приложениях — данные по повторностям с соответствующей статистической обработкой. Главный раздел отчета — выводы и рекомендации производству. Для внедрения их в производство составляют специальные акты. После завершения темы научных исследований готовят итоговый отчет за все годы работы. По результатам исследований пишут статьи, рефераты, диссертации.

Дополнительной документацией опытов являются лабораторные журналы с таблицами для отдельных учетов, наблюдений, анализов растений и окружающей их среды (определение физических и химических свойств почвы, качества продукции, ее дегустационная оценка и т. п.).

Учет не только основных, но и сопутствующих показателей. Учет основных показателей — урожайности и качества продукции — дает возможность выявить лучшие и худшие варианты опыта, т. е. повышение или снижение урожая и его качества по сравнению с контролем. Однако целью научного исследования является еще и объяснение причин такого повышения или снижения. Для этого проводят сопутствующие учеты и наблюдения, подбор которых зависит от темы и задач опыта.

Так, в опытах с дозами, сроками, способами внесения удобрений, соотношением в них питательных элементов, видами и формами удобрений сопутствующими показателями будут: содержание элементов питания в почве и степень их доступности растениям; динамика влажности и аэрации почвы, от которых зависит усвоение растениями удобрений; динамика процессов роста растений и поглощения питательных элементов; химический состав продукции и т. п.

В опытах с изучением предшественников для конкретных культур учитывают: засоренность посевов сорняками; наличие

семян сорных растений в различных горизонтах пахотного слоя, а также корневых отпрысков и корневищ злостных сорняков; распространение болезней и вредителей; влажность почвы; ее питательный режим и др.

При изучении мер борьбы с сорными растениями сопутствующими учетами и наблюдениями будут: определение количества сорняков в посевах и их семян в почве отдельно по видам и биологическим группам; глубина залегания семян сорняков и их всхожесть; наличие всхожих семян в органических удобрениях, которые вносят на опытных делянках. Перед использованием химических препаратов для борьбы с сорняками определяют содержание в пестицидах действующего вещества, его наличие в почве и растениях, особенно в урожае, обращая особое внимание на токсичность для людей и животных.

Изучая сроки, способы и глубину обработки почвы, принимают во внимание не только урожайность и качество продукции, но и структуру урожая, влажность почвы, ее водопроницаемость, плотность и другие физические свойства.

В опытах, где изучают орошение культур (нормы, сроки, способы), определяют динамику влажности почвы, колебания сроков наступления и окончания фазы роста и развития растений, густоту посевов, прирост надземной массы, распределение в почве корневой системы и др.

При сортоизучении обязательно проводят сопутствующие фенологические наблюдения, а также изучают стойкость сортов к полеганию и осыпанию семян, способность зерна к вымолачиванию, устойчивость против болезней, вредителей, засухоустойчивость, морозо- и зимостойкость озимых и т. п.

Без учета сопутствующих показателей опыты нельзя считать полноценными, так как невозможно полностью выявить причины эффективности изучаемых вариантов и сортов.

Необходимость определения достоверности различий между вариантами. О методической достоверности опыта сказано в разделе 1.1.3. Здесь же речь пойдет о статистической достоверности опыта и о необходимости ее определения.

Достоверность опыта определяют при сравнении расчетного критерия Фишера (фактического) с теоретическим. Если фактический критерий больше теоретического (его находят по таблицам), то делают вывод о статистической достоверности всего опыта. Это означает, что между некоторыми средними арифметическими отдельных вариантов опыта есть достоверная разница. Для выделения таких вариантов рассчитывают наименьшую существенную разность (НСР). Если разность между средними арифметическими любой пары вариантов будет большей, чем НСР, то делают вывод о достоверности различий на определенных уровнях доверительной вероятности (значимости). Напри-

мер, в опыте с озимой пшеницей, посеянной по различным предшественникам, ее урожайность составила, т/га:

черный пар (контроль) — 6,98;

горох — 6,82;

многолетние травы — 6,77;

озимые на зеленый корм — 6,50;

кукуруза на силос — 4,36.

Фактический критерий Фишера в этом опыте оказался большим, чем его теоретическое значение, т. е. опыт считается достоверным. Значение $НСР_{0,95}$ составляет 0,18 т/га. Таким образом, по сравнению с черным паром разницы между урожаями пшеницы после большинства изучаемых предшественников достоверны. Исключением является предшественник горох, где разность составляет 0,16 т/га, что меньше $НСР_{0,95}$. Следовательно, снижение урожая озимой пшеницы после гороха недостоверно на уровне доверительной вероятности $P_{0,95}$.

Снижение ошибок и повышение точности опыта. *Точность опыта* — это степень близости его результатов к истинному значению.

Иногда исследователи в научных работах ограничиваются лишь расчетами $НСР$ и не приводят значения относительных ошибок опыта. Отсутствие числового значения ошибок не позволяет сделать вывод о точности проведенного опыта. Точность опыта — это один из основных показателей качества опытной работы. Исследователь должен быть точным во всем, начиная с выравнивания плодородия почвы под опыт и кончая обобщением результатов исследований.

О точности опытов судят по статистическим ошибкам, которые обозначаются символами $s_{\bar{x}}$ (ошибка средней арифметической) и $s_{\bar{x}}\%$ (относительная ошибка средней или опыта). Чем ниже числовое значение ошибок, тем выше точность опыта. Различают три основных вида ошибок: систематические, грубые и случайные.

Систематические ошибки — это постоянное завышение или занижение результатов опыта под действием определенных факторов. Такими факторами могут быть закономерное изменение плодородия почвы в каком-то направлении, неисправность используемых в опыте приборов и т. п. Поскольку систематические ошибки являются однонаправленными, т. е. искажают результаты в одном направлении, они не могут взаимно погашаться и поэтому снижают точность опытов. Уменьшить систематические ошибки можно путем правильного планирования, закладки и проведения опытов.

Грубые ошибки — это просчеты, промахи в работе. Например, можно ошибиться при снятии показаний прибора, при записи. Иногда на опытных делянках путают этикетки, дважды вносят удобрения на какой-то делянке, не на ту глубину обраба-

тывают почву и т. д. Из-за грубых ошибок приходится браковать отдельные делянки, повторения или даже весь опыт.

Случайные ошибки обусловлены неизвестными, непредвиденными факторами и поэтому неизбежны. Они появляются под влиянием случайного варьирования плодородия почвы или урожайности самих растений. Такие ошибки могут завышать или занижать результаты исследований, т. е. они разнонаправленны. Весьма существенно, что случайные ошибки взаимно компенсируются, поэтому с увеличением числа наблюдений погрешности опыта уменьшаются. Методы математической статистики позволяют определить величины случайных ошибок и вычлени их из общего варьирования экспериментальных данных.

Ошибки опыта не представляют собой ошибок расчета, допускаемых при математических операциях. Они определяют величину отклонения фактического значения от истинного.

Для повышения точности опыта методисты из Калифорнийского университета (США) Т. Литтл и Ф. Хиллз (1981) рекомендуют увеличивать число повторностей, тщательно подбирать варианты, совершенствовать технику опыта, правильно отбирать экспериментальный материал, планировать и группировать экспериментальные единицы.

Зависимости между показателями опыта. Объекты исследований — почва, растения, их органы — взаимосвязаны и зависят от комплекса условий внешней среды. Эти связи весьма разнообразны, они могут быть прямыми и обратными, существенными и несущественными, закономерными и случайными, постоянными и временными, сильными и слабыми, прямолинейными и криволинейными.

Наиболее сложные связи существуют в биологических объектах (в частности, зависимость растений от условий среды). Атмосферные осадки, почвенная среда, температура и влажность воздуха, долгота дня и ночи влияют на рост и развитие растений, их устойчивость к болезням и вредителям, а также на формирование урожая. Практика научной работы показывает, что выявить связи между этими факторами лишь с помощью логического анализа почти невозможно. На помощь приходят методы математической статистики, в частности корреляционные и регрессионные анализы. Однако и такие анализы, сделанные для двух, пусть даже и самых важных показателей (например, урожай и дозы удобрений), не дают полной информации для исследователя. Необходимо изучать множественные зависимости между урожаем, его качеством и всеми теми условиями, которые на них влияют. Для глубокого понимания этих процессов исследователь должен иметь отличные знания не только в определенной области науки, но и в смежных областях. Так, изучая эффективность удобрений, надо

досконально знать агрохимию, почвоведение, растениеводство, физиологию растений, микробиологию, защиту растений и многие другие науки.

1.3.5. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Элементы методики опытов: число вариантов в схеме опыта, число контролей и их частота, размеры опытных делянок, ширина защитных полос, форма опытных делянок и их ориентация на местности, повторность и повторение в опытах, размещение вариантов, учеты и наблюдения и др.

Для одного и того же опыта можно составить несколько методик, но для работы необходимо выбрать одну, наиболее целесообразную, на все годы проведения данного опыта. Правильный выбор элементов методики опыта — весьма ответственная задача.

Число вариантов в опыте. Варианты опыта могут быть количественными (дозы удобрений, нормы орошения, площади питания растений, глубина вспашки и т. п.) и качественными (сорта культур, типы почв, формы удобрений и др.). Подбирая варианты в схему опыта, исследователь должен обеспечить их оптимальное число для конкретной темы и условий опыта. Вариантов должно быть столько, чтобы по результатам полученных в этих вариантах урожаев можно было построить график, форма которого была бы близкой к параболе. Это значит, что среди количественных вариантов опыта должны быть градации изучаемого фактора, обеспечивающие отклонения урожаев от оптимального уровня в обе стороны.

Для построения параболы (кривой отклика) необходимо иметь как минимум 5 точек. Таким образом, в однофакторном опыте минимальное число вариантов равно 5. В опытах с качественными вариантами, например с сортами, число вариантов определяется наличием районированных и перспективных сортов и гибридов, т. е. их может быть несколько десятков. Иногда и число количественных вариантов бывает большим, особенно в многофакторных опытах.

На земельных площадях, где проводят опыты, плодородие почвы может варьировать в разной степени. Чем больше площадь под опытом, тем больше это варьирование. Таким образом, увеличение числа вариантов приведет к росту площади под опытом и увеличению варьирования ее плодородия, что, в свою очередь, снизит точность опыта. На участках с сильным варьированием плодородия почвы число вариантов, как правило, сокращают до минимально возможного.

Число контролей и их частота. В схеме опыта может быть не один, а два контроля и больше. Например, при изучении доз органических удобрений в качестве контроля берут ту дозу, кото-

рую применяли в хозяйстве раньше, до постановки данного опыта, — это так называемый производственный контроль. Второй контрольный вариант — без органических удобрений, его чаще всего используют для научных целей.

Если дозы минеральных удобрений изучают на фоне органических удобрений, то здесь возможно наличие трех контролей: 1) дозы минеральных удобрений, используемые в хозяйстве (производственный контроль); 2) без минеральных удобрений; 3) органические удобрения без минеральных (агрофон).

При изучении доз гербицидов также используют три контроля: 1) доза гербицида, применявшаяся в хозяйстве до постановки данного опыта; 2) без гербицида, но с механической борьбой с сорняками; 3) без механической борьбы с сорняками.

В опытах с изучением доз пестицидов одним из контролей служит доза, применявшаяся в хозяйстве до проведения опыта. Второй контроль — вариант без пестицида (он нужен для того, чтобы знать степень распространения той или иной болезни или вредителя без применения фунгицида или инсектицида).

В опытах по сортоиспытанию в качестве контрольного сорта (стандарта) берут не только районированные, но и перспективные сорта.

Весьма важный элемент опыта — частота контролей. Иногда некоторые делянки выпадают из опыта по случайным причинам — заиливание, наезды транспорта, поправки, хищения. При выпадении одного из вариантов или сорта опыт обедняется именно этим вариантом, сортом. Но когда выпадают делянки с контрольными вариантами (стандартами), а число оставшихся делянок недостаточно для вычисления точных значений средних арифметических, то обесценивается весь опыт. Для обеспечения надежной точности опыта число контрольных делянок должно быть больше, чем повторений в опыте. Если в опыте много вариантов, то на каждые 8—10 вариантов выделяют контрольные делянки (стандарты). На частоту контрольных делянок влияет и пестрота плодородия почвы опытного участка — чем она больше, тем больше должна быть частота контролей.

Размер опытных делянок. Опытная делянка состоит из учетной и защитной частей. Размер опытных делянок обычно указывают по их учетной части, т. е. без защитных полос. Площадь делянок зависит от вида опыта: в микроопытах — менее 1 м^2 , в мелкоделяночных — 1—10, в лабораторно-полевых — 10—50, в полевых — 50—200 м^2 . В производственных условиях площади делянок могут составлять от 2000 м^2 до 1—2 га.

На размер делянок также влияет тема исследований. В полевых опытах, где изучают площади питания, сроки посева, глубину заделки семян, используют делянки размером 50—100 м^2 , а при изучении вопросов обработки почвы (с полной механизацией всех процессов) размер делянки увеличивают до 200—400 м^2 .

Изучаемая в опыте культура также влияет на выбор размера делянок. Чем больше растений произрастает на единице площади, тем меньше размер опытной делянки, и наоборот. Например, для зерновых колосовых культур, крупяных, зернобобовых, многолетних и однолетних трав, льна и им подобных используют делянки площадью 20—30 м². Полевые опыты с подсолнечником, кукурузой, сахарной свеклой, картофелем и другими пропашными культурами ставят на делянке площадью 75—150 м².

Размер опытных делянок тесно связан с числом повторностей: чем больше повторность в опыте, тем меньше размер опытных делянок, при уменьшении повторности площадь делянок увеличивают. Если при 3—4-кратной повторности полевого опыта со злаковыми колосовыми культурами размер опытных делянок составляет 50—75 м², то при 5—6-кратной повторности его уменьшают до 20—30 м².

Число изучаемых в опыте вариантов также влияет на размер опытных делянок. При большом числе вариантов увеличивается общая площадь опыта, а с ней и варьирование плодородия почвы, что снижает точность опыта. В таком случае целесообразно уменьшить размер делянок, но увеличить повторность, что приведет к уменьшению общей площади под опытом, уменьшению территориального варьирования плодородия почвы и повышению точности.

На размер опытной делянки влияет также ширина ее учетной части, которая определенным образом связана с шириной почвообрабатывающих, посевных и уборочных агрегатов (табл. 1). Для максимальной механизации работ в лабораторно-полевых и полевых опытах желательнее использовать малогабаритную технику, ширину захвата которой согласовывают с шириной учетной части делянки. При отсутствии такой техники применяют обычные машины и орудия, но с минимальной шириной захвата.

1. Параметры сельскохозяйственных машин, влияющие на выбор ширины учетной части делянки

Культуры	Процесс	Марка машины	Ширина	
			захвата, м	междурядий, см
Зерновые колосовые, крупяные, травы	Посев	СЗ-3,6; СЗА-3,6;	3,6	15
		СЗО-3,6; СЗП-3,6		
		СЗТ-3,6; СЗЛ-3,6	3,6	7,5
		СЗУ-3,6	3,6	6,5—8,5
		СРН-3,6	3,6	7,5—15,0
		СЗЛ-2,1	2,1	22,8
Картофель	Посадка	СКС-4; СН-4Б-1;	—	70
		САЯ-4; СКМ-6		

Культуры	Процесс	Марка машины	Ширина	
			захвата, м	междурядий, см
Все основные культуры	Опрыскивание пестицидами	СН-4Б-2	—	60
		ОПШ-15	10,5	—
		ПОМ-630	2,8—16,2	—
Кормовые	Скашивание	КНФ-1,6	1,6	—
		КДП-4; КС-2,1;	2,1	—
		КРН-2,1; КСП-2,1		
		КТВ-3,0	<2,1	—
Зерновые колосовые	Уборка	СК-5А	4,1	—
		СКД-6	5	—
		СКГД-6	6	—
		СКН-5; СК-6-11;	7	—
		СКПР-6		
Подсолнечник	»	СК-5А	4,2	70
Кукуруза	»	КСКУ-6	4,2	70
		ККП-3	2,1	70
Сахарная свекла	»	КС-6; РКС-6	2,7	45

Если в опыте вопросы посева не изучаются и способ посева одинаковый на площади всего опыта, то выбору рабочего захвата сеялки можно не уделять особого внимания. При этом ширина учетной части делянки определяется шириной захвата уборочных агрегатов.

Уборку урожая сахарной свеклы, подсолнечника и кукурузы в лабораторных и даже полевых опытах пока проводят ручным способом из-за недоброкачественной работы комбайнов — большие потери приводят к снижению урожая и точности опытов.

Длина учетной части опытных делянок должна быть примерно в 10 раз больше, чем ширина. Так, в опыте с пшеницей при ширине делянки 4,1 м ее длина составит 41 м, а учетная площадь — 168,1 м².

Форма делянок влияет на общую их площадь. При удлиненных делянках с соотношением сторон 2×50 м (площадь 100 м²) и при ширине защитных полос 1 м защитки займут 108 м² (50+50+4+4), а общая площадь делянки составит 208 м². При квадратной форме делянки (10×10 м) на защитные полосы приходится 44 м² (20+24), а общая площадь делянки составит 144 м², т. е. на 64 м² меньше, чем в первом варианте.

Ширина защитных полос. В зависимости от условий, технологии выращивания культур или сорта, которые изучают в опыте, рост растений может быть усиленным, ослабленным или средним. Более высокие и густые растения, имеющие большую кустистость, будут угнетать те, которые расположены рядом, на соседних делянках. В результате объективное сравнение агротех-

нических приемов или сортов окажется невозможным, будет нарушаться правило единственного логического различия.

Для предотвращения влияния растений соседних делянок, т. е. одних вариантов на другие, между делянками предусматривают защитные полосы, или ряды, — продольные и поперечные. Их ширина зависит от степени влияния того или иного агроприема или сорта, поэтому в разных опытах защитные полосы (защитки) имеют различную ширину. Чем сильнее влияние агроприемов или сортов, тем шире защитки. В пределах одного опыта они должны быть одинаковыми. Максимальную ширину защитной полосы рассчитывают на наиболее сильнодействующий вариант опыта. Такими вариантами могут быть наибольшие дозы удобрений или нормы полива, более глубокая обработка почвы и т. п.

В опытах с удобрениями ширина продольных защитных полос зависит от техники внесения минеральных удобрений: при их высеве через сошники сеялки — 50 см, при рассеивании вручную — 1 м. При запахивании органических удобрений, которые могут передвигаться орудиями обработки на соседние делянки, ширина продольных защитных полос должна быть не менее 1,5 м. С. В. Щерба рекомендует для краткосрочных опытов с удобрениями ширину защитки 0,75 м, а для многолетних — не менее 1 м.

В опытах с пропашными культурами на продольные защитки нужно отводить следующее минимальное число рядков: с сахарной свеклой 2—3, с подсолнечником 1—2 и с кукурузой 3—4.

Для предотвращения горизонтального перемещения воды в почве при поливе или же в воздухе при дождевании в опытах с орошением ширину защитных полос увеличивают до 2—3 м. Широкими должны быть продольные защитки в опытах с опрыскиванием посевов пестицидами, чтобы их раствор не сдувало ветром на соседние делянки. Для работы в безветренную погоду ширина таких защиток должна составлять не менее 2 м.

В опытах, где изучают глубину обработки почвы, ширина защитной полосы должна быть равной ширине захвата одного-двух корпусов плуга или другого орудия.

При изучении норм высева семян и способов посева злаковых культур на защитные полосы отводят определенное количество рядков: при узкорядном посеве 3—4, а при обычном 2—3.

Если в опыте изучают сорта, на защитные полосы оставляют 2 ряда или во время посева перекрывают крайние сошники сеялки, чтобы отделить один сорт от другого полосой без растений.

Поперечные защитные полосы должны быть такими, чтобы при необходимости на них можно было разворачивать используемые машины и орудия механизации. На этих защитках иногда предусматривают отбор почвенных и растительных образцов (проб) для лабораторных анализов, поэтому такие защитки называют лабораторными полосами.

Если посев культур проводят поперек делянок, то учетную часть делянки можно выделить расширенными междурядьями. При посеве вдоль делянок (когда изучают вопросы посева) учетную часть делянки выделяют дорожками шириной 25—30 см, на которых вырезают растения после появления всходов, по мере зарастания дорожки обновляют. В этом случае длиной учетной части делянки считается расстояние между серединами таких двух дорожек, а шириной — расстояние между серединами крайних междурядий. Минимальная ширина поперечных защиток в большинстве опытов составляет 2 м.

Если ширина опытной делянки составляет 3—4 м при сортоизучении или 5—10 м в агротехнических опытах, а также при больших площадях делянок (более 1000 м²) исследования можно проводить и без защитных полос. В опытах с квадратной формой делянок, размещенных методом латинского квадрата, защитки можно не предусматривать.

Без защитных полос можно проводить опыты на делянках очень малого размера (мелкоделяночные опыты). Для разграничения вариантов и проведения работ здесь оставляют дорожки шириной 30—40 см.

При изучении сортов зерновых колосовых культур иногда пользуются однорядными делянками без защитных полос, но с широкими междурядьями: для опытов с яровыми культурами — 30, с озимыми — 40—50 см.

Во всех остальных исследованиях защитные полосы необходимы. Обязательно создавать защитки вокруг площади всего опыта для защиты его от потрав животными и других повреждений. Если опытный участок расположен возле проезжих дорог, защитные полосы должны составлять 5—10 м и более.

Форма опытных делянок и их ориентация на местности. Опытные делянки имеют прямоугольную форму с разным соотношением сторон. Делянки условно считают короткими, если их длина в 2—10 раз больше ширины, и длинными, когда длина делянки превышает ее ширину более чем в 10 раз.

Об эффективности удлиненных делянок можно судить по данным, приведенным в таблице 2. Во всех опытах, где использовали удлиненные делянки, числовое значение стандартного отклонения было значительно меньшим, чем при коротких делянках. Точность исследований при удлиненных делянках значительно выше, поэтому удлиненные делянки более эффективны.

2. Повышение точности исследований в зависимости от формы опытной делянки (Ф. А. Юдин, 1971)

Короткие делянки		Удлиненные делянки	
соотношение сторон, м	s_1^*	соотношение сторон, м	s_2^*
37×11	3,27	184×2,2	2,26
12,7×8,6	5,49	51×2,1	2,68
6,7×6,7	7,84	26,7×1,7	5,48

* s_1 , s_2 — стандартные отклонения, с уменьшением которых точность опыта возрастает.

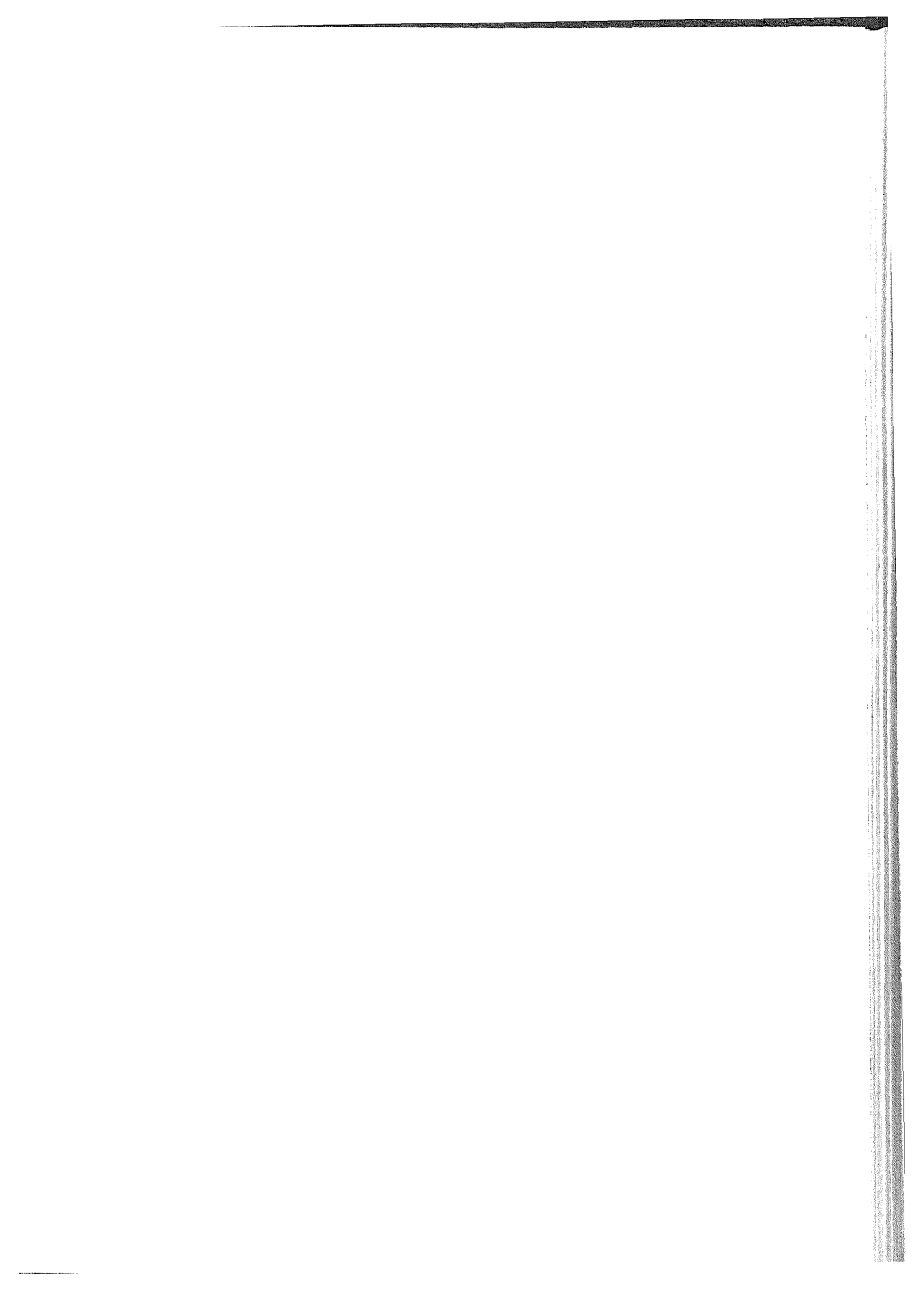
В работах Н. Ф. Деревницкого приведены данные об изменении коэффициента вариации урожая пшеницы при увеличении длины делянки по отношению к ее ширине в определенное число раз — 1,1; 4,0; 9,0; 16,2; 36,0. Коэффициент вариации при этом составил 12,2; 10,6; 10,3; 8,3; 8,8. Вместе с уменьшением варьирования урожая повышалась точность этих опытов. После увеличения отношения длины делянки к ее ширине более чем в 16 раз точность опыта уже не повышалась. Таким образом, делянка с соотношением длины и ширины, равным 16:1, в данном опыте считается наиболее целесообразной. В опытах с кормовой свеклой при отношении длины делянки к ширине 1,7; 10,5 и 42,0 коэффициент вариации урожая составил 9,5; 8,8 и 8,8. Следовательно, увеличивать это отношение больше 10,5 нецелесообразно.

Удлиненные делянки эффективны лишь тогда, когда они ориентированы длинной стороной вдоль основного изменения (варьирования) плодородия почвы, чаще всего вдоль склона.

Близкими к квадратной форме должны быть делянки в опытах, где изучают защиту растений от вредителей, болезней, сорных растений с опрыскиванием посевов растворами пестицидов. На узких делянках ветер может сносить растворы пестицидов на соседние варианты. Кроме того, из центра квадратной делянки меньше переселяется вредителей и переносится болезней, чем из делянок удлиненной формы. Квадратная форма делянок будет более эффективной там, где смежные варианты сильно влияют один на другой или когда опыт размещается методом латинского квадрата.

Оптимальное соотношение длины и ширины делянки зависит и от размера самой делянки: для делянок площадью 20—200 м² лучшим соотношением является 5—10, а для делянок большего размера — 10—20 (Б. А. Доспехов, 1985).

Ориентацию делянок длинной стороной проводят с учетом направления, в котором изменяются плодородие почвы и уро-



ти (табл. 3). С уменьшением варьирования плодородия почвы относительные ошибки опыта снижаются и повышается точность опыта, причем увеличение повторности повышает точность опыта при любом варьировании плодородия почвы.

3. Зависимость ошибки опыта ($s_x\%$) от повторности и варьирования плодородия почвы

Коэффициент вариации плодородия (V)	$s_x\%$ при числе повторений				
	2	4	6	8	10
6,44	4,45	3,35	2,54	2,22	2,03
7,82	5,67	4,00	3,22	2,82	2,66
8,55	6,30	4,60	3,83	3,44	2,95
15,1	11,0	7,38	6,69	5,39	5,14
26,5	22,9	14,8	11,9	10,3	9,05

Повторность зависит также от соотношения длины и ширины делянки. Длинные делянки обеспечивают более высокую точность опыта, повторность при этом может быть меньше, чем в опыте с короткими делянками. Например, одинаковую точность гарантируют опыты с таким соотношением сторон: 1:2 — при повторности, равной 6; 1:3 — при 4; 1:5 — при повторности, равной 3. Для квадратных делянок такая же точность опыта может быть достигнута при значении повторности 8. Таким образом, за счет удлиненных делянок повторность в опыте можно уменьшить с 8 до 3—4.

Влияние площади делянок и повторности на точность опыта показано на рисунке 4 (по Ремеру). С увеличением площади опытных делянок с 50 до 250 м² ошибку опыта можно снизить с 8,3 до 5,6 %, а при увеличении повторности с 2 до 10 — с 7,1 до 3,2 %, т. е. более чем в 2,2 раза.

При увеличении размера опытных делянок, числа вариантов и повторности значительно увеличивается площадь под опытом. При этом возрастает варьирование плодородия почвы, что приводит к увеличению ошибки опыта. Оптимальное соотношение между этими и другими элементами опытов можно найти при пла-

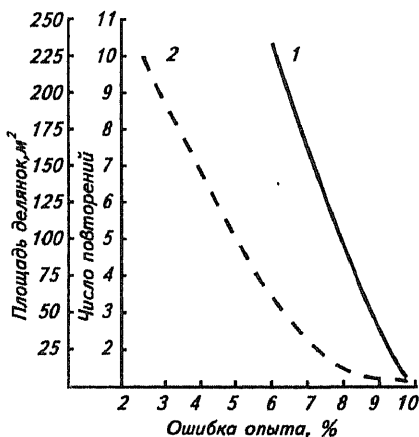


Рис. 4. Зависимость ошибки опыта ($s_x\%$) от площади делянок (1) и повторности (2)

нировании опытов по разработанной для персонального компьютера программе.

В опытах, размещенных методом латинского квадрата, число вариантов ограничивается четырьмя—семью, а повторность, как правило, равна числу вариантов. При размещении опытов методом латинского прямоугольника число вариантов должно быть кратным повторности. Так, в опыте с 12 вариантами может быть 3, 4 или 6 повторностей, а с 15 вариантами — 3 или 5.

В опытах с сортоиспытанием зерновых колосовых, крупяных, зерновых бобовых, кукурузы, масличных культур, конопли, табака, картофеля, луговых трав согласно методике сортоиспытания рекомендуется использовать делянки площадью 50 м^2 при повторности, равной 4—6. Однако эти культуры имеют различную площадь питания и, следовательно, разное число растений на делянке площадью 50 м^2 . Точность средних арифметических и точность опыта у перечисленных культур будет разной. Кроме того, в почвенно-климатических зонах с более выравненным плодородием почвы (например, в степи) можно использовать меньшую повторность, чем в Полесье, где значительная пестрота почвенных условий требует увеличения повторности при одновременном уменьшении площади опытных делянок.

Итак, повторность необходимо оптимизировать в каждом конкретном опыте, для этого существуют определенные методы. Н. Ф. Деревницкий считал, что повторность будет достаточной, если отношение дисперсии (s^2) к квадрату ошибки опыта (s_x^2) будет равно повторности, т. е. $s^2/s_x^2 = n$. Если $s^2/s_x^2 < n$, то повторность считается недостаточной.

При использовании упрощенного метода определения вначале проводят рекогносцировочный посев культуры на зеленую массу, всю площадь делят на делянки такого размера и формы, как и в будущем опыте, затем учитывают урожай. Результаты учета наносят на план, где выделяют блоки с близкой урожайностью на делянках внутри блока. Эти блоки будут повторениями планируемого опыта. Определяют коэффициент варьирования урожая по всему опыту, числовое значение которого используют для расчета оптимальной повторности по формуле

$$n = (V/s_x\%)^2,$$

где V — коэффициент вариации урожая зеленой массы; $s_x\%$ — относительная ошибка опыта, выше которой проведение опыта нежелательно.

Более точно повторность можно оптимизировать по формуле Кохрана-Копса

$$n = 2(V/D)^2(t_1 + t_2)^2,$$

где 2 — постоянный коэффициент; V — коэффициент вариации урожая рекогносцировочного посева; D — разница в урожайности в вариантах будущего опыта,

которую необходимо выявить, %; t_1 — критерий Стьюдента на уровне доверительной вероятности $P_{0,95}$ и при числе степеней свободы рассеивания ошибки (остаточного рассеивания) v_2 ; t_2 — критерий Стьюдента на уровне доверительной вероятности $P_{0,3}$, который рассчитывают по формуле $t_2 = (1 - 0,8)^2 = 0,4$.

В лабораторных опытах, где варьирование условий незначительно, повторность может быть минимальной (2—3).

1.3.6. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

В агрономии проводят в основном полевые опыты, где сильнодействующими на урожай условиями являются климат и погода, особенно атмосферные осадки.

Климат и погода. Количество осадков может меняться не только во времени, т. е. по годам, но и в пространстве. Иногда дождь проходит полосой, захватывая только часть опытного участка, особенно если опыт занимает большую площадь. Изменяются в пространстве температура воздуха и почвы, влажность воздуха. Даже на пологих склонах ($1-2^\circ$) разница между прямой солнечной радиацией, поступающей на южные и северные склоны, весной составляет 30 %, а осенью — 40 %. В средней полосе России южные склоны летом на 10—30 % теплее, чем ровные участки. За период вегетации сумма температур на пологих южных склонах на 120, а на крутых — на 300 °С превышает сумму температур на ровных местах. Продолжительность безморозного периода на южных склонах увеличивается на 30 дней и более. Для соблюдения принципа единственного различия чрезвычайно важно устранить территориальное варьирование условий погоды.

Значительные колебания урожайности сельскохозяйственных культур наблюдаются во времени, т. е. по годам. В качестве примера рассмотрим данные И. М. Карасюк и А. С. Перебитюк (1985) по сахарной свекле (табл. 4). Эти изменения урожайности сахарной свеклы объясняются значительным колебанием погодных условий, в частности количеством атмосферных осадков за период вегетации. В данном случае чем больше осадков, тем выше урожайность.

В пределах вариантов колебание урожайности по годам составило от 15,1 до 24,6 т/га, т. е. намного больше, чем прибавки урожайности от минеральных удобрений.

В определенной степени изменялась по годам также и точность опыта, о чем можно судить по числовому значению относительных ошибок в отдельные годы (от 1,82 до 3,04 %). Еще большие изменения наблюдались в этих же опытах по выходу сахара (табл. 5).

4. Урожайность корнеплодов сахарной свеклы в опытах с удобрениями в разные годы, т/га

Вариант	Год						Средняя урожайность	Прирост урожайности	Разница между минимальной и максимальной урожайностью по годам
	1978	1979	1980	1981	1982	1983			
Навоз — 30 т/га (фон)	45,7	34,4	21,1	39,6	38,8	39,5	36,5	—	24,6
Фон+ +N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	49,5	36,8	29,2	44,8	42,6	46,1	41,5	5,0	20,3
Фон+ +N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	50,2	44,3	32,8	47,3	48,4	48,2	45,2	8,7	17,4
Фон+ +N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	50,2	46,9	35,1	47,4	47,4	50,2	46,2	9,7	15,1
Фон+ +N ₂₄₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	56,9	46,5	32,3	44,1	46,0	48,3	45,7	9,2	24,6
$\bar{x}\%$	2,38	1,82	2,27	2,0	2,31	3,04	—	—	—
Количество атмосферных осадков за вегетацию, мм	561	431	388	346	462	476	—	—	—

5. Выход сахара в разные годы в опытах с удобрениями, т/га

Вариант	Год						Средний выход	Прибавка	Разница между максимальным и минимальным выходом по годам
	1978	1979	1980	1981	1982	1983			
Навоз — 30 т/га (фон)	8,41	6,60	3,37	6,26	5,89	6,99	6,25	—	5,04
Фон+ +N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	9,65	7,14	4,96	7,21	7,15	8,34	7,41	1,16	4,69
Фон+ +N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	9,74	8,50	5,41	7,95	7,64	8,77	8,00	1,75	4,33
Фон+ +N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	10,62	8,95	5,72	7,82	7,15	8,88	8,19	1,94	4,90
Фон+ +N ₂₄₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	10,55	8,74	5,17	7,18	7,24	8,35	7,87	1,62	5,38

Разница между годами по выходу сахара в 2,8 раза превышает разницу между вариантами с удобрениями. Следовательно, содержащиеся в методической литературе рекомендации проводить опыты в течение 3—5 лет для того, чтобы получить объективные данные, — это скорее договоренность исследователей, чем мето-

дическое обоснование важного вопроса. Рассмотренные результаты исследований с удобрением свидетельствуют также о том, что при статистической обработке данные по годам нельзя брать в качестве повторности, ибо разница между ними значительно превышает разницу между средними по вариантам.

С неодинаковыми урожаями разные культуры выносят из почвы неодинаковое количество питательных элементов, что также влияет на варьирование плодородия почвы по годам. На плодородие почвы влияет и количество корневых остатков после уборки урожая разных культур (табл. 6).

6. Изменение урожайности и количества растительных остатков разных культур по годам, т/га (А. Ф. Данилевский, В. Е. Ещенко, 1972)

Культура	1968 г.		1969 г.		1970 г.	
	Урожайность	Остатки	Урожайность	Остатки	Урожайность	Остатки
Ячмень	4,39	2,19	9,47	2,57	7,66	6,22
Горох	3,57	1,62	5,58	3,66	5,95	3,02
Многолет- ные травы	1,80	3,17	3,99	5,74	7,33	7,26

Больше всего корневых остатков у многолетних трав, это один из факторов повышения плодородия почвы. В отдельные годы данный показатель может изменяться в 1,5—2,0 раза. Меньше всего корневых остатков у ячменя и гороха. Это необходимо учитывать при закладке опытов в полях севооборотов после разных предшественников и в разных погодных условиях.

Варьирование плодородия почвы в пространстве. Даже на одном поле после одинакового предшественника в пределах одного опыта с хорошо выравненным плодородием почвы все же наблюдается варьирование урожайности по повторениям (табл. 7).

7. Изменения урожайности сортов озимой пшеницы по повторениям, т/га (В. П. Опрышко, 1991)

Сорт	Повторения				Средняя урожайность	Колебания урожайности по	
	I	II	III	IV		сортам	повторениям
Ахтырчанка	4,16	4,28	4,36	4,44	4,31	—	0,28
Альбатрос	4,05	4,08	4,25	4,36	4,18	0,13	0,31
Спартанка	3,76	3,71	3,82	3,93	3,78	0,53	0,26

В тех случаях, когда разница между урожайностью сортов или между вариантами агротехнического опыта не превышает разницы в урожаях по повторениям, достоверность опытов не всегда доказуема. Для повышения достоверности таких опытов необхо-

димо их планировать и проводить на полях с незначительным варьированием плодородия почвы.

Изменение плодородия почвы в пространстве может быть случайным и закономерным (рис. 5). Для случайного варьирования характерно, что на графике линия, показывающая урожайность, будет почти параллельной оси координат и между урожаями соседних делянок не будет достоверных различий. При закономерном варьировании между урожайностью на соседних делянках различия будут достоверными, а кривая может либо подниматься, либо опускаться по отношению к оси координат. Закономерное и случайное варьирование вместе составляют общее варьирование. Если на систематическое (закономерное) варьирование приходится около 66 %, то его учитывают в процессе планирования опытов. Ошибки, связанные со случайным варьированием, зависят от вероятностных закономерностей. Это свидетельствует о том, что ошибки средних арифметических из нескольких однородных наблюдений (n) уменьшаются обратно пропорционально \sqrt{n} . Таким образом, точность опытов зависит от повышения числа повторностей до оптимального значения. Однако даже при повышенной повторности точность полевых опытов на один порядок ниже, чем лабораторных, из-за значительного варьирования плодородия почвы. Вот почему в полевых опытах иногда выявляют общие тенденции, а не закономерное влияние изучаемых факторов.

Для того чтобы повысить результативность полевых опытов, необходимо учитывать и стремиться если не устранить, то хотя бы снизить основные причины варьирования плодородия почвы:

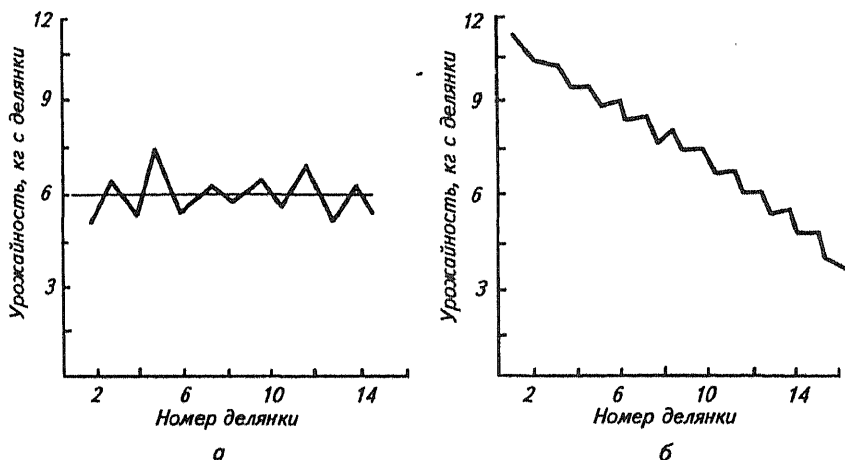


Рис. 5. Случайное (а) и закономерное (б) варьирование урожайности пшеницы в пространстве

неодинаковую влажность на склонах разной крутизны; неравномерное распределение органических и минеральных удобрений в процессе их внесения; неодинаковое изменение физических свойств почвы при местном уплотнении тяжелыми машинами и орудиями; различную засоренность посевов сорными растениями и почвы их семенами; различные подпочвы и уровни залегающих грунтовых вод и т. д. Урожайность опытных культур зависит также от индивидуальных особенностей растений и их семян.

1.3.7. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ОПЫТОВ

Для повышения достоверности опытов необходимо обеспечить минимальное варьирование плодородия почвы и по возможности предотвратить ошибки, которые могут возникать в исследованиях.

Встречаются ошибки, которые не могут компенсироваться повторностью, их нельзя вычленивать из общего варьирования при статистической обработке данных. Предотвратить их можно только при правильной закладке и проведении опыта. Такие ошибки называют *односторонними*, они возникают из-за того, что для части вариантов создаются более благоприятные условия, чем для остальных, т. е. нарушается принцип единственного логического различия в опыте.

Причины односторонних ошибок: различные условия выращивания и подготовки посевного и посадочного материала; нарушения при посеве и посадке культур; неправильная густота насаждения растений; влияние соседних растений и края опыта; нарушения при уходе за опытом и уборкой урожая.

Условия выращивания семян. Семена одного и того же сорта, выращенные в разных районах одной и той же области, обеспечивают неодинаковую урожайность не только в первый год посева, но и в последующие годы. Подобные различия начинают сглаживаться лишь после третьей генерации. Таким образом, семена, используемые для одного и того же опыта, необходимо выращивать в одной и той же почвенно-климатической зоне, области, районе, в одном и том же хозяйстве, на одном поле с хорошо выравненным плодородием почвы и при одинаковой агротехнике. Это правило особенно важно выдерживать в сортоиспытании сельскохозяйственных культур, чтобы избежать односторонних ошибок в опытах. Для сортоопытов необходимо брать семена, выращенные на специальной семенной деланке.

Подготовка семян к посеву. У разных сортов семена имеют разную величину, форму и массу. Если их сортировать при одной и той же настройке сортировальной машины, то процент отхода у разных сортов будет разным, что повлияет на урожай-

ность. Сортирование проводят при разной установке в соответствии с сортом, но на одной и той же машине.

Термическое обеззараживание семян разных сортов надо проводить с таким расчетом, чтобы после данной операции процент всхожих семян у всех сортов был одинаковым, это предотвратит возникновение односторонних ошибок в опыте.

После влажного протравливания все семена необходимо просушить до одинакового состояния, иначе их всхожесть будет различной, что повлияет на точность опыта.

Посев. Много ошибок опыта связано с посевом. Обычно посев проводят поперек делянок и в кратчайший срок. Если же в опыте изучают сроки, глубину посева и нормы высева, то посев проводят вдоль делянок. При большой схеме опыта, когда в нем много вариантов и большая повторность, посев длится 2—3 дня, а если он прерывается из-за погодных условий — то и дольше. Разница в сроках посева может существенно снизить точность опыта. Для предотвращения этих ошибок посев проводят по каждому повторению. Если семена на каком-то повторении будут посеяны позже, то в его пределах варьирование будет минимальным, от чего точность не снизится. Даже когда разница между сроками посева достигает 4—6 ч, то разница в урожайности между вариантами составляет около 0,2 т/га.

В опытах по испытанию сортов бывают случаи, когда посев прерывается дождем на несколько дней. После дождя с возобновлением работ для контроля высевают 3—5 сортов, уже посеянных до дождя.

Причиной снижения точности опыта может быть также различная глубина заделки семян. Перед посевом необходимо тщательно настроить сеялку, проверить ее работу на производственных массивах и только после этого использовать в опыте.

Каждый сорт имеет оптимальную норму высева, рекомендованную научными учреждениями. Ее и нужно применять в опыте. Нарушение этого правила не позволяет раскрыть потенциальные возможности сорта при испытании.

Взаимное влияние растений на соседних делянках. Лучше развитые растения или сорта на одних делянках могут угнетать соседние, хуже развитые. Только по этой причине разница урожайности сахарной свеклы может составить 12 %, озимой пшеницы — 40, овса — 16, кукурузы — 34 %. Для предотвращения этих ошибок в опытах используют защитные полосы.

В сортоиспытании делянки разграничивают одну от другой дорожками. Чем шире эти дорожки (при узких делянках), тем больше может быть ошибка в опытах. Так, если ширина дорожки 40 см, а ширина засеянной делянки 2 м, то $\frac{1}{6}$ часть площади опыта будет незасеянной. В таком опыте за счет большей площади питания крайних рядов урожайность будет завышена. Для

устранения подобных ошибок при изучении сортов необходимо выделять защитные полосы, а между ними оставлять дорожки.

Уход за растениями. Для точности опытов важно не допускать ошибок в процессе проведения операций по уходу за растениями. Так, если при прорывке сахарной свеклы оставлять растения только с двумя листочками, то масса корня будет составлять 226 г, с четырьмя — 580, с шестью — 814 г. Для уменьшения ошибок необходимо оставлять на опытных делянках сильные и средние растения в одинаковом соотношении, а не просто одинаковое число растений. Перенесение работ по уходу за растениями в некоторых вариантах на другой день приводит к изменению урожайности и снижению достоверности опыта. Все агроприемы необходимо выполнять на протяжении нескольких часов и с одинаковым качеством во всех вариантах.

Для того чтобы обеспечить одинаковое качество ручных работ (например, прорывки растений) на всех делянках, работы выполняют поперек делянок, причем каждый работник должен обработать свою часть делянки до конца. При уходе за растениями вдоль рядков работы выполняют одни и те же люди на отдельных повторениях, делянку можно также разделить по длине между работниками.

В разных вариантах урожай может созревать в разные сроки, и убирать его надо по мере созревания. Одновременная уборка при разной спелости продукции — грубая методическая ошибка. Техника уборки должна быть одинаковой во всех вариантах опыта и повторениях. Молотилки или комбайны настраивают так, чтобы зерно каждого сорта полностью вымолачивалось из растений. Если растительная масса влажная, для полного обмолота зерна уменьшают ее подачу в молотильный аппарат, снижая скорость комбайна. При этом регулируют и режим работы веялки.

Рассмотренные методы устранения ошибок опыта не исчерпывают всего их многообразия. Для уменьшения ошибок необходимо заблаговременно, вдумчиво анализировать все условия опыта, принимая во внимание закономерности и требования методики опытного дела.

Одно из таких требований — выделение закономерного и случайного варьирования плодородия почвы. При одинаковом значении коэффициента вариации соотношение этих двух компонентов может быть неодинаковым в посевах разных культур. Наличие закономерного варьирования плодородия почвы приводит к тому, что результаты урожайности рекогносцировочных посевов не всегда соответствуют закону нормального распределения, который служит основой для применения дисперсионного анализа — современного метода статистической обработки результатов исследований. Это противоречие устраняется, если варианты в опытах размещаются методом рендомизации.

1.4. РАЗМЕЩЕНИЕ ВАРИАНТОВ В ОПЫТАХ

1.4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ВАРИАНТОВ

Метод размещения — это чередование вариантов на опытных делянках в зависимости от задач и конкретных условий внешней среды (формы участка, варьирования плодородия почвы, направления склона и др.). Выделяют три основные группы методов: случайные, систематические, стандартные (рис. 6).

При использовании случайного метода (или рендомизации) место вариантов определяют по таблице случайных чисел (табл. 8 приложений) или по жребию. Случайный метод размещения имеет несколько разновидностей: рендомизированные повторения, полная рендомизация, латинский квадрат, латинский прямоугольник, расщепленные делянки, метод смешивания.

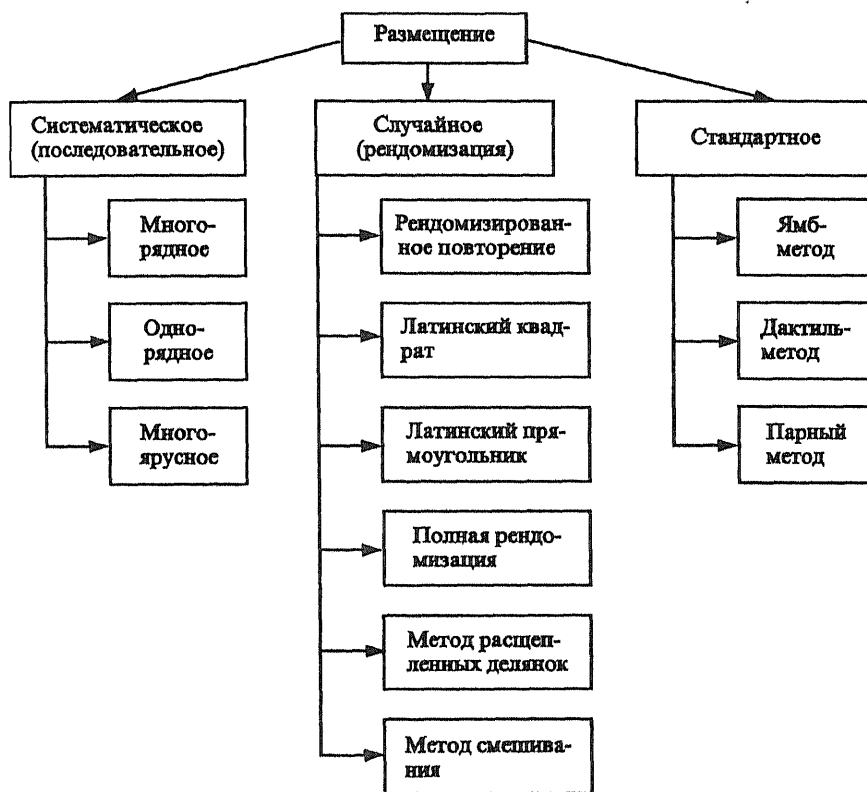


Рис. 6. Классификация методов размещения вариантов в опытах

Систематический метод предполагает размещение вариантов в последовательности, записанной в схеме опыта, поэтому его называют еще последовательным. Его разновидности — многорядное, одно- и многоярусное размещение.

При стандартном методе возле каждого варианта (сорта) размещается контрольный (стандартный) вариант (сорт). Если стандарт размещается через одну делянку, то это ямба-метод, если через две — дактиль-метод. Если опытные делянки делают поперек на маленькие деляночки (парцеллы), то это парный метод П. Н. Константинова.

На опытных участках имеет место случайное и закономерное варьирование плодородия почвы. Если эти изменения не учитывать, то размещаемые варианты окажутся в разных условиях. При этом будет нарушен один из основных принципов опытного дела — принцип единственного логического различия, что обесценит весь опыт.

Рассмотрим результаты опыта при закономерном варьировании урожайности озимой пшеницы на 15 делянках поля без внесения удобрений. Урожайность от 1-й до 15-й делянки возрастала. Если на этой площади заложить опыт с пятью условными вариантами в трех повторениях и варианты разместить систематическим методом (последовательно), то схематический план опыта будет иметь такой вид (рис. 7, а).

Как видно из рисунка, все первые варианты в каждом из трех повторений находятся в худших условиях плодородия почвы, чем последние. Среднее арифметическое первого варианта составляет $(3,64 + 3,78 + 3,91) : 3 = 3,78$ т/га, пятого — 4,00 т/га. Определенные различия есть и в остальных вариантах. Если провести опыт при таком размещении, то все варианты перед началом опыта будут находиться в различных условиях плодородия почвы, что крайне недопустимо. Итак, создалось противоречие между систематическим методом размещения вариантов и закономерным варьированием плодородия почвы. Выход из этого противоречия можно найти в теории вероятностей.

Согласно этой теории каждый из вариантов опыта, размещенный не систематически, а случайно, имеет одинаковые шансы попасть в лучшие, средние или худшие условия опыта. По таблице случайных чисел (табл. 8 приложений), начав наугад с какого-либо столбика и строчки, двигаются в любом направлении и выбирают из двузначных чисел последнюю цифру в пределах числа вариантов — от 1 до 5. Выбранные из таблицы цифры проставляют сначала в I повторении, затем снова чисто случайно выбирают столбик и строчку в таблице случайных чисел и аналогично выписывают числа во II и III повторениях схематического плана. Пример размещения вариантов показан на рисунке 7, б. Можно разместить варианты по пяти жребиям с номерами

I					II					III				
3,64	3,70	3,72	3,69	3,75	3,78	3,83	3,81	3,86	3,94	3,91	4,0	4,23	4,27	4,30
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

a

I					II					III				
3,64	3,70	3,72	3,69	3,75	3,78	3,83	3,81	3,86	3,94	3,91	4,0	4,23	4,27	4,30
5	2	3	1	4	3	4	5	2	1	4	1	3	5	2

б

Рис. 7. Последовательное (а) и случайное — методом рендомизированного повторения (б) размещение пяти вариантов в трех повторениях (I, II, III). Верхний ряд цифр — урожайность озимой пшеницы в опыте, т/га; нижний ряд — номера вариантов

от 1 до 5, которые смешивают и тянут один за другим для каждого повторения отдельно.

При случайном (рендомизированном) размещении вариантов средние арифметические вариантов составляют: первого — 3,88, второго — 3,95, третьего — 3,91, четвертого — 3,83, пятого — 3,91. Средние арифметические всех пяти вариантов имеют близкие значения. Дисперсионный анализ таких данных не выявил между средними достоверной разницы. Следовательно, все варианты на день закладки опыта будут находиться в одинаковых условиях и правило единственного различия будет выдержано. Повысить эффективность случайного метода размещения можно при ориентации делянок длинной стороной вдоль направления варьирования плодородия почвы (рис. 8).

Случайный метод размещения вариантов (метод рендомизации) имеет ряд преимуществ перед систематическим (последовательным) размещением:

исключается субъективный подход к размещению вариантов в опытах, и исследователь получает объективные результаты;

сводится к минимуму влияние закономерного варьирования



Рис. 8. Размещение делянок длинной стороной вдоль направления варьирования плодородия почвы:

I, II, III — повторения

плодородия почвы и других условий выращивания растений. Выдерживается правило единственного логического различия, ибо согласно теории вероятностей рендомизация ставит все варианты опыта в равные условия; рендомизация и дисперсионный анализ, используемый во всех отраслях науки, взаимосвязаны и базируются на теории вероятностей. Размещая варианты рендомизированно, исследователь имеет все основания использовать для обработки результатов дисперсионный анализ. Применение дис-

персионного анализа для обработки результатов опыта, где варианты размещены систематически, — методическая ошибка; рендомизация является основой построения современных схем опытов, особенно многофакторных, которые дают возможность оценить не только действия, но и взаимодействия изучаемых факторов;

при рендомизации можно отказаться от рекогносцировочного посева (например, в производственных условиях, где рекогносцировочные посевы не всегда применяют);

эффективность рендомизации доказана не только логически, но и, главное, математически (Б. А. Доспехов, 1979).

При систематическом методе варианты размещают одинаково во всех повторениях, что позволяет легче их находить. Но это достоинство мнимое, ибо варианты всегда можно определить по схематическому плану опыта.

Каждый метод размещения вариантов должен быть по возможности прост, обеспечивать проведение опыта с минимальными ошибками независимо от вероятных случайностей (порча некоторых растений, их гибель от вредителей и болезней и т. д.), а также гибкость опыта, т. е. возможность введения новых вариантов вместо старых, уже не представляющих интереса. Кроме метода рендомизации, наиболее соответствующего современным требованиям, в некоторых случаях можно пользоваться стандартным методом.

1.4.2. СЛУЧАЙНОЕ (РЕНДОМИЗИРОВАННОЕ) РАЗМЕЩЕНИЕ

Этот метод в течение многих лет используют во всех развитых странах мира, расширяется его применение и в России. Выбор конкретного метода при рендомизированном размещении зависит от условий варьирования плодородия почвы.

Рендомизированные повторения — случайное размещение всех вариантов опыта в пределах отдельных повторений. Метод используется, если в пределах повторения (блока) варьирование плодородия почвы минимальное, а между повторениями (блоками) оно колеблется в большей мере. Если различия между блоками отсутствуют, данный метод малоэффективен. Незначительное варьирование внутри блоков может быть при небольшом числе вариантов и небольшой площади опытных делянок.

На рисунке 9 показано размещение шести вариантов ($l = 6$) в четырех повторениях ($n = 4$) по таблице случайных чисел (табл. 8 приложений). Опытные делянки длинной стороной ориентированы вдоль склона, в направлении которого изменяется и плодородие почвы.

Метод рендомизированных повторений является ортогональным, т. е. в каждом повторении есть полный набор вариантов и каждый из них встречается в повторении лишь один раз. Именно это придает методу наибольшую стойкость и гибкость. Стойкость рендомизированных повторений состоит в том, что этот метод позволяет исключать из опыта отдельные варианты при их выпадении по различным причинам. При этом ортогональность сохраняется, хотя такие выпадения несколько обесценивают опыт. Гибкость метода заключается в возможности вводить новые варианты при необходимости.

Метод рендомизированных латинских квадратов — это размещение вариантов таким образом, чтобы в каждой строчке и в каждом столбике присутствовали все варианты в соответствии со схемой опыта и ни один из них не повторялся (рис. 10).

Метод латинского квадрата целесообразно использовать в таких условиях, когда плодородие почвы изменяется в двух вза-

	I						II					
Склон ↓	5	6	1	4	2	3	1	4	6	2	5	3
	4	3	5	2	6	1	5	4	2	6	3	1
	III						IV					

Рис. 9. Размещение шести вариантов в четырех повторениях методом рендомизированного повторения (блоками) по таблице случайных чисел:

I—IV — повторения; 1—6 — варианты

	Столбцы			
Ряды ↓	2	4	1	3
	1	3	2	4
	4	1	3	2
	3	2	4	1

Рис. 10. Размещение вариантов методом рендомизированного латинского квадрата 4×4

имно перпендикулярных направлениях (например, в одном направлении — вдоль склона, а перпендикулярно — под влиянием лесополосы или грунтовой дороги). При использовании метода латинского квадрата форма опытных делянок должна быть квадратной или близкой к квадрату, число повторностей должно быть равно числу вариантов, число вариантов — от 4 до 8. При меньшем числе вариантов значительно снижается точность опыта из-за уменьшения числа степеней свободы. При числе вариантов более 8 нужно иметь такое же число повторностей, что намного увеличивает общее число делянок в опыте, делает опыт громоздким для учетов и наблюдений. Размещение 4—7 вариантов методом латинского квадрата в различных его вариациях показано на рисунке 11.

Так как ни один из вариантов не повторяется ни в крайних столбиках, ни в крайних рядах, то при соседстве опыта с лесополосами, дорогами, изгородами все варианты опыта находятся в одинаковых условиях.

Иногда в латинском квадрате варианты размещают не случайно, а по определенной системе, со смещением в рядах (рис. 12). Если плодородие почвы во взаимно перпендикулярных направлениях изменяется систематически, то такое изменение может совпасть с систематическим размещением вариантов в латинском квадрате, что приведет к нарушению правила единственного логического различия. Для предотвращения этого варианты необходимо размещать лишь рендомизированно.

Целесообразно использовать латинские квадраты с так называемыми «магическими» свойствами (рис. 13). Их сущность заключается в том, что внутри основного квадрата размещается много других квадратов с полным набором вариантов. Кроме того, здесь имеется полный набор вариантов с тремя рядами и двумя столбиками — 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6. Такие «магические» квадраты можно использовать при необходимости изучения взаимодействия определенных единиц опыта. Там, где систематического варьирования плодородия почвы нет, можно использовать все разновидности метода латинского квадрата.

Р е н д о м и з и р о в а н н ы й л а т и н с к и й п р я м о у г о л ь н и к — случайное размещение всех вариантов в пределах каждого ряда и каждого отдельного блока (рис. 14).

Этот метод эффективен в том случае, если плодородие почвы изменяется не только в двух взаимно перпендикулярных направлениях, но и по диагонали. Условия метода латинского прямоугольника: число вариантов должно быть кратным числу повторностей, т. е. при 9 вариантах в опыте может быть 3 повторности, при 12 — 3 и 4, при 15 — 3 и 5; повторения организуются и по рядам, и по блокам, в пределах которых должен быть полный набор вариантов. Размещение 15, 16, 18 и 20 вариантов методом латинского прямоугольника показано на рисунке 15. При варьи-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Рис. 11. Размещение разного числа вариантов методом латинского квадрата

ровании плодородия почвы в трех направлениях этот метод позволяет лучше всего контролировать пестроту плодородия почвы опытного участка.

П о л н а я р е н д о м и з а ц и я — рендомизированное размещение всех вариантов опыта без предварительного выделения повторений. Метод используют в тех случаях, когда индивидуальное варьирование растений превышает варьирование плодородия почвы (это характерно для многолетних растений, особен-

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

Рис. 12. Размещение вариантов методом латинского квадрата 4 × 4 с помощью последовательной системы

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

Рис. 13. Латинский квадрат 6 × 6 с «магическими» свойствами

I	4	9	11	1	7	2	8	12	10	6	3	5
II	1	5	2	6	10	12	4	3	7	11	9	8
III	12	6	8	3	4	9	1	5	11	2	7	10
IV	3	7	10	5	8	11	9	2	6	4	1	12
	I	II		III		IV						
	Блоки (столбцы)											

Рис. 14. Размещение 12 вариантов в четырех повторениях методом рандомизированного латинского прямоугольника

но древесных); когда число вариантов и повторностей в опыте невелико (3—4); когда размеры опытных делянок и площадь под опытом небольшие и варьирование плодородия почвы незначительное (рис. 16). Техника рандомизированного размещения вариантов в этом опыте такова. Подготовлено 12 жребиев (маленьких карточек из бумаги), — по числу делянок в опыте. На четырех карточках пишут цифру 1, на следующих четырех — 2 и еще на четырех — 3. Жребии смешивают и вытягивают один за другим, ставя на схематическом плане соответствующую цифру. При этом не в каждом из четырех столбцов (мнимых, не организованных повторений) есть все три варианта; если какой-то вариант в каком-то столбике отсутствует, то в другом он повторяется.

Преимущества метода полной рандомизации: критерий Фишера приобретает наибольшее значение по сравнению с другими методами, а это повышает статистическую достоверность опыта; варьирование между делянками одноименных вариантов определяется очень просто — вычислением стандартной ошибки; мак-

симально увеличивается число степеней свободы для остаточного рассеивания, что способствует повышению точности опыта.

Например, при размещении опыта методом полной рандомизации с тремя вариантами и в четырех повторениях число степеней свободы для ошибки (v_z) составит: $v_z = nI - k - 4 \cdot 3 - 3 = 9$. При использовании метода рандомизированных повторений число степеней свободы будет меньшим и составит: $v_z = (n - 1)(I - 1) = (4 - 1)(3 - 1) = 6$. В результате точность опыта с размещением вариантов методом полной рандомизации будет более высокой.

Метод рандомизированных расщепленных делянок — это размещение вариантов фактора первого порядка на основных делянках, а факторов второго и последующих порядков — на субделянках, на которые расщепляют основные делянки. Этот метод применяют в следующих случаях: в много-

		I					II					III														
a	I	3	13	12	14	11	2	1	5	15	6	7	9	4	10	8										
	II	9	10	4	8	7	13	14	3	12	11	5	6	1	15	2										
	III	1	5	6	15	2	8	7	4	9	10	14	12	3	13	11										
б		I					II					III					IV									
	I	7	9	12	3	15	16	1	6	2	4	14	13	11	8	5	10									
	II	8	6	5	14	11	2	4	7	12	3	1	10	9	16	13	15									
	III	2	11	10	4	5	13	9	8	6	15	16	7	3	14	12	1									
IV	15	1	16	13	3	10	12	14	11	8	5	9	2	7	4	6										
в		I					II					III														
	I	12	2	9	5	8	7	6	13	3	15	10	1	14	17	4	11	16	18							
	II	4	14	15	18	3	10	17	8	16	12	2	11	6	9	1	5	7	13							
III	13	1	17	16	11	6	5	14	7	4	9	18	8	3	10	2	12	15								
г		I					II					III					IV					V				
	I	10	2	1	14	9	20	3	15	13	5	8	19	16	4	18	11	7	6	17	12					
	II	3	20	15	9	8	19	13	5	17	7	12	6	2	1	14	10	11	16	18	4					
	III	13	5	19	8	16	4	11	18	20	9	15	3	12	6	7	17	14	2	10	1					
	IV	4	11	16	18	6	12	17	7	14	1	2	10	15	20	9	8	13	19	3	5					
V	6	12	7	17	2	1	14	10	18	11	4	16	19	8	13	5	20	15	9	8						

Рис. 15. Размещение вариантов методом латинского прямоугольника: а — 15 вариантов; б — 16; в — 18; г — 20 вариантов; I—V — повторения

рядка — сорта; второго — способы обработки почвы; третьего — удобрения или пестициды.

В агротехнических опытах в качестве факторов первого порядка целесообразно выбирать те, которые в системе агромероприятий выполняются первыми. Размещение трехфакторного опыта методом расщепленных делянок показано на рисунке 18. Аналогично размещают варианты и в остальных повторениях. Для введения новых вариантов расщепляют делянки предыдущих порядков. Но для этого необходимо, чтобы делянки первых порядков были достаточно большими.

Многофакторные опыты можно размещать не только методом расщепленных делянок, но и методом рендомизированных повторений, однако так, чтобы в пределах каждого повторения присутствовали все варианты в соответствии со схемой опыта.

Метод смешивания особенно эффективен в многофакторных опытах. Из рисунков 17 и 18 видно, что субделянки второго фактора (*B*) встречаются чаще, чем делянки первого фактора (*A*), а субделянки третьего фактора (*C*) — чаще предшествующих. Таким образом, каждый фактор последующего порядка контролируется в опыте значительно лучше предшествующего. Иногда, выходя из задач опыта, желательно лучше проверить влияние факторов первого порядка, уделив меньше внимания факторам второго и третьего порядков, т. е. их взаимодействию. Для этого варианты повторений выделяют в отдельные блоки, что нарушает первичный порядок размещения вариантов, которые как будто смешиваются. Такое размещение вариантов называют методом смешивания.

При методе смешивания все варианты многофакторного опыта делят на несколько равноценных групп так, чтобы разницу между этими группами составляли взаимодействия высшего порядка, которые меньше интересуют исследователя, чем факторы низшего порядка. Но при этом теряется информация о взаимодействии факторов высших порядков (недостаток метода смешивания).

Однако метод смешивания имеет и весьма важное преимущество. С увеличением числа вариантов в многофакторных опытах значительно расширяется используемая земельная площадь, варианты могут оказаться в неодинаковых условиях и принцип единственного различия нарушается. Для предотвращения этого в методе смешивания варианты всего опыта делят на несколько групп, равноценных по дозам изучаемых факторов. На площади каждого повторения выделяют блоки с одинаковыми условиями и в каждом из этих блоков размещают выделенные группы вариантов.

В пределах блока каждую группу вариантов размещают рендомизированно. На рисунке 19 показано размещение трехфактор-

ного опыта с двумя градациями, который включает 8 вариантов с удобрениями: без удобрений (0) N, P, K, NP, NK, PK, NPK. Факторами здесь являются азотные, фосфорные и калийные удобрения, которые изучают в двух градациях — 0 и 1.

Закодируем варианты в схеме такими числами:

1 вариант	000	5 вариант	110
2 »	100	6 »	101
3 »	010	7 »	011
4 »	001	8 »	111

Из этих восьми вариантов можно выделить по алгоритму Ф. Ейтса две группы вариантов, равноценных по сумме градаций каждого фактора: первая группа — варианты 1, 5, 6, 7; вторая — варианты 2, 3, 4, 8.

При правильной группировке сумма градаций каждого фактора для всех блоков должна быть одинаковой. Так, в первом блоке первого повторения сумма первых цифр в кодах составляет $0 + 1 + 1 + 0 = 2$; сумма вторых цифр — $0 + 1 + 0 + 1 = 2$ и третьих — $1 + 1 + 0 + 0 = 2$. Аналогичная закономерность наблюдается и во втором блоке первого повторения, а также в других блоках остальных повторений. Правильность группировки вариантов в блоках проверяют также по сумме квадратов каждого кода в блоках, которая должна быть одинаковой. Например, для первого блока в первом повторении она составляет $001^2 + 111^2 + 100^2 + 010^2 = 22422$. Такая же сумма получается и для всех остальных блоков. Это свидетельствует о равноценности вариантов по сумме градаций. А поскольку каждая группа вариантов равноценна, то разницу в условиях выращивания растений можно вычлениить с помощью дисперсионного анализа.

Метод смешивания особенно эффективен при увеличении числа градаций, когда необходимо использовать много вариантов. Например, в трехфакторном опыте с тремя градациями вариантов, каждый из которых имеет свой код:

1 вариант	000	10 вариант	001	19 вариант	002
2 »	100	11 »	101	20 »	102
3 »	200	12 »	201	21 »	202
4 »	010	13 »	011	22 »	012
5 »	110	14 »	111	23 »	112
6 »	210	15 »	211	24 »	212
7 »	020	16 »	021	25 »	022
8 »	120	17 »	121	26 »	122
9 »	220	18 »	221	27 »	222

		1	2	3	4			
I	001	111	011	101	000	110	100	010
	100	010	000	110	011	101	111	001
II	101	000	111	100	010	100	011	101
	110	011	001	010	001	111	110	000
		5	6	7	8			

Рис. 19. Размещение вариантов трехфакторного опыта с двумя градациями (пояснения в тексте)

1	000	102	201	011	110	212	022	121	220
2	001	100	202	012	111	210	020	122	221
3	002	101	200	010	112	211	021	120	222

Рис. 20. Размещение 27 вариантов трехфакторного опыта в трех блоках на примере одного повторения

Целесообразно выделить три группы вариантов, размещение которых для одного повторения показано на рисунке 20. В блоках сумма градаций каждого фактора равна 9. Например, для фактора *A* в первом блоке (первые цифры кода) имеем $0 + 1 + 2 + 0 + 1 + 2 + 0 + 1 + 2 = 9$. Такой же результат получаем для факторов *B* и *C*, а также для второго и третьего блоков. Сумма квадратов каждого блока одна и та же — 171 495. В этом опыте группы вариантов равноценны, что позволяет разместить их с соблюдением правила единственного логического различия.

Субделянками многофакторных опытов могут быть повторные урожаи культур, дающих несколько укусов, — люцерны, клевера. Аналогично можно выделить субделянки при повторных отборах образцов для анализа растений и почвы.

1.4.3. СТАНДАРТНОЕ И СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ

Стандартный метод. Рядом с каждым опытным вариантом размещают контроль (стандарт). Метод весьма эффективен в тех случаях, когда плодородие почвы значительно варьирует, что характерно для дерново-подзолистых, солонцовых и других почв. Например, в опыте 5 вариантов под номерами 1, 2, 3, 4, 5. Первый из них является контролем (стандартом). Разместим рандомизированно рядом с вариантами 2, 3, 4, 5 агротехнического опыта контроль, или стандарт, в каждом из трех повторений (рис. 21).

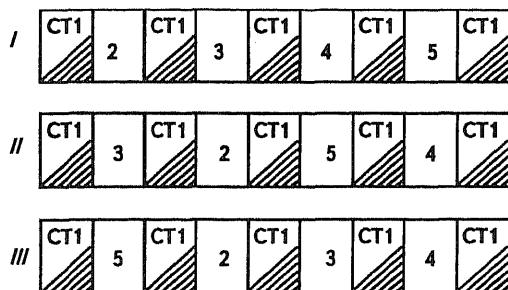


Рис. 21. Размещение вариантов ямб-методом:
2-5 — опытные варианты; СТ1 — стандарт; I-III — повторения

Такое размещение, когда стандарт расположен через один вариант (сорт), называют *ямб-методом*. При этом стандарт занимает половину опытного участка при ограниченной площади — это один из недостатков ямб-метода. Для сокращения площади под стандартными вариантами используют *дактиль-метод*, в котором стандарт размещают через две делянки и стандарт занимает третью часть площади опыта (рис. 22). В ямб-методе и в дактиль-методе варианты или сорта размещают рендомизированно, опыт должен начинаться стандартом и им же заканчиваться. При очень сильном варьировании плодородия почвы можно использовать парный метод Константинова, когда все делянки — стандарта и изучаемых сортов — делят поперек на парцеллы, т. е. маленькие деляночки. Если на какой-либо парцелле стандарта урожайность очень сильно отличается от остальных, то ее исключают вместе с соседней парцеллой изучаемого сорта. Использование стандартного метода основано на том, что между урожаями вариантов и стандартов на соседних делянках должна быть прямая корреляционная зависимость. При ее отсутствии стандартный метод неэффективен, однако такое встречается очень редко.

Систематический (последовательный) метод. При систематическом методе варианты размещаются в последовательности, указанной в схеме опыта, или же по другой системе, но во всех

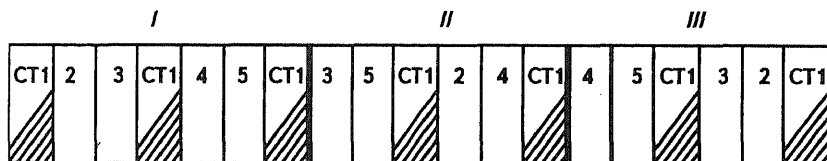


Рис. 22. Размещение вариантов дактиль-методом (обозначения те же, что на рис. 21)

I					II					
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	a
2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	
III					IV					

1	2	3	4	5	6	7	8	I
8	7	6	5	4	3	2	1	II б
1	2	3	4	5	6	7	8	III

Рис. 23. Размещение вариантов систематическим методом:

a — двухъярусное ступенчатое в четырех повторениях; б — многоярусное взаимнообратное в трех повторениях; I—IV — повторения

повторениях одинаково (рис. 23). Этот метод может быть эффективным, если нет закономерного (систематического) изменения плодородия почвы. Однако, как показал Б. А. Доспехов (1985), виды варьирования изменяются во времени и в пространстве, случайное варьирование в один год может смениться закономерным в последующий год. Для предотвращения ошибок опыта, связанных с размещением вариантов, и обеспечения надлежащей точности необходимо пользоваться методами, которые позволяют провести опыт без нарушения основных требований методики опытного дела.

1.5. ВЫБОР И ПОДГОТОВКА ЗЕМЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ДЛЯ ОПЫТОВ

Перед выбором участка для опыта рассчитывают, какая требуется площадь. В соответствии с задачами и видом опыта определяют число вариантов, размер и форму опытных делянок, повторность. Например, в опыте 6 вариантов, 4 повторения, площадь опытной делянки 100 м^2 (4×25). Общее число делянок в опыте составит $6 \cdot 4 = 24$, а площадь опыта $100 \cdot 24 = 2400 \text{ м}^2$. С учетом защиток и дорог эту площадь удваивают и выбирают соответствующий участок.

При выборе участка проводят почвенно-биологическое обследование, изучают историю поля, его растительный покров, рельеф, микрорельеф. В соответствии с опытной культурой подбирают пригодные для нее и типичные для местности условия: почвы, подпочвы, уровень грунтовых вод. На выбранной площади проводят уравнильные и рекогносцировочные посевы.

1.5.1. ПОЧВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ

При выборе площади для опыта исходят из программы исследований, комплекса природных условий и биологических требований растения. Рельеф, крутизна склона, его экспозиция, почва, подпочва и уровень грунтовых вод должны быть идентичными тем условиям, в которых выращивают опытную культуру в конкретной почвенно-климатической зоне, области, районе. В опыте необходимо соблюдать производственную типичность, ориентируясь на лучшие хозяйства с передовой агротехникой.

Для определенных культур подбирают соответствующие предшественники. Особое внимание при выборе площади для опыта уделяют однородности почвы, склона. Опыт можно размещать и на разных почвах и склонах в тех случаях, когда почвы или склоны являются объектами исследований.

Рельеф опытного участка должен быть выровненным, а крутизна склонов и их экспозиции — типичными для зоны, в которой планируется проведение опыта. Склоны должны быть равномерными и однородными, на участке не должно быть «блюдец» и впадин. На всей площади проводят нивелирование: в опытных учреждениях — с горизонталями через 0,2 м, а в производстве — через 1 м.

Перед закладкой стационарных опытов осуществляют детальные обследования площади для того, чтобы дать всестороннюю характеристику почвы, подпочвы, грунтовых вод и др. Для изучения профиля почвы делают почвенные разрезы на глубину 1,5—2,0 м по диагонали поля, крайние — за пределами опытного участка, а средний — на местах будущих дорог или защитных полос. Между почвенными разрезами делают еще прикопки на глубину 40—60 см и составляют почвенную карту масштабом 1:5000. Из каждого разреза и прикопки отбирают образцы почвы для физического и химического анализов.

Детальное обследование почвы необходимо для того, чтобы более объективно выделить повторения будущего опыта и правильно выбрать соответствующий метод размещения вариантов. Заболоченные почвы в Полесье и засоленные в степи исключают из опыта, если только они не являются объектом исследований.

История полей. В период обследования участка детально описывают историю поля. Определяют, где и какие культуры выра-

щивались в предшествующие годы, после каких предшественников и предпредшественников. Желательно знать историю поля за 2—3 года до закладки опыта, а еще лучше — за всю ротацию севооборота.

Особенно внимательно нужно выявлять факторы, сильно влияющие на плодородие почвы: известкование в высоких дозах; внесение фосфоритной муки или других минеральных и органических удобрений в больших дозах или систематическое их внесение в течение нескольких лет; длительное выращивание многолетних трав. Последствие многих из перечисленных факторов продолжается 2—3 года, в случае с известкованием почвы — до 10 лет. Если плодородие сильно колеблется и закладку опыта нельзя отложить на несколько лет, чтобы его выравнять, то участок надо браковать. При изучении истории полей обращают внимание также на степень окультуренности почвы — глубину пахотного слоя, уровень плодородия почвы, рН почвенного раствора, наличие семян сорняков и т. д. Сильная засоренность, в частности такими злостными сорняками, как корнеотпрысковые и корневищные, свидетельствует о низкой культуре земледелия. Без предварительного уничтожения сорняков закладывать опыт на такой площади нельзя.

Из *книги истории полей* узнают, где, когда и в каких дозах вносили удобрения, в частности органические. Дозы удобрений, их формы, глубина, сроки и способы внесения в предшествующие годы должны быть одинаковыми на всей площади будущего опыта. Одинаковой должна быть и обработка почвы на поле.

Места, где раньше были размещены какие-либо строения, летние стоянки скота, стога соломы, кучи навоза, грунтовые дороги длительного пользования, глубокие каналы и ямы (хотя они и зарыты), исключают из площади будущего опыта.

Растительный покров. Высокая урожайность культур в предшествующие опыту годы свидетельствует о плодородии почвы, ее окультуренности и пригодности для опыта. При изучении растительного покрова особое внимание обращают на наличие растений-индикаторов. Хвоц полевой, щавель свидетельствуют о кислотности почвы, солянковая растительность указывает на засоленность, произрастание белоуса и лишайников говорит о сильном обеднении почвы питательными веществами, наличие на поле щучки, камыша означает заболоченность местности.

Намеченный для опыта участок изучают сначала по материалам прежних почвенных исследований и по агрохозяйственной карте (они должны быть в каждом хозяйстве), затем приступают к изучению рельефа, микрорельефа и почвы непосредственно в поле.

Рельеф и микрорельеф. Рельеф участка должен быть типичным для района исследований и способствовать защите опытных

растений от действий сильных ветров и суховеев, направления которых берут во внимание при создании лесозащитных полос.

Экспозиция склона влияет на рост и урожайность опытных растений, продолжительность безморозного периода на южных склонах может увеличиться на 30 дней. Для обеспечения одинаковых условий в пределах одного и того же опыта участок должен иметь одинаковую экспозицию и рельеф.

Даже на небольших склонах необходимо предусмотреть и организовать противоэрозионные мероприятия с тем, чтобы избежать потерь верхнего плодородного слоя почвы, чтобы опытные делянки не заливали талые воды или ливневые дожди. Особое внимание уделяют этому в опытах с удобрениями, чтобы удобрения не переносились на другие делянки с атмосферными осадками или при орошении.

Так как на результаты опыта может влиять не только рельеф, но и микрорельеф (бугорки, «блюдца», канавки, ровики), площадь будущего опыта необходимо тщательно выровнять.

Расстояние опытного участка от элементов местности. Площадь для опыта выбирают на расстоянии не менее 50—70 м от леса, а от лесополос — не ближе 1,5—2-кратной их высоты во взрослом состоянии. Это необходимо для того, чтобы устранить отрицательное влияние леса или лесополос на исследуемые растения. Опытный участок располагают на расстоянии не менее 15—20 м от сплошных изгородей, чтобы не нарушать воздухообмен и не затенять опытные растения. На таком же расстоянии должны быть грунтовые дороги, чтобы пыль не попадала на опытные делянки. Опыт закладывают подальше от магистральных дорог во избежание вредного влияния выхлопных газов. Нецелесообразно выбирать опытные участки вблизи населенных пунктов, где домашние животные могут стравливать посевы. Кроме того, через опытные посевы жители населенных пунктов иногда протаптывают дорожки. Для предотвращения этого опытный участок надо огородить металлической сеткой.

1.5.2. ВЫБОР ПОЧВ для ОСНОВНЫХ ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР

Как правило, опыты нужно проводить на тех почвах, на которых в широких масштабах выращивают ту или иную культуру в определенной почвенно-климатической зоне.

Для пшеницы подбирают наиболее плодородные почвы с благоприятными физическими и химическими свойствами. Реакция почвенного раствора должна быть близкой к нейтральной (рН 6,0—7,5). Такие свойства имеют черноземы и темно-каштановые почвы, в Нечерноземной зоне лучшие — слабоподзоленные, среднесуглинистые и серые лесные. Пониженные и заболоченные места для пшеницы не подходят.

Сахарная свекла очень требовательна к плодородию почв. Лучше всего выращивать ее на структурных черноземах, богатых органическим веществом (черноземы глубокие, малогумусные, оподзоленные). По гранулометрическому составу предпочтительны суглинки, реакция почвенного раствора нейтральная или слабोकислая (рН 6,5—7,5). Сахарную свеклу можно выращивать не только на черноземах, но и на темно-серых оподзоленных почвах. Для свеклы плохо подходят серые и светло-серые оподзоленные и солонцеватые почвы, однако если эти почвы распространены в зоне свеклосеяния, то опыты закладывают на них.

Кукурузу можно выращивать на большинстве почв, пригодных для полевых культур. Но лучше всего она растет на почвах с глубоким гумусовым горизонтом и высокой влагоемкостью — черноземных, темно-каштановых и темно-серых легкосуглинистых, супесчаных и пойменных почвах с рН 5,5—7,0. Высокие урожаи можно вырастить и на дерново-подзолистых, осушенных торфяно-болотных почвах Нечерноземной зоны. Не пригодны для кукурузы почвы, склонные к заболачиванию, сильно засоленные и с повышенной кислотностью (рН менее 5).

Для подсолнечника подбирают выщелоченные, мощные и обыкновенные черноземы, а также каштановые почвы, непригодны тяжелые глинистые, песчаные, кислые и сильно засоленные почвы. Наиболее благоприятный интервал рН 6,0—6,8.

Картофель предпочитает почвы с высокой воздухопроницаемостью — супесчаные, суглинистые черноземы, хорошо окультуренные дерново-подзолистые и серые лесные почвы, окультуренные торфяники, а также легкие песчаные почвы с внесением органических удобрений. Наиболее благоприятное значение рН 5—6. Мало пригодны для картофеля тяжелые глинистые почвы, особенно с близким залеганием грунтовых вод.

Для гороха — культуры, требовательной к почве, — подбирают средние по гранулометрическому составу суглинистые и супесчаные плодородные почвы с нейтральной реакцией (рН 6—7). Мало пригодны для гороха чрезмерно уплотненные глинистые, кислые и переувлажненные почвы.

Гречиху целесообразно выращивать на черноземах, удобренных оподзоленных почвах с повышенной аэрацией, влагоемких, но не заболоченных. Реакция почвенного раствора должна быть слабोकислой или нейтральной (рН 5,0—7,5). Не пригодны для гречихи очень кислые почвы с рН менее 5 и переувлажненные пониженные участки.

Просо хорошо удается на плодородных структурных почвах с большим запасом питательных веществ — черноземах и каштановых почвах (рН 6,5—7,5). Почвы с повышенной кислотностью для проса не пригодны.

Для риса лучше всего подходят наносные почвы речных

долин, связные, тяжелые, глинистые, хорошо удерживающие воду, с высоким содержанием органического вещества. Не пригодны для возделывания риса сильно заболоченные, а также легкие песчаные почвы. Оптимальная реакция почвенного раствора слабокислая (рН 5,0—6,6), но рис мирится и с более кислой реакцией, так как после затопления активная кислотность почвы падает.

Лен-долгунец предпочитает хорошо окультуренные среднесуглинистые почвы с незначительным оподзоливанием. Тяжелые и легкие почвы (супесчаные и песчаные) для льна малопригодны. Если лен выращивают на дерново-подзолистых почвах, их необходимо известковать. Когда опыт закладывают в севообороте, то лен размещают на поле с наиболее типичной для зоны почвой. Оптимальная реакция почвенного раствора слабокислая (рН 5,9—6,5).

К о н о п л я дает высокие урожаи на черноземных почвах речных долин, осушенных торфяниках, темно-серых и светло-серых хорошо удобренных лесных почвах. Оптимальная реакция почвенного раствора близкая к нейтральной (рН 7,1—7,4).

Д л я х л о п ч а т н и к а основные типы почв — сероземы, сероземно-луговые и лугово-болотные почвы Средней Азии и Закавказья. Малопригодны для этой культуры почвы с близким уровнем грунтовых вод и с повышенной кислотностью.

1.5.3. ПОДГОТОВКА ЗЕМЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ДЛЯ ОПЫТА

Как бы тщательно ни подбирали однородный участок для опыта, все же в разных местах этой площади плодородие будет неодинаковым. Выравнивание плодородия — первоочередная задача при подготовке земельной площади для опыта. После выравнивания плодородия почву окультурируют на необходимую глубину. Если опыт планируется проводить в севообороте, то вводят необходимый севооборот или отдельные севооборотные звенья с определенными фонами удобрений.

Для выравнивания плодородия и окультурирования почвы на необходимую глубину используют *уравнительный посев*, т. е. посев одной культуры, одного сорта, выравненными семенами при одинаковой агротехнике на всей площади будущего опыта. Уравнительные посевы проводят 2—3 года, посевная культура каждый год меняется в соответствии с требованиями севооборота. Уравнительный посев действует на почву следующим образом. На участках, где плодородие почвы выше, урожай будет высоким и из почвы будет вынесено больше питательных веществ. А там, где плодородие почвы ниже, из почвы будет вынесено с урожаем меньше питательных веществ. Таким образом в течение 2—3 лет плодородие почвы почти полностью выравнивается.

Для уравнительного посева используют культуры, высеваемые сплошным способом, — овес, вико-овсяную смесь, ячмень. Каждый год их меняют. Урожай целесообразнее убирать не на зерно, а на зеленую массу. В этом случае посеvy лучше очищаются от сорной растительности, кроме того, зерновые на зеленую массу — хороший предшественник для опытной культуры. Если пестрота плодородия почвы обусловлена различной подпочвой, разным уровнем грунтовых вод и т. п., то ее нельзя устранить уравнительным посевом, такой участок надо забрывать.

Плодородие почвы можно выравнивать равномерным внесением тех питательных элементов, которые находятся в почве в минимуме для опытной культуры. Варьирование плодородия почвы можно снизить, если все элементы агротехники уравнительных посевов проводить одинаково на всей площади будущего опыта. Особое внимание обращают на выполнение одинаковых мер борьбы с вредителями, болезнями и сорными растениями на всей площади уравнительного посева.

Кроме обычной подготовки площади проводят еще специальную в опытах с орошением, осушением, а также на участках после раскорчевки кустарников. За 2—3 года до проведения опытов с орошением для выравнивания плодородия почвы всю площадь поливают умеренными нормами, предварительно выровняв поверхность. Такая подготовка должна обеспечить равномерность орошения и регулировку подачи воды на опытные делянки в зависимости от вариантов опыта.

В зонах чрезмерного увлажнения почвы осушение участка проводят одним и тем же способом на всей площади. Метод осушения зависит от размеров и формы опытных делянок, формы повторений и всего опыта. После осушения на всех опытных делянках условия увлажнения должны быть одинаковыми. Для этого дренажи, открытые канавы должны быть расположены перпендикулярно длинным сторонам опытных делянок сбоку от них.

Площади после раскорчевки очищают от кустарников и деревьев, вычесывают корни, выравнивают поверхность почвы, засыпают ямы. В первые годы проводят частую глубокую вспашку и выбирают при этом остатки растений. После такой специальной подготовки на всей площади опыта проводят уравнительные посеvy. После последнего посева иногда можно глазомерно оценить варьирование плодородия почвы и выделить будущие повторения опытов, т. е. обойтись без рекогносцировочного посева. Глазомерное выделение повторений целесообразно в производственных условиях.

1.5.4. РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫЕ ПОСЕВЫ

Рекогносцировочные (разведывательные) посевы используют для детального выявления варьирования плодородия почвы на всей площади будущего опыта. Для этого высевают одну культуру семенами одного сорта, репродукции и класса в условиях одинаковой агротехники перед закладкой опыта. Цель этого посева — выявление варьирования плодородия почвы при помощи дробного учета урожайности на отдельных деляночках. Как правило, рекогносцировочные посевы применяют в научных учреждениях и вузах перед закладкой стационарных опытов. Для рекогносцировочного посева весьма важны выбор растений, уход, подготовка к уборке и уборка урожая, составление плана рекогносцировочного посева.

Подбор растений. Чаще всего используют яровые культуры сплошного сева — ячмень, овес, вико-овсяную смесь. Озимые не следует использовать, так как причинами изменения их урожайности могут быть не только плодородие почвы, но и вымерзание, вымокание, выпревание, повреждение посевов грызунами и др.

Пропашные культуры, в частности картофель или корнеплоды, используют редко. Они менее пригодны для рекогносцировочных посевов, так как их урожайность (например, сахарной свеклы) может колебаться под влиянием не только плодородия почвы, но и качества прорывки, междурядной обработки, при которой некоторые растения могут повреждаться рабочими органами агрегата. Кроме того, в результате повреждения свеклы или картофеля их урожайность может сильно изменяться в отдельных местах посева.

Из яровых культур целесообразно выращивать те, которые являются хорошими предшественниками для большей части культур севооборота, например вико-овсяную смесь на зеленый корм. Ее рано убирают, что благоприятствует своевременному внесению удобрений и качественной обработке почвы под опытную культуру. Перед проведением рекогносцировочного посева на всей его площади в предыдущие годы должны быть одинаковые предшественник, предпредшественник и равномерный агрофон.

Проведение агротехнических работ. Каждую агротехническую операцию проводят за один день, еще лучше — за несколько часов и с одинаково высоким качеством. Вспашку, предпосевную, послепосевную и послевсходовую обработки, уход за растениями проводят на всей площади одинаково. Борьбу с вредителями, болезнями и сорняками на всей площади осуществляют одними и теми же препаратами в одинаковых дозах с применением одинаковой техники. Все делается для того, чтобы факторы, которые не будут изучаться в опыте, не влияли отрицательно на урожайность рекогносцировочного посева.

Подготовка к уборке урожая и его учет. Перед уборкой урожая весь рекогносцировочный посев делят на деляночки, площадь которых должна быть в 2—4 раза меньше, чем площадь опытных делянок планируемого опыта, или же быть равной им. Форма деляночек этого посева должна быть удлиненной с соотношением ширины к длине 1:10 и ориентирована вдоль склона. Ширина деляночки зависит от ширины захвата уборочного агрегата. Для ориентации механизаторов границы деляночек фиксируют вешками, колышками. На посевах злаковых культур деляночки целесообразно выделять бороздками еще до выхода растений в трубку, ибо выделение деляночек перед уборкой по шнуру затрудняет работу и снижает точность. Ширина бороздок, которые образуют тяпкой, может составлять 10—20 см.

Урожай убирают малогабаритными машинами, когда сойдет роса. Для уборки вико-овсяной смеси лучше всего подходят специальные комбайны, оборудованные весами. При отсутствии комбайнов используют жатки. Поскольку влажность зеленой массы изменяется на протяжении дня, то через каждые 2 ч работы с деляночек отбирают 2—3 пробных снопика, которые взве-

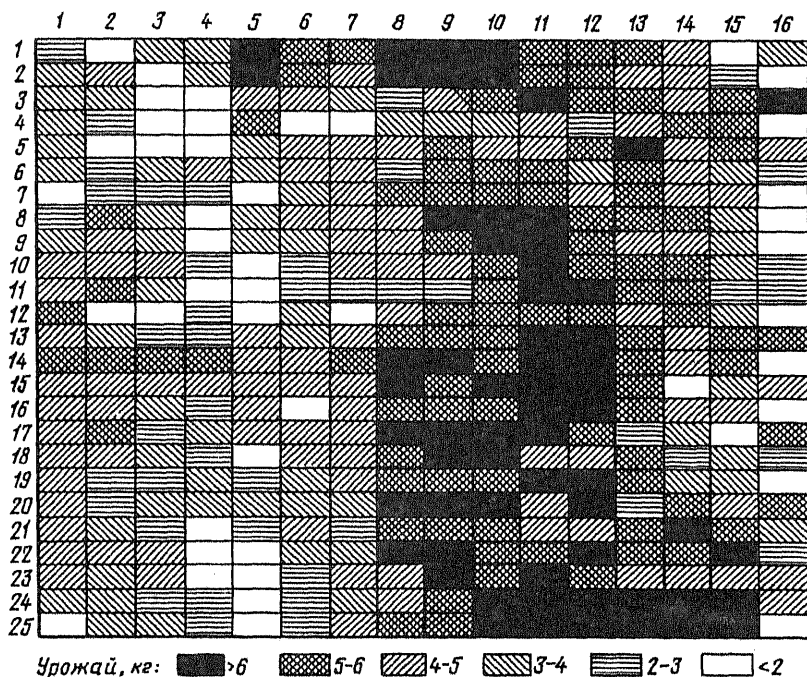


Рис. 24. План рекогносцировочного посева (по М. Ф. Деревинскому). Цифрами обозначены ряды и столбик

шивают, навешивают на них этикетки с указанием номера деляночек, массы снопика и времени отбора. После высушивания под навесом снопики вновь взвешивают и определяют процент влаги. Эти данные используют для приведения убранной и взвешенной зеленой массы со всех деляночек к стандартной влажности. Уборку урожая и его учет заканчивают в сжатые сроки. Результаты учетов используют для составления плана рекогносцировочного посева.

Составление плана рекогносцировочного посева. Одновременно с выделением деляночек на рекогносцировочном посеве составляют его план в определенном масштабе (рис. 24). На каждой деляночке записывают урожай или обозначают его условными знаками. По результатам урожайности строят вариационные ряды и изображают их графически. Если кривая вариационного ряда имеет не одну, а две вершины, это значит, что площадь рекогносцировочного посева имеет две разные по плодородию части. На каждой из них выделяют отдельные повторения, можно заложить даже отдельные опыты. По данным С. В. Щербы (1967), при выделении таких однородных площадей коэффициенты вариации плодородия почвы можно снизить с 18 до 8,3 % и тем самым повысить точность опытов.

Однако наиболее важное значение рекогносцировочного посева заключается в том, что его дробные учеты можно использовать для современного планирования опытов с использованием персональных ЭВМ. Программы для такого планирования уже разработаны в проблемной лаборатории Уманской сельскохозяйственной академии «Современные методы исследований в агрономии».

1.6. ПЛАНИРОВАНИЕ ОПЫТОВ

Планирование опыта — ответственный период научно-исследовательской работы, это не только создание фундамента опыта, но и его проект, от которого будут зависеть достоверность, точность и эффективность всего эксперимента. При планировании опыта следует применять методы математической статистики и компьютеры.

1.6.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ

Впервые математическое планирование опытов было предложено в конце 20-х гг. английским математиком Р. Фишером, автором дисперсионного анализа. Математическое планирование имеет большие преимущества. Оно организует исследователя, повышает производительность труда, надежность результатов, позволяет уменьшить число вариантов и опытов, а также найти оптимальные варианты, которых не было в эксперименте. Не-

смотря на перспективность, метод математического планирования мало разработан, а сложная терминология затрудняет его использование.

Основная задача при планировании опыта — поиск оптимальных условий роста растений для повышения урожая и улучшения его качества. Пусть в ранее проведенном опыте урожай был увеличен на 15 % благодаря использованию определенной дозы изучаемого фактора, но эта прибавка не максимальна. Возникает задача выбора оптимальных доз изучаемого фактора. Ее решение называется процессом оптимизации.

Пусть X — действующий фактор (удобрение, полив, вспашка и т. п.) и Y — результат этого действия (урожай, его качество) — это параметры оптимизации, иначе говоря, критерии оптимизации, целевая функция. *Математическая модель*, или *уравнение*, связывающее параметр оптимизации с действующими факторами, имеет вид

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k),$$

где $f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ — функция отклика.

Градации каждого фактора, или его дозы, называются *уровнями фактора*. Каждый фактор в опыте имеет определенное число дискретных уровней, что облегчает построение эксперимента. Набор уровней по каждому фактору определяет число вариантов в опыте. Если число уровней для всех факторов одинаково, то число вариантов данного опыта равно числу уровней, возведенных в число факторов. При двух факторах и трех уровнях каждого из них вариантов должно быть 3^2 , т. е. 9, при пяти уровнях и пяти факторах — 5^5 , т. е. 3125. Провести опыт с таким множеством вариантов практически невозможно, поэтому надо исключить промежуточные малоэффективные варианты. Однако делать это следует не субъективно, а с использованием методов математической статистики при планировании экспериментов. Математическое планирование применяют лишь тогда, когда опыт может быть воспроизведен, а факторы управляемы.

Управляемые факторы — сорт, удобрение, обработка почвы, схема посева и т. п., малоуправляемые — температура воздуха и почвы, свет и т. п. Неуправляемыми факторами считают атмосферные осадки, зимние морозы. Неуправляемые, дрейфующие факторы нарушают процесс воспроизводимости опыта, в этих случаях обращаются к так называемому активно-пассивному эксперименту, когда связи между неуправляемыми факторами и параметрами оптимизации устанавливают только по результатам наблюдений.

Планирование опыта — это выбор минимального числа вариантов, а также выбор условий проведения опыта для их оптимизации. При этом используют два подхода: построение на основе

известных механизмов (физики почв, физиологии растений, биологии, химии и др.) физической модели изучаемого процесса, позволяющей получить математическую модель объекта в виде системы дифференциальных уравнений; статистический подход, который дополняет первый.

Выбор параметров. *Параметр* — это то, что надо оптимизировать, это реакция на факторы. Параметров может быть множество: урожайность, сахаристость свеклы, содержание витаминов, лежкость картофеля, морозо- и засухоустойчивость, устойчивость к вредителям, болезням и т. д.

Для того чтобы найти оптимум, необходимо правильно выбрать один параметр оптимизации. При этом все остальные параметры будут ограничениями. Если один параметр выбрать невозможно, выбирают обобщенный параметр оптимизации как функцию от множества исходных. Правильный выбор параметра оптимизации — важнейшее условие успеха математического планирования.

Параметры оптимизации должны отвечать определенным требованиям:

1) параметры должны быть измеряемыми. Если параметр неизмеряемый, то для его количественного выражения используют ранговый подход. При этом параметрам присваивают оценки (ранги) по шкале — 2-, 5-, 10-балльной и т. д. При 2-балльной шкале ранговый параметр имеет ограниченную область определений — да или нет, хорошее состояние растений или плохое, повреждены растения болезнями или нет. Следовательно, для каждого такого параметра можно построить ранговый аналог. Однако ранговый подход грубее непосредственного измерения количественных параметров (масса урожая, содержание сахаров, витаминов, кислот, белка и т. д.);

2) параметр должен выражаться одним числом. Если параметр выражается отношением (например, отношение азота к фосфору в удобрениях равно 3:2), то это отношение выражают одним числом (1,5), а в качестве параметров используют отклонения или квадраты отклонений от этих чисел;

3) параметр должен быть однозначным в статистическом смысле, т. е. набору факторов должно соответствовать одно число параметра;

4) параметр должен быть достаточно точным статистически. При недостаточной точности увеличивают число повторений для параметра;

5) параметр должен быть универсальным и полным, т. е. все-сторонне характеризовать объект изучения. Универсальным является параметр, представленный функцией нескольких частных параметров;

6) каждый параметр должен иметь физический смысл, быть простым и легковычисляемым.

Оптимизировать одновременно несколько функций невозможно, поэтому оптимизируют одну из них, самую важную, для чего выбирают главный параметр оптимизации. При этом рассчитывают коэффициенты парной корреляции между главным параметром и всеми второстепенными. Если связь окажется сильной, то второстепенный параметр исключают. Как правило, исключают параметры, которые труднее измерить или смысл которых менее ясен. При большом числе параметров рассчитывают обобщенный параметр оптимизации. Обобщенный отклик параметров

$$Y = \sqrt[n]{Y_1 Y_2 \dots Y_n},$$

где n — число частных откликов; Y_1, Y_2, \dots, Y_n — частные отклики (по урожайности, сахаристости, транспортабельности и т. д.).

Однако частные отклики неодинаковы, неравноценны по значимости, и поэтому расчет обобщенного отклика будет искажен. Чтобы этого избежать, все частные отклики ранжируют по важности и вводят для каждого из них значение веса. При этом пользуются шкалой желательности:

<i>Желательность</i>	<i>Отметки на шкале</i>
Очень хорошая	1,00...0,79
Хорошая	0,80...0,62
Удовлетворительная	0,63...0,36
Плохая	0,37...0,19
Очень плохая	0,20...0,00

Значение частного отклика переводят в эту шкалу. Отметка 0,37 является границей допустимых значений, ниже которой желательность рассматривается как плохая. После перевода частного отклика в шкалу желательности его обозначают как $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ и обобщенную функцию желательности D рассчитывают по формуле $D = \sqrt[n]{d_1 d_2 d_3 \dots d_n}$. Если любое значение d окажется равным нулю при очень плохой желательности, то и значение обобщенной функции желательности будет равно нулю, т. е. такой опыт не следует планировать, а тем более проводить. Например, символом d_3 обозначена очень плохая морозостойкость пшеницы, а отметка на шкале равна нулю. Тогда $d_3 = 0$ и обобщенная функция желательности D также равна нулю.

Выбор факторов. На параметры оптимизации — урожай, его качество, устойчивость растений к болезням, вредителям, пониженным температурам, засухе — воздействуют несколько десятков факторов: свет, сорт, макро- и микроэлементы, влажность и температура почвы и воздуха, воздушный режим почвы, способы ее обработки и др. При математическом планировании обязательно должны быть учтены самые главные факторы, в против-

ном случае увеличиваются ошибки опытов и снижается их точность. Успех планирования во многом зависит от удачного выбора факторов.

Известно общее определение термина «фактор» — переменная величина, принимающая в некоторый момент определенное значение. Факторы — это способы воздействия на объект исследования.

Каждый фактор имеет свою *область определения* — совокупность всех значений, которые может принимать данный фактор. Эти значения могут быть количественными (дозы удобрений, глубина вспашки, площадь питания растений) и качественными (формы удобрений, сорта, разные пестициды).

К факторам предъявляются определенные требования:

1) выбираемые для математического планирования факторы должны быть управляемыми, регулируемыми, дозируемыми (полив, удобрения, глубина вспашки и т. п.). Температура воздуха, его влажность, свет — это малоуправляемые факторы, непосредственно использовать их для математического планирования полевых опытов нельзя;

2) фактор должен быть измеряемым с достаточно высокой точностью;

3) желательно, чтобы фактор был однозначным, но можно использовать и многозначные, т. е. сложные факторы, как функцию многих других;

4) при изучении совокупности нескольких факторов они должны быть совместимы, т. е. все их комбинации должны быть осуществимы и безопасны. Например, изучаемые дозы пестицидов должны быть безопасными для человека и животных, удобрения нужно вносить в таких дозах, чтобы не загрязнять окружающую среду;

5) изучаемые факторы должны быть независимы друг от друга, т. е. между ними не должно быть корреляционной прямой зависимости, но допускается криволинейная связь.

Выбор модели опыта. Опыт должен быть спланирован так, чтобы в нем были оптимальные варианты при минимуме затрат на его проведение. Правильно выбранная математическая модель подскажет даже те оптимальные варианты, которые ранее не изучались. Если в опыте нельзя изучить все возможные варианты, то оптимальные можно предсказать с помощью шагового принципа, используя поверхность отклика.

Поверхность отклика многофакторного опыта характеризуется такими свойствами, как непрерывность, гладкость, наличие единственного оптимума в определенных точках данной поверхности. Если известны значения параметров в соседних точках поверхности отклика, то значение любого другого параметра в других соседних точках можно предсказать путем математических расчетов.

При планировании опыта ставится задача найти оптимальные варианты изучаемых факторов. После проведения нового опыта на основе новых результатов, используя методы математического планирования, снова и снова, шаг за шагом приближаются к расчету оптимальных вариантов, которые отсутствуют в эксперименте. Это и есть шаговый принцип математического планирования. Строя модель, предсказывают новые варианты, которые не входили в эксперимент. Если точки этих новых вариантов лежат внутри подобласти отклика, то предсказание называют интерполяцией, а если за ее пределами — экстраполяцией. Чем ближе точки к области эксперимента, тем точнее экстраполяции и достовернее предсказание оптимальных вариантов.

Для определения зависимости урожая сельскохозяйственных культур и его качества от воздействующих факторов строят несколько благоприятных моделей и проверяют их выполнимость. Такую проверку называют проверкой адекватной модели. Из нескольких благоприятных моделей используют наиболее простую по математическому выражению. Например, модель $y = bx$ проще, чем $y = \log x$. Наиболее просты алгебраические полиномы: $y = bx$ (полином нулевой степени); $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$ (полином первой степени); $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1 + b_{22}x_2$ (полином второй степени, более сложный, чем полином первой степени, так как в нем больше коэффициентов, которые получают экспериментальным путем).

Чем больше вариантов в опыте, тем больше коэффициентов в полиноме. Оптимален полином, в котором меньше коэффициентов, но они лучше удовлетворяют предъявляемым к модели требованиям. Из приведенных примеров видно, что чем ниже степень полиномов, тем меньше в них коэффициентов. Следовательно, при прямолинейной зависимости между параметрами и факторами необходимо стремиться к полиномам первой степени.

Направление, улучшающее параметр оптимизации, называют направлением градиента. Именно в этом направлении и надо двигаться, пока движение дает эффект. Это движение к оптимуму, к стационарной области поверхности отклика. Если движение на поверхности отклика не приводит в стационарную область, переходят к полиномам более высоких степеней — второй, третьей и т. д. Такие модели позволят предсказать результаты опыта во всех точках заданной области и найти оптимум более точно.

Пути поиска оптимума: проведение небольших опытов; построение по результатам опытов математических моделей и выбор из них наиболее благоприятных, адекватных; движение в направлении, улучшающем параметр, т. е. по градиенту; проведение новых опытов и построение новых моделей по их результатам и т. д.

Для практического использования общих принципов матема-

тического планирования с целью оптимизации параметров необходимо брать конкретные данные опытов и строить их модели, пользуясь консультациями математиков и программистов, ибо при решении сложных математических уравнений не обойтись без компьютера.

1.6.2. СХЕМЫ ОПЫТОВ

Перед составлением схем опытов выдвигают рабочие гипотезы. Как правило, они основываются на результатах предыдущих экспериментов, реже — на интуиции исследователя. Их формулируют следующим образом: возможно, дозы применяемых в хозяйстве удобрений для данной культуры слишком высоки или очень низки; может быть, дозы фунгицидов или инсектицидов, применяемые в конкретном хозяйстве, чрезмерно высоки или занижены; возможно, нормы высева семян завышены или занижены и т. п.

После выдвижения рабочих гипотез исследователь в опыте увеличивает и уменьшает дозы изучаемого фактора по сравнению с теми, которые использовались в хозяйстве.

Кроме количественных факторов в опыте изучают и качественные — сорта, почвы, экспозицию склона, качество посевного материала (элита, первая и вторая репродукция) и др.

Однофакторные опыты. Среди планируемых вариантов должны быть последовательно возрастающие дозы или нормы факторов, при которых урожай сначала увеличивается, достигает наибольшей величины, после чего уменьшается. Так, если изучают пять доз калийных удобрений (X) — K_{30} , K_{60} , K_{90} , K_{120} , K_{150} на фоне одинаковых доз азота и фосфора ($N_{60}P_{60}$), то при правильном выборе вариантов урожай (Y) должен изображаться линией (рис. 25), которую называют *кривой отклика*. Отрезок кривой AB называют лимитирующей областью, $BСD$ — стационарной, DE — ингибирующей. В лимитирующей области эффект калийных

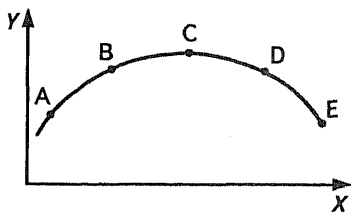


Рис. 25. Кривая отклика однофакторного опыта с пятью градациями доз удобрений:

Y — урожайность; X — градация изучаемого фактора

удобрений начинает проявляться, в стационарной он наибольший, в ингибирующей снижается. Различные дозы изучаемого фактора, которым соответствуют точки A , B , C , D , E на кривой отклика, принято называть *градациями*. Разницу между последующей и предыдущей дозами фактора называют *шагом эксперимента*, шагом варьирования фактора (в приведенном примере это дозы калийных удобрений).

В качестве контроля, как пра-

вило, берут дозы изучаемого фактора, ранее использовавшиеся в данном хозяйстве и считавшиеся лучшими. Дополнительными, но не основными контролями могут быть: в опытах с пестицидами — вариант без пестицидов, в опытах с удобрениями — вариант без удобрений. Необходимость в дополнительных контролях зависит от конкретных задач опыта.

Правильно составленная схема опыта должна удовлетворять определенным требованиям. Во-первых, в ней должны быть градации (нормы или дозы) фактора, соответствующие всем трем областям кривой отклика (лимитирующей, стационарной и ингибирующей). Это даст возможность выявить как лучшие дозы изучаемых факторов, так и те, при которых эффект лишь начинает проявляться или подавляется. Выявление подавляющих доз необходимо для того, чтобы не допустить внесения излишних количеств удобрений, пестицидов, чрезмерных поливов и т. д. в условиях производства и сохранить окружающую среду.

Второй важный момент — выбор шага эксперимента, шага варьирования фактора. При очень большом шаге можно упустить эффективные промежуточные варианты, слишком маленький шаг ведет к набору ненужных вариантов, увеличению объема работы и значительному ее усложнению. Как правило, выбирают шаг эксперимента, при котором разница между соседними градациями превышает ошибку опыта. Там, где варьирование урожая большое, варианты должны быть контрастными.

При изучении различных доз калийных удобрений схема опыта может быть такой:

- 1) N₆₀P₆₀K₃₀;
- 2) N₆₀P₆₀K₆₀ (контроль);
- 3) N₆₀P₆₀K₉₀;
- 4) N₆₀P₆₀K₁₂₀;
- 5) N₆₀P₆₀K₁₅₀.

Шаг эксперимента, равный 30 кг калия, будет вполне достаточным.

Многофакторные опыты. В однофакторных опытах выявляют лучшие градации по отдельным элементам агротехники — дозам, способам обработки, срокам внесения изучаемых факторов и т. п. Однако при взаимодействии этих элементов могут возникать различные явления: антагонизм, когда одни факторы угнетают действие других; синергизм, когда одни факторы усиливают действие других; аддитивность — независимое действие факторов. Подобные взаимодействия можно выявить только в многофакторных опытах. Более того, используя в дисперсионном анализе критерий Фишера, можно математически доказать степень достоверности подобных взаимодействий и дать производству рекомендации не по отдельным элементам агротехники, а по их комплексу. В этом заключается огромная ценность многофакторных опытов.

Многофакторные опыты имеют и еще одно весьма важное

преимущество. По их результатам можно построить куполообразную поверхность отклика многофакторного эксперимента, затем путем экстраполяции и интерполяции по ряду данных значений функции найти другие ее значения, находящиеся вне данного ряда, или промежуточные значения этого ряда. Речь идет о нахождении расчетным путем лучших вариантов опыта, которых не было в эксперименте. Таким образом, можно прогнозировать и программировать урожай и качество изучаемых культур.

Полные факториальные схемы. Схема многофакторного опыта должна быть полной. Это означает, что она должна включать все возможные сочетания факторов и их градаций. Число вариантов полного факториального эксперимента (ПФЭ) рассчитывают по матрице: 2^2 , 3^2 , 2^3 , 3^3 и т. д. Число, возводимое в степень, обозначает число градаций по каждому фактору, а число, показывающее степень, — число изучаемых факторов. Таким образом, 2^2 указывает на то, что схема ПФЭ должна включать четыре варианта, два фактора, в каждом из которых по две градации. Для 2^3 в схеме ПФЭ должно быть восемь вариантов, т. е. две градации в каждом из трех факторов.

Пусть для фактора A имеем градации a_0 и a_1 , для фактора B — b_0 и b_1 . В таком случае матрица ПФЭ будет следующей (табл. 8).

8. Матрица ПФЭ 2^2

Вариант	Фактор и его градации		Обозначение варианта	Код
	A	B		
1	0	1	a_0b_0	00
2	1	0	a_1b_0	10
3	0	1	a_0b_1	01
4	1	1	a_1b_1	11

Матрица для схемы 2^3 представлена в таблице 9.

Если число градаций по факторам разное, то общее число вариантов рассчитывают как произведение градаций. Например, для фактора A изучают три градации, для фактора B — две и для фактора C — четыре; в опыте будет $3_A \cdot 2_B \cdot 4_C = 24$ варианта. Все изучаемые факторы и варианты должны соответствовать теме опыта, не следует усложнять схемы без необходимости.

9. Матрица ПФЭ 2^3

Вариант	Фактор и его градации			Обозначение варианта	Код
	A	B	C		
1	0	0	0	$a_0b_0c_0$	000
2	1	0	0	$a_1b_0c_0$	100

Вариант	Фактор и его градации			Обозначение варианта	Код
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>		
3	0	1	0	$a_0b_1c_0$	010
4	1	1	0	$a_1b_1c_0$	110
5	0	0	1	$a_0b_0c_1$	001
6	1	0	1	$a_1b_0c_1$	101
7	0	1	1	$a_0b_1c_1$	011
8	1	1	1	$a_1b_1c_1$	111

При четырех градациях двухфакторного опыта, обозначенных числами 0, 1, 2, 3, число вариантов составит $4^2 = 16$ (табл. 10).

10. Матрица ПФЭ 4^2

Вариант	Градации факторов		Код	Вариант	Градации факторов		Код
	<i>A</i>	<i>B</i>			<i>A</i>	<i>B</i>	
1	0	0	00	9	2	0	20
2	0	1	01	10	2	1	21
3	0	2	02	11	2	2	22
4	0	3	03	12	2	3	23
5	1	0	10	13	3	0	30
6	1	1	11	14	3	1	31
7	1	2	12	15	3	2	32
8	1	3	13	16	3	3	33

Пусть изучают четыре дозы удобрений: 0, 40, 80, 120 кг/га (фактор *A*) и четыре нормы полива: без полива, 0,5 нормы, 1,0 нормы, 1,5 нормы (фактор *B*). Для удобства обозначим их градации числами 0, 1, 2, 3. Сочетание этих чисел — код варианта. Так, код 00 обозначает вариант без удобрений и без полива, код 13 — 40 кг удобрений и 1,5 нормы полива и т. д. Первая цифра кода обозначает градацию фактора *A*, вторая — фактора *B*.

Матрица ПФЭ 3^3 — это три фактора, каждый из которых изучают в трех градациях: 0, 1, 2. Это могут быть три сорта, три нормы полива и три дозы удобрений (табл. 11).

11. Матрица ПФЭ 3^3

Вариант	Градации факторов			Код	Вариант	Градации факторов			Код
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>			<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	
1	0	0	0	000	15	2	1	1	211
2	1	0	0	100	16	0	2	1	021
3	2	0	0	200	17	1	2	1	121

Вариант	Градации факторов			Код	Вариант	Градации факторов			Код
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>			<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	
4	0	1	0	010	18	2	2	1	221
5	1	1	0	110	19	0	0	2	002
6	2	1	0	210	20	1	0	2	102
7	0	2	0	020	21	2	0	2	202
8	1	2	0	120	22	0	1	2	012
9	2	2	0	220	23	1	1	2	112
10	0	0	1	001	24	2	1	2	212
11	1	0	1	101	25	0	2	2	022
12	2	0	1	201	26	1	2	2	122
13	0	1	1	011	27	2	2	2	222
14	1	1	1	111					

При большом числе факторов и градаций схема опыта становится громоздкой.

Неполные факториальные схемы. В трехфакторном опыте с четырьмя градациями схема ПФЭ включает $4^3 = 64$ варианта. При трехкратной повторности в опыте будет 192 делянки, он становится громоздким и трудновыполнимым.

Чем больше площадь под опытом, тем больше варьирование плодородия и, следовательно, ниже точность и достоверность опыта. По этим соображениям число вариантов в опыте следует уменьшить. Кроме того, в условиях производства редко проводят многофакторные опыты с большим числом вариантов.

В. Н. Перегудов и Т. И. Иванова (1976) рекомендуют составлять неполные факториальные схемы (НФС) из полных, используя три метода: метод условного фактора; метод вписанных кубов; метод конструирования схем из фрагментов куба $3 \times 3 \times 3$. Рассмотрим метод условного фактора, используемый чаще всего.

НФС 1/4 ($4 \times 4 \times 4$). Из 64 вариантов ПФЭ можно выбрать 16 без потери информации. Для этого из четырех градаций каждого фактора берут начальную (0) и среднюю (2) градации. При этом схема ($4 \times 4 \times 4$) превращается в схему $2 \times 2 \times 2$ с 8 вариантами.

Для того чтобы получить равномерные выборки, вводят понятие «условный фактор», тоже в двух градациях (0 и 1), которые для трех факторов обозначают 000 и 111. Это так называемые фоны. На фоне 000 коды образуют из чисел градаций факторов *A*, *B*, *C*. Это варианты с номерами 1...8. На фоне 111 коды образуют прибавлением числа 111 к кодам нулевого фона — варианты 9...16. Таким образом получают выборку, включающую 16 вариантов из 64 (табл. 12). Эта выборка равномерно охватывает всю область градаций полной схемы — 0, 1, 2, 3. Первое число каждого кода обозначает градации фактора *A*, второе — фактора *B* и третье — фактора *C*.

12. Матрица НФС 1/4 (4 × 4 × 4) из 16 вариантов

Градации факторов			Вариант	Код на фоне 000	Вариант	Код на фоне 111
A	B	C				
0	0	0	1	000	9	111
0	0	2	2	002	10	113
0	2	0	3	020	11	131
0	2	2	4	022	12	133
2	0	0	5	200	13	311
2	0	2	6	202	14	313
2	2	0	7	220	15	331
2	2	2	8	222	16	333

НФС 1/8 (4 × 4 × 4 × 4) из 32 вариантов. Пусть в рассмотренном ранее трехфакторном опыте исследования проводят еще с четырьмя сортами, т. е. вводят четвертый фактор. Общее число вариантов такого опыта по схеме ПФЭ составило бы $4^4 = 256$. Практически осуществить такой опыт невозможно. Но если из этого множества выбрать 1/8, то получают выборку, включающую 32 варианта. Для составления НФС используют метод условного фактора на двух фонах (0000 и 1111) и с выборкой двух градаций из четырех. Матрица НФС для 32 вариантов четырехфакторного опыта приведена в таблице 13.

13. Матрица НФС 1/8 (4 × 4 × 4 × 4) из 32 вариантов

Градации факторов				Вариант	Код на фоне 0000	Вариант	Код на фоне 1111
A	B	C	D				
0	0	0	0	1	0000	17	1111
0	0	2	0	2	0020	18	1131
0	0	0	2	3	0002	19	1113
0	0	2	2	4	0022	20	1133
0	2	0	0	5	0200	21	1311
0	2	2	0	6	0220	22	1331
0	2	0	2	7	0202	23	1313
0	2	2	2	8	0222	24	1333
2	0	0	0	9	2000	25	3111
2	0	2	0	10	2020	26	3131
2	0	0	2	11	2002	27	3113
2	0	2	2	12	2022	28	3133
2	2	0	0	13	2200	29	3311
2	2	2	0	14	2220	30	3331
2	2	0	2	15	2202	31	3313
2	2	2	2	16	2222	32	3333

НФС 1/6 ($4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4$) из 64 вариантов. Если в четырехфакторном опыте, где в четырех градациях изучают дозы удобрений, нормы полива, дозы фунгицидов на четырех сортах, ставят задачу изучать еще и способы обработки почвы в четырех градациях, то опыт становится пятифакторным; в нем будет $(4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4) = 1024$ варианта. Из них можно выбрать 1/16 часть без потери информации. Для этого также используют метод условного фактора. По каждому из пяти факторов выбирают градации 0 и 2 из 0, 1, 2, 3. Условный фактор берут на двух фонах: 00000 и 11111. В результате получают НФС, состоящую из 64 закодированных вариантов (табл. 14).

14. Матрица НФС 1/16 ($4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4$) из 64 вариантов

Градация факторов					Вариант	Код на фоне 00000	Вариант	Код на фоне 11111
A	B	C	D	E				
0	0	0	0	0	1	00000	33	11111
0	0	0	0	2	2	00002	34	11113
0	0	0	2	0	3	00020	35	11131
0	0	0	2	2	4	00022	36	11133
0	0	2	0	0	5	00200	37	11311
0	0	2	0	2	6	00202	38	11313
0	0	2	2	0	7	00220	39	11331
0	0	2	2	2	8	00222	40	11333
0	2	0	0	0	9	02000	41	13111
0	2	0	0	2	10	02002	42	13113
0	2	0	2	0	11	02020	43	13131
0	2	0	2	2	12	02022	44	13133
0	2	2	0	0	13	02200	45	13311
0	2	2	0	2	14	02202	46	13313
0	2	2	2	0	15	02220	47	13331
0	2	2	2	2	16	02222	48	13333
2	0	0	0	0	17	20000	49	31111
2	0	0	0	2	18	20002	50	31113
2	0	0	2	0	19	20020	51	31131
2	0	0	2	2	20	20022	52	31133
2	0	2	0	0	21	20200	53	31311
2	0	2	0	2	22	20202	54	31313
2	0	2	2	0	23	20220	55	31331
2	0	2	2	2	24	20222	56	31333
2	2	0	0	0	25	22000	57	33111
2	2	0	0	2	26	22002	58	33113
2	2	0	2	0	27	22020	59	33131
2	2	0	2	2	28	22022	60	33133
2	2	2	0	0	29	22200	61	33311
2	2	2	0	2	30	22202	62	33313
2	2	2	2	0	31	22220	63	33331
2	2	2	2	2	32	22222	64	33333

НФС 1/2 (6 × 6) из 18 вариантов. Действие изучаемых факторов на растения настолько сложно, что четырех-пяти градаций бывает недостаточно для того, чтобы получить объективные данные. В таком случае число градаций увеличивают до 6 и даже до 9, что значительно увеличивает число вариантов. В двухфакторном опыте с 6 градациями необходимо иметь 36 вариантов, в трехфакторном — 216, в четырехфакторном — 1296. Для построения НФС из шести градаций (0, 1, 2, 3, 4, 5) выбирают начальную и средние — 0, 2, 4. Условный фактор для двухфакторного опыта берут на фонах 00 и 11.

Матрица НФС будет иметь 18 вариантов (табл. 15). Число вариантов уменьшено в два раза. При этом информация не теряется, так как из шести градаций взяты равномерные выборки.

15. Матрица НФС 1/2 (6 × 6) из 18 вариантов

Градации факторов		Вариант	Код на фоне 00	Вариант	Код на фоне 11
<i>A</i>	<i>B</i>				
0	0	1	00	10	11
0	2	2	02	11	13
0	4	3	04	12	15
2	0	4	20	13	31
2	2	5	22	14	33
2	4	6	24	15	35
4	0	7	40	16	51
4	2	8	42	17	53
4	4	9	44	18	55

НФС 1/8 (6 × 6 × 6) из 27 вариантов. Для составления НФС трехфакторного опыта берут выборку тех же градаций (0, 2, 4), а условный фактор — на фонах 000, 111, 222. Матрица этого опыта будет включать 27 вариантов из 216 вариантов полной схемы (табл. 16).

16. Матрица НФС 1/8 (6 × 6 × 6) из 27 вариантов

Градации факторов			Вариант	Код на фоне 000	Вариант	Код на фоне 111	Вариант	Код на фоне 222
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>						
0	0	0	1	000	10	111	19	222
0	2	0	2	020	11	131	20	242
0	4	0	3	040	12	151	21	262
2	0	2	4	202	13	313	22	424
2	2	2	5	222	14	333	23	444
2	4	2	6	242	15	353	24	464
4	0	4	7	404	16	515	25	626
4	2	4	8	424	17	535	26	646
4	4	4	9	444	18	555	27	666

НФС 1/27 (6 × 6 × 6 × 6) из 48 вариантов. В четырехфакторном опыте с шестью градациями в каждом факторе по схеме ПФЭ должно быть 1296 вариантов. Чтобы уменьшить их число до 48, в каждом факторе из шести градаций выбирают только две — 0 и 3, т. е. начальную и среднюю, а условный фактор берут на трех фонах: 0000, 1111 и 2222. Варианты выбраны по принципу (2 × 2 × 2 × 2 × 2), т. е. каждый изучаемый фактор взят в двух градациях, условный — на трех фонах (табл. 17).

17. Матрица НФС 1/27 (6 × 6 × 6 × 6) из 48 вариантов

Градация факторов				Вариант	Код на фоне 0000	Вариант	Код на фоне 1111	Вариант	Код на фоне 2222
A	B	C	D						
0	0	0	0	1	0000	17	1111	33	2222
0	0	0	3	2	0003	18	1114	34	2225
0	0	3	0	3	0030	19	1141	35	2252
0	0	3	3	4	0033	20	1144	36	2255
0	3	0	0	5	0300	21	1411	37	2522
0	3	0	3	6	0303	22	1414	38	2525
0	3	3	0	7	0330	23	1441	39	2552
0	3	3	3	8	0333	24	1444	40	2555
3	0	0	0	9	3000	25	4111	41	5222
3	0	0	3	10	3003	26	4114	42	5225
3	0	3	0	11	3030	27	4141	43	5252
3	0	3	3	12	3033	28	4144	44	5255
3	3	0	0	13	3300	29	4411	45	5522
3	3	0	3	14	3303	30	4414	46	5525
3	3	3	0	15	3330	31	4441	47	5552
3	3	3	3	16	3333	32	4444	48	5555

НФС 1/9 (9 × 9 × 9) из 81 варианта. В некоторых случаях приходится проводить исследования с большим числом градаций. Это может быть опыт, где изучают дозы новых стимуляторов роста, гербицидов, инсектицидов, удобрений, исследуют много новых сортов.

Пусть в опыте имеется девять площадей питания, девять доз удобрения и девять норм полива. По каждому фактору из девяти градаций (от 0 до 8) выбирают градации 0, 3, 6, т. е. начальную и средние. В качестве условного фактора берут все три фактора, также с тремя градациями (0, 1, 2). В результате выборок получают факториальную схему (3 × 3 × 3 × 3), где четвертая тройка представляет три градации условного фактора (табл. 18).

18. Матрица схемы 1/9 (9 × 9 × 9) из 81 варианта

Градации факторов			Вариант	Код на фоне 000	Вариант	Код на фоне 111	Вариант	Код на фоне 222
A	B	C						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	1	000	28	111	55	222
0	0	3	2	003	29	114	56	225
0	0	6	3	006	30	117	57	228
0	3	0	4	030	31	141	58	252
0	3	3	5	033	32	144	59	255
0	3	6	6	036	33	147	60	258
0	6	0	7	060	34	171	61	282
0	6	3	8	063	35	174	62	285
0	6	6	9	066	36	177	63	288
3	0	0	10	300	37	411	64	522
3	0	3	11	303	38	414	65	525
3	0	6	12	306	39	417	66	528
3	3	0	13	330	40	441	67	552
3	3	3	14	333	41	444	68	555
3	3	6	15	336	42	447	69	558
3	6	0	16	360	43	471	70	582
3	6	3	17	363	44	474	71	585
3	6	6	18	366	45	477	72	588
6	0	0	19	600	46	711	73	822
6	0	3	20	603	47	714	74	825
6	0	6	21	606	48	717	75	828
6	3	0	22	630	49	741	76	852
6	3	3	23	633	50	744	77	855
6	3	6	24	636	51	747	78	858
6	6	0	25	660	52	771	79	882
6	6	3	26	663	53	774	80	885
6	6	6	27	666	54	777	81	888

На каждом из трех фонов строят схему трехфакторного опыта ($3 \times 3 \times 3$) с выбранными градациями (0, 3, 6). Чтобы получить все возможные комбинации (0, 3, 6) для каждого из факторов, в колонке 1 в первых девяти строках записывают градации 0, в следующих девяти — градации 3 и в последних девяти — градации 6. В колонке 2 записывают все три градации (0, 3, 6), по три строчки. В колонке 3 все три градации записывают попеременно. В колонке 5 записывают коды из сочетания цифр, находящихся в колонках 1, 2, 3. В колонке 7 к ним прибавляют число 111. Например, в третьей строке колонки 5 код составляет 006, а после прибавления числа 111 получается 117. В колонке 9 записывают код, который получается путем прибавления числа 222 к коду колонки 5. Например, в той же третьей строке прибавление к 006 числа 222 даст код 228. Таким образом, в колонках 5, 7 и 9 записаны коды 81 варианта, которые представляют выборку из 729 ва-

риантов без потери нужной информации. В нашем конкретном опыте код 000 обозначает вариант с начальными градациями по всем трем факторам.

1.6.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОПЫТОВ

После выбора темы исследований, составления схемы опыта и получения данных о рекогносцировочном посеве на определенном участке, на котором будет заложен опыт, приступают к размещению опытных делянок на плане. Его необходимо разметить так, чтобы соблюсти все основные требования, предъявляемые к опытам. Кроме того, все элементы опыта — повторность, размер опытных делянок, их ориентация, метод размещения и т. д. — должны иметь оптимальные значения. Из сотен возможных планов нужно выбрать один, в котором различия между средними арифметическими будущего опыта будут минимальными, а точность опыта — наиболее высокой. Для выполнения такого объема работ обычными методами требуются месяцы скрупулезного труда, причем нельзя иметь полной уверенности, что составленный план будет оптимальным.

Программа, разработанная в проблемной лаборатории Уманской сельскохозяйственной академии «Современные методы исследований в агрономии» научным сотрудником И. А. Мачуским, дает возможность выполнить эту работу с использованием персонального компьютера за несколько часов. Патентный поиск по вопросам программного обеспечения планирования агрономических опытов свидетельствует об отсутствии таких программ в пределах СНГ.

В процессе создания программного файла для работы с компьютером в интерактивном режиме по планированию опытов разработана математическая модель программы. Проведен предварительный анализ и спроектированы входные и выходные формы данных, расписана технология их обработки. Проанализирована структура информации, которая заносится в память компьютера. Проведена комплексная настройка программы по контрольному примеру.

При запуске программы «Планирование опытов» в главном меню высвечиваются: план рекогносцировочного посева, определение повторности, различные методы размещения вариантов при заданном размере опытных делянок и соотношении их сторон, ориентация делянок на площади участка при определенном числе вариантов.

Первая опция «План рекогносцировочного посева» выводит на экран компьютера план опытного участка, где урожайность каждой делянки изображена разным цветом. Предусмотрена возможность распечатки этого плана.

Работа опции «Определение повторности» выполняется следующим образом. Проводятся все возможные укрупнения элементарных делянок, после чего вычисляются их основные статистические характеристики — средние арифметические, стандартные отклонения, коэффициенты вариации, определяются повторности для разного числа вариантов при разных уровнях доверительной вероятности.

В зависимости от варьирования плодородия почвы, его направления и значимости выбирают последующие опции — «Размещение вариантов». Для рендомизированного размещения вариантов пользуются подпрограммой «Перестановки», которая с помощью генератора случайных чисел проводит такое размещение. Для примера на рисунке 26 показано размещение 18 вариантов в шести повторениях, выполненное подпрограммой «Перестановки». Эта подпрограмма позволяет размещать варианты следующими методами: рендомизированные блоки, латинский квадрат, латинский прямоугольник, полная рендомизация, расщепленные делянки, метод смешивания. Задав в интерактивном режиме компьютера входные данные (размеры укрупненных делянок, размеры блоков или повторений, число вариантов, повторностей), получаем план опыта.

С помощью подпрограммы «Дисперсионный анализ» проводят статистическую проверку нулевой гипотезы о равенстве средних арифметических между вариантами опыта. На экране появляются значения критериев Фишера, а также вывод о принятии или отклонении нулевой гипотезы. Если критерий Фишера расчетный будет меньше критерия Фишера теоретического, то на экране компьютера получим вывод о принятии нулевой гипотезы. Это означает, что на период планирования опыта все его варианты будут находиться в одинаковых условиях плодородия почвы и принцип единственного логического различия будет выдержан, т. е. по этому плану можно закладывать опыт.

В программе предусмотрена возможность изменения размеров

	I			II			III			IV			V			VI		
1	17	9	7	2	4	3	12	13	5	10	11	14	8	18	6	1	16	15
2	18	12	2	15	13	6	17	1	14	16	8	9	5	4	11	7	10	3
3	10	3	14	1	16	8	11	4	9	7	2	5	17	12	15	18	13	6
4	5	6	4	17	11	10	18	16	3	1	15	13	9	7	14	8	2	12
5	15	13	16	12	9	5	2	7	8	6	18	4	3	10	1	14	17	11
6	1	8	11	18	14	7	10	6	15	17	3	12	2	16	13	4	5	9

Рис. 26. Размещение 18 вариантов в шести повторениях (I—VI) методом латинского прямоугольника

и формы не только делянки, но и блоков (повторений), можно задать нужное число вариантов, повторностей.

При необходимости план опыта, результаты дисперсионных анализов, выводы и другую информацию можно распечатать или записать на винчестер для дальнейшего сохранения. Информация в файле последовательного доступа организована так, что ее сразу можно включить в любой текст при работе в текстовом редакторе.

Использование предлагаемой программы при планировании опытов ставит на современный уровень весь процесс научной работы.

1.6.4. СРОКИ И ТЕХНИКА ОТБОРА ОБРАЗЦОВ

Важная деталь при планировании опытов — частота учетов и наблюдений в течение года, вегетационного периода или его части для получения полной картины процесса от начала до конца опыта.

Сроки наблюдений и отбора образцов приурочивают к фенологическим фазам развития растений или проводят наблюдения через одинаковые промежутки времени — раз в декаду, 1—2 раза в месяц. Чем дольше длится процесс, тем большим может быть интервал между наблюдениями. Иногда в соответствии с задачами опыта наблюдения проводят до и после выпадения атмосферных осадков, до проведения основных агротехнических приемов и после них. Сроки и частоту проведения наблюдений уточняют в каждом конкретном опыте.

Если в опытах изучают действие удобрений, гербицидов, орошения, обработки почвы и других агротехнических приемов, на опытных делянках отбирают образцы (пробы) почвы для определения ее химических и физических свойств, содержания семян сорняков и т. д. Для учета вегетирующих сорняков на опытных делянках выделяют деляночки размером $0,5 \times 0,5$ м. Число образцов (проб) и деляночек на опытных делянках должно быть таким, чтобы обеспечить достаточную точность учетов и наблюдений. Число проб оптимизируют по формулам (см. раздел 1.6.5).

В опытах с полевыми культурами Б. А. Доспехов (1985) рекомендует отбирать 6—8 проб на делянке площадью менее 100 м^2 , 8—10 — площадью $100—200 \text{ м}^2$ и 15—20 проб на делянке площадью более 200 м^2 . Меньшее число проб снижает точность исследований. Однако это ориентировочные данные, число проб в каждом опыте целесообразно рассчитывать по конкретным значениям коэффициентов вариации.

Метод отбора проб должен исключать появление систематических ошибок, поэтому используют рендомизацию, т. е. случай-

Рис. 27. Выбор площадок для отбора образцов почвы с использованием техники случайной выборки. Кружочками обведены номера выбранных площадок

1	②	3	④	5
⑥	⑦	8	⑨	10
11	12	13	14	⑮
16	17	18	19	20
21	⑳	23	24	㉕

ный отбор образцов, а не подбор «типичных» образцов по желанию исследователя.

Техника случайной выборки заключается в следующем. Пусть на опытной делянке размером 100 м² необходимо отобрать 8 площадок для изучения физико-химических свойств почвы. Всю площадь делянки делят примерно на 25 равных частей, по 4 м² каждая, и нумеруют их в определенной последовательности.

В таблице случайных чисел (табл. 8 приложений) выбирают наугад колонку, например 7-ю, и, двигаясь по ней вниз, отмечают восемь чисел от 1 до 25, пропуская повторяющиеся. Допустим, это числа 2, 9, 4, 7, 15, 6, 25, 22. На площадках с такими номерами, обведенных на рисунке 27 кружочками, следует отбирать образцы.

Другой пример. Опытная делянка разделена на 20 площадок. Оптимальный объем выборки для изучения содержания в почве семян сорняков — 6 площадок. По таблице случайных чисел выбирают 24-ю строчку и, двигаясь по ней вправо, отмечают 6 чисел в пределах от 1 до 20: 12, 5, 7, 11, 10, 20. Это будут площадки, на которых следует отбирать образцы.

1.6.5. ОБЪЕМ ВЫБОРКИ

Количественная изменчивость. *Объем выборки* — число объектов исследований, которые берут для учетов и наблюдений. Это может быть число колосьев, листьев, побегов, которое учитывают на одном растении, число органов и частей растений, образцов почвы, взятых в различных местах опытной делянки для химического и других анализов.

Основная задача выборочного метода исследований — при минимальном, но достаточном объеме выборки из всей совокупности данных получить максимально полную информацию. При слишком маленьком объеме выборки снижаются достоверность и точность опытов, при слишком большом — увеличиваются объем исследований и соответственно число ошибок. Объем выборки (*n*) оптимизируют, т. е. определяют число наблюдений, при котором можно получить статистически достоверные результаты на определенном уровне доверительной вероятности.

Из нескольких формул оптимизации объема выборки наиболее удачна следующая:

$$n = t^2 (V/\Delta)^2,$$

где t — стандартное значение критерия Стьюдента (табл. 1 приложений); V — коэффициент вариации, %; Δ — допустимая относительная погрешность, %.

При отсутствии таблицы Стьюдента (например, в поле) приближенное значение критерия $t_{0,95}$ можно найти по простой формуле

$$t_{0,95} = 2 + (n/v),$$

где n — фактический объем выборки (повторность); v — число степеней свободы ($v = n - 1$).

При $n = 4$ $t_{0,95} = 2 + 4/(4 - 1) = 3,3$.

Теоретическое значение $t_{0,95}$ по таблице Стьюдента равно 3,2. Для больших выборок ($n > 30$) значение критерия Стьюдента постоянно: $t_{0,95} \approx 2$, $t_{0,99} \approx 2,6$.

Значение допустимой относительной погрешности выбирают в зависимости от планируемой точности опыта. При очень высокой точности оно равно 2—3 %, при средней — 5—6 %. В большинстве полевых опытов достаточная точность достигается при допустимой погрешности до 10 %, т. е. $\Delta = 10$ %.

Находят коэффициент вариации

$$V = 100(s/\bar{x}),$$

где 100 — коэффициент для перевода в проценты; s — стандартное отклонение для определенного вариационного ряда; \bar{x} — средняя арифметическая этого же ряда.

Приближенное значение стандартного отклонения можно рассчитывать по формуле

$$s \approx (x_{\max} - x_{\min})/6,$$

где x_{\max} , x_{\min} — максимальное и минимальное значения варьирующего признака; 6 — постоянное число в данной формуле.

Приближенное значение средней арифметической находят по формуле

$$\bar{x} \approx (x_{\max} + x_{\min})/2.$$

Пример. Необходимо вычислить объем выборки для определения средней массы клубней картофеля. Масса самого крупного клубня 160 г, самого мелкого — 40 г.

$$\bar{x} \approx (160 + 40)/2 = 100 \text{ г.}$$

Для более точного определения средней массы взвешивают 100 клубней, взятых подряд. Стандартное отклонение будет равно

$$s \approx (x_{\max} - x_{\min})/6 = (160 - 40)/6 = 20 \text{ г.}$$

Вычисляют коэффициент вариации

$$V = 100(20/100) = 20 \text{ \%}.$$

Рассчитывают объем выборки при уровне вероятности $P_{0,95}$, когда $t_{0,95} = 2$, а допустимая относительная погрешность $\Delta = 5 \text{ \%}$:

$$n_{0,95} = t^2(V/\Delta)^2 = 2^2(20/5)^2 = 64 \text{ клубня.}$$

На более высоком уровне вероятности $P_{0,99}$ критерий $t_{0,99} = 2,6$. Тогда $n_{0,99}$ составит $2,6^2 (20/5)^2 = 108$ клубней.

Аналогично рассчитывают объем выборки и для других показателей количественной изменчивости. Более точные значения стандартного отклонения, средней арифметической и коэффициента вариации получают после полной статистической обработки вариационных рядов количественной изменчивости.

Можно также взять коэффициенты вариации из литературных источников или из опытов, проведенных в идентичных условиях, поскольку варьирование типично в пределах вида, т. е. разные признаки и разные органы одного вида имеют свойственное им варьирование. В таблице 19 приведены коэффициенты вариации урожая сельскохозяйственных культур в разных почвенно-климатических зонах.

19. Коэффициенты вариации урожайности сельскохозяйственных культур в разных почвенно-климатических зонах (1985–1991 гг.)

Зона	Культура	V, %	Среднее значение V, %
Полесье	Озимая пшеница	1,2–7,1	4,2
	Озимая рожь	1,2–6,9	4,1
	Ячмень	2,6–14,4	8,5
	Кукуруза на зерно	1,4–5,1	3,3
	Картофель	1,2–9,9	5,6
	Кормовая свекла	4,6–14,4	9,5
Лесостепь	Сахарная свекла	3,1–5,0	4,1
	Озимая пшеница	3,6–10,6	7,1
	Сахарная свекла	3,2–5,6	4,4
	Кукуруза на зерно	2,2–10,9	6,6

Зона	Культура	V, %	Среднее значение V, %
Лесостепь	Ячмень	3,5—11,8	7,7
	Картофель	3,4—14,3	8,9
	Горох	2,4—6,9	4,7
	Подсолнечник	2,5—12,0	7,3
Степь	Озимая пшеница	4,0—6,3	5,2
	Подсолнечник	8,4—13,1	10,8
	Картофель	4,3—6,3	5,3
	Горох	3,1—11,5	7,3
	Сахарная свекла	2,2—3,0	2,6
	Ячмень	2,3—4,5	3,4
	Кукуруза на зерно	6,3—11,8	9,1

Качественная изменчивость. Число больных и здоровых растений, поврежденных и не поврежденных вредителями, подмерзших и не подмерзших и т. п. от общего числа взятых для исследования объектов представляет собой показатель качественной изменчивости. Объем выборки для качественной изменчивости также оптимизируют, но по иной формуле. Используют обозначения: N — общее число объектов (растений, листьев и т. п.), взятых для обследования, n — число растений или листьев с данным признаком (т. е. поврежденных, пораженных, подмерзших и т. п.). Пусть $N = 100$, а $n = 10$. Тогда доля наличия признаков $p = n/N = 10/100 = 0,1$, а доля отсутствия признака $q = 1 - p = 1 - 0,1 = 0,9$.

Оптимальный объем выборки ($N_{\text{опт}}$) рассчитывают на двух уровнях доверительной вероятности — $P_{0,95}$ (когда $t_{0,95} = 2$) и $P_{0,99}$ (когда $t_{0,99} = 2,6$) по формуле

$$N_{0,95} = t_{0,95}^2(pq)/s_p^2,$$

где s_p — ошибка доли, т. е. допустимая погрешность в долях (чем она меньше, тем выше точность расчета).

Значение допустимой погрешности, как и уровень вероятности, выбирают при планировании выборки. Для полевых исследований значение s_p берут в интервале 0,05—0,10.

Значения p и q максимальны, когда $p = q = 0,5$, ибо $p + q = 1$. Для того чтобы получить гарантированный объем выборки, в приведенной формуле надо брать $p = 0,5$ и $q = 0,5$.

Пример. Необходимо определить, сколько кустов картофеля надо взять для учета поражения их фитофторой при $s_p = 0,05$.

$$N_{0,95} = 2^2(0,5 \cdot 0,5/0,05^2) = 400;$$

$$N_{0,99} = 2,6^2(0,5 \cdot 0,5/0,05^2) = 676.$$

1.7. ЗАКЛАДКА РАЗЛИЧНЫХ ОПЫТОВ

1.7.1. ИЗУЧЕНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Схема опыта. Научно-исследовательские учреждения рекомендуют для лесостепи Центрально-Черноземной зоны лучшие сроки посева озимой пшеницы 20 августа — 1 сентября. Однако эти сроки необходимо уточнять в каждом районе и хозяйстве, взяв в качестве контроля среднюю дату — 25 августа. Уменьшая и увеличивая эту контрольную дату на 5 дней, получим следующую схему опыта: 1) 15 августа; 2) 20 августа; 3) 25 августа (контроль); 4) 30 августа; 5) 5 сентября; 6) 10 сентября. При необходимости в схему можно включить и дополнительные варианты — на 5 дней раньше и на 5 дней позже (10 августа и 15 сентября), но и при шести градациях есть возможность выявить оптимальный срок посева. Итак, примем 6 вариантов

Размер и форма опытной делянки и всего опыта. В опытах с зерновыми колосовыми культурами механизированное выращивание можно обеспечить при общей посевной площади опытной делянки около 200 м². Для механизированной уборки урожая комбайном берут ширину учетной части делянки, равную ширине минимального захвата жатки комбайна (например, 4,1 м для комбайнов СК-5А, СКД-6, СК-6-11).

С учетом боковых защитных полос общая ширина делянки будет несколько больше. При использовании сеялок с шириной захвата 3,6 м делянку надо засеять за 2 прохода сеялки, при этом ширина посевной части делянки составит 7,2 м. Суммарная ширина боковых защитных полос — разность между общей шириной делянки и шириной захвата жатки комбайна — составит $7,2 - 4,1 = 3,1$ м. Каждая боковая защитная полоса будет иметь ширину $3,1 : 2 = 1,55$ м, это достаточно для опыта со сроками посева. На поперечные защитные полосы выделим по 1 м. Если учетная площадь делянки составит 100 м², то ее длина будет равна $100 : 4,1 = 24,4$ м, а общая длина делянки с учетом поперечных защитных полос составит $24,4 + 1 + 1 = 26,4$ м (рис. 28).

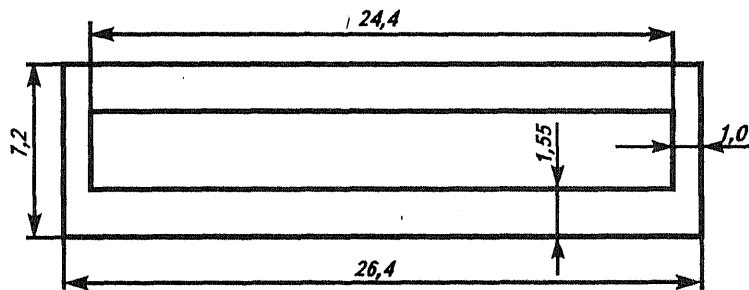


Рис. 28. Размер (в м) и форма опытной делянки. Общая площадь делянки 190 м², площадь учетной части 100 м²

Для всего опыта целесообразно подобрать площадь, форма которой близка к квадрату. Это будет способствовать уменьшению влияния систематического варьирования плодородия почвы на результаты опыта и повышению его точности.

Предварительно возьмем для опыта четырехкратную повторность и разместим делянки в два яруса, т. е. по два повторения в каждом из них. В каждом повторении имеется 6 делянок (по числу вариантов опыта), а в каждом ярусе — 12, их общая ширина составит $7,2 \cdot 12 = 86,4$ м. Длина двух делянок составит $26,4 \cdot 2 = 52,8$ м. Примем расстояние между ярусами для разворота посевных и почвообрабатывающих агрегатов равным 8 м. Общая длина опытного участка составит $52,8 + 8 = 60,8$ м. Примем ширину защитных полос вокруг опытного участка равной 10 м. Итак, весь опыт вместе с защитными полосами займет площадь $106,4 \cdot 80,8 = 0,9$ га (рис. 29).

Использование рекогносцировочного посева для закладки опыта. Выбранную для опыта площадь засевают культурой, которая может быть предшественником озимой пшеницы, например вико-овсяной смесью на сено. Перед уборкой смеси выделяют

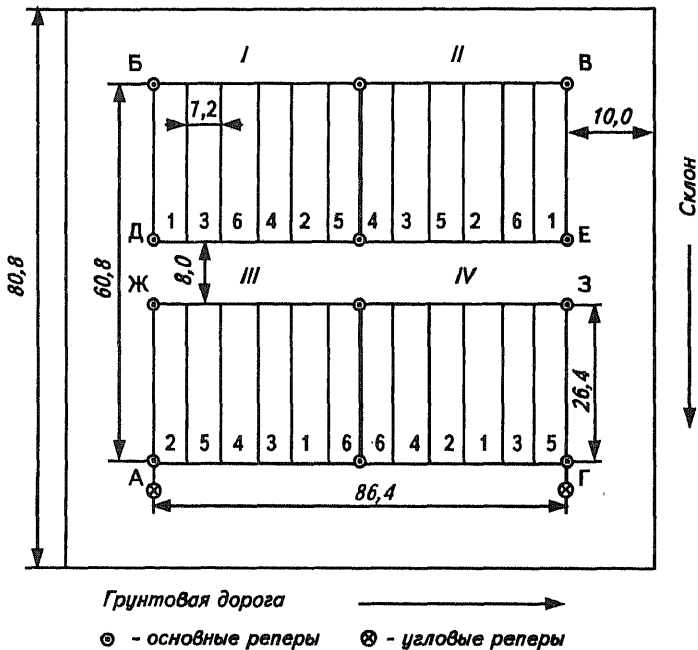


Рис. 29. Схематический план опыта с изучением сроков посева озимой пшеницы

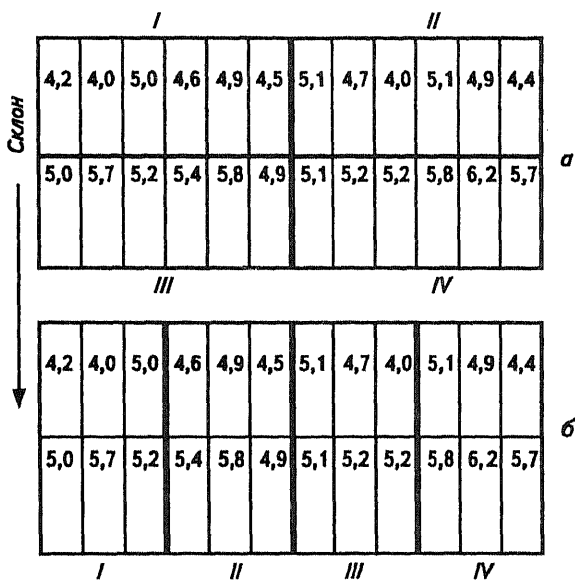


Рис. 30. Выделение повторений по результатам рекогносцировочного посева:
a — целесообразное; *б* — нецелесообразное

делянки рекогносцировочного посева такого же размера и формы, как у делянок будущего опыта ($26,4 \cdot 7,2 = 190,1 \text{ м}^2$).

Скошенную зеленую массу сразу же взвешивают и берут пробы для определения влажности, после высушивания делают перерасчет на сено, результаты наносят на план (рис. 30) и анализируют. Как видно из рисунка, урожайность сена вико-овсяной смеси систематически увеличивается сверху вниз, т. е. в направлении склона, и случайно — вправо. Будущие повторения опыта надо выделить так, чтобы в их пределах варьирование урожая было минимальным (рис. 30, *a*). В первом повторении урожайность изменяется от 4,0 до 5,0 т/га, во втором — от 4,0 до 5,1, в третьем — от 4,9 до 5,8 и в четвертом — от 5,2 до 6,2 т/га.

Если же повторения выделить по-другому (рис. 30, *б*), то варьирование будет значительно большим: в первом повторении — 4,0—5,7 т/га, во втором — 4,5—5,8, в третьем — 4,0—5,2 и в четвертом — 4,4—6,2 т/га. Таким образом, для закладки опыта целесообразно использовать первый план и разместить варианты методом рендомизированных повторений.

Далее проводят дисперсионный анализ рендомизированных повторений по данным рекогносцировочного посева и результатов рендомизации (табл. 20). $НСР_{0,95}$ составляет 0,7 т, критерий

Фишера расчетный (фактический) — 0,03, а теоретический $F_{0,95} = 2,9$ и $F_{0,99} = 4,6$ (т. е. он значительно больше, чем расчетный). Это обоснованное доказательство того, что на указанных уровнях доверительной вероятности достоверные различия между средними арифметическими запланированного опыта отсутствуют. Таким образом, все варианты опыта поставлены в одинаковые условия, именно к этому необходимо всегда стремиться при закладке опыта. Безусловно, мы не можем утверждать, что опыт спланирован оптимально, этого можно добиться при наличии персонального компьютера и программы «Планирование опытов».

20. Результаты дисперсионного анализа запланированного опыта

Рассеивание	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий фактический (F)	Критерий теоретический	
					0,95	0,99
Общее	752,5	23	—			
Повторений	420,5	3	—	0,03	2,9	4,6
Вариантов	3,5	5	0,7			
Остатка (ошибки)	328,5	15	21,9			
НСР _{0,95} = 0,703		$s_x^2 = 0,465$				

Определение оптимальной повторности опыта. С учетом результатов рекогносцировочного посева рассчитывают коэффициент варьирования урожайности вико-овсяной смеси в пределах повторений. В нашем примере коэффициент V для первого повторения составляет 8,66 %, для второго — 9,22, третьего — 6,96 и четвертого — 7,96, в среднем 8,2 %. Для полевых опытов можно брать значение относительной ошибки s_x %, равное 5 %. Используем формулу для определения повторности: $n = (V/s_x \%)^2 = (8,2/5)^2 = 3$ повторности. Для опыта достаточно трехкратной повторности.

Разбивка площади под опыт. Эту работу выполняют перед посевом озимой пшеницы, используя стальные землемерные ленты. В опытах с обработкой почвы и внесением основного удобрения разбивку проводят сразу же после уборки предшественника. Согласно схематическому плану (см. рис. 29) сначала отбивают базисную линию AG длиной 86,4 м (как наиболее длинную сторону опыта). Ее располагают параллельно дороге, отступив на 10 м (для защиты от потрав и т. п.) и на концах линии в точках A и G забивают колья. Из точек A и G к линии AG с помощью экера или буссоли восстанавливают перпендикулярные линии. Если нет специальных приборов для восстановления перпендикуляра, можно использовать мерную ленту и веревку. Линию AG продолжают и на ней из точек A и G откладывают по 4 м в обе стороны линии. Из этих точек радиусом не менее 5 м

делают дуговые засечки так, чтобы они пересеклись между собой. Соединив точки пересечений с точкой *A*, получают перпендикуляр. Так же строят перпендикуляр из точки *Г*. На перпендикулярных линиях отмеряют по 60,8 м и в точках *Б* и *В* забивают колья, расстояние между ними должно равняться расстоянию между точками *A* и *Г*, т. е. 86,4 м. Допускается отклонение до 10 см на каждые 100 м длины.

На линиях *АБ* и *ВГ* отмеряют по 26,4 м, выделяя между ними отрезки по 8 м для разворотных полос. В точках *Д*, *Е*, *Ж*, *З* также ставят колья. На линиях *АГ*, *ЖЗ*, *ДЕ* и *БВ* отмеряют последовательно мерной лентой по 7,2 м (ширина опытной делянки), забивают колышки и отбивают маркером или тяпкой продольные границы опытных делянок. В каждом ярусе должно быть 12 делянок, а в повторении — по 6. Если последняя делянка оказалась уже или длиннее 7,2 м, то разбивку опыта повторяют до полного соответствия плану.

Для фиксирования границ опыта на расстоянии 5 м от точки *A* по линии *АБ* и от точки *Г* по линии *ГВ* устанавливают реперы (метки). В качестве реперов используют деревянные колья или металлические трубы, которые закапывают в почву, оставляя над землей около 60 см. На дно ямы, вырытой для репера, кладут светлый песок, известь или мел, чтобы при потере репера можно было восстановить его место. Границы опыта можно привязывать к постоянным предметам, которые находятся вблизи, — одинокие деревья, деревья лесополос, телефонные или другие столбы и т. п. Реперами также обозначают крайние границы повторений.

Закладка опыта. После разбивки участка на опытных делянках высевают в соответствующие сроки озимую пшеницу, т. е. закладывают опыт. Каждую делянку засевают вдоль за два прохода сеялки с шириной захвата 3,6 м.

Разворотную полосу между повторениями (8 м) и защитные полосы вокруг всего опыта (10 м) засевают той же культурой, но по окончании посева на всех опытных делянках. После появления всходов отбивают поперечные защитные полосы шириной 1 м, вырезая тяпкой поперечные дорожки шириной до 0,3 м.

В полевом журнале записывают всю информацию, связанную с закладкой опыта и проведением полевых работ. Схематический план опыта переносят в главную книгу.

1.7.2. ОПЫТ С УДОБРЕНИЕМ КУКУРУЗЫ

Схема опыта и его размеры. Рассмотрим опыт, в котором изучают влияние доз минеральных удобрений, внесенных под кукурузу, по такой схеме: 1) $N_{60}P_{40}K_{40}$; 2) $N_{80}P_{60}K_{60}$; 3) $N_{100}P_{80}K_{80}$; 4) $N_{120}P_{100}K_{100}$. Дозы удобрений приведены в килограммах действующего вещества (N , P_2O_5 , K_2O) на 1 га.

Предшественником кукурузы является озимая пшеница, она выступает в качестве рекогносцировочного посева. Учет урожая пшеницы на деляночках показывает, что плодородие почвы изменяется в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При таком варьировании плодородия варианты опыта целесообразно разместить методом латинского квадрата. Если учетная площадь делянки составит около 100 м^2 , то каждая сторона квадрата будет равна около 10 м.

Прежде всего определяют учетную ширину делянки или количество рядков кукурузы на ней. Если шестирядная сеялка высевает кукурузу с междурядьями 0,7 м, то ширина ее захвата составит 4,2 м. Всю делянку, включая и защитки, надо засеять за 3 прохода сеялки. Общая ширина будет равна $4,2 \cdot 3 = 12,6 \text{ м}$ (18 рядков). На защитные полосы можно отвести по 2 рядка с каждой стороны, т. е. по 1,4 м. Учетная часть делянки будет включать 14 рядков, ее ширина $0,7 \cdot 14 = 9,8 \text{ м}$. Учетную длину делянки целесообразно взять равной 10,2 м, тогда ее учетная площадь составит $10,2 \cdot 9,8 = 100 \text{ м}^2$. Если на поперечные защитные полосы отвести по 1 м, то общая длина делянки составит $10,2 + 1 + 1 = 12,2 \text{ м}$, а ее общая (посевная) площадь — $12,6 \cdot 12,2 = 154 \text{ м}^2$ (рис. 31). Поскольку в латинском квадрате повторность равна числу вариантов, то во всем опыте будет $4 \cdot 4 = 16$ делянок. Площадь всех опытных делянок составит $154 \cdot 16 = 2464 \text{ м}^2$ (около 0,25 га).

Вокруг всего опыта выделим защитную полосу двумя проходами сеялки — 12 рядков, ширина которых составит $0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ м}$. Удвоив это число, приплюсвав к длине и ширине всех опытных делянок, а затем перемножив эти суммы, получим общую площадь всего опыта — $65,6 \cdot 67,2 = 4408 \text{ м}^2$ (0,44 га).

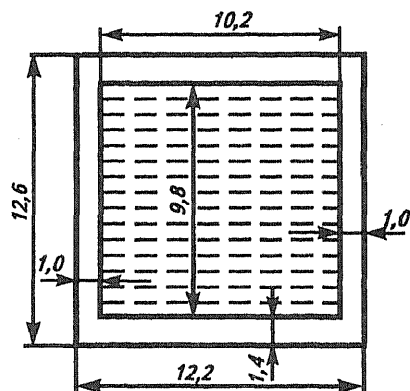


Рис. 31. Форма и размеры опытной делянки при размещении вариантов методом латинского квадрата

Использование рекогносцировочного посева. На его основе составляют схематический план опыта (рис. 32). Проводят дробный учет урожая пшеницы — предшественника кукурузы, результаты записывают в схематический план. Варианты размещают методом рендомизированного латинского квадрата. Результаты рендомизации записывают в таблицу 21, вычисляют средние арифметические всех вариантов. Их колебания незначительны — 5,40—5,45 т/га, что свидетельствует об отсутствии значи-

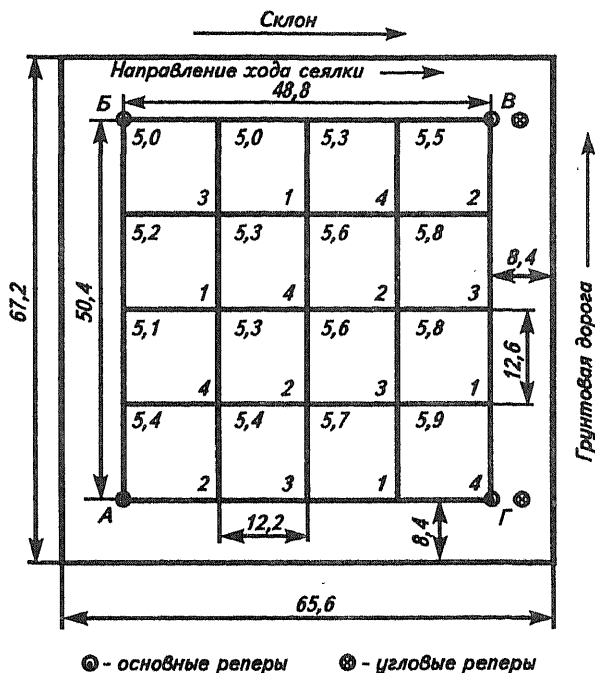


Рис. 32. Схематический план опыта с удобрениями кукурузы (в левом верхнем углу каждой делянки показана урожайность рекогносцировочного посева в тоннах на гектар, в правом нижнем — номер варианта)

тельных различий между вариантами. Вычисляют коэффициенты вариации урожая рекогносцировочного посева, которые не выходят за пределы 10 % и показывают, что варьирование плодородия почвы также незначительное. Если даже по наибольшему значению коэффициента вариации ($V = 7,2 \%$) рассчитать повторность опыта при относительной ошибке 5 %, то получится $n = (7,2:5)^2 = 3$ повторности, а фактически взято 4. Итак, запланированная в опыте повторность является достаточной, а отсутствие значительных различий между вариантами свидетельствует о том, что опыт можно закладывать по составленному плану.

Разбивку площади выбранного под опыт участка проводят сразу же после уборки озимой пшеницы. Затем готовятся к внесению основного удобрения под вспашку почвы.

21. Урожайность рекогносцировочного посева (зерна озимой пшеницы) по вариантам и повторениям перед закладкой опыта, т/га

Вариант	Повторения				\bar{x}	V, %
	I	II	III	IV		
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀	5,0	5,2	5,8	5,7	5,43	7,2
N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	5,5	5,6	5,3	5,4	5,45	2,6
N ₁₀₀ P ₈₀ K ₈₀	5,0	5,8	5,6	5,4	5,45	5,9
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	5,3	5,3	5,1	5,9	5,40	6,5

Расчет доз удобрений. Ко времени разбивки площади под опыт необходимо приготовить навески минеральных удобрений в соответствии со схемой опыта. Удобрения должны быть свежими, сыпучими, необходимо иметь паспорт с указанием содержания в них действующего вещества в процентах (например, гранулированная селитра с содержанием N 34 %, гранулированный суперфосфат с содержанием P₂O₅ 20 % и калийная соль с содержанием K₂O 40 %). Массу удобрений для каждой делянки (кг) рассчитывают по формуле

$$M = ДП/100в,$$

где Д — доза удобрений, кг д. в. на 1 га; П — площадь делянки, м² (в нашем примере 154 м²); в — содержание действующего вещества в удобрении, %.

Рассчитаем удобрения для первого варианта — N₆₀P₄₀K₄₀. Масса гранулированной аммиачной селитры (содержание азота 34 %) для делянки площадью 154 м² составит $M_N = (60 \cdot 154) / (100 \cdot 34) = 2,72$ кг.

Масса гранулированного суперфосфата $M_P = (40 \cdot 154) / (100 \cdot 20) = 3,08$ кг.

Масса калийной соли $M_K = (40 \cdot 154) / (100 \cdot 40) = 1,54$ кг.

Аналогично рассчитывают массу удобрений для других вариантов опыта.

Внесение удобрений. Число навесок удобрений для каждого варианта должно быть на единицу больше числа повторностей на случай, если порвется пакет и рассыпется удобрение. Навески целесообразно помещать в полиэтиленовые пакеты, чтобы предотвратить увлажнение удобрений. На пакете указывают номер варианта, вид удобрений, а в пакет вкладывают этикетки с этими же сведениями.

Пакеты раскладывают на делянках в соответствии со схематическим планом, проверяют правильность их размещения. Половину удобрений высыпают в ведро и рассеивают по всей площади вдоль делянки, а оставшуюся часть — поперек, обеспечивая равномерное распределение удобрений по всей делянке. Если масса удобрений слишком мала, то к навеске добавляют растер-

тую сухую почву, песок, чтобы объем смеси был одинаковым для всех вариантов.

Лучше всего вносить каждый вид удобрений отдельно. Если их вносят вместе, необходимо придерживаться правил смешивания удобрений. Не следует смешивать аммиачную селитру с мочевиной, аммиачные удобрения со щелочными. При смешивании щелочных удобрений с суперфосфатом нужно придерживаться определенных доз и т. п. На больших делянках удобрения целесообразно вносить туковыми сеялками, четко отрегулированными на равномерность и норму высева.

После внесения удобрения сразу же заделывают в почву одним и тем же орудием и на одинаковую глубину, в нашем примере — под вспашку. Направление вспашки — поперек склона и поперек рядков. Агрегат разворачивают за пределами опытных делянок — на дорогах и защитных полосах. От заделки удобрений осенью до посева кукурузы весной проводят работы, предусмотренные технологией выращивания данной культуры.

Посев. Перед посевом восстанавливают границы опыта, повторений, опытных делянок по угловым и основным реперам. Первый проход сеялки проводят по предварительно образованной под шнур ровной борозде. Расстояние от границ делянки до крайних рядков должно составлять половину ширины междурядья, т. е. 0,35 м. Сеялку нельзя останавливать на опытной делянке, иначе это приведет к просевам. Если по какой-либо причине посевной агрегат остановился, его передвигают назад на 1 м. На каждой делянке формируют одинаковое количество растений, уход за ними и уборку урожая проводят согласно рекомендациям научных учреждений.

1.7.3. СПЕЦИФИКА ЗАКЛАДКИ ОПЫТОВ С ОРОШЕНИЕМ

Научно-исследовательскими учреждениями, Госсортосетью и передовой практикой рекомендованы методы проведения опытов с орошением полевых культур.

Подбор земельной площади. Прежде всего земельная площадь для закладки опытов должна быть мелиоративно устроенной, иметь оросительную систему с гидротехническими сооружениями и водомерными устройствами. Земельную площадь подбирают так, чтобы она была типичной для определенной почвенно-климатической зоны. Лучшие почвы — глубокие суглинистые со слабопроницаемой для воды подпочвой, где невелики потери поливной воды.

Рельеф участка должен обеспечить равномерное распределение воды между повторениями и опытными делянками. На опытном участке не должно быть рвов, вымоин, валов и т. п. Крутизна склона должна составлять около 1°, на площадях с меньшим склоном может происходить затопление растений.

Вдоль делянок склон может быть в пределах $0,3-0,5^\circ$, а поперек — не более $0,3-0,4^\circ$. Для опытов с рисом площадь планируют так, чтобы склон был близким к 0° , что обеспечивает равномерное затопление чеков.

Водные источники (река, водохранилище, скважина, магистральный канал и др.) по своему дебиту должны обеспечить возможность регулярного орошения на протяжении вегетационного периода. Если из скважин идет очень холодная вода, ее напускают в специальные водоемы, где она нагревается. Земельную площадь подбирают в таком месте, чтобы предотвратить затопление опыта.

Работы, выполняемые перед закладкой опыта. На выбранном под опыт участке проводят горизонтально-вертикальную съемку, гидротехнические и почвенно-мелиоративные работы. Съемку осуществляют в масштабе 1:2000 с разбивкой сети квадратов 20×20 м. Непригодные участки земельной площади выбраковывают, поэтому для опыта подбирают площадь на 25 % большую, чем необходимо. При съемке площади определяют: ирригационную сеть, валики чековой сетки, дороги, границы посевов опытных растений, место водозабора и сброса оросительных вод, трассы каналов (существующих и будущих), обвалование от затопления, поперечные профили каналов, земляные валы, отметки дна канала, дамб, поверхности почвы и горизонтов воды. Для определения норм и сроков полива изучают водно-физические свойства почвы, состав грунтовых вод.

Размещение опытных делянок. Делянки лучше размещать в один ярус, «подвешивая» их к постоянному каналу так, чтобы можно было проводить орошение в вариантах независимо один от другого. Если опыт размещают в два яруса, то опытные делянки «подвешивают» к двум независимо работающим постоянным каналам. Ширина делянок должна быть кратной ширине поливной карты или рабочему захвату дождевальной машины. Между ярусами опыта выделяют полосу шириной 6—8 м вдоль временных оросителей для разворота агрегатов. Повторения организуют так, чтобы свести к минимуму влияние фильтрационных вод из постоянных и временных каналов и чтобы опытные делянки в повторениях размещались длинной стороной перпендикулярно каналам. Сухие откосы каналов засевают многолетними травами. План организации опыта переносят на местность с помощью инженера-мелиоратора.

Размеры опытных делянок и поливных борозд. Размеры опытных делянок зависят от вида и темы, опыта, а также опытных растений. Их площадь может колебаться в пределах $50-500 \text{ м}^2$. Наилучшие соотношения ширины к длине делянки 1:10 и 1:15. Продольные защитные полосы должны быть более широкими, чем в опытах без орошения. Если опыт размещают в несколько ярусов, то ширину поперечных защитных полос (конечных) уве-

личивают до 4—6 м, чтобы исключить влияние воды на деланки соседнего яруса. Деланки размещают на расстоянии 6—8 м от постоянных оросителей. Неорошаемые деланки ограничивают боковыми защитными полосами шириной не менее 3 м, а при орошении дождеванием — 4—5 м.

Длина поливных борозд не должна превышать 150 м. Если же почва имеет повышенную водопроницаемость, длину поливных борозд уменьшают до 100 м. Расстояние между поливными бороздами на легких почвах должно быть не более 0,6—0,7 м, а на тяжелых — до 1 м. По глубине и ширине различают следующие поливные борозды:

<i>Борозды</i>	<i>Глубина, см</i>	<i>Ширина сверху, см</i>
Мелкие	8—12	20—30
Среднеглубокие	13—17	31—40
Глубокие	18—25	41—50
Борозды-щели	35—40	35—50

При средней водопроницаемости почвы пользуются среднеглубокими, а при слабой — глубокими бороздами.

Поливные нормы. При поливах принимают во внимание фазы развития растений и их биологические особенности. Поливную норму определяют также в зависимости от глубины проникновения основной массы корней опытных растений: у картофеля — 0,4—0,6 м, у зерновых и технических культур — 0,8—1,0 м. Поливная норма зависит и от влажности почвы перед поливом, влагоемкости почвы, глубины залегания вредных растворимых солей и их содержания в слое почвы, где находится основная масса корней, от глубины грунтовых вод и способа полива.

Расчетную норму корректируют с учетом фильтрации и испарения (± 10 — 15%). При орошении дождеванием ориентировочная норма составляет 300—400 м³/га, при поливе по бороздам и полосам — 400, а при затоплении — 500—600 м³/га.

Оросительная норма — количество воды, которую расходуют на 1 га посева за вегетационный период. Сроки полива зависят от потребности растений во влаге, их физиологического состояния и метеорологических факторов. Используют влагозарядковые, промывные, предпосевные, вегетационные, освежающие и другие поливы.

Влагозарядковый полив нормой 800—1000 м³/га проводят перед вспашкой, после уборки предшественника для создания в почве запасов влаги. На почвах с близким залеганием грунтовых вод влагозарядковые поливы не проводят. На засоленных посевах в осенне-зимний период используют промывные поливы. Вегетационные поливы проводят во время вегетации растений.

Полив по бороздам осуществляют на хорошо дренированных почвах и в основном на посевах пропашных культур. Полив напуском по полосам используют для культур сплошного посева. Эти полосы нарезают в направлении склона одновременно с посевом. Ширина полос должна быть равной ширине опытной делянки. Полив затоплением используют при выращивании риса, при лиманном орошении и для промывания засоленных почв.

Одна из основных особенностей опытов с орошением — точное распределение и учет поливной воды на каждой опытной делянке, в каждом варианте, повторении. Это делается с помощью переносных трубопроводов с регулируемыми водовыпусками или сифонов и трубок. При поливе по полосам поливную струю устанавливают в пределах 2—6 л/с на 1 м ширины оросительной полосы.

Для определения *суммарного водопотребления* в каждом варианте опыта пользуются балансовым методом. Для этого учитывают осенне-зимние и весенние запасы влаги в слое, где залегает основная масса корней, атмосферные осадки за вегетацию, количество поливной воды и запас воды в корнеобитаемом слое почвы на период сбора урожая. Разница между суммой воды, которая поступает на опытную делянку, и ее запасом в почве на период сбора урожая составляет суммарное водопотребление.

1.7.4. ОСОБЕННОСТИ АГРОТЕХНИКИ НА ОПЫТНОМ ПОЛЕ

На опытном поле, где проводят несколько опытов, агротехника зависит от исследуемой культуры, ее предшественника, а также задач опыта. Вся агротехника состоит из агрофона, который должен быть единым для всего опыта, а также из тех агротехнических приемов, которые изучают в разных вариантах опыта. *Агрофон* — это сумма элементов агротехники, определенная технология выращивания той или иной культуры, на фоне которой изучают эффективность всех вариантов конкретного опыта от начала до конца. В различных опытах создают определенный агрофон, который зависит не только от испытуемой культуры и сорта, но и от предшественника, систем обработки почвы, удобрения, защиты растений от сорняков, вредителей и болезней.

Каждый агрофон должен обеспечить объективную оценку (агротехническую и экономическую) агроприемов, которые изучают в опыте. Именно в этом заключается основное назначение агрофона. На низком агрофоне нельзя проводить опыты для оценки перспективных культур и сортов. В то же время на фоне высоких доз органических удобрений нецелесообразно изучать действие малых доз минеральных удобрений. На фоне глубокой вспашки

до закладки опыта изучение вспашки на меньшую глубину будет нарушением типичности опыта. Таким образом, условия агрофона должны быть типичными и пригодными для определенных опытов. Иногда агрофон может быть включен в схему опыта в качестве одного из контролей.

Для опытной культуры выбирают типичные для данной зоны предшественники. Для выполнения всего комплекса агротехнических работ составляют детальный план, в котором указывают сроки, виды работ, способы их выполнения, машины и орудия. Проводят эти работы в сжатые сроки. Если нет возможности выполнить работы на всем опытном поле за один день, их можно перенести на другой день, но только в пределах целого повторения.

Внесение удобрений. Для создания агрофона или изучения в опытах удобрений их вносят равномерно, в сжатые сроки и сразу же заделывают в почву. Перед внесением удобрений берут образцы почвы для агротехнических анализов, которые используют для обобщения результатов опыта. Методика расчета доз удобрений описана на примере опыта с удобрениями кукурузы.

Навески удобрений массой до 1 кг берут с точностью до 1 г, массой 1—10 кг — 10 г, а больше 10 кг — до 100 г.

Органические удобрения перед внесением тщательно перемешивают, опытную делянку разбивают на квадраты, для которых навески органических удобрений готовят отдельно, и равномерно распределяют удобрения по всей площади каждой делянки. Нельзя оставлять органические удобрения на делянках в кучах дольше, чем на один день.

Вносить удобрения механизированным способом можно на делянках большого размера или в том случае, когда удобрения служат агрофоном, их равномерно распределяют на всей площади опыта и на одинаковую глубину заделывают в почву.

Обработка почвы. Если обработка почвы не является объектом изучения в опыте, ее выполняют на всем опытном участке высококачественно, одновременно, одинаково, чтобы создать единый агрофон.

Плуг включают в работу за 1 м до границы опытных делянок. Первую борозду проводят по заблаговременно отбитой линии и поперек длины делянок. На делянках квадратной формы вспашку можно проводить в обоих направлениях, но обязательно поперек склона.

Вспашка должна быть загонной и только в одну сторону, чтобы предотвратить образование разъемных борозд и гребней. Перед закладкой опыта вспашку его окраин (защитных полос) проводят поперек обработки опытных делянок со свалом в сторону опыта. Это позволяет своевременно заглублять плуг при закладке опыта с обработкой почвы.

Посев и посадка растений. Если посев не является объектом исследований, то его проводят одновременно, в сжатые сроки и одинаково на всех делянках опыта.

Для создания агротехнического фона посев проводят в соответствии с рекомендациями научных учреждений России для конкретной почвенно-климатической зоны и даже подзоны. Направление посева — перпендикулярно длинной стороне делянок. Первый проход агрегата проводят по туго натянутому шнуру или же ровно отбитой борозде.

Сеялку включают в работу за 1 м до границы опытной делянки, а выключают через 1 м после выхода сеялки за границы делянки. Во время посева или посадки следят за тем, чтобы на каждой делянке были одинаковыми число рядков и густота растений, крайние рядки должны размещаться от границ делянок на половину расстояния междурядий. Для создания одинаковой густоты растений посев проводят по количеству всхожих семян на единицу площади. Весовую норму высева семян (кг/га) рассчитывают по формуле

$$N_v = N_k a,$$

где N_k — количественная норма высева, млн семян на 1 га; a — масса 1000 семян, г.

Уход за растениями. За опытными посевами ухаживают так же, как и за производственными, но более четко выполняют все агротехнические процессы, детально регулируют машины и орудия, в оптимальные и сжатые сроки проводят все работы. Переносить выполнение каких-либо агротехнических процессов на второй день можно только в пределах повторений.

После появления всходов осматривают опытные делянки, чтобы определить равномерность всходов, наличие огрехов, просевов или загущенных рядков. При загущении всходы прореживают, при изреженности проводят подсев намоченными семенами.

При осмотре делянок после появления всходов отбивают поперечные (концевые) защитные полосы (вырезают тяпкой узкие дорожки), возобновляют границы делянок, расставляя на них колышки. При прополке сорняков можно проводить учет засоренности посевов в зависимости от вариантов опыта.

Рыхление междурядий, окучивание, подкормки, орошение, борьбу с болезнями и вредителями проводят на одинаковом агротехническом уровне на всех делянках опыта, а также за их пределами, на соседних площадях вокруг опыта и в те же самые сроки. Возле опыта устанавливают стенд с его описанием, а на делянках — этикетки. Дороги и дорожки в период проведения опыта поддерживают в чистом состоянии. Учеты и наблюдения проводят согласно плану опыта.

1.8. ОПЫТЫ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

1.8.1. НЕОБХОДИМОСТЬ В ПРОВЕДЕНИИ ОПЫТОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Научно-исследовательские учреждения дают свои рекомендации для конкретных почв и рельефа, на которых проводили опыты. Но даже в одном и том же хозяйстве имеются десятки почвенных разностей, разные рельефы и микрорельефы, различные уровни залегания грунтовых вод и другие особенности, которые не могут быть учтены в предлагаемых рекомендациях.

В разных условиях одни и те же агроприемы могут давать неодинаковый эффект. Например, на высоких агрофонах у стойких к полеганию сортов пшеницы урожайность повышается, а у нестойких, наоборот, снижается в результате потерь от полегания. Углубление пахотного слоя на почвах с глубоким гумусовым горизонтом повышает их плодородие, а на бедных почвах этот прием может оказать противоположное действие, если не внести органических удобрений. Дифференцированная агротехника нужна не только в отдельных хозяйствах, но и на отдельных полях конкретных севооборотов. Кроме того, в рекомендациях научных учреждений не всегда учитывается влияние погоды. Так, повышенные дозы удобрений могут быть эффективными в год с достаточным количеством осадков, а в засушливые годы действие удобрений проявляется слабо.

В рекомендациях научно-исследовательских учреждений присутствует некоторая шаблонность. Ее можно устранить в том случае, когда опыты проводят в хозяйстве и сразу же внедряют лучшие варианты. Это воспитывает творческий подход специалистов к оценке новых агроприемов, к поиску резервов повышения урожайности.

Набор машин, орудий, агрегатов, используемых в научно-исследовательских учреждениях (на ограниченных площадях), обычно отличается от средств механизации, применяемых на производстве. На малых делянках иная скорость работы агрегатов, высока доля ручного труда, поэтому разной будет и урожайность. Вот почему рекомендации научных учреждений надо не просто внедрять, а конкретно испытывать.

В производственных условиях ежегодно, а иногда и ежедневно возникают какие-то проблемы, которые должен решать агроном. Для творческого решения агрономических вопросов специалист использует в производственных условиях опыты-пробы, точные сравнительные, опыты по учету экономической эффективности новых агроприемов, демонстрационные и производственные опыты (см. раздел 1.3.1). К этим опытам предъявляют те же требования, что и к опытам, проводимым в научных учреждениях (см. раздел 1.3.4).

Опыты в производственных условиях проводят не на специально выделенном участке, как в научных учреждениях, а на полях севооборота. У агронома-опытника должен быть отдельный небольшой участок вне севооборота, где он проверяет новые агроприемы на малых делянках. Это может быть испытание новых пестицидов, сортов при малом количестве семян на малых делянках — 100 м², а иногда 10—20 м².

Площадь делянок в опытах, проводимых в полях севооборотов, может составлять около 2000 м², но не 10—20 га, как иногда ошибочно рекомендуют.

1.8.2. ВЫБОР ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ И МЕСТА ДЛЯ ОПЫТА

Проводимые на производстве исследования можно разделить на две группы: 1) опыты, в которых результаты мало зависят от почв и рельефа (способы посева, нормы высева семян, предпосевная обработка семян, некоторые опыты с пестицидами и др.); 2) опыты, в которых результаты сильно зависят от почв и рельефа (обработка почвы, удобрение, орошение и т. п.). Опыты первой группы можно проводить на почвах одной наиболее распространенной разности, второй группы — на почвах всех основных разностей. Проводить эксперименты на всех полях севооборота неудобно, так как поля находятся на больших расстояниях одно от другого и опыты трудно обслуживать.

Когда в хозяйстве много почвенных разностей, разнообразный рельеф, число опытов настолько увеличивается, что их проведение становится обременительным. В таком случае проводят исследования на наиболее распространенных разностях и рельефах. Число опытов можно сократить, если договориться с соседними хозяйствами и проводить совместные опыты, спланированные по единой программе для трех-четырех хозяйств, находящихся в одинаковых почвенно-климатических условиях. Одно хозяйство проводит опыты на одних почвенных разностях, другое — на других, третье — на ровном рельефе, четвертое — на склоне. Это экономит время и средства.

В опытах с удобрениями, известкованием, гипсованием, глубокой обработкой почвы и другими длительно действующими на плодородие почвы приемами планируют изучение последствий этих факторов, чтобы определить время их затухания. В опытах, где исследуют способы посева, нормы высева семян, малые дозы удобрений (подкормки) и т. п., изучать последствие указанных агроприемов нецелесообразно.

При выборе места под опыт исключают участки, где были грунтовые дороги, тропинки длительного пользования, скирды, навозные кагаты. Меньшее влияние на плодородие почвы оказывают огрехи, разъемные борозды и свальные гребни, поэтому их устраняют в процессе подготовки участка к опыту. На плодородо-

дие почвы сильно влияет сорная растительность, особенно ее неравномерное распространение. Сорняки уничтожают в предшествующие опыту годы.

Выравнивать плодородие почвы можно также посевом одной какой-либо культуры, введением пара, равномерным внесением удобрений, одинаковой обработкой почвы, равномерным поливом за 2—3 года до закладки опыта. При этом урожайность в хозяйстве повышается, оно не несет убытков. Неровности микрорельефа выравнивают скреперами и тяжелыми шлейфами.

Труднее проводить опыты на склонах, где имеет место водная эрозия почвы. Для предотвращения эрозии в верхней части делянок, расположенных вдоль склона, делают валик и борозду глубиной 35—40 см для сбора воды, которая впоследствии впитывается почвой опытных делянок. Если опыты проводят с изучением вспашки, то делянки размещают поперек склона и делают широкие продольные защитки, над которыми также образуют глубокие борозды с валиками.

1.8.3. ЗАКЛАДКА И ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

Сначала составляют план опыта, по которому проводят его закладку, как и в научных учреждениях. Рассмотрим закладку опыта с изучением предшественников сахарной свеклы: 1) черны́й пар; 2) занятой пар; 3) многолетние травы; 4) горох; 5) кукуруза на силос. Эти предшественники выращивают до посева озимой пшеницы (предшественника свеклы). Их своевременно убирают и в оптимальные для этих предшественников сроки высевают озимую пшеницу. Опыт закладывают в четырех повторениях. Общая ширина делянки с сахарной свеклой 8,1 м, т. е. три прохода комбайна. Отношение ширины к длине 1:40, т. е. длина делянки $8,1 \cdot 40 = 324$ м. Площадь одной делянки $8,1 \cdot 324 = 2644$ м². Общее число делянок в опыте $5 \cdot 4 = 20$. Площадь под опытом 2644 м² : 20 делянок = 5,3 га. Весь опыт, т. е. 20 делянок, можно разместить в один ярус методом рендомизации. Общая ширина опыта составит $8,1 \cdot 20 = 162$ м, а длина — 324 м (рис. 33).

Отбивают базисную линию *АВ* длиной 162 м параллельно дороге, восстанавливают на ней перпендикуляры *АВ* и *ВГ*, откладывают на них по 324 м. Точки *В* и *Г* соединяют, расстояние между ними должно составить 162 м. На линиях *АВ* и *ВГ* откладывают 20 раз по 8,1 м (ширина опытных делянок) и отбивают границы делянок. Опыт привязывают к реперам, после всходов сахарной свеклы восстанавливают границы всех делянок, устанавливают этикетки. Проводят уход за опытной культурой и непосредственно за опытом. Формируют одинаковую густоту растений, тщательно ведут борьбу с сорняками.

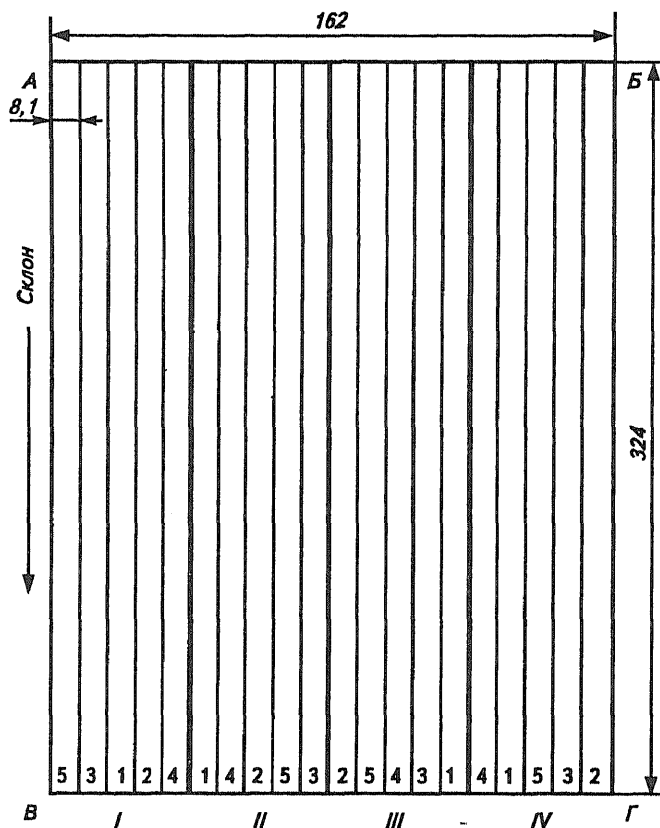


Рис. 33. Схематический план опыта с сахарной свеклой

При изреженности всходов проводят подсев. На дорожках, предназначенных для прохода, уничтожают сорную растительность. Проводят наблюдения. Для оценки состояния вариантов осматривают посевы в основные фенологические фазы растений. Кроме того, осмотры проводят после засухи, ливней, града. Наблюдают за внешней средой, учитывают атмосферные осадки, температуру и влажность воздуха. Если метеостанция находится дальше 4—5 км, в хозяйстве организуют свою метеостанцию второго разряда.

Необходимо стремиться к тому, чтобы учетная площадь всех опытных делянок была одинаковой. Но на учетной площади в отдельных местах может сильно изменяться урожайность из-за

«блюдец», кротовин, бывших куч навоза. Эти пятна выключают из опыта вместе с соседними растениями. Перед механизированной уборкой свеклы убирают вручную все выкочки и определяют их площадь, затем убирают учетную делянку, взвешивают урожай и пересчитывают в тонны с гектара.

Если посеы изрежены, делают поправку на изреженность по формуле

$$Y_{\text{п}} = Y_{\text{ф}} \frac{n_{\text{д.б}} + n_{\text{ф}}}{2n_{\text{ф}}},$$

где $Y_{\text{п}}$ — урожайность поправочная; $Y_{\text{ф}}$ — урожайность фактическая; $n_{\text{д.б}}$ — число растений, которое должно быть; $n_{\text{ф}}$ — фактическое число растений.

Например, фактическая урожайность составила 30 т/га, на 1 га должно быть 100 000 растений, фактически оказалось 80 000. В таком случае поправочная урожайность составит

$$Y_{\text{п}} = 30 \frac{100\,000 + 80\,000}{160\,000} = 33,8 \text{ т/га.}$$

После вычисления урожайности проводят статистическую обработку данных. Поскольку варианты размещены методом рендомизированных повторений, данные обрабатывают дисперсионным анализом рендомизированных повторений. Дают оценку экономической эффективности лучших вариантов.

1.8.4. СПЕЦИФИКА ОПЫТОВ, ПРОВОДИМЫХ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Опыты-пробы. Это наиболее простые опыты, проводимые на специальных полосах, выделенных в конкретных полях определенного севооборота, без повторности. Цель этих опытов — совершенствование технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Например, агроном заметил, что посев пшеницы имеет светло-зеленую окраску, что бывает при недостатке азотного питания. Выделив на этом посеве опытную полосу шириной, равной ширине захвата туковой сеялки, специалист проводит азотную подкормку и визуальные наблюдения. Если состояние посева на полосе улучшилось, то азотную подкормку осуществляют на всем поле.

В опытах-пробах можно изучать рост и урожайность новой культуры, нового сорта на различных почвенных разностях, склонах, экспозициях. Таким образом можно выявить лучшие условия для определенных культур и сортов.

Длина опытных делянок в таких опытах-пробах может быть равна длине или ширине поля с одинаковым рельефом и почвенной разностью. Это основные опыты в производстве.

Точные сравнительные (массовые) опыты. Их проводят для изучения дифференцированной агротехники и испытания на производстве новых технологий выращивания сельскохозяйственных культур. Поскольку в таких опытах объем сопутствующих наблюдений значительно сокращен, особое внимание уделяют учету урожая и определению его качества. Методика точных сравнительных опытов во многом аналогична методике, применяемой в научных учреждениях.

Для планирования точных сравнительных опытов используют почвенную карту хозяйства, историю его полей, изучают растительный покров. На выбранной для опыта площади проводят уравнительные посевы, последний из них играет роль рекогносцировочного.

В производственных условиях проводят визуальную оценку посевов и выделяют участки с одинаковым плодородием — будущие повторения опыта.

Точные сравнительные опыты целесообразно использовать для:

- изучения способов и оптимальной глубины обработки почвы; разработки системы удобрения;

- определения затухания последствий глубокой вспашки, повышенных доз органических и минеральных удобрений, а также многолетних трав;

- изучения эффективности новых удобрений, способов полива, норм высева на разных почвах и т. д.

Контрастные по биологическим особенностям сорта, удобрения и способы обработки почвы изучают на всех почвенных разностях, пестициды можно изучать на одной наиболее распространенной в хозяйстве разности. Если почвенная разность на всех полях одинаковая (что встречается редко), то опыт можно проводить на одном поле, а выводы распространять на все поля севооборота. При разном рельефе почв на каждом из них ставят отдельные опыты.

Особое внимание в точных сравнительных опытах уделяют типичности участка и типичности погоды. За период исследований обязательно должны быть типичные годы по осадкам, температуре и влажности воздуха, ибо в нетипичные годы результаты будут иными. Агрофон опыта должен быть не столько типичным, сколько перспективным.

В схему опыта подбирают небольшое число вариантов — порядка пяти. В нее должен входить вариант с теми элементами агротехники или технологии, с применением которых выращивали опытную культуру до постановки опыта (этот вариант берут в качестве одного из контролей). Другим вариантом должна быть рекомендация научного учреждения, обслуживающего данную зону. Третьим вариантом может быть доза (градация), несколько меньшая, чем рекомендованная, а четвертым

и пятым вариантами — дозы, несколько бóльшие. Увеличение числа вариантов обременительно для производства, при больших размерах делянок это ведет к увеличению площади участка и возрастанию ошибок из-за территориального варьирования плодородия. Лучше взять меньше вариантов, но более тщательно провести опыт, соблюдая основные положения методики опытного дела.

Опытные делянки в точных сравнительных опытах должны быть удлиненными, обычно их длину берут равной длине или ширине поля. Длинной стороной такие делянки следует размещать вдоль основного направления изменения плодородия почвы, чаще всего вдоль склона.

Ширину делянки берут кратной ширине захвата посевных, обрабатывающих, уборочных агрегатов (минимум — 3,6 м, максимум — 12—16 м). Широкие делянки используют для опытов с орошением, обработкой почвы.

Общая ширина делянок для изучения вопросов посева равна ширине захвата сеялки, в опытах с пестицидами — обрабатывающего агрегата, а при использовании штанговых опрыскивателей она может быть и меньшей, если перекрыть некоторые форсунки по желанию агронома-опытника. В опытах с зерновыми колосовыми культурами ширина делянок берется кратной захвату хедера комбайна, чаще всего 8—16 м; с пропашными — 5—10 м, но лучше брать определенное количество рядов этих культур.

Отношение ширины делянки к ее длине может составлять 1:20, 1:40. Чем длиннее делянка, тем выше точность опыта при условии, что по всей длине делянка размещается на одной почвенной разности, подпочве, при той же глубине грунтовых вод и одинаковом рельефе. Только так можно добиться повышения точности опыта, в ином случае удлинение делянки неэффективно.

Однако только удлинением делянки нельзя повысить точность опыта, необходимо еще иметь достаточное число повторностей. В опытах, проводимых на производстве, пользуются 3—4-кратной повторностью. Опыт в 2-кратной повторности или даже без повторностей — самое грубое нарушение методики. Лучше вообще не проводить опыт, чем поставить его с грубыми нарушениями. Для опытов на производстве рекомендуют даже большие повторности, связывая их с площадью опытной делянки. Так, при площади делянки 1280, 960, 640, 480, 320 м² ориентировочное число повторностей может быть соответственно 4, 5, 6, 7, 8.

В опытах с сиднодействующими на рост и урожайность растений вариантами необходимо предусматривать защитные полосы. На продольные защитки с зерновыми колосовыми культурами обычно отводят 1 м, а с пропашными — 2 ряда. Если делянки

очень широкие, а также в опытах с малоконтрастными вариантами и сортами сельскохозяйственных культур можно обходиться и без защитных полос, отделяя делянки дорожками шириной, равной полутора-двум междурядьям для зерновых колосовых и одному междурядью для пропашных.

Если посев проводят не вдоль, а поперек делянок, то на границах их длинных сторон образуют узкие дорожки для выделения делянок. Эти дорожки вырезают тяпкой. Не следует пользоваться слишком широкими защитками, так как это ведет к увеличению площади под опытом, росту варьирования плодородия, а следовательно, к снижению точности опыта.

Поперечные (концевые) защитки выделяют узкими поперечными дорожками. Ширина их должна обеспечивать разворот работающего агрегата, кроме того, на этих защитках отбирают почвенные и растительные образцы, чтобы не вытаптывать учетные делянки.

Опыты по учету эффективности новых агроприемов. В таких опытах совмещают исследования с внедрением тех новых рекомендаций, которым уже дана оценка в научно-исследовательских учреждениях. Для этого в производственных посевах выделяют 3—4 контрольные полосы так, чтобы они охватывали все условия поля, — почвенные разности, уровень грунтовых вод, разный рельеф по всей его длине. Рядом с контрольными полосами выделяют опытные. Все полосы должны быть одинаковой ширины и длины. Ширина может колебаться для культур сплошного посева в пределах 10—20 м, а для пропашных — 5—10 м. На контрольных полосах новый агроприем не применяют. При сортоизучении на контрольных полосах высевают стандартный сорт, с которым сравнивают новый гибрид или сорт, завезенный из других области или региона.

Границы полос фиксируют колышками и валиками, по которым механизатор ведет уборочный агрегат. При уборке урожай учитывают отдельно на контрольных и опытных полосах, где испытывают новый агроприем или сорт. В опыте с зерновыми колосовыми культурами берут пробы по 1 кг для определения влажности и качества зерна. Уборку урожая на оставшейся части поля проводят только после уборки на контрольных и опытных полосах.

Новые агроприемы внедряют в хозяйстве лишь тогда, когда есть полная уверенность в их экономической эффективности. Например, при изучении удобрения озимой пшеницы в каждом варианте опыта определяют дозы удобрений, а также прирост урожая основной и побочной продукции. Вычисляют затраты на покупку, перевозку и внесение удобрений, на уборку и обработку дополнительного урожая, полученного от удобрения, общие затраты и чистый доход с 1 га.

В опытах со сроками посева, обработки почвы и внесения

пестицидов, где не требуются дополнительные затраты, проводят только агротехническую оценку.

Демонстрационные опыты. Такие опыты проводят в полях севооборотов для пропаганды новых агроприемов, технологий, сортов. Их закладывают в опорно-показательных хозяйствах, на экспериментальных базах научных учреждений, в передовых сельскохозяйственных предприятиях и демонстрируют лишь те агроприемы, сорта, которые не вызывают сомнений. Методика постановки и проведения демонстрационных опытов такая же, как полевых опытов, проводимых в научных учреждениях. В демонстрационных опытах площадь делянок увеличивают до такого размера, чтобы продемонстрировать весь необходимый набор средств механизации. Кроме того, число сопутствующих учетов и наблюдений ограничено до минимума. Основное внимание концентрируют на учете урожая, его качестве и оценке экономической эффективности вариантов.

Подъездные дороги и дорожки, предусмотренные для прохода при осмотре опытов, содержат в чистоте. В начале опыта устанавливают стенд со схематическим планом опыта, на делянках расставляют этикетки. На базе таких опытов проводят семинары для специалистов района.

Часть 2

СХЕМЫ ОПЫТОВ, НАБЛЮДЕНИЯ И УЧЕТЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОСНОВНЫХ АГРОНОМИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ



2.1. ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

Схемы опытов. Для изучения реакции отдельных культур на выращивание их в севообороте или в условиях бессменного посева рекомендуется следующая общая схема опыта:

- 1) культура в бессменном посеве;
- 2) повторный посев культуры в севообороте;
- 3) возделывание культуры в севообороте после рекомендованного предшественника.

При изучении влияния длительности возделывания культур в условиях повторного посева на продуктивность растений в схему опыта целесообразно вводить следующие варианты:

- 1) культура в севообороте после рекомендованного предшественника;
- 2—8) культура второй—восьмой год подряд на одном поле.

Изучая предшественники для озимых культур, можно воспользоваться такой общей схемой опыта:

- 1) паровые предшественники (чистый пар в засушливых и парозанимающие культуры в более увлажненных районах);
- 2) непаровые предшественники (пропашные и культуры сплошного сева, бобовые и небобовые).

Для каждой природно-экономической зоны характерны свои предшественники озимых культур. Их много и они разные, поэтому не все предшественники должны быть составной частью схемы опыта. Схема не должна быть громоздкой, но в то же время она должна быть полной, поэтому в нее необходимо вводить в качестве контроля один из наиболее распространенных и лучших предшественников для каждой зоны, а в опытных вариантах изучать менее распространенные и изученные предшественники.

Опытные варианты с предшественниками озимых культур должны различаться между собой по длине вегетационного периода, потреблению из корнеобитаемого слоя почвы воды и элементов питания, срокам уборки, технологии возделывания и другим показателям. Так, если в структуру предшественников озимых введена гречиха, то ее следует испытывать как пропашную и как культуру сплошного сева. В районах возделывания картофеля этот предшественник необходимо изучать с включением ранне-, средне- и позднеспелых сортов.

Изучая предшественники для яровых зерновых злаковых и бобовых культур, в схему опыта целесообразно вводить озимые и яровые, пропашные и культуры сплошного сева. Большинство опытных вариантов — относительно мало изученные предшественники в том или ином регионе. При этом надо исходить из возможностей исследователя, только коллектив экспериментаторов может одновременно вводить в структуру предшественников различные по биологическим особенностям и агротехнике возделывания группы культур. Как правило, число групп культур ограничено. Например, для кукурузы в Центрально-Черноземной зоне изучаемыми предшественниками могут быть лишь различные зерновые злаки. При этом схему опыта ограничивают следующими вариантами:

- 1) озимая пшеница (контроль);
- 2) озимая рожь (или озимый ячмень);
- 3) яровой ячмень;
- 4) яровая пшеница;
- 5) овес.

Добавочным вариантом для этой схемы может быть кукуруза, поскольку вопрос использования повторных посевов данной культуры до сих пор остается спорным. Аналогичной схемой можно воспользоваться в опыте с бобовыми культурами.

Для изучения предшественников яровой пшеницы в Поволжье типичной может быть такая схема опыта:

- 1) чистый пар;
- 2) озимая пшеница по чистому пару (контроль);
- 3) яровой ячмень;
- 4) овес (или просо);
- 5) кукуруза.

В опыте с подсолнечником схема может включать такие же предшественники, как и для кукурузы. Для условий Кубани добавочным вариантом может быть сахарная свекла, а для других районов — соя или иные зерновые бобовые культуры.

При изучении размещения сахарной свеклы в севообороте следует учитывать, что эта культура может реагировать как на предшественник, так и на предпредшественник. В связи с этим отдельно нужно планировать опыты с предшественниками, а отдельно — с предпредшественниками на фоне типичного для зоны предшественника. Опыт с предшественниками сахарной свеклы можно планировать по такой общей схеме:

- 1) озимые колосовые (пшеница в качестве контроля, ячмень, рожь);
- 2) яровые колосовые (ячмень, овес) и крупяные (просо, гречиха);
- 3) зерновые бобовые (горох, соя, люпин и др.);
- 4) яровые пропашные (кукуруза, картофель, подсолнечник);
- 5) многолетние бобовые травы.

Отдельными вариантами могут быть также различные сорта озимой пшеницы. При этом в схему опыта необходимо вводить такие варианты, которые резко различаются между собой высо-

той травостоя или продолжительностью вегетационного периода. Общая схема опыта будет следующей:

- 1) наиболее распространенный из районированных сортов (контроль);
- 2) очень высокорослый и склонный к полеганию сорт;
- 3) низкорослый, устойчивый к полеганию сорт;
- 4) сорт с относительно длинным вегетационным периодом;
- 5) сорт с коротким вегетационным периодом.

Аналогичными могут быть схемы опытов, где озимая пшеница заменена другими колосовыми культурами, сорта которых различаются между собой по тем же или другим показателям.

Наиболее распространенный и рекомендованный во всех зонах свеклояния предшественник сахарной свеклы — озимая пшеница — размещается после разных культур, поэтому последние и должны служить отдельными вариантами в схеме опыта с предшественниками. Общий вид такой схемы:

- 1) пар занятой, в засушливых районах чистый (контроль);
- 2) многолетние травы разного срока использования;
- 3) непаровые предшественники.

Планируя опыты с картофелем, можно воспользоваться схемой с предшественниками сахарной свеклы.

Актуальными следует считать исследования по изучению места подсева многолетних бобовых трав в севообороте, принимая во внимание, что в большинстве случаев они являются подпокровными культурами. Наиболее распространен в качестве покровной культуры яровой ячмень, можно использовать яровую пшеницу и овес, просо и гречиху, злаково-бобовую смесь и кукурузу на зеленый корм, а из озимых культур — пшеницу (реже рожь) и ячмень. Каждая из этих культур может быть составной частью схемы опыта.

Мало изучен в лесостепной зоне вопрос размещения конопли. Поскольку эта культура хорошо переносит повторные посевы, последние должны быть обязательной составной частью схемы опыта. В схему должны быть включены пропашные и культуры сплошного сева — озимые и яровые колосовые, кукуруза разных сроков уборки, корне- и клубнеплоды, а в южных районах — подсолнечник.

В льносеющих районах опыты по изучению предшественников для льна рекомендуется планировать по такой общей схеме:

- 1) озимые колосовые (контроль);
- 2) многолетние бобовые травы разного срока использования;
- 3) яровые колосовые;
- 4) яровые бобовые;
- 5) пропашные.

В степной зоне эффективность размещения чистого пара в севообороте можно оценивать при помощи тестов, которыми могут стать наиболее распространенная в районе парозанимающая культура и озимая пшеница. При использовании парозани-

мающих культур их и чистый пар размещают после одних и тех же предшественников. Лучшим для чистого пара следует считать тот предшественник, после которого ниже продуктивность парозанимающей культуры. При использовании в качестве теста озимой пшеницы исходят из того, что лучшим для пара будет тот предшественник, после которого впоследствии выше урожайность тестовой культуры. В обоих случаях в качестве предшественников чистого пара выбирают в зависимости от зоны яровые пропашные (подсолнечник, кукуруза, сахарная свекла) и яровые зерновые сплошного сева (пшеница, ячмень, овес, просо).

Основные наблюдения и учеты. В опытах с полевыми культурами все планируемые исследования можно разделить на две группы. К первой группе относятся наблюдения и учеты, позволяющие анализировать условия жизни растений, а ко второй — характеризующие процессы формирования урожая. Если объектами исследований являются культурные растения или сорняки, в программу опыта обязательно включают фиксацию дат прохождения фенологических фаз развития растений. Прохождение фенофаз может больше зависеть от погодных условий года, чем от вариантов опыта. Особенно это касается лет с нетипичными погодными условиями. В связи с этим к обязательным исследованиям следует отнести анализ таких основных элементов погоды, как интенсивность выпадения осадков в течение года или вегетационного периода, характер температурного режима с фиксацией максимальных и минимальных температур, влажность воздуха в разные периоды года или вегетации растений. Обязательно нужно учитывать экстремальные факторы погоды (град, ураганный ветер, ливень), которые могут повлиять на формирование урожая.

Исследования условий жизни растений условно можно разделить на главные и второстепенные. Главные — это обязательные исследования в опыте, без которых все другие теряют смысл. К числу второстепенных относятся наблюдения и учеты, результаты которых позволяют раскрыть причинность явлений, зафиксированных во время проведения главных исследований. Например, исследователь при учете урожая отметил в одном из вариантов опыта резкое его снижение. Впоследствии он сумел объяснить это сильным изреживанием травостоя, выявленным в ходе дополнительных исследований структуры урожая.

Тематика главных и второстепенных наблюдений и учетов зависит от направления исследований и специфики опыта. В опытах с предшественниками для любой сельскохозяйственной культуры в программу обязательно включают исследования тех условий жизни, которые в первую очередь являются следствием возделывания предшествующей культуры. Например, интенсивность появления всходов тесно коррелирует с увлажненностью посевного слоя почвы, особенно это касается озимых культур.

Увлажненность посевного слоя почвы, в свою очередь, зависит от срока уборки предшественника и количества влаги, остающегося после него. В связи с этим экспериментатор и должен запланировать исследование водного режима верхнего (в том числе посевного) слоя почвы на время посева озимых культур.

Если согласно схеме опыта в структуру предшественников озимых зерновых входят различные культуры, включая колосовые злаки, то необходимо планировать исследования интенсивности поражаемости растений болезнями и вредителями. К обязательным исследованиям в опытах с предшественниками относятся также определение засоренности посевов в основные периоды развития растений и анализ водного режима, который складывается в корнеобитаемом слое почвы на период посева и уборки.

В опытах, где бобовые предшественники сравнивают с небобовыми, обязательным элементом исследований следует считать анализ азотного режима почвы в течение вегетационного периода.

Условия жизни озимых культур целесообразно оценивать по состоянию перезимовки растений и по интенсивности полегания посевов. Последнее касается и яровых культур сплошного сева.

К второстепенным исследованиям условий жизни растений после разных предшественников можно отнести изучение структурного состава почвы, плотности, сложения пахотного слоя и других физических показателей почвенной среды.

Развитие растений анализируют по результатам фенологических наблюдений, а рост и формирование урожая различных культур в зависимости от предшественников оценивают по интенсивности нарастания вегетативной массы и формирования основных элементов структуры урожая.

Анализ роста любой культуры необходимо начинать с учета интенсивности появления всходов и определения их полной густоты. Учет нарастания вегетативной массы приурочивают к основным фенологическим фазам или периодам развития растений. Например, для озимых колосовых это конец осенней вегетации, начало выхода растений в трубку, колошение—цветение; для яровых колосовых — кущение, выход в трубку, колошение—цветение; для кукурузы — 3—5 листьев, начало выбрасывания метелки, образование початков; для сахарной и кормовой свеклы — смыкание листьев в рядках, а затем в междурядьях, интенсивное нарастание корнеплодов.

Для оценки динамики нарастания вегетативной массы используют такие показатели, как масса, высота растений, число листьев и их площадь. При оценке формирования урожая зерновых злаковых и бобовых культур необходимо учитывать густоту продуктивного стеблестоя, число бобов или початков на одном растении, число и массу зерен в колосе, бобе, початке, метелке.

Одновременно с учетом урожая в опытах с предшественника-

ми на посевах корнеплодных культур определяют среднюю массу одного корнеплода, а на посадках картофеля — среднюю массу клубня, число и массу клубней в гнезде.

Кроме определения урожайности в опытах с предшественниками обязательно предусматривают анализы качественных показателей: для зерновых колосовых — масса 1000 зерен, натура зерна, содержание белка (а в зерне пшеницы — и клейковины); для масличных культур — содержание масла; для сахарной свеклы — содержание сахара в корнеплодах; для картофеля — содержание крахмала в клубнях.

Обязательно следует проводить статистический анализ основных результатов любого опыта. В опыте с предшественниками наряду с данными об урожайности и качестве растениеводческой продукции статистически обрабатывают и другие показатели, наиболее полно характеризующие условия жизни растений в зависимости от предшественников, — запасы влаги в почве, поражаемость растений вредными организмами и т. п.

2.2. ОПЫТЫ С ОТДЕЛЬНЫМИ СЕВООБОРОТНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ И ЦЕЛЫМИ СЕВООБОРОТАМИ

Схемы опытов. Опыты севооборотного характера не ограничиваются лишь изучением эффективности размещения отдельных культур. В стационарных опытах объектами исследований являются либо отдельные севооборотные звенья, либо целые севообороты, различающиеся между собой хозяйственной направленностью, видовым составом культур, числом полей или длительностью ротационного периода.

Общая схема севооборота звена: предшественник озимой или яровой культуры — основная для зоны озимая или яровая культура — последующая культура. Если в свеклосеющих районах планируется изучать одновременно действие и последствие различных культур (а при его наличии — и пара) на озимую пшеницу и следующую за ней сахарную свеклу, то вариантов севооборотных звеньев будет столько, сколько предшественников взято для озимой пшеницы. Общая схема опыта будет включать следующие звенья:

- 1) с чистым паром (черным и ранним);
- 2) с парозанимающими культурами (озимыми и яровыми);
- 3) с многолетними травами различного срока использования;
- 4) с непаровыми предшественниками (озимыми и яровыми, бобовыми и небобовыми, пропашными и культурами сплошного сева).

Если в разных вариантах севооборотных звеньев первые две культуры одинаковые (например, везде озимая пшеница, возделываемая после чистого пара), то в схеме опыта вариант называют по заключительной (третьей) культуре, например звенья со

свеклой, кукурузой (на зерно или силос), картофелем, подсолнечником.

Севооборотные звенья могут различаться между собой сразу двумя или даже тремя культурами, состав которых зависит от природно-экономической зоны. Например, в лесостепных районах схема опыта, в котором меняются две культуры, может включать варианты свекловичных севооборотных звеньев:

- 1) горох — озимая пшеница — сахарная свекла;
- 2) кукуруза — яровой ячмень — сахарная свекла;
- 3) картофель — озимый ячмень — сахарная свекла;
- 4) подсолнечник — кукуруза на силос — сахарная свекла.

Пример схемы опыта с севооборотными звеньями, в которых одновременно меняются все три культуры:

- 1) горох — озимая пшеница — сахарная свекла;
- 2) вика — озимый ячмень — кукуруза;
- 3) соя — яровой ячмень — картофель;
- 4) кукуруза на силос — озимая рожь — подсолнечник.

Схема опыта с севооборотными звеньями может включать варианты, которые могут иметь одинаковый видовой состав культур и различаться между собой лишь чередованием.

Схемы опытов с целыми севооборотами составляют, как правило, по таким принципиальным направлениям: использование различных паров и парозанимающих культур; наличие или отсутствие многолетних трав разного видового состава и срока использования; разный удельный вес наиболее распространенных в районе исследования полевых культур.

Если в опыте планируют изучать эффективность севооборотов с разным видовым составом парозанимающих культур, отдельные варианты должны различаться между собой лишь одним полем. Пример схемы такого опыта с пятипольными севооборотами в зоне свеклосеяния приведен в таблице 22.

22. Схема опыта с разными парозанимающими культурами в пятипольных севооборотах

Вариант	Размещение культур на полях согласно схеме севооборота				
	I	II	III	IV	V
1	Озимая пшеница на зеленый корм	Озимая пшеница	Сахарная свекла	Кукуруза	Ячмень
2	Озимые злаково-бобовые смеси на зеленый корм	То же	То же	»	»
3	Вико-овсяная смесь на зеленый корм	»	»	»	»
4	Горох на зеленый корм	»	»	»	»
5	Кукуруза на зеленый корм	»	»	»	»

Дополнительным может служить вариант севооборота, в котором вместо парозанимающих культур используют чистый пар или наиболее распространенный непаровой предшественник.

Для изучения роли многолетних бобовых трав разного видавого состава в севооборотах с определенным (типичным для зоны) числом полей опыты планируют по следующей схеме: в одном из блоков полей в первом варианте севооборота планируют выращивать одну бобовую многолетнюю культуру, в другом — другую, в третьем — третью или смесь двух первых и т. д., а в последнем — типичные для зоны однолетние травы, с которыми целесообразно сравнивать многолетние. В остальных блоках полей во всех севооборотах, как и в опыте с различными парозанимающими культурами, возделывают растения одного и того же видового состава, так как иначе невозможно будет вычленить изучаемый фактор.

Более сложны схемы опытов с севооборотами при изучении эффективности насыщения их наиболее распространенными в зоне культурами. Это обусловлено тем, что при расширении посевов одной культуры автоматически сокращаются площади посевов другой или нескольких других культур, и наоборот. В одном опыте с минимальными затратами на проведение исследований можно одновременно изучать несколько вопросов, общая сущность которых заключается в разной концентрации посевов нескольких сельскохозяйственных культур. При этом исследователь не должен выходить за рамки разумного расширения или сокращения площади посевов соответствующей культуры. Например, в зоне свеклосеяния недопустимо полностью исключать посевы сахарной свеклы из структуры посевных площадей. То же касается и других ведущих культур различных агропочвенных районов. Неразумно также чрезмерно расширять посевы тех культур, площади которых ограничиваются многими факторами. Например, даже в крайних (по максимуму) опытных вариантах с сахарной свеклой, подсолнечником или льном площадь посева этих культур не должна превышать половины всей севооборотной площади. Более высокий удельный вес в севообороте могут занимать те культуры, которые относятся к группе со средней или слабой чувствительностью к повторному или бессменному возделыванию, — кукуруза, яровая пшеница, картофель, конопля, хлопчатник, табак.

В зависимости от чувствительности культуры, которой планируется насыщать севооборот, в опыте можно использовать севообороты с разной длительностью ротации. Так, изучая возможность насыщения структуры посевных площадей слабочувствительными к повторным посевам культурами, можно воспользоваться севооборотами с относительно небольшим числом полей. Например, в засушливых районах Поволжья эффективность разного удельного веса яровой пшеницы можно исследовать в опыте с пятипольными севооборотами по схеме, приве-

денной в таблице 23. В данном опыте можно дополнительно изучить и такой вопрос, как замена одной зерновой яровой культуры другой культурой той же группы.

23. Схема опыта с разным удельным весом яровой пшеницы в пятипольных севооборотах

Удельный вес яровой пшеницы, %	Чистый пар и культуры в порядке чередования на полях				
	I	II	III	IV	V
20	Чистый пар	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Просо	Яровой ячмень
40	То же	То же	То же	»	Яровая пшеница
60	»	»	»	Яровая пшеница	То же
80	»	Яровая пшеница	»	То же	»

Севообороты с небольшим числом полей непригодны для исследования разного удельного веса чувствительных к повторному возделыванию культур, потому что избежать повторных посевов при наличии трех и более вариантов в опыте с такими севооборотами невозможно. Для опытов с разной концентрацией в структуре посевных площадей сахарной свеклы, которая требует, как минимум, годичного перерыва в возделывании на поле, предусматривают использование севооборотов с большим (8—12) числом полей. И чем больше полей будет в севообороте, тем больше вариантов может быть в опыте. Например, в северо-западных увлажненных районах, а также на орошаемых землях Центрально-Черноземной зоны схема опыта с десятипольными севооборотами с сахарной свеклой может включать пять вариантов, в которых названная культура занимает 10, 20, 30, 40 и 50 % пашни (табл. 24).

24. Примерная схема опыта с десятипольными севооборотами и разным удельным весом сахарной свеклы

Удельный вес сахарной свеклы, %	Культуры в порядке чередования на полях				
	I	II	III	IV	V
10	Кукуруза на зеленый корм	Озимая пшеница	Кукуруза	Ячмень с подсевом клевера	Клевер
20	То же	То же	Сахарная свекла	То же	»
30	»	»	То же	»	»
40	»	»	»	Ячмень	Сахарная свекла
50	»	Сахарная свекла	Ячмень	Сахарная свекла	Горох

Удельный вес сахарной свеклы, %	Культуры в порядке чередования на полях				
	VI	VII	VIII	IX	X
10	Озимая пшеница	Сахарная свекла	Горох	Озимая пшеница	Кукуруза
20	То же	То же	»	То же	»
30	»	»	»	»	Сахарная свекла
40	Ячмень	»	»	»	То же
50	Сахарная свекла	Ячмень	Сахарная свекла	Кукуруза	»

При изучении степени насыщения севооборотов пропашными культурами в Центрально-Черноземной зоне рекомендуется следующая схема опыта (табл. 25).

25. Схема опыта с разным насыщением пятипольных севооборотов пропашными культурами

Удельный вес пропашных, %	Культуры в порядке чередования на полях				
	I	II	III	IV	V
20	Горох	Озимая пшеница	Сахарная свекла	Ячмень	Овес
40	Вико-овсяная смесь	То же	То же	»	Кукуруза
40	То же	»	»	»	Подсолнечник
60	Кукуруза на силос	»	»	»	»
60	То же	»	»	»	Кукуруза
80	»	»	»	Кукуруза	»
80	»	»	»	»	Подсолнечник
100	Соя	Кукуруза на силос	»	Соя	Кукуруза
100	»	То же	»	»	Картофель

Основные наблюдения и учеты. В зависимости от того, что является объектом исследований в стационарных опытах с севооборотами — отдельные севооборотные звенья или целые схемы севооборотов, планируют разную программу исследований.

В опытах с отдельными севооборотными звеньями можно ограничиться такими исследованиями, как и в опытах с предшественниками. Дополнительно планируют лишь определение продуктивности севооборотных звеньев по таким общепринятым показателям, как выход с 1 га разного вида продукции в абсолютном (зерно, корнеплоды и др.) и относительном (зерновые, кормовые или кормопротеиновые единицы) выражении. В последнее время количество растительной продукции, получен-

ной в севооборотных звеньях, рекомендуется выражать согласно мировым стандартам в джоулях (или калориях).

Все перечисленные для опытов с предшественниками и севооборотными звеньями исследования можно использовать и в опытах, где объектом эксперимента служат полные схемы севооборотов. Вместе с тем в длительных стационарных опытах с севооборотами можно дополнительно изучать вопросы, которые невозможно решить в краткосрочных опытах. Прежде всего это касается изменения содержания отдельных элементов плодородия в почве за период одной или нескольких ротаций севооборотов. Для решения этой задачи планируют:

провести балансовые расчеты основных элементов питания за ротацию отдельных вариантов севооборотов;

показать содержание отдельных элементов питания в корнеобитаемом слое почвы в динамике — в начале и в конце ротации; определить баланс гумуса в почве за ротацию севооборотов;

изучить влияние севооборотов на основные показатели физического состояния пахотного слоя почвы;

раскрыть изменения в засоренности верхнего слоя почвы семенами и вегетативными органами размножения сорняков за ротацию севооборотов;

оценить севообороты по их возможности обеспечить: накопление вредителей и возбудителей наиболее опасных болезней растений; охрану почвенной среды от эрозии; условия для получения экологически чистой продукции.

2.3. ИЗУЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ

Схемы опытов. Эффективность использования удобрений можно изучать в нескольких направлениях. Исследуют дозы отдельных элементов питания, соотношение азота, фосфора и калия, разные формы удобрений, сроки и способы их внесения.

Так, если хотят изучить эффективность применения разных доз азотных удобрений под определенную культуру, то все варианты должны различаться лишь количеством внесенного азота, тогда как фосфорно-калийные удобрения во всех вариантах опыта вносят в одинаковых дозах (фон). Контрольным в данном опыте служит вариант с рекомендованной в зоне исследований дозой азота, а в опытных вариантах дозы азотных удобрений должны быть больше и меньше контроля. Иногда в схему опыта вводят второй, абсолютный контроль — без азотных удобрений на фосфорно-калийном фоне. Для примера приведена общая схема опыта с дозами азотных удобрений на фосфорно-калийном фоне:

- 1) фон (абсолютный контроль);
- 2) фон + рекомендованная доза азота (производственный контроль);
- 3—9) фон + 0,33; 0,50; 0,75; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00 рекомендованной дозы азота.

Аналогично составляют схемы опытов, где объектами исследований являются дозы фосфорных и калийных удобрений; их изучают соответственно на азотно-калийном и азотно-фосфорном фонах.

При планировании опыта, в котором варианты будут отличаться соотношением отдельных элементов питания, следует исходить из возможностей экспериментатора. Варианты могут отличаться лишь количеством одного из основных элементов питания. При этом планируют и небольшое число градаций азота, фосфора и калия, потому что даже при пяти (0; 0,5; 1; 1,5 и 2) градациях каждого элемента схема опыта уже будет включать 13 вариантов (табл. 26).

26. Схема опыта с изучением соотношения азота, фосфора и калия при пяти градациях каждого элемента

Вариант	N	P	K	Вариант	N	P	K	Вариант	N	P	K
1 (контроль)	1	1	1	6	1	0	1	11	1	1	0,5
2	0	1	1	7	1	0,5	1	12	1	1	1,5
3	0,5	1	1	8	1	1,5	1	13	1	1	2
4	1,5	1	1	9	1	2	1				
5	2	1	1	10	1	1	0				

Еще больше вариантов будет входить в схему опыта при пяти градациях каждого элемента, если варианты будут отличаться соотношением не одного, а сразу нескольких элементов. Для того чтобы общая схема опыта была не очень громоздкой, при планировании полного факториального эксперимента следует брать минимальное число градаций каждого из элементов — две или в крайнем случае три.

Если в опыте планируют сравнить эффективность использования органической, минеральной или органо-минеральной систем удобрения культур в севообороте, то в схему стационарного опыта (временные опыты с отдельными культурами для этой цели непригодны) необходимо включить следующие варианты:

- 1) рекомендованная доза навоза для простого воспроизводства запасов почвенного гумуса;
- 2) половина рекомендованной дозы навоза (вторая половина компенсируется по содержанию NPK внесением минеральных удобрений);
- 3) весь навоз по тому же принципу заменен минеральными удобрениями;
- 4) доза навоза рассчитана на расширенное воспроизводство гумуса в почве;
- 5—6) то же, что и в вариантах 2 и 3, только применительно к взятой в варианте 4 дозе навоза.

В отдельных краткосрочных опытах с определенными культурами можно планировать изучение только форм органических или минеральных удобрений. Для этой цели опыт с органическими удобрениями желательно закладывать по следующей схеме:

- 1) полуперепревший навоз (контроль);
- 2) жидкий навоз;
- 3) птичий помет;
- 4) торф (или торфяные компосты);
- 5) измельченная солома злаковых культур;
- 6) зеленая масса сидератов;
- 7) сапропель.

В опыте с минеральными удобрениями вариантами могут служить разные их формы. Так, изучая формы азотных удобрений, в схему опыта необходимо включать:

- 1) аммиачные — аммиак жидкий или аммиак водный;
- 2) аммонийные — сульфат аммония или хлорид аммония;
- 3) нитратные — натриевая или кальциевая селитра;
- 4) аммонийно-нитратные — аммиачная или кальциево-аммиачная селитра;
- 5) амидные — карбамид (мочевина);
- 6) аммиакаты — КАС (карбамид-аммиачная селитра).

При изучении эффективности форм фосфорных удобрений общая схема опыта будет такой:

- 1) водорастворимые;
- 2) полурстворимые;
- 3) нерастворимые в воде.

Объектами исследований могут быть также отдельные представители каждой из указанных групп фосфорных удобрений. Например, в опыте с водорастворимыми фосфорными удобрениями обязательными должны быть следующие варианты:

- 1) гранулированный простой суперфосфат;
- 2) двойной суперфосфат (концентрированный);
- 3) аммонизированный суперфосфат;
- 4) суперфос.

Если планируют изучать разные сроки и способы внесения минеральных удобрений в рекомендованных под культуру дозах, то желательно воспользоваться такой общей схемой опыта:

- 1) NPK под основную обработку;
- 2) NPK под предпосевную обработку;
- 3) PK под основную обработку, N — под предпосевную;
- 4) PK под основную обработку, N — дробно: при посеве и в качестве одной—трех подкормок растений за вегетацию.

В опытах с микроэлементами схема опыта может включать рекомендованные дозы бора, марганца, меди, цинка, кобальта, молибдена, железа. Вариантами в опытах с микроудобрениями могут быть разные дозы или смеси препаратов. В качестве самостоятельных могут выступать опыты с изучением бактериальных препаратов: например, инокуляция семян бобовых культур нитрагином или ризоторфином. Эффективность использования микро- и бактериальных удобрений под отдельные культуры лучше всего изучать в двухфакторном опыте, где фактором *A* могут служить отдельные микроэлементы, а фактором *B* — бактериальные препараты.

Основные наблюдения и учеты. Поскольку внесенные в почву удобрения влияют прежде всего на питательный режим, в опытах с удобрениями обязательно планируют изучать условия питания растений в основных периоды роста и развития. При этом определяют обеспеченность растений нитратным и аммонийным азотом, подвижными формами фосфора и калия, несмотря на то, что в одном опыте изучают эффективность разных доз азота, фосфора и калия, а в другом — лишь одного из названных элементов.

В стационарных опытах с продолжительным использованием удобрений обязательно планируют проведение балансовых расчетов содержания в пахотном слое почвы основных элементов питания.

При длительном использовании в опыте физиологически кислых минеральных удобрений в программу обязательных исследований необходимо включать определение кислотности почвенной среды. Этот анализ планируется и в опытах с применением органических и известковых удобрений, потому что их внесение (особенно последних) направлено непосредственно на снижение кислотности пахотного слоя почвы.

В программу обязательных исследований в опытах с любыми удобрениями включают определение интенсивности жизнедеятельности микроорганизмов, которую оценивают по скорости выделения диоксида углерода из почвы, скорости разложения клетчатки (льняной ткани), нитрификационной способности почвы и т. д.

В опытах с длительным применением удобрений (в основном это стационарные опыты) наряду с изучением изменения основных агрохимических показателей почвы обязательно нужно исследовать изменения гумусированности корнеобитаемого слоя почвы, распределение по профилю этого слоя основных элементов питания, перемещение нитратов за пределы активной деятельности корневой системы растений, наличие в почвенной среде тяжелых металлов.

В опытах с изучением эффективности различных вариантов основного удобрения озимых культур необходимо планировать исследования условий перезимовки растений. Если удобрения в опыте вносят под культуры, по своим биологическим особенностям склонные к полеганию, необходимо определять наряду с биометрическими показателями роста и степень полегания растений (или их устойчивость к этому отрицательному явлению). Поскольку от удобрений зависит рост не только культурных растений, но и сорняков, определение засоренности посевов также относится к группе обязательных исследований. В опытах с удобрениями, особенно с азотными, обязательно определяют содержание нитратов в растениеводческой продукции.

Питательные вещества могут быть не полностью использова-

ны растениями в год внесения удобрений, поэтому в опытах с удобрениями, особенно с органическими, помимо их прямого действия необходимо учитывать последствие на следующие культуры. При этом в программу исследований включают те же наблюдения и учеты, которые были запланированы для изучения прямого действия внесенных удобрений.

2.4. ИЗУЧЕНИЕ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Схемы опытов. Направления исследований обработки почвы очень разнообразны. В отдельные группы опыты по обработке почвы объединяют по принципу, под какие культуры (яровые или озимые, основные или промежуточные) обработка планируется; основная это обработка, предпосевная или обработка по уходу за посевами. В каждой группе можно выделить три подгруппы, в которых объектами исследований являются сроки, глубина и способы обработки почвы.

При изучении обработки почвы под озимые культуры схемы опытов разрабатывают с учетом предшественников и почвенно-климатической зоны. Пример схемы однофакторного опыта по изучению основной обработки почвы после многолетних бобовых трав в лесостепных районах:

- 1) отвальная вспашка на глубину 23—24 см (контроль);
- 2) плоскорезная обработка на 23—24 см;
- 3) обработка тяжелой дисковой бороной на 10—12 см;
- 4) комбинированная обработка на 14—16 см агрегатом, состоящим из плоскореза, игольчатой бороны и катка.

Схема опыта по изучению основной обработки почвы после зерновых бобовых, кукурузы на зеленую массу и силос в лесостепных районах может быть такой:

- 1) отвальная вспашка на глубину 20—22 см;
- 2) плоскорезная обработка на 20—22 см;
- 3) многократное лущение дисковыми лущильниками на 6—8 см;
- 4) двукратное дискование тяжелой дисковой бороной на 10—12 см;
- 5) комбинированная обработка на 14—16 см.

Для одновременного изучения нескольких градаций способов и глубин основной обработки почвы рекомендуют двухфакторные опыты, например:

- 1—3) отвальная вспашка на глубину 20—22, 25—27, 16—18 см;
- 4—6) плоскорезная обработка на 20—22, 25—27, 16—18 см.

При изучении сроков проведения основной обработки почвы контрольным вариантом может быть обработка сразу же после уборки предшественника, а остальными вариантами — несколько градаций более поздних обработок, причем число опытных вариантов и величина градации зависят от срока уборки предшественника и длительности послеуборочного периода. Как правило, после рано убираемых предшественников число вариантов и градации больше, чем после культур поздней уборки. После такого

предшественника, как озимые на зеленый корм, освобождающего поле в мае, разрыв между опытными вариантами может составлять 5 дней и более, при этом обеспечивается включение в схему опыта достаточного числа вариантов. Когда же предшественник характеризуется коротким послеуборочным периодом (например, кукуруза на силос, убираемая в середине или конце августа), то градация сроков обработки почвы под последующую озимую культуру сводится к минимуму.

Объектами исследований в опытах с обработкой почвы под яровые культуры могут быть как отдельные приемы, так и целые системы. Например, для определения роли лущения послеуборочных остатков в системе зяблевой обработки почвы в схему опыта включают варианты, различающиеся орудиями:

- 1) без лущения (контроль);
- 2) лущение дисковыми лущильниками;
- 3) лущение тяжелыми дисковыми боронами;
- 4) лемешное лущение;
- 5) плоскорезное лущение.

Вариантами этого опыта могут быть сроки проведения лущения с двумя контрольными вариантами: абсолютный (без лущения) и производственный (лущение непосредственно за освобождением поля от предшественника). В опытных вариантах планируют лущение через определенный интервал по отношению к производственному контролю — например через 10, 20, ..., n дней.

Если объектом исследований служит основная обработка, в схему опыта можно включать различные глубины отвальной вспашки или других способов обработки. Для того чтобы уловить в полевых условиях различия между смежными вариантами, необходимо очень скрупулезно подходить к выбору шага варьирования глубины обработки по вариантам. Как правило, этот показатель составляет 4—5 см, на почвах с мощным пахотным слоем число вариантов в опыте всегда будет больше, чем на почвах с неглубоким гумусовым горизонтом.

В опыте с основной зяблевой обработкой почвы отдельными вариантами могут быть сроки ее проведения, при этом можно ограничиться тремя вариантами с ранней (августовской), средней (сентябрьской) и поздней (октябрьской) обработками. В одном эксперименте по такой схеме планируется отвальная обработка, в другом — плоскорезная.

В отдельном опыте после предшественников с относительно ранним сроком уборки (озимые и яровые колосовые, например) можно планировать изучение разных способов зяблевой обработки почвы под разные полевые культуры. В любом случае вначале проводят лущение стерни. В схему рекомендуется включать такие варианты:

- 1) августовская вспашка (контроль);
- 2) августовская вспашка с прикатыванием и последующими культивациями по мере прорастания сорняков (полупаровая обработка);
- 3) августовское лемешное лушение с прикатыванием + культивация после появления сорняков + октябрьская вспашка;
- 4) то же, что в варианте 3, только вместо вспашки октябрьская плоскорезная обработка.

Глубину основной обработки в таком опыте выбирают на основе рекомендаций для тех культур, под которые разрабатывают систему зяблевой обработки почвы. Как правило, под корне- и клубнеплодные культуры она будет большей, под остальные — меньшей.

После поздноубираемых предшественников уместно планировать опыт для изучения эффективности замены основной зяблевой обработки весенней. При этом наиболее целесообразными будут следующие варианты:

- 1) зяблевая вспашка на заданную глубину (контроль);
- 2) зяблевое плоскорезное рыхление на ту же глубину;
- 3) весенняя вспашка на ту же глубину;
- 4) весеннее плоскорезное рыхление на ту же глубину;
- 5) весенняя вспашка на глубину, на 20—30 % меньшую заданной;
- 6) весеннее плоскорезное рыхление на глубину, на 20—30 % меньшую заданной;
- 7) 2-кратная обработка тяжелой дисковой бороной.

Для изучения необходимости выравнивания пахоты осенью или весной схема опыта может включать такие варианты:

- 1) невыровненную с осени пахоту весной выравнивают боронами (контроль);
- 2) пахоту с осени выравнивают культиваторами, а весной — боронами;
- 3) выровненную с осени пахоту весной не выравнивают.

Вариантами отдельного опыта могут быть сельскохозяйственные машины и орудия, используемые для предпосевной подготовки почвы, — культиваторы с различными рабочими органами, бороны и шлейф-бороны разной конструкции и др.

Под посев поздних яровых культур (например, кукурузы, проса, гречихи) можно изучать частоту промежуточных культиваций между ранневесенней и предпосевной обработкой почвы.

В опытах с пропашными культурами в схемы можно включать варианты, различающиеся либо числом, либо глубиной междурядных обработок. Отдельно в таком опыте можно планировать использование для междурядных обработок культиваторов с различными рабочими органами (стрельчатые лапы, бритвенные или пружинные лапы, долото).

При изучении почвозащитной обработки объектами исследований могут быть как отдельные приемы, так и целые системы обработок. В первом случае в схему опыта необходимо включать: отвальную и безотвальную обработки, при которых стерневые и другие растительные остатки заделываются в почву или остаются на ее поверхности; мелкие, средние или глубокие обработки; использование орудий, обеспечивающих

различную рыхлость верхнего слоя почвы. Например, схема такого опыта может включать следующие варианты:

- 1) отвальная вспашка (контроль);
- 2) вспашка плугами без отвалов;
- 3) чизельная обработка;
- 4) плоскорезное рыхление.

Когда в опыте объектами исследований являются системы почво-защитной обработки почвы, варианты должны различаться только теми приемами обработки, которые могут существенно влиять на противоэрозионную стойкость верхнего слоя почвенной среды.

Если экспериментатор планирует изучить стойкость почвы к ветровой эрозии на фоне разных систем зяблевой обработки после стерневого предшественника, схема опыта должна включать такие варианты, которые обеспечивали бы различную степень сохранности стерни на поверхности поля, поскольку именно стерневые остатки лучше всего защищают почву от выдувания в осенне-зимний период. Такие требования может обеспечить краткая схема опыта, например:

- 1) лушение стерни дисковыми лушильниками + отвальная вспашка (контроль);
- 2) лушение стерни дисковыми лушильниками + плоскорезное рыхление;
- 3) плоскорезное рыхление без предварительного лушения стерни.

В районах, где преобладает водная эрозия, в полевых опытах можно изучать эффективность использования специальных приемов зяблевой обработки по такой схеме:

- 1) отвальная вспашка на необходимую глубину;
- 2) то же с почвоуглублением;
- 3) то же с образованием прерывистых борозд;
- 4) то же с образованием гребней;
- 5) то же с образованием лунок.

На посевах озимых культур и многолетних трав в качестве противоэрозионного приема можно изучать различные варианты щелевания (по глубине и расстоянию между щелями). Для этого наиболее пригодны двухфакторные опыты (табл. 27).

27. Схема двухфакторного опыта с изучением эффективности щелевания почвы

Вариант	Глубина щелей, см (фактор А)	Расстояние между щелями, м (фактор В)
1	40	5
2	50	5
3	60	5
4	40	10
5	50	10
6	60	10
7	40	15
8	50	15
9	60	15

В другом опыте все варианты, представленные в таблице 27, можно изучать в связи с кротованием почвы.

Одно из направлений исследований обработки почвы — ее минимализация. Существует несколько путей минимализации обработки, и все они могут быть объектами исследований в отдельных опытах. Так, в одном опыте можно изучать эффективность уменьшения принятой в производстве глубины той или иной обработки, исключения из рекомендуемой системы обработки отдельных ее приемов, замены более энергоемких приемов менее энергоемкими (например, вместо вспашки применение плоскорезной обработки) или полного отказа от обработки почвы.

Основные наблюдения и учеты. Обработка почвы непосредственно влияет на физическое состояние пахотного слоя, а в итоге — на водный и воздушный режимы, ход микробиологических процессов в почве, поэтому в программу обязательных включают следующие анализы и определения:

строения почвы на глубину максимальной обработки с расчетом соотношения объема пор и твердой фазы почвы, капиллярной и некапиллярной пористости, объема воды и воздуха в почвенных порах;

плотности верхнего 30-сантиметрового слоя почвы в динамике — сразу после обработки, в начале, середине и в конце вегетации;

агрегатного состава почвы в пахотном слое;

устойчивости структурных агрегатов к размыванию водой;

влажности корнеобитаемого слоя почвы во время посева и в основные фазы развития растений.

В опытах с изучением способов и глубин обработки почвы к обязательным исследованиям добавляется анализ качества заделки растительных остатков предшественника и органических удобрений, а в опытах с различной предпосевной подготовкой почвы — и качества заделки семян.

Из показателей, характеризующих интенсивность микробиологических процессов в почвенной среде, в опытах с обработкой почвы определяют скорость выделения диоксида углерода (так называемое «дыхание почвы»), нитрификационную способность верхнего слоя почвы и скорость разложения в нем клетчатки.

К обязательным исследованиям относятся также определение засоренности посевов и распределения семян сорняков по профилю пахотного слоя почвы, способности почвы противостоять водной и ветровой эрозии. В качестве второстепенных в большинстве опытов с обработкой почвы планируют исследования распределения удобрений по профилю обрабатываемого слоя и обеспечения различных слоев почвы основными элементами пи-

тания, хотя в опытах, где отвальную обработку сравнивают с безотвальной, эти исследования относятся к обязательным.

Рост растений и формирование урожая в опытах с обработкой анализируют по тем же показателям, что и в других описанных ранее опытах.

В опытах с противозерозионной обработкой почвы в программу исследований необходимо включать определение интенсивности перемещения почвенных частиц по поверхности поля (когда изучают приемы борьбы с ветровой эрозией) или смыва почвы на склоновых землях.

2.5. ИЗУЧЕНИЕ СРОКОВ, СПОСОБОВ ПОСЕВА (ПОСАДКИ), ГЛУБИНЫ ЗАДЕЛКИ СЕМЯН

2.5.1. СРОКИ ПОСЕВА (ПОСАДКИ)

Схемы опытов. В опытах со сроками посева или посадки объектами исследований являются сельскохозяйственные культуры, которые можно объединить в следующие группы: озимые, ранние яровые, яровые среднего срока посева (посадки) и поздние яровые. В отдельные группы объектов в опытах этого направления входят промежуточные культуры в виде поукосных и пожнивных посевов.

При изучении сроков посева озимых культур контролем служит средняя дата рекомендованного для каждой природно-экономической зоны посевного периода. Например, если в районе исследований озимую пшеницу рекомендуется сеять с 5 по 15 сентября, то контрольная дата в опыте — 10 сентября. Шаг эксперимента — 5 дней, увеличивать или уменьшать его нецелесообразно, потому что в первом случае можно пропустить оптимальный вариант, а во втором случае при увеличении числа вариантов в схеме невозможно будет уловить достоверные различия между соседствующими вариантами. Только при постановке разведывательных опытов шаг эксперимента может быть увеличен до 10 дней.

Общее правило при составлении схем опытов со сроками посева — введение двух-трех вариантов более ранних и такого же количества более поздних (относительно контроля) сроков посева. Период от первого до последнего срока посева может быть более длительным в опытах с озимыми на зеленый корм, с рожью или ячменем и более коротким — в опытах с озимыми зерновыми культурами, в том числе с озимой пшеницей. В опытах с озимыми культурами может быть 6—10 вариантов. Для примера приведена схема опыта с восьмью сроками посева озимой пшеницы при шаге эксперимента 5 дней:

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| 1) 25 августа; | 5) 15 сентября; |
| 2) 30 августа; | 6) 20 сентября; |
| 3) 5 сентября; | 7) 25 сентября; |
| 4) 10 сентября (контроль); | 8) 30 сентября. |

В опытах с изучением сроков посева или посадки я р о в ы х к у л ь т у р, где варианты не имеет смысла приурочивать к конкретным календарным датам, более целесообразно сроки посева яровых культур увязывать с температурным режимом почвы, который по годам складывается неодинаково. В один год почва на глубине заделки семян может прогреться до определенной температуры уже в конце марта, в другой — в середине апреля, а в третий — лишь в последней декаде апреля, поэтому нельзя планировать оптимальный срок посева определенной культуры в разные годы на одну и ту же дату. Лучше всего пользоваться ежегодными данными о наступлении оптимальной температуры почвы на глубине заделки семян (она служит в опыте контролем), а опытные варианты с шагом эксперимента 1—2 °С размещать по такой примерной схеме:

- 1) оптимальная температура почвы на глубине заделки семян (контроль);
- 2—3) температура ниже оптимальной на 1—2, 3—4 °С;
- 4—6) температура выше оптимальной на 1—2, 3—4, 5—6 °С.

Сроки посева поздних яровых культур можно увязывать с прорастанием семян сорняков, потому что в большинстве случаев оптимальные сроки посева названных культур совпадают с периодом интенсивного прорастания семян сорных растений.

В этом случае общая схема опыта будет такой:

- 1) семена сорняков еще не прорастают;
- 2) в почве отдельные проростки сорняков;
- 3) в почве массовые проростки сорняков;
- 4) одиночные всходы сорняков;
- 5) массовые всходы сорняков.

По этому принципу опыты со сроками посева поздних яровых культур планируют прежде всего на очень засоренных семенами сорных растений участках. Кроме того, появляется возможность оценивать сроки посева культуры как прием борьбы с сорняками.

Основные наблюдения и учеты. В опытах со сроками посева или посадки полевых культур экспериментальная работа исследователя направлена в основном на изучение процесса роста растений и формирования урожая. При этом обязательно планируют исследования фитосанитарного состояния посевов и некоторых элементов водного режима, так как сроки посева могут отразиться на влажности верхнего посевного слоя почвы.

Из показателей фитосанитарного состояния посевов обязательно учитывают засоренность яровых культур, так как оттягивание сроков посева может рассматриваться как прием провокации прорастания семян сорняков в допосевной период. При посеве в ранние сроки прорастание семян сорных растений переносится на период вегетации культуры.

В опытах со сроками посева необходимо планировать фитопатологические и энтомологические исследования, поскольку сроки посева непосредственно влияют на время прохождения растения-

ми отдельных фаз развития. В связи с этим в разных вариантах опыта складываются неодинаковые условия для поражения растений возбудителями болезней и повреждения вредителями.

Кроме фенологических наблюдений, учета урожайности и определения качества основной растениеводческой продукции в таких опытах обязательно учитывают густоту всходов, определяют основные биометрические показатели роста растений, оценивают посевы по стойкости к полеганию (если культура к этому склонна). В опыте с озимыми культурами необходимо определять степень выживания растений за зимний период, их вымерзания или выпревания. Кроме водного режима нужно изучать температурный режим почвы на глубине залегания узла кущения в период перезимовки озимых.

К биометрическим учетам в опытах со сроками посева злаковых культур относится изучение развития вторичной корневой системы растений, которое в значительной степени зависит от исследуемого агроприема.

2.5.2. ГЛУБИНА ЗАДЕЛКИ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА

Схемы опытов. Условия для получения всходов ухудшаются при мелкой заделке семян из-за пересыхания посевного слоя при отсутствии осадков даже в течение 2—3 дней. Если же заделка слишком глубокая, проростку тяжело преодолеть большую толщину почвы.

Поскольку глубина заделки семенного материала зависит от его величины, то при планировании одинакового числа вариантов шаг эксперимента в опыте с мелким семенным материалом всегда будет меньшим, и наоборот. Соответственно и разрыв между крайними вариантами в опыте с мелкими семенами будет меньшим, чем в опыте с крупными семенами. Для примера в таблице 28 приведены схемы двух отдельных опытов с одинаковым числом вариантов, с культурами, различающимися по величине семян (клевер и кукуруза). В первом случае шаг варьирования составляет 1 см при разрыве между крайними вариантами 5 см, во втором — соответственно 2 и 10 см.

28. Схема опыта с посевом кукурузы и клевера на разную глубину

Вариант	Глубина заделки семян, см	
	для клевера	для кукурузы
1	1	2
2	2	4
3	3	6
4	4	8
5	5	10
6	6	12

В опытах с картофелем глубина посадки клубней может колебаться от 2—3 до 18—20 см при сравнительно большом шаге эксперимента (3 см и более).

Основные наблюдения и учеты. От глубины заделки семенного материала зависит время появления всходов, поэтому обязательно планируют учет интенсивности появления всходов высеванной культуры. К обязательным относятся также фенологические наблюдения и определение основных биометрических показателей, которые характеризуют нарастание надземной массы. Для полноты анализа процесса формирования урожая необходимо учитывать не только его величину, но и основные элементы структуры.

На посевах озимых культур в программу обязательных исследований включают наблюдения за условиями перезимовки (наличие снежного покрова и его мощность, образование на поверхности почвы ледяной корки или талых вод, температура почвы на глубине залегания узла кущения).

В опытах с сахарной свеклой наряду с массой корнеплода учитывают его форму и размещение в почве — глубокое или мелкое, на одинаковом уровне или на разном.

В опытах с картофелем необходимо определять глубину размещения основной массы столонов и клубней, число, размеры и форму последних.

Независимо от видового состава культур изучают влажность посевного слоя почвы, размещение корневой системы по профилю хотя бы пахотного слоя, учитывают степень поражаемости корней болезнями (корнеедом, корневыми гнилями) и почвенными вредителями (проволочниками, озимыми совками и др.). При этом фитопатологические и энтомологические исследования прежде всего необходимо планировать на самых ранних этапах развития корневой системы, т. е. в период всходов, когда корни наиболее уязвимы.

В программу обязательных исследований в опытах с высокорослыми культурами входит также определение склонности или устойчивости растений к полеганию, так как у многих культур (кукуруза, подсолнечник и др.) при мелкой заделке семян растения могут полегать даже при слабом ветре.

2.5.3. СПОСОБЫ ПОСЕВА (ПОСАДКИ)

Схемы опытов. Применяемые способы посева районированных в зоне исследований культур не всегда оптимальные. Начинаящий исследователь должен знать, что способ посева зависит от многих факторов, ведущее место среди которых занимает потенциальная засоренность будущих посевов, т. е. засоренность верхнего слоя почвы семенами сорняков. При высокой потенциальной засоренности преимущество имеет тот способ посева, который может обеспечить эффективную борьбу с сорняка-

коэффициент расходования влаги на образование сухого вещества производимой продукции. Важно фиксировать время наступления основных фенологических фаз, определять коэффициент выживаемости культурных растений в течение вегетационного периода, учитывать показатели, характеризующие нарастание вегетативной массы и формирование основных элементов структуры урожая. Среди биометрических учетов обязательными следует считать определение густоты посевов, кущения злаков, измерение высоты растений, подсчет числа листьев и площади листовой поверхности. В опытах с картофелем формирование урожая оценивают по глубине расположения клубней, их числу в гнезде, средней массе клубня, выходу товарной продукции.

Из статистических анализов в таких опытах лучше всего использовать корреляционный, при котором можно определять взаимосвязи между отдельными показателями роста растений и их продуктивности.

2.6. ОПЫТЫ С ГЕРБИЦИДАМИ

Схемы опытов. Объектами исследований в опытах с гербицидами могут быть отдельные препараты, дозы, сроки и способы их внесения. В опыте с новыми препаратами можно использовать такие варианты:

- без гербицида (абсолютный контроль);
- наиболее широко используемый гербицид (производственный контроль);
- новые, еще не испытанные в зоне препараты.

На посевах пропашных культур можно сравнивать сплошной способ внесения рекомендуемых препаратов с ленточным в опытах с такой общей схемой:

- без гербицидов;
- сплошной способ внесения;
- ленточный способ внесения.

Кроме того, схема такого опыта может включать различные по ширине ленты варианты ленточного способа внесения.

В опыты со смесями гербицидов включают варианты без гербицидов; каждый из препаратов по отдельности в рекомендуемой дозе; смеси половинных доз препаратов и т. п.

В опытах со сроками внесения гербицидов в качестве абсолютного контроля берут варианты без гербицидов, в качестве производственного контроля — рекомендованный срок внесения, другими вариантами будут ранний (или очень ранний) и поздний (или очень поздний) сроки.

В опытах с дозами препарата абсолютным контролем служит вариант без гербицида, производственным контролем — рекомендуемая доза, другие варианты — 0,5; 0,75; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00 рекомендуемой дозы.

Шаг эксперимента в опытах с дозами гербицидов должен быть как можно меньше.

Эффективность гербицидов зависит от условий их использования, которые сами могут служить отдельными факторами в двух-, трехфакторных опытах с гербицидами. Эффект от определенной дозы гербицида на почвах с разным содержанием гумуса будет неодинаковым, в справочниках по гербицидам это практически не отражено. Следовательно, изучение эффективности рекомендуемых доз гербицидов на почвах неодинаковой гумусированности весьма актуально. Для проведения таких исследований можно воспользоваться схемой двухфакторного опыта (табл. 29).

29. Схема двухфакторного опыта с использованием разных доз гербицида на почвах различной гумусированности

Вариант	Степень гумусированности почвы (фактор А)	Доза гербицида (фактор В)	Вариант	Степень гумусированности почвы (фактор А)	Доза гербицида (фактор В)
1	Высокая	1	10	Высокая	1,25
2	Средняя	1	11	Средняя	1,25
3	Низкая	1	12	Низкая	1,25
4	Высокая	0,5	13	Высокая	1,5
5	Средняя	0,5	14	Средняя	1,5
6	Низкая	0,5	15	Низкая	1,5
7	Высокая	0,75	16	Высокая	0
8	Средняя	0,75	17	Средняя	0
9	Низкая	0,75	18	Низкая	0

Примечание. За 1 принята рекомендуемая доза гербицида, 0 — варианты без гербицида.

Шаг эксперимента, или градация дозы гербицида, в каждом конкретном случае может быть больше или меньше. Это зависит от самой рекомендованной дозы: при большей дозе большая градация, и наоборот.

Дозы гербицидов можно изучать и в зависимости от гранулометрического состава почвы. В этом случае фактором В будут служить дозы гербицидов, а фактором А — легкие, средние и тяжелые почвы. Если планируется изучать дозы гербицидов в зависимости от влажности почвы или ее температуры, то фактором А в первом случае будет влажность посевного слоя с шагом эксперимента 1—2 %, а во втором — его температура с шагом эксперимента 0,5—1,0 °С.

Определенный интерес представляют исследования эффективности совместного применения гербицидов и удобрений. При этом также лучше воспользоваться двухфакторными опытами, в которых фактором А будут отдельные препараты или их смеси,

дозы гербицидов, а фактором *B* — отдельные элементы (азот, фосфор, калий или другие элементы) или дозы основных элементов питания (табл. 30).

30. Схема двухфакторного опыта по изучению эффективности двух доз гербицида (1 и 2) на посевах озимой пшеницы на фоне азотной подкормки в трех дозах (1, 2, 3)

Вариант	Доза гербицида (фактор <i>A</i>)	Доза азота (фактор <i>B</i>)	Вариант	Доза гербицида (фактор <i>A</i>)	Доза азота (фактор <i>B</i>)
1	0	0	7	0	2
2	1	0	8	1	2
3	2	0	9	2	2
4	0	1	10	0	3
5	1	1	11	1	3
6	2	1	12	2	3

Примечание. Нулем обозначены варианты без гербицида, без азота.

Эффективность гербицидов можно изучать и в сочетании с орошением. В таком опыте фактором *A* будут различные гербициды (или их дозы), а фактором *B* — наличие или отсутствие орошения, различные способы орошения, поливные нормы.

Основные наблюдения и учеты. В опытах с использованием гербицидов прежде всего планируют изучать засоренность посевов и почвы. Это делают несколько раз в течение вегетации, в основные фазы развития культуры. Если гербицид вносят в период вегетации, засоренность посевов определяют и перед внесением препарата.

Кроме количественного определения засоренности посевов и учета массы сорняков необходимо исследовать семенную продуктивность сорных растений, достигших полного созревания, так как от нее зависит засоренность посевов последующих культур.

Гербициды влияют не только на сорняки, но и на культурные растения, поэтому в опыты необходимо включать наблюдения и учеты показателей роста и развития возделываемой культуры.

Уничтожая или подавляя сорняки, гербициды могут существенно влиять на водно-питательный режим, поэтому в опытах планируют определять запасы влаги в корнеобитаемом слое почвы и обеспеченность культурных растений доступными формами основных элементов питания.

К обязательным в опытах с гербицидами следует отнести также изучение особенностей микробиологических процессов в пахотном слое почвы (определяют интенсивность дыхания почвы по скорости выделения из почвенной среды диоксида углерода, способность микроорганизмов к разложению клетчатки и нитрификационную способность пахотного слоя почвы).

Кроме учета урожая и определения основных показателей его качества в опытах с гербицидами продукцию обязательно исследуют на содержание остаточных количеств применявшегося препарата.

2.7. ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ

Схемы опытов. При изучении отдельных элементов химической защиты растений программу исследований планируют по следующим направлениям: определение оптимальных доз рекомендуемых для использования препаратов; установление лучших сроков внесения; выявление среди нескольких препаратов наиболее эффективного. Для того чтобы выяснить, в каких дозах и в какие сроки целесообразнее использовать тот или иной препарат, лучше пользоваться двухфакторным опытом, в котором фактором *A* будут разные дозы препарата, а фактором *B* — сроки его использования (табл. 31).

31. Схема опыта при изучении четырех градаций доз гамма-изомера ГХЦГ и двух сроков его использования на посевах озимой пшеницы в борьбе со злаковыми мухами

Вариант	Доза препарата, кг/га (фактор <i>A</i>)	Фаза развития растений, число листочков (фактор <i>B</i>)
1	1,5	1—2
2	1,5	3—4
3	2,0	1—2
4	2,0	3—4
5	2,5	1—2
6	2,5	3—4
7	3,0	1—2
8	3,0	3—4
9	0	—

Для сравнительной оценки использования отдельных химических препаратов в рекомендуемых дозах можно ограничиться однофакторным опытом, где контролем будет служить вариант без химической обработки посевов или почвы.

Различные препараты — протравители семян можно изучать и в двухфакторном опыте, где фактором *A* будут отдельные препараты, а фактором *B* — различные полимеры-пленкообразователи или регуляторы роста. В отдельных опытах исследуют различные варианты комплексного использования химических средств защиты растений. Примером может служить схема опыта с кукурузой с включением таких вариантов:

- 1) протравливание семян витаваксом, опрыскивание посевов в фазе 2—3 листьев гамма-изомером ГХЦГ, а в период выхода в трубку — амбушем;
- 2) протравливание семян витатиурамом, опрыскивание посевов в те же периоды соответственно гамма-изомером ГХЦГ и корсаром;
- 3) использование для протравливания и опрыскивания в те же периоды соответственно ТМТД, метафоса и сумицина.

Химические средства защиты растений целесообразно изучать в сочетании с агротехническими, используя для этого двухфакторные опыты, в которых фактором *A* служат разные варианты химических обработок (препараты, их дозы, сроки и способы использования), а фактором *B* — отдельные элементы агротехники (предшественники и сроки их уборки, фон удобрений, способы, глубина и сроки обработки почвы и др.).

Примерная схема такого опыта представлена в таблице 32.

32. Схема двухфакторного опыта с изучением трех градаций доз препаратов на фоне трех сроков посева выращиваемой культуры

Вариант	Доза препарата (фактор <i>A</i>)	Срок посева культуры (фактор <i>B</i>)
1	Рекомендованная	Ранний
2	»	Средний
3	»	Поздний
4	Ниже рекомендованной	Ранний
5	То же	Средний
6	»	Поздний
7	Выше рекомендованной	Ранний
8	То же	Средний
9	»	Поздний

В отдельном опыте дозы химических средств защиты растений (фактор *A*) можно изучать на фоне различных сортов или гибридов возделываемой культуры (фактор *B*).

Для проведения актуальных исследований, в которых сравнивают эффективность химического и биологического методов защиты растений, можно ограничиваться однофакторными опытами. Один-два варианта в них — наиболее распространенные в производстве химические препараты, два-три варианта — альтернативные биологические средства защиты различного видового состава или в разных количественных градациях (например, трихограмма на посевах кукурузы в борьбе с кукурузным мотыльком — 50, 100, 150 и 200 тыс./га).

Основные наблюдения и учеты. Если в опыте используют химические препараты для защиты сельскохозяйственной культуры от болезней, то программа исследований включает прежде всего определение степени пораженности растений болезнями. К обязательным исследованиям в таких опытах следует отнести также изучение реакции культурных растений на применение химических препаратов. Так, при протравливании семенного материала планируют определять полевую всхожесть семян, энер-

гию их прорастания, дружность всходов, густоту растений, интенсивность нарастания вегетативной массы и формирования урожая. Когда химическим препаратом обрабатывают вегетирующие растения, то кроме учета их заболеваемости исследуют лишь те биометрические показатели, на которые могла повлиять химическая обработка посевов. Так, если посеы обрабатывали в первой половине вегетации, когда вегетативная масса еще не была сформирована, то к изучаемым биометрическим показателям следует отнести высоту растений, их массу, число листьев и площадь листового аппарата. Если обработку проводили во второй половине вегетации, когда ассимиляционный аппарат уже сформировался, то исследователь учитывает лишь длительность жизнедеятельности отдельных органов растений, определяет содержание воды и хлорофилла в листьях и продуктивность фотосинтеза.

В опытах с использованием химической защиты растений от вредителей необходимо учитывать численность вредных организмов до и после обработки посевов, определять процент поврежденных растений, учитывать последствие повреждения на рост и формирование урожая. При этом проводят те же биометрические учеты, что и в опытах с использованием химических препаратов против болезней культурных растений. Во всех случаях обязательно учитывают биологическую, хозяйственную и экономическую эффективность каждого из применяемых препаратов.

2.8. ИЗУЧЕНИЕ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ПРИЕМОВ

Схемы опытов. Объектами исследования в опытах с изучением противоэрозионных приемов могут быть обработка почвы, структура посевных площадей в севообороте, полосное размещение посевов, лесополосы, гидросооружения и т. д. Примеры схем опытов с изучением противоэрозионной обработки почвы в районах распространения водной и ветровой эрозии почвы приведены в разделе 2.4.

В однофакторных опытах можно изучать противоэрозионную роль отдельных культур. При этом желателно культуры сплошного сева сравнивать с пропашными, а однолетние культуры сплошного сева — с многолетними. Общая схема такого опыта может быть следующей:

- 1) яровые колосовые (пшеница, ячмень, овес);
- 2) озимые колосовые (пшеница, рожь, ячмень);
- 3) зерновые бобовые (горох, люпин);
- 4) корне- и клубнеплоды пропашные (свекла, картофель);
- 5) другие пропашные (кукуруза, подсолнечник);
- 6) многолетние травы.

Из такой схемы для исследований могут быть взяты отдельные варианты. При этом самостоятельными могут быть опыты, в

которых сравнивают: только культуры сплошного сева; только пропашные; яровые колосовые с озимыми; яровые колосовые с зерновыми бобовыми сплошного сева; отдельные культуры сплошного сева с отдельными пропашными; однолетние культуры с многолетними.

Отдельно можно изучать противоэрозионную роль многолетних трав в зависимости от видового состава, например:

- 1) разные виды бобовых трав (эспарцет, люцерна, клевер и др.);
- 2) разные виды злаковых трав (овсяница луговая, костер безостый, тимофеевка и др.);
- 3) разные смеси (из двух-трех компонентов и более) бобовых и злаковых трав.

При изучении противоэрозионной роли многолетних трав в зависимости от срока их использования можно поставить двухфакторный опыт, в схеме которого фактором *A* будут разные виды многолетних трав (бобовые, злаковые или их смеси), а фактором *B* — сроки их использования (в зависимости от видов от 1—2 до 3—4 лет и более).

При изучении влияния удельного веса пропашных культур в севообороте на ход эрозионных процессов можно принять такую общую схему:

- 1) типичное для зоны исследований насыщение пропашными без многолетних трав;
- 2) то же, что в варианте 1, только с многолетними травами;
- 3) недостаточное насыщение пропашными без многолетних трав;
- 4) то же, что в варианте 3, только с многолетними травами;
- 5) чрезмерное насыщение пропашными без многолетних трав;
- 6) то же, что в варианте 5, только с многолетними травами.

При этом при планировании уменьшения или увеличения удельного веса пропашных культур в севообороте избирают такой шаг эксперимента, который позволил бы получить по нескольку вариантов с заниженным или завышенным удельным весом пропашных.

В степных районах рекомендуется изучать влияние на противоэрозионную устойчивость почвы различных видов чистого пара. Такие исследования можно проводить во временных полевых опытах, тогда как влияние различного удельного веса чистых паров в структуре пашни на развитие эрозионных процессов можно исследовать только в стационарных опытах с севооборотами.

Для изучения почвозащитной роли полосного размещения посевов различных сельскохозяйственных культур (а для степных районов и пара) можно воспользоваться такой примерной схемой опыта:

- 1) чистый пар;
- 2) чередование на поле полос чистого пара и озимых зерновых культур;
- 3) одновидовой посев различных пропашных культур;
- 4) чередование на поле полос пропашной культуры и культуры сплошного сева.

Отдельно можно изучать ширину чередуемых полос на поле. Для этого на равнинных землях в степных районах, где часто

проявляется ветровая эрозия, закладывают однофакторные опыты. Ширина полос в разных вариантах должна быть кратной ширине захвата сеялок, используемых для посева возделываемых культур. Если в опыте сочетаются полосы пропашных и культур сплошного сева, то ширина полос должна быть кратной ширине сеялок, высевающих пропашную культуру.

Схема двухфакторного опыта, в котором изучают эффективность использования полос разной ширины при разных уклонах, приведена в таблице 33.

33. Схема двухфакторного опыта с полосным возделыванием культур на склонах

Вариант	Уклон, ° (фактор <i>A</i>)	Относительная ширина полос (фактор <i>B</i>)
1	0—1	Небольшая
2	0—1	Средняя
3	0—1	Большая
4	1—3	Небольшая
5	1—3	Средняя
6	1—3	Большая
7	3—5	Небольшая
8	3—5	Средняя
9	3—5	Большая
10	5—7	Небольшая
11	5—7	Средняя
12	5—7	Большая

На односкатных и равномерных по крутизне, но очень длинных склонах эффективность использования полос разной ширины необходимо изучать на разных уровнях склона: в верхней, средней и нижней частях. Опыт при этом будет двухфакторным: фактор *B* — разная ширина полос, фактор *A* — верхняя, средняя и нижняя части склона.

При изучении роли лесополос как противоэрозионного средства прежде всего учитывают расстояние, на которое распространяется влияние лесополос различной конструкции. Объектом исследования в таких опытах может быть либо конструкция лесополос, либо расстояние между ними. Оба объекта можно изучать одновременно в двухфакторном опыте, в котором фактором *A* будет конструкция лесополосы (например, продувная или непродувная), а фактором *B* — различное расстояние между лесополосами. Вариантами фактора *A* в таких опытах могут быть также различный породный состав лесополосы, ее ширина и т. д.

Основные наблюдения и учеты. Планирование экспериментальных работ зависит от вида противоэрозионных приемов, изучаемых в опыте. Если объектом исследований служит противоэрозионная обработка почвы, кроме засоренности по-

севов на фоне различных вариантов механической обработки обязательно предусматривают изучение физического состояния верхнего слоя почвы с определением таких показателей, как агрегатный состав, водоустойчивость почвенных агрегатов, водопроницаемость почвы, наличие на ее поверхности растительных остатков, интенсивность смывания или перемещения почвы ветром.

Те же исследования планируют и в опытах, где в качестве противоэрозионного средства изучают различные варианты структуры посевных площадей в севообороте или полосное размещение посевов. В опытах, где структура посевных площадей изменяется в результате разного соотношения пропашных и культур сплошного сева, однолетних и многолетних культур, дополнительно в программу экспериментальной работы включают определение биологического режима в почвенной среде с учетом общего количества микроорганизмов, их видового состава и интенсивности жизнедеятельности.

Если противоэрозионным средством в опыте является использование лесополос, то особенно внимательно изучают изменение микроклимата под влиянием древесных насаждений. При этом на разном расстоянии от лесополос обязательно определяют скорость ветра, распределение по поверхности поля опавших листьев и снега, температуру и влажность воздуха, температуру и глубину промерзания почвы, запасы влаги в корнеобитаемом слое почвы. Определяя скорость ветра в приземном слое, одновременно учитывают способность воздушного потока к перемещению почвенных частиц, так как это основа для возникновения пыльных бурь и появления других видов ветровой эрозии.

Изменение микроклимата на поле под влиянием лесополос может сказаться и на фитосанитарном состоянии растений, поэтому обязательно нужно учитывать распространение вредителей и возбудителей болезней, интенсивность повреждения и поражения возделываемых культур.

Рост растений и формирование урожая в опытах с использованием противоэрозионных приемов оценивают по результатам биометрических учетов, характерных для выращиваемой культуры, независимо от направления исследований.

2.9. СОРТОИСПЫТАНИЕ

Исследования по сортоиспытанию проводят в основном на государственных сортоучастках, иногда в других научных учреждениях и значительно реже — непосредственно на производстве. Рекомендации для районирования культуры разрабатывают только по результатам государственного сортоиспытания.

План сортоиспытания разрабатывают для всех сельскохозяйствен-

ственных культур, возделываемых в зоне деятельности каждого из сортоучастков. Утверждает план сортоиспытания Государственная комиссия. При этом по каждой культуре указывают стандарт, взятый из лучших районированных сортов или гибридов.

Схемы опытов. В зависимости от направления исследований схема опыта может включать разное число сортов или гибридов. Так, при расширенном сортоиспытании рассматривают все сорта и гибриды, которые на данное время уже находятся на сортоучастках области, а также новые для области сорта или гибриды отечественной или иностранной селекции.

Новые сорта или гибриды, которые выделились как лучшие при расширенном сортоиспытании, через 1—2 года передаются в конкурсное испытание на другие сортоучастки, а сорта и гибриды, показавшие себя с худшей стороны, снимаются с испытания без передачи в конкурсное испытание.

Общее число вариантов в опытах с расширенным сортоиспытанием — около двадцати. При такой объемной схеме среди повторений вводят не одну, а две и более делянок со стандартом. Следует также учитывать, что при большом наборе испытываемых вариантов сорта или гибриды могут различаться между собой по скороспелости. Поэтому их необходимо группировать по этому показателю и для каждой группы вводить свой контроль. Например, для группы раннеспелых сортов за стандарт берется скороспелый районированный сорт, для позднеспелых — позднеспелый стандарт. То же самое касается групп сортов высокорослых и низкорослых растений, склонных и устойчивых к полеганию. Каждую группу испытываемых сортов сравнивают со своим стандартом.

В результате конкурсного сортоиспытания рекомендуются к районированию те варианты, которые существенно отличаются от стандарта и других испытываемых сортов по уровню урожайности или по качеству урожая.

В конкурсном сортоиспытании число испытываемых вариантов, как правило, намного меньше, чем в расширенном. Минимальное число повторений в конкурсном сортоиспытании — четыре с использованием ямб- или дактиль-метода размещения вариантов.

Еще меньше вариантов включают в производственное сортоиспытание, которое практикуется в передовых хозяйствах с высокой культурой земледелия. Для такого испытания берут лишь перспективные нерайонированные сорта, показавшие себя с лучшей стороны в конкурсном испытании. Как правило, в одном хозяйстве производственное испытание проходят 2—3 культуры. При этом 1—2 новых сорта или гибрида сравнивают с лучшими районированными сортами, которые выращивают в хозяйстве.

В опытах независимо от способа испытания объекты исследований размещают лишь после типичных для данной культуры и зоны предшественников. Если для какой-то культуры таких предшественников может быть несколько, то для сортоиспытания лучше всего использовать двухфакторный опыт (табл. 34).

34. Схема двухфакторного опыта с сортоиспытанием культуры по разнокачественным предшественникам

Вариант	Предшественник с учетом его качества (фактор А)	Сорт (фактор В)
1	Отличный	Районированный (стандарт)
2	»	Испытуемый
3	Хороший	Районированный
4	»	Испытуемый
5	Удовлетворительный	Районированный
6	»	Испытуемый

Разные сорта или гибриды способны проявлять себя с положительной стороны только при соответствующей норме высева семян. Для установления оптимальной нормы высева или посадки все перспективные сорта изучают при нескольких градациях расходования семенного или посадочного материала, тогда как стандарт выращивают лишь с использованием рекомендованной для него нормы (табл. 35).

35. Схема двухфакторного опыта с использованием новых сортов при разной норме расходования семенного материала

Вариант	Сорт (фактор А)	Норма посева или посадки (фактор В)
1	Районированный	Рекомендованная
2	Испытуемый	Рекомендованная для стандарта
3	»	Выше рекомендованной
4	»	Ниже рекомендованной

Для того чтобы не нарушать в опыте принципа единственного различия, все используемые сорта возделываемой культуры высевают одним и тем же сеялочным агрегатом. Однако не все сорта одинаково реагируют на способы посева или посадки, поэтому дополнительно в отдельных опытах испытание новых сортов необходимо проводить с использованием различных практикуемых способов посева или посадки. Для культур сплошного сева общая схема двухфакторного опыта может быть следующей (табл. 36).

36. Схема двухфакторного опыта с использованием сортов при разной ширине междурядий

Вариант	Сорт (фактор А)	Ширина междурядий, см (фактор В)
1	Районированный (стандарт)	15
2	»	7,5
3	»	22,5
4	Испытуемый	15
5	»	7,5
6	»	22,5

Новые сорта могут отличаться от районированных оптимальными сроками посева или посадки. Например, одни обеспечивают более высокую урожайность при относительно ранних сроках, другие — при поздних, поэтому испытание сортов необходимо проводить при разных сроках посева. Лучше в таких опытах все сорта высевать в три срока, один из которых соответствует сроку массового посева данной культуры в районе проведения исследований. Этот срок будет контрольным, два других — на 7—10 дней раньше и позже. Для лучшей организации такого опыта в каждом повторении сначала высевают все сорта раннего срока посева, затем все сорта в рекомендованный для культуры срок и в конце — все сорта третьего срока посева (табл. 37).

37. Схема двухфакторного опыта с испытанием сортов при разных сроках посева (посадки)

Вариант	Сорт (фактор А)	Сроки посева (посадки) (фактор В)
1	Районированный (стандарт)	Оптимальный для стандарта
2	Испытуемый	То же
3	Районированный	Ранний
4	Испытуемый	»
5	Районированный	Поздний
6	Испытуемый	»

Основные наблюдения и учеты. В опытах по сортоиспытанию независимо от культуры необходимо планировать такие исследования:

учет густоты всходов и числа растений на время уборки, а для зерновых колосовых культур — и густоты продуктивного стеблестоя;

фиксация фенологических фаз развития растений;

определение морозо- и зимостойкости озимых культур;

определение засухоустойчивости посевов при помощи фиксации увядания листьев;

учет динамики роста растений;

анализ выравненности посевов по высоте травостоя, по высоте прикрепления початков (для кукурузы), по заглублению корнеплода в почву (для корнеплодных культур);

определение устойчивости растений к вредителям и болезням; определение устойчивости посевов к полеганию (для высококорослых культур), растрескиванию бобов и стручков, осыпанию зерна и прорастанию зерна на корню;

анализ одновременности созревания урожая зерновых и масличных культур, семенников свеклы и многолетних трав и др.;

учет урожая основной и побочной (если она используется) продукции;

анализ структуры урожая с определением длины колоса, числа колосков в колосе, числа зерен в колосе, массы зерна в колосе (для колосовых зерновых культур); числа и массы зерен в метелке, массы початка, массы зерна в початке — для неколосовых зерновых культур; числа бобов и стручков на растении, числа зерен в бобе и стручке, массы зерна и семян в бобе и стручке, массы зерна и семян с одного растения — для зерновых бобовых и крестоцветных культур; диаметра корзинки, числа и массы семян в корзинке, числа растений с выраженной густосемянностью, процента пустых семян (для подсолнечника); числа коробочек на одном растении и массы семян в одной коробочке и на одном растении (для льна и мака масличных);

анализ качества урожая: масса 1000 зерен или семян, натура зерна или семян (для зерновых и масличных культур); средняя масса корнеплода или клубня (для корне- и клубнеплодных культур); выход семенного материала и его выравненность для всех культур; содержание белка в зерновой продукции всех культур, клейковины — в продовольственном зерне, сахара — в корнеплодах сахарной свеклы, крахмала — в клубнях картофеля, масла — в семенах масличных культур, переваримого протеина — в кормовой продукции, алкалоидов — в семенах люпина.

2.10. ИЗУЧЕНИЕ ОРОШЕНИЯ

Схемы опытов. Объектами исследований в опытах с орошением могут быть оросительные и поливные нормы, сроки и техника полива. Общая схема таких опытов обязательно включает один вариант без использования оросительных мероприятий (абсолютный контроль) и несколько вариантов с изучаемыми приемами орошения.

Опыты с оросительными нормами могут включать такие варианты:

- 1) оптимальная норма согласно технико-экономическим расчетам (производственный контроль);
- 2) 0,75 оптимальной нормы;
- 3) 0,5 оптимальной нормы;

- 4) 1,25 оптимальной нормы;
- 5) 1,5 оптимальной нормы;
- 6) без орошения (абсолютный контроль).

В опытах с нормами поливов абсолютным контролем также будет вариант без поливов. Производственным контролем служит вариант, где рекомендуемая оросительная норма разделена на рекомендуемое для культуры число поливов. Например, для озимых хлебов рекомендуется проводить 2—4 полива, яровых хлебов — 3—4, гороха — 3—5, кукурузы — 2—6, подсолнечника — 2—3, свеклы — 4—5, картофеля — 3—5, однолетних трав — 3—4, многолетних трав — 4—5 поливов. Каким бы методом ни определяли поливную норму, после ее использования влажность расчетного слоя почвы не должна выходить за верхний предел оптимального значения. В других опытных вариантах можно использовать те же доли оптимальной нормы полива, что и в опытах с оросительной нормой. Шаг эксперимента в опытах с оросительными и поливными нормами может быть и другим. Как правило, при больших абсолютных нормах шаг варьирования может быть большим, и наоборот.

В опытах со сроками поливов схемы опыта можно разрабатывать по-разному. Чаще всего используют графоаналитический метод А. Н. Костякова, который основан на водно-балансовых расчетах. Их проводят по декадам вегетационного периода с учетом атмосферных осадков и потребления посевами влаги. Для каждой декады вычисляют запасы влаги в расчетном слое почвы, которые соответствуют верхнему и нижнему пределам оптимальной влажности почвы. Считается, что полив нужно начинать тогда, когда влажность почвы опускается к нижней границе оптимального значения. Этот срок полива в схеме опыта будет служить производственным контролем. Как правило, влажность почвы перед таким поливом бывает в пределах 60 % НВ. В других опытных вариантах влажность активного слоя почвы может снижаться и повышаться на 10—20 % НВ.

Если в опыте планируют изучать сравнительную эффективность различных способов полива, в его схему могут быть включены либо все используемые на производстве способы — аэрозольный (мелкодисперсный), дождевание, поверхностный, внутрпочвенный, подземный, либо только некоторые.

В опытах с орошением объектом исследований может быть техника полива — как отдельные технические средства, так и технология проведения полива. Например, в опыте с использованием орошения в виде дождевания можно сравнивать варианты, в которых дождевание осуществляется короткоструйными, среднеструйными и дальнеструйными дождевальными машинами. В другом опыте можно сравнивать импульсное и мелкодисперсное дождевание, в этом случае схема опыта будет ограничена только двумя вариантами. Если в опыте пла-

нируют изучать различные варианты полива по бороздам, схема опыта в одном случае может включать разные варианты борозд — мелкие, средние и глубокие, а в другом — разное расстояние между бороздами, которое на посевах пропашных культур должно быть кратным ширине междурядий. Отдельным объектом изучения в таких опытах может быть длина борозд: оптимальная (рекомендуемая), длиннее и короче оптимальной.

Длина поливных борозд зависит от гранулометрического состава почвы, рельефа и крутизны склона. На легких песчаных и супесчаных почвах длина поливных борозд в абсолютном выражении будет меньше, а на средне- и тяжелосуглинистых — больше.

Основные наблюдения и учеты. В зависимости от объекта исследований в опытах с орошением программа наблюдений и учетов имеет свои особенности. Тем не менее необходимо планировать такие обязательные исследования:

- определение влажности почвы в основные периоды развития растений;

- расчет баланса влаги в корнеобитаемом слое почвы за вегетацию культуры;

- учет суммарного водопотребления и расчет коэффициента водопотребления возделываемой культуры;

- определение водопроницаемости и равномерности промачивания почвы;

- изучение интенсивности проявления водной эрозии и засоления пахотного слоя почвы;

- анализ состояния посевов: густота насаждения, прохождение растениями межфазных периодов, интенсивность нарастания вегетативной массы, полегаемость склонных к полеганию культур, засоренность посевов и поражаемость растений болезнями.

В опытах, где планируются предпосевные поливы, к обязательным учетам относится определение дружности всходов и их густоты, а в опытах, в схему которых включены варианты с дождеванием, программу обязательных исследований необходимо дополнить определением содержания влаги в растениях и влажности приземного слоя воздуха.

Под воздействием полива может измениться питательный режим в верхнем слое почвы, поэтому изучение этого вопроса также желательно включать в программу обязательных исследований. Это касается и определения жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

Кроме учета урожайности и структуры урожая в опытах с орошением, как и в других агротехнических опытах, необходимо анализировать качество продукции.

Часть 3

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ И УЧЕТОВ

●

В опытах различного направления проводят множество разнообразных наблюдений и учетов. Наиболее важные среди них: метеорологические наблюдения, определение агрофизических и агрохимических показателей плодородия почвы, учет засоренности почвы и посевов, фитопатологические и энтомологические учеты, оценка посевов по биометрическим показателям, учет урожая, анализ растениеводческой продукции.

Разрозненность методик, опубликованных в разных изданиях, затрудняла для студентов их поиск и использование. В этом учебнике методики собраны вместе, указано, какую из них выбрать для тех или иных исследований. Унификация этих методик позволит объективно сравнивать и обобщать результаты исследований не только в пределах одной административной области, но и в разных зонах и регионах. Для того чтобы получить достоверные результаты, необходимо умело пользоваться рекомендуемыми приборами и методиками.

3.1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения за элементами погоды в обязательном порядке проводят в тех опытах, где объектом исследований являются растения или среда их обитания. Часто только такими наблюдениями можно объяснить результаты, вызывающие у экспериментатора разного рода сомнения. Например, если не зафиксировать снижения температуры воздуха в отдельные зимние дни до -32°C , нельзя обосновать вымерзание озимых при среднесуточной температуре зимнего периода $-5...-7^{\circ}\text{C}$. Невозможно объяснить низкий уровень урожайности пшеницы на достаточно высоком агрофоне, если исследователь не уловил момента «запала» зерна вследствие высоких температур воздуха и низкой его влажности. В первую очередь экспериментатор должен учитывать те явления погоды, которые могут серьезно повлиять на условия роста и развития возделываемой культуры (сильные морозы, продолжительная засуха, ураганные ветры, ливни, град и т. д.).

Сравнивая результаты метеорологических наблюдений в годы проведения опыта с многолетними данными, экспериментатор может сделать вывод о типичности погодных условий года и

установить характер взаимосвязей между урожаем и отдельными элементами погоды или метеорологическими явлениями.

Основные метеорологические факторы — количество осадков, относительная влажность и температура воздуха. Однако часто исследователь дополнительно должен учитывать температуру почвы, атмосферное давление, скорость и направление ветра или фотосинтетически активную радиацию (ФАР).

Метеорологические наблюдения ведут в стационарных (метеостанции и метеопосты) и полевых условиях. Данными метеостанций и метеопостов можно пользоваться лишь тогда, когда они находятся на расстоянии не более 5—6 км от места проведения агрономических опытов.

Для того чтобы данные стационарных метеорологических установок не приводили к дезориентации исследователя, важно правильно выбрать для них место. Оно по всем показателям должно быть типичным для района, который метеорологические станции или посты обслуживают. Площадки метеостанций могут быть размером 26 × 26 или 26 × 16 м, а метеопостов — 6 × 5 м. Если они прямоугольной формы, то длинная сторона должна быть размещена с севера на юг. Приборы на метеоплощадках устанавливают с таким расчетом, чтобы они не затеняли друг друга. При этом с северной стороны размещают флюгер, а в южной части с природным травостоем и с оголенной поверхностью почвы устанавливают почвенные термометры. Кроме того, на участках с природным травостоем размещают также мерзлотомер и снегомер. В средней части метеоплощадки устанавливают психрометрическую будку, осадкомер и плювиограф. Все остальные приборы размещают в северной части площадки.

Наблюдения за температурой воздуха и почвы, влажностью воздуха, скоростью ветра и его направлением, атмосферным давлением на метеостанциях проводят 8 раз в сутки — в 0, 3, 6, 9, 12, 16, 18 и 21 ч по московскому декретному времени. Количество осадков определяют 4 раза в сутки — в 6, 9, 18 и 21 ч. Высоту снежного покрова и глубину промерзания почвы измеряют один раз в сутки — около 8 ч утра. Влажность почвы определяют на восьмой день каждой декады месяца.

Количество осадков и их интенсивность. Количество осадков характеризуют толщиной слоя воды в миллиметрах (с точностью до 0,1 мм), хотя в агрономической практике количество осадков часто выражают в кубических метрах на гектар (слой воды толщиной 1 мм на площади 1 га соответствует 10 м³). Интенсивность осадков выражается их количеством за 1 мин (мм/мин).

Количество осадков измеряют осадкомером Третьякова 0-1. Сосуд для сбора осадков представляет собой цилиндр высотой 40 см с площадью приемной поверхности 200 см². Внутри цилиндра впаина диафрагма в виде срезанного конуса, отверстие

которой летом для уменьшения испарения влаги закрывают вонкой.

Для измерения количества выпавших за определенный период осадков воду из приемного цилиндра сливают в мензурку с делениями (цена одного деления 2 см^3 , что соответствует $0,1 \text{ мм}$ осадков).

Определенное количество осадков идет на смачивание ведра, поэтому к результатам измерений добавляют поправку. Для осадков в виде дождя в количестве меньше $0,5$ деления стакана поправка составляет $0,1 \text{ мм}$, для осадков больше $0,5$ деления стакана — $0,2 \text{ мм}$.

Для получения объективных и достоверных данных о количестве осадков осадкомеры устанавливают непосредственно на опытном поле. При этом можно ограничиться одноразовым учетом, хотя в данном случае теряется возможность определения интенсивности осадков.

Количество осадков в виде снега или града также показывают в мм после таяния в теплом помещении.

Для определения интенсивности осадков наряду с их количеством фиксируют начало и конец их выпадения. Записи удобно вести по следующей форме:

Дата	Время выпадения осадков (ч, мин)		Число делений мерного стакана	Поправка, мм	Количество осадков		Интенсивность осадков, мм/мин
	начало	конец			мм	$\text{м}^3/\text{га}$	

Часто для исследователя важно иметь сведения о высоте с нежного покрова. Как правило, снежный покров формируется на территории неравномерно, поэтому измерять его высоту необходимо одновременно в нескольких местах постоянными и переносными снегомерными рейками.

Постоянные рейки устанавливают в трех местах на делянке в виде равнобедренного треугольника с таким расчетом, чтобы нулевое деление находилось на уровне поверхности почвы. Высоту снежного покрова определяют с точностью до 1 см , при этом нужно находиться на расстоянии $5\text{--}6 \text{ м}$ от рейки, чтобы не оставлять возле нее следов. Для более точного определения глаза наблюдателя должны быть как можно ближе к поверхности снежного покрова.

Переносные мерные рейки с ценой деления 1 см используют для одноразового определения высоты снежного покрова за зиму. Нулевое деление на такой рейке совпадает с концом острия, которое вставляют в снег до упора в поверхность почвы.

Для определения плотности снега, от которой зависит его изоляционная способность как теплопроводника и количество воды в нем, используют переносной снегомер. Это металличе-

кий цилиндр с площадью основания 50 см² и высотой 60 см. Открытым заостренным концом с нулевой меткой цилиндр вертикально погружают в снег до упора в поверхность почвы и по шкале определяют высоту снежного покрова в сантиметрах. Затем с одной стороны цилиндра плоской лопаткой (она должна быть шире цилиндра) отгребают снег и, подсунув лопатку под цилиндр, осторожно поднимают его, переворачивают и взвешивают. Если высота снежного покрова превышает 60 см, то снежный столб на всю его высоту вырезают, измеряют его высоту и взвешивают в несколько приемов. Повторность такого анализа 5—6-кратная.

Плотность снега определяют делением массы снега на его объем и выражают в граммах на кубический сантиметр. Расчеты удобно вести по следующей форме:

Номер за- мера (по- вторность)	Высота снежного покрова, см	Площадь основания цилиндра, см ²	Объем снега, см ³	Масса цилиндра, г		Масса снега, г	Плотность снега, г/см ³
				со снегом	пустого		

Температура воздуха. Для определения температуры воздуха используют термометры, которые в стационарных условиях устанавливают в защитной психрометрической будке БП-1. Жалюзийные стенки этой будки защищают термометры от прямого попадания солнечных лучей. Психрометры устанавливают вертикально, а максимальный и минимальный термометры — горизонтально резервуарами к востоку на специальных штативах. Показания на всех термометрах снимают сразу после открытия будки, начиная с делений десятых долей градуса.

Температуру воздуха среди посевов или посадок измеряют аспирационным психрометром МВ-4М, который устанавливают горизонтально на специальной подставке в виде небольших деревянных козел с таким расчетом, чтобы на резервуары не попадали прямые солнечные лучи. При скорости ветра более 3 м/с на аспиратор с наветренной стороны надевают защитный кожух.

Направление и скорость ветра. Направление ветра в стационарных условиях определяют с помощью флюгеров различных марок, параллельно учитывают и скорость ветра. В полевых условиях скорость ветра измеряют ручным чашечным анемометром МС-13. Его устанавливают на необходимой высоте плоской поверхности корпуса параллельно направлению ветра, а шкалой — к наблюдателю.

Перед измерением при выключенном счетчике записывают начальные показания с учетом положения всех трех стрелок, а через 20—30 с после начала вращения вертушки включают счетчик анемометра. Одновременно включается и секундомер, который вместе с анемометром выключается после определенного периода работы прибора (около 10 мин).

Разницу показаний счетчика до и после включения анемометра делят на время определения и получают число оборотов вертушки за 1 с. Для перевода в метры в секунду используют таблицу или градуированный график, которые приложены к прибору. Записи удобно вести по следующей форме:

Место измерения	Время измерения	Отсчеты на шкале		Разница между отсчетами	Время работы прибора	Число вращений за 1 с	Скорость ветра, м/с
		начальные	конечные				

При скорости ветра от 2 до 30 м/с ее можно определять ручным индукционным анемометром АРИ-49, шкала которого градуирована в метрах в секунду.

Атмосферное давление. Измеряют атмосферное давление барометрами-анероидами различной конструкции, чаще всего БАММ-1. Их можно использовать как на метеорологических станциях или постах, так и в полевых условиях. Прибор устанавливают горизонтально. Измерения ведут в такой последовательности. Сначала фиксируют температуру воздуха с точностью до 0,1 °С термометром. Затем, постучав пальцем по стеклянной крышке анероида, определяют положение стрелки на шкале с точностью до 0,1 мм рт. ст.

При обработке замеров вводят поправки. Шкаловая поправка приведена в техническом свидетельстве для всей шкалы через каждые 10 мм рт. ст. Промежуточные поправки вводит сам исследователь путем интерполяции двух соседних поправок. Еще одна поправка — температурная, при помощи которой показатели анероида выражают для нулевой температуры. Для такого перевода используют коэффициент, выражающий изменение показания анероида при изменении температуры воздуха на 1 °С. Этот коэффициент также приводится в техническом свидетельстве прибора. Для расчета температурной поправки нужно умножить данный коэффициент на показатель термометра на время определения давления. Дополнительно вводят поправку, которая со временем может меняться, определяют один раз в 6 мес работы прибора. Для этого в трех—пяти повторностях одновременно измеряют давление стационарным чашечным барометром и анероидом. Разница между показаниями ртутного барометра с учетом всех поправок и анероида с шкаловой и температурной поправками и будет составлять дополнительную поправку к показаниям анероида. Ее обязательно заносят в техническое свидетельство анероида, и исследователь может пользоваться ею в течение 6 мес.

При расчете атмосферного давления записи можно вести по следующей форме:

Дата	Температура воздуха	Отсчеты давления	Поправки			Исправленное значение давления
			шкаловая	температурная	дополнительная	

Влажность воздуха. Самый распространенный метод измерения влажности воздуха — психрометрический. Он базируется на зависимости интенсивности испарения с водной поверхности от влажности окружающего воздуха. При этом влажность воздуха определяют по разнице показателей двух одинаковых психрометрических термометров — сухого и смоченного. Чем больше дефицит влажности, тем интенсивнее испаряется влага и тем большей будет разница показаний термометров.

Перед измерением влажности воздуха проверяют чистоту батиста (материала, которым плотно обмотан смоченный термометр) и наличие воды в стаканчике, в который погружается батист.

Летом в жаркую и сухую погоду за 10—15 мин до измерения стаканчик с водой и открытой крышкой поднимают для погружения в него резервуара смоченного термометра, затем стаканчик опускают и ставят на прежнее место.

В зимний период батист обрезают на 0,2—0,3 см ниже термометра и смачивают его за 30 мин до отсчетов водой комнатной температуры, чтобы растаяла ледяная корка, которой он был покрыт до этого.

Отсчеты на обоих термометрах необходимо проводить быстро, при этом сначала фиксируют десятые доли, а затем целые градусы на сухом и смоченном термометрах.

При подсчетах влажности воздуха пользуются такими величинами: фактическая упругость водяного пара (e); максимальная упругость водяного пара при температуре смоченного термометра (E); атмосферное давление (P); температура смоченного (T_1) и сухого (T) термометров; постоянная стационарного психрометра (0,0008).

Фактическую упругость водяного пара (мм рт. ст.) рассчитывают по формуле

$$e = E - 0,0008(T - T_1)P.$$

Значения максимальной упругости водяного пара в мм рт. ст. на основании показателей смоченного термометра берут из таблицы 38. Температура в ней дана с интервалом 0,5 °С. Для того чтобы показать давление при градации температуры 0,1 °С, необходимо рассчитать, как меняется давление при смене температуры на 1 °С, и интерполировать соседние показатели.

38. Максимальная упругость водяного пара (E) над поверхностью чистой воды при разных температурах смоченного термометра

Температура, °С	Давление, мм рт. ст.	Температура, °С	Давление, мм рт. ст.	Температура, °С	Давление, мм рт. ст.	Температура, °С	Давление, мм рт. ст.
0,0	4,6	10,0	9,2	20,0	17,6	30,0	32,0
0,5	4,7	10,5	9,5	20,5	18,1	30,5	32,9
1,0	5,0	11,0	9,8	21,0	18,7	31,0	33,8
1,5	5,1	11,5	10,2	21,5	19,3	31,5	34,8
2,0	5,3	12,0	10,5	22,0	19,9	32,0	35,8
2,5	5,5	12,5	10,9	22,5	20,5	32,5	36,8
3,0	5,7	13,0	11,3	23,0	21,1	33,0	37,9
3,5	5,9	13,5	11,6	23,5	21,8	33,5	38,9
4,0	6,1	14,0	12,0	24,0	22,5	34,0	40,2
4,5	6,3	14,5	12,4	24,5	23,2	34,5	41,2
5,0	6,5	15,0	12,9	25,0	23,8	35,0	42,3
5,5	6,8	15,5	13,2	25,5	24,6	35,5	43,5
6,0	7,1	16,0	13,7	26,0	25,3	36,0	44,7
6,5	7,3	16,5	14,1	26,5	26,0	36,5	45,9
7,0	7,5	17,0	14,6	27,0	26,8	37,0	47,2
7,5	7,8	17,5	15,0	27,5	27,7	37,5	48,6
8,0	8,0	18,0	15,5	28,0	28,4	38,0	49,8
8,5	8,3	18,5	16,0	28,5	29,3	38,5	51,3
9,0	8,6	19,0	16,5	29,0	30,2	39,0	52,6
9,5	8,9	19,5	17,1	29,5	31,0	39,5	54,1

Зная фактическую и максимальную упругость водяного пара, рассчитывают относительную влажность воздуха (%) по формуле

$$B_{\text{в}} = 100e/E.$$

Температура почвы. Температуру поверхности почвы определяют при помощи срочных, максимальных и минимальных термометров с ценой деления 0,5 °С.

Срочный термометр используют для определения температуры на время наблюдения, максимальный и минимальный — для фиксации самой высокой и самой низкой температуры за какой-либо период наблюдений.

Термометры всех трех видов устанавливают в небольшие углубления, образующиеся при легком вдавлении термометров в почву с таким расчетом, чтобы резервуар был наполовину помещен в плотную почву. Срочный и минимальный термометры устанавливают горизонтально, а максимальный — с небольшим уклоном к резервуару, чтобы ртуть в капилляре отходила от резервуара.

Перед установкой максимальный термометр встряхивают, при этом его держат резервуаром вниз. В минимальном термометре штифтик подводят к мениску спирта, повернув термометр резервуаром вверх.

Показания снимают с точностью до 0,1 °С.

Температуру почвы на глубине пахотного слоя измеряют термометрами-щупами или коленчатыми термометрами. Термометр-щуп вдавливают в почву вертикально на необходимую глубину (на стенке щупа есть деления). Если почва сильно уплотнена, то сначала в почву забивают металлический стержень близкого к щупу диаметра на глубину, несколько меньшую глубины определения температуры. Затем стержень вынимают из почвы, вставляют термометр и вдавливают его на нужную глубину. Через 10—15 мин после установки термометра можно снимать показания.

Коленчатые термометры используют для стационарного определения температуры почвы в течение вегетационного периода. Для их установки копают траншею с одной вертикальной стенкой, на нужной глубине которой делают небольшие углубления, параллельные поверхности почвы, куда вдавливают резервуары термометров до самого изгиба. На поверхность термометр со шкалой выходит под углом 45°, подпорки поддерживают его в таком положении. Траншею засыпают землей, слой должен располагаться в первоначальном порядке. Показания снимают, не вынимая термометры из почвы.

Для определения температуры почвы на глубине 1 м и более используют вытяжные термометры ТПВ-50 с ценой деления 0,2 °С. Предварительно почвенным буром делают скважины на необходимую глубину, в них вкладывают металлические трубки, выходящие на поверхность почвы не менее чем на 50 см. В трубки вставляют термометры, показания снимают сразу же после того, как их вынимают, начиная с десятых долей и заканчивая целыми градусами. Поверхность почвы возле термометров должна содержаться в том же состоянии, что и поверхность опытной делянки. Температуру почвы на глубине менее 1 м определяют несколько раз в сутки, на глубине более 1 м — только один раз, поскольку на такой глубине суточные колебания температуры почвы не наблюдаются.

На метеорологических станциях для дистанционного измерения температуры почвы на глубине более 2 м применяют установки типа М-54-2, принцип работы которых заключается в использовании зависимости электрического сопротивления от температуры. Однако в полевых условиях использовать такие установки практически невозможно.

Глубина промерзания почвы. Для определения глубины промерзания почвы используют мерзлотомер. Он состоит из защитной водонепроницаемой трубки, в которую вставляется мягкая резиновая трубка. Внутри резиновой трубки проходит капроновый шнур с узлами, которые не дают возможности перемещаться столбику льда во время работы с мерзлотомером. Для образования льда под влиянием отрицательных температур в почве рези-

новую трубку полностью заливают водой и с обеих сторон закрывают капроновыми пробками.

За 2—3 нед до наступления морозов буром делают скважину, вставляют в нее защитную трубку, а промежутки между стенками скважины и защитной трубкой плотно засыпают землей. Затем в защитную трубку вставляют резиновую с сантиметровыми делениями (нулевое деление находится на уровне поверхности почвы).

Отсчеты мерзлотомером начинают с наступлением периода отрицательных температур и продолжают вплоть до полного оттаивания почвы. Для определения глубины промерзания почвы резиновую трубку вытягивают из защитной и пальцами прощупывают ее сверху донизу, устанавливая границы ледяного столбика. При помощи шкалы глубину промерзания почвы определяют с точностью до 1 см. Затем резиновую трубку снова вставляют в защитную для дальнейшего анализа.

Кроме перечисленных метеорологических определений и измерений при необходимости исследователи отмечают даты первых осенних и последних весенних заморозков, выпадения ливневых дождей, фиксируют град, ураганный ветер, продолжительную воздушную засуху и другие аномалии погоды.

3.2. ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

Наиболее важные показатели физического состояния почвы — влагообеспеченность, объемная масса, или плотность, строение пахотного слоя и его оструктуренность. Можно пользоваться несколькими методами определения этих показателей. В данном разделе рассмотрены самые совершенные и вместе с тем простые и доступные методы.

Определение влажности почвы весовым методом. В зависимости от глубины определения влажности почвы пробы для анализа отбирают лопатой (если ограничиваются пахотным слоем) или специальными бурами различной конструкции. На небольших опытных делянках (не более 100—200 м²) минимальная повторяемость отбора образцов трехкратная. Места отбора проб намечают по диагонали делянки через равномерные промежутки.

Отобранную с определенной глубины (из пахотного слоя — через каждые 10 см, из более глубоких слоев — через 20 см) почву тщательно перемешивают и из нее берут пробу в предварительно взвешенный бюкс на 2/3 его объема. Бюкс сразу же закрывают плотно прилегающей крышкой.

После доставки в лабораторию бюксы осторожно открывают, крышку помещают под дно бюкса, бюкс взвешивают с точностью до 0,1 г и помещают в сушильный шкаф. Образцы сушат при температуре 105 °С в течение 6—10 ч до постоянной массы. Для того чтобы определить, что почва полностью высохла, об-

разцы после высушивания и взвешивания вновь ставят на 2—3 ч на сушку и снова взвешивают. Если масса бюкса после досушивания не изменилась, сушку прекращают. Если масса изменилась, проверку повторяют еще раз. Убедившись, что процесс высушивания почвы окончен, приступают к расчету влажности. Записи удобно вести по следующей форме:

Вариант	Слой почвы, см	Номер бюкса	Масса бюкса, г			Масса испарившейся воды (M = а—б), г	Масса абсолютно сухой почвы (Г = б—в), г	Влажность почвы ($V = \frac{100M}{Г}$), %
			с сырой почвой (а)	с сухой почвой (б)	пустого (в)			

После определения влажности почвы по повторностям подсчитывают средний показатель по варианту.

Для того чтобы узнать процент доступной влаги в почвенном образце, необходимо из рассчитанной общей влажности вычесть влажность устойчивого увядания растений, которую определяют по следующей методике. В бюксы из каждого слоя в четырех-пяти аналитических повторностях насыпают по 40—50 г почвы. После увлажнения почвенного образца в каждый бюкс высевают по 4—5 наклюнувшихся семян ячменя или овса, бюксы накрывают стеклом и ставят в темное место. После появления всходов бюксы переносят из темноты на свет и еще раз увлажняют почву в них. В фазе двух-трех листочков для уменьшения испарения поверхность почвы в бюксах прикрывают ватой, а сами бюксы переносят в слабоосвещенное место, где наблюдают за растениями. Со временем растения начинают увядать, т. е. наступает период, когда в почвенных образцах вся доступная влага уже использована растениями и в почве осталась лишь недоступная влага. Для определения ее процентного содержания почву в бюксах по возможности полностью освобождают от растений и после этого ставят на сушку. После полного высушивания образцов влажность устойчивого увядания (или процент недоступной влаги) определяют так же, как и процент общей влаги.

Содержание доступной влаги в почве (%) рассчитывают по формуле

$$V_d = V_o - V_n,$$

где V_o — содержание общей влаги, %; V_n — содержание недоступной влаги (или влажность устойчивого увядания), %.

Количество воды в заданном слое почвы (т/га или м³/га) рассчитывают по формуле

$$K = VНО,$$

где V — влажность почвы, %; H — высота слоя почвы, см; O — объемная масса почвы слоя H , г/см³.

Для того чтобы выразить количество влаги в миллиметрах, количество воды в тоннах или кубических метрах умножают на коэффициент 0,1, так как слой воды толщиной 1 мм на площади 1 га соответствует 10 т воды.

Определение объемной массы почвы методом Н. А. Качинского. Образцы почвы с ненарушенным строением отбирают из определенных слоев специальными металлическими стаканами цилиндрической формы. На делянке, где планируют определять объемную массу, копают яму и тщательно зачищают сторону, которая лучше всех освещена. Затем в запланированный слой зачищенной стенки одновременно забивают как минимум 4 пронумерованных и старированных стакана таким образом, чтобы их края были заподлицо с поверхностью стенки.

Потом стаканы выкапывают лопатой, тщательно очищают от лишней (выходящей за пределы их объема) земли, насухо вытирают и взвешивают непосредственно на месте с точностью до 1 г. Затем почву высыпают из стакана на подстилку и из нее в бюкс отбирают пробу для определения влажности почвы на время проведения анализа.

Объемную массу почвы, или плотность (O), выражают в граммах на кубический сантиметр и рассчитывают путем деления массы абсолютно сухой почвы в стакане на его объем с точностью до 0,01 г/см³. Объемную массу верхнего слоя почвы можно определить и расчетным путем при анализе строения пахотного слоя. Массу абсолютно сухой почвы ($г$) рассчитывают по формуле

$$Г = 100С / (100 + В),$$

где $С$ — масса сырой почвы в стакане, г; $В$ — влажность почвы, %.

Записи удобно вести по следующей форме:

Вариант	Слой почвы, см	Повторность	Номер стакана	Объем стакана, см ³	Масса, г			Номер бюкса	Масса пустого бюкса, г	Масса бюкса с почвой, г		Влажность почвы, %	Масса абсолютно сухой почвы в стакане, г	Объемная масса почвы, г/см ³
					пустого стакана	стакана с почвой	сырой почвы			до сушки	после сушки			

Определение строения пахотного слоя почвы методом насыщения почвы водой в патронах. Объектом этого анализа служат

образцы почвы с ненарушенной структурой, отобранные буром Некрасова. На нижнюю часть цилиндра надевают резальную часть бура, диаметр которой внизу на 0,8—1,0 мм меньше диаметра цилиндра. До этого в цилиндр вставляют патрон высотой 5 или 10 см и диаметром 10,0, 7,5 или 5,0 см. Повторность отбора проб 4—5-кратная.

Перед выходом в поле патроны нумеруют, тарируют вместе с крышками и измеряют их диаметр. Определив в поле место отбора проб, очищают поверхность почвы от растительности, вертикально вдавливают бур с патроном в почву до нужной глубины, ориентируясь на метки, имеющиеся на буре. Затем прокручивают ручку бура вокруг оси бура 2—3 раза, чтобы оторвать образец почвы от ее основы. Бур вынимают, снимают с патрона резальную часть, срезают почву, выходящую за края патрона, закрывают патрон крышкой, вынимают его из цилиндра и, измерив высоту взятой пробы почвы, закрывают патрон верхней крышкой. Одновременно в бюкс из исследуемого слоя почвы отбирают навеску для определения влажности почвы.

В лаборатории вначале с нижней, а затем с верхней части патрона осторожно снимают крышку, взвешивают патрон вместе с крышками. С нижней стороны на патрон надевают металлическую сеточку и опускают его в ванночку с водой на подставку, покрытую фильтровальной бумагой с таким расчетом, чтобы ее края были погружены в воду. По фильтровальной бумаге вода будет поступать к почве и заполнять ее капиллярные поры. О полном насыщении почвы в патроне водой свидетельствует постоянная масса патронов, их взвешивают один раз в сутки в течение трех-четырёх дней.

После последнего взвешивания патроны освобождают от почвы, моют и подсушивают. Расчет показателей, характеризующих строение почвы, ведут в последовательности, представленной в таблице 39.

39. Ведомость для расчета показателей, характеризующих строение почвы
 Вариант _____ Слой почвы _____ см

Показатель	Номер позиции	Формула для определения показателей с использованием номеров позиции
Номер патрона	1	—
Масса пустого патрона, г	2	—
Диаметр патрона, см	3	—
Высота взятого почвенного образца, см	4	—
Объем почвенного образца, см ³	5	$3,14 \cdot 3 \cdot 4 / 4$

Показатель	Номер позиции	Формула для определения показателей с использованием номеров позиции
Масса патрона с почвой до насыщения, г	6	—
Масса почвы в патроне до насыщения, г	7	$/6/-/2/$
Номер бюкса	8	—
Масса пустого бюкса, г	9	—
Масса бюкса с сырой почвой, г	10	—
Масса бюкса с сухой почвой, г	11	—
Масса испарившейся воды из бюкса, г	12	$/10/-/11/$
Масса сухой почвы в бюксе, г	13	$/11/-/9/$
Влажность почвы, %	14	$\frac{/12/}{/13/} \cdot 100$
Масса сухой почвы в патроне (твердая фаза), г	15	$\frac{/7 \cdot 100}{100 + /14/}$
Удельный вес почвы, г/см ³	16	Определяют экспериментально или пользуются справочными данными
Объем твердой фазы почвы, см ³	17	$\frac{/15/}{/16/}$
Объем общей скважности, см ³	18	$/5/-/17/$
Масса патрона с почвой после насыщения, г	19	—
Капиллярная скважность, см ³	20	$/19/-/2/-/15/$
Некапиллярная скважность, см ³	21	$/18/-/20/$
Масса воды в почве до насыщения, г	22	$/7/-/15/$
Объем воздуха в почве до насыщения, см ³	23	$/18/-/22/$
Отношение, %:		
объема твердой фазы к общему объему	24	$\frac{/17 \cdot 100}{/5/}$
общей скважности к общему объему почвы	25	$\frac{/18 \cdot 100}{/5/}$
капиллярной скважности к общему объему почвы	26	$\frac{/20 \cdot 100}{/5/}$
некапиллярной скважности к общему объему почвы	27	$\frac{/21 \cdot 100}{/5/}$

Показатель	Номер позиции	Формула для определения показателей с использованием номеров позиции
Степень насыщения почвы водой, %	28	$\frac{22/100}{18/}$
Степень аэрации почвы, %	29	$\frac{23/100}{18/}$
Объемная масса почвы, г/см ³	30	$\frac{15/}{5/}$

Агрегатный анализ почвы методом Н. И. Саввинова. Агрегатный (структурный) состав почвы определяют с использованием макроагрегатного анализа. Метод Н. И. Саввинова предполагает отбор почвенных проб в поле и просеивание на ситах разного диаметра для разделения агрегатов по фракциям. Пробы почвы для анализа необходимо отбирать на каждом повторении опыта через каждые 10 см пахотного слоя при физической спелости почвы. На делянках прямоугольной формы пробы отбирают лопатой по диагонали в 5—10 местах. Выкопав образец почвы, его сбрасывают с лопаты с высоты 1 м на подстилку. Если при этом все комья не распались, их разминают руками до мелкокомковатого состояния, не допуская слипания или сильного распыления почвы.

Пробы почвы со всех точек делянки ссыпают на большую подстилку или в ящик, хорошо перемешивают и отбирают объединенный образец массой 1—3 кг. Его насыпают в мешочек с этикеткой, где указаны вариант, дата и глубина отбора образца.

В лаборатории отобранную почву расстилают на листе бумаги, освобождают от растительных остатков, камешков и т. д. Для того чтобы почва подсохла, ее периодически перемешивают. После доведения почвы до воздушно-сухого состояния из нее отбирают пробу массой 1 кг, которую высыпают на колонку сит с отверстиями диаметром 10; 7; 5; 3; 1; 0,5 и 0,25 мм. На седьмое сито надет поддон для сбора пылеватых частиц. Перед просеиванием верхнее сито накрывают крышкой. После 2—3-минутного колебания колонки верхние сита с отверстиями диаметром 10; 7; 5 и 3 мм снимают, а с другими колебания продолжают еще 1—2 мин.

После окончания просеивания на каждом сите остаются почвенные агрегаты, размер которых больше диаметра отверстий сита. Оставшуюся на каждом сите фракцию агрегатов взвешивают и рассчитывают процентное содержание в навеске (1 кг).

Пылеватые частицы в поддоне можно взвесить, но лучше определить их массу расчетным путем, отняв от массы общей навески массу остальных фракций. Результаты сухого просеивания удобно записывать по следующей форме:

Вариант	Глубина отбора почвы, см	Показатель	Размер фракций почвенных агрегатов, мм						
			>10	10—7	7—5	5—3	3—1	1—0,25	<0,25

Масса агрегатов, г
Содержание агрегатов, %

Определение устойчивости почвенных агрегатов к распадению в воде методом П. И. Андрианова. Суть этого метода заключается в учете агрегатов, которые распадаются в воде за определенный промежуток времени. Объектом исследований может быть любая фракция (кроме пылеватых частиц), полученная в результате сухого просеивания почвы.

Для анализа в чашки Петри в трех аналитических повторностях на фильтровальную бумагу кругами или прямыми линиями равномерно раскладывают 50 почвенных агрегатов из исследуемой фракции, после чего доливают по стенке чашки воду до полного увлажнения фильтровальной бумаги. Через 3 мин, когда наступит капиллярное насыщение агрегатов влагой, в чашки осторожно доливают воду с таким расчетом, чтобы она покрыла агрегаты слоем около 0,5 см. Число распавшихся в воде агрегатов подсчитывают с интервалом в 1 мин в течение 10-минутного периода.

В связи с тем что отдельные агрегаты распадаются ввиду их различной водоустойчивости за неодинаковое время, для расчета степени устойчивости структуры к разрушению водой вводят поправочные коэффициенты. Их выражают в процентах, и для каждой минуты распада они будут такими: для первой — 5, второй — 15, третьей — 25, четвертой — 35, пятой — 45, шестой — 55, седьмой — 65, восьмой — 75, девятой — 85 и десятой — 95. Коэффициент устойчивости агрегатов, которые не распались за 10-минутный период, принимают за 100 % (K_c). Общую устойчивость агрегатов данной фракции к распадению в воде (%) рассчитывают по формуле

$$K = \frac{a_1 K_1 + a_2 K_2 + \dots + a_{10} K_{10} + a_c K_c}{A},$$

где a_1, a_2, \dots, a_{10} — число агрегатов, не распавшихся в воде за определенные минуты; a_c — число агрегатов, которые не распались за 10 мин; K_1, K_2, \dots, K_{10} и

K_c — поправочные коэффициенты; A — общее число агрегатов, взятых для анализа.

Например, если в первом повторении за первую минуту распалось 3 агрегата, за вторую — 8, за третью — 6, за четвертую — 5, за пятую — 6, за шестую — 8, за седьмую — 5, за восьмую — 4, за девятую — 4, за десятую — ни одного и осталось после анализа 2 нераспавшихся агрегата, то устойчивость агрегатов к распадению в воде составит:

$$K = [(3 \cdot 5) + (8 \cdot 15) + (6 \cdot 25) + (5 \cdot 35) + (6 \cdot 45) + (8 \cdot 55) + (5 \cdot 65) + (4 \cdot 75) + (3 \cdot 85) + (0 \cdot 95) + (2 \cdot 100)] / 50 = 2250 / 50 = 45\%.$$

Аналогично проводят расчеты для второго и третьего повторений, после чего выводят среднее арифметическое для исследуемого варианта опыта.

Определение водопроницаемости почвы. Способность почвы усваивать и пропускать воду в более глубокие слои определяют различными методами, для полевых условий наиболее приемлем метод заливных площадок. Для каждой делянки предварительно готовят две деревянные, а лучше металлические квадратные рамы размером 50 × 50 и 25 × 25 см с высотой стенок 20 см. Нижняя часть рам заточена, чтобы удобнее было погружать их в почву.

Место на делянке, куда вставляют рамы, должно быть типичным для данного варианта с характерной плотностью почвы и растительностью. На намеченное место накладывают большую раму, внутренние очертания которой намечают на почве острым ножом. По намеченному контуру нарезают щели глубиной 8—10 см, в которые вставляют раму и забивают ее деревянным молотком. Затем с внутренней стороны к стенке рамы прижимают узкую (1—2 см) полоску почвы, а с наружной стороны квадрата почву тщательно уплотняют. Вторую, меньшую по размеру, раму размещают в центре большей, намечают ее контуры, после углубления в них вгоняют саму раму. С обеих сторон стенок внутренней рамы почву уплотняют полоской почвы шириной 1—2 см. Таким образом, для анализа готовят два квадрата: больший (защитный) и меньший (учетный).

На каждой раме на высоте 5 см от поверхности почвы наносят метки, при помощи которых следят за уровнем воды для поддержания постоянного ее давления на поверхность почвы. Больший и меньший квадраты одновременно заливают водой из шланга или из ведра. Во избежание размыва почвы воду лучше лить на вязанку соломы или сена. Когда вода достигнет 5-сантиметровой отметки (это время фиксируется), начинают учитывать воду, которую для поддержания постоянного уровня подливают

в контрольный квадрат уже из мерной посуды. В больший квадрат продолжают подливать воду без учета.

В первый час учет воды ведут через каждые 10 мин, во второй и третий — через 30 мин, а в четвертый, пятый и шестой — через 60 мин. Повторность анализа трехкратная.

Водопроницаемость почвы (мм/мин) рассчитывают отдельно для каждого интервала наблюдения по формуле

$$A = O \cdot 10 / ПЧ,$$

где O — объем просочившейся воды за период, см³; 10 — число для пересчета кубических сантиметров в миллиметры; $П$ — площадь меньшего квадрата, см²; $Ч$ — продолжительность периода, мин.

Из рассчитанных отдельных значений водопроницаемости выводят среднюю водопроницаемость для каждого почасового срока наблюдений, т. е. для первого, второго, третьего, четвертого, пятого и шестого часа наблюдений. Для определения водопроницаемости за 1 ч (мм/ч) среднюю величину водопроницаемости в миллиметрах в минуту умножают на 60.

Определение суммарного потребления влаги и коэффициента водопотребления. При определении суммарного потребления влаги на посевах сельскохозяйственных культур учитывают запасы почвенной влаги на период посева и уборки, а также количество атмосферных осадков за вегетационный период.

Для установления запасов влаги в почве на начало и конец вегетации культуры почвенные образцы отбирают через каждые 20 см на глубину корнеобитаемого слоя (чаще всего 1 м, а для культур с глубоко проникающей корневой системой — 1,6 м). После доведения образцов до абсолютно сухого состояния и определения влажности с учетом объемной массы каждого слоя почвы расчет запасов влаги (в мм/га или т/га) ведется с использованием формул, приведенных на с. 180.

По разнице между запасами влаги на время посева и уборки культуры рассчитывают уменьшение запасов почвенной влаги за период вегетации растений. Прибавив к полученному результату количество осадков за время от посева до уборки урожая, определяют суммарный расход влаги (в мм/га). Для пересчета миллиметров на гектар в тонны на гектар суммарный расход влаги умножают на 10.

Коэффициент водопотребления сельскохозяйственных культур за вегетационный период определяют по формуле

$$K_B = C_B / Y,$$

где C_B — суммарное потребление влаги, т/га; Y — урожайность основной и побочной продукции в пересчете на абсолютно сухое вещество, т/га.

При расчете удобно пользоваться следующей формой:

Слой почвы, см	Объемная масса почвы, г/см ³	Влажность почвы, %		Запасы влаги, мм		Уменьшение исходных запасов почвенной влаги, мм	Количество осадков за вегетацию, мм	Суммарное расходование влаги за вегетацию		Сбор сухого вещества, т/га	Коэффициент водопотребления
		при посеве	во время уборки	при посеве	во время уборки			мм	т/га		

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОЙ СРЕДЫ

Агрохимические показатели почвенной среды определяют в результате анализа образцов почвы, которые отбирают под руководством опытного научного сотрудника. Почвенный образец должен быть репрезентативным, ведь по его анализу судят обо всей делянке, с которой он был отобран.

На каждой делянке полевого опыта отбирают один объединенный образец, который готовят из 8—10 индивидуальных проб, взятых по диагонали делянки бурами различной конструкции из всего корнеобитаемого слоя. Пробы тщательно перемешивают и из всей массы отбирают объединенный образец массой 400—500 г.

В вегетационных опытах почвенные образцы отбирают из каждого сосуда отдельно с обеих сторон от растения буром Неговелова на всю глубину сосуда. В лизиметрических опытах образцы почвы берут после уборки урожая. Для этого площадь лизиметра делят на квадраты (по 0,25 м²), из которых бурами отбирают индивидуальные пробы почвы. После их смешивания из общей массы отбирают объединенный образец массой 300—400 г, а остальную почву возвращают на место ее отбора.

Отобранные образцы почвы расстилают тонким слоем для сушки в лаборатории или другом хорошо проветриваемом помещении. На почву не должны попадать прямые солнечные лучи. Когда почва достигнет воздушно-сухого состояния, из образцов тщательно отбирают пинцетом все примеси (растительные остатки, камешки, насекомых и др.), почву размалывают на специальных машинах, просеивают через сита с отверстиями диаметром 2 мм и ссыпают в бумажные пакеты или полиэтиленовые мешки, где ее можно сохранять до 1 года. Образцы почвы, отобранные при закладке стационарных опытов, сохраняются в плотно закрытой стеклянной посуде в течение более длительного срока. Если

образцы почвы анализируют в состоянии природной влажности, срок их сохранности сокращается до 5 ч после отбора.

Определение суммы поглощенных оснований с использованием метода Каппена—Гильковица. Сумма поглощенных оснований эквивалентна количеству соляной кислоты, расходуемой на их вытеснение. Рассчитывается она по разности между количеством участвовавшей в анализе кислоты и ее остатком после анализа. Последний определяется путем титрования вытяжки едким натром.

Для определения суммы поглощенных оснований методом Каппена—Гильковица берут навеску воздушно-сухой почвы (20 г) и высыпают ее в колбу на 500 мл, куда доливают 100 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты. После тщательного перемешивания путем взбалтывания на ротаторе в течение 1 ч содержимое колбы фильтруют на сухом складчатом фильтре. При этом первые мутные капли отбрасывают, а из прозрачного фильтрата пипеткой отбирают 50 мл жидкости в коническую колбу на 300 мл. Эту колбу нагревают до кипения на электрической бане и кипятят в течение 2—3 мин. После добавления к горячему раствору 2—3 капель фенолфталеина содержимое колбы оттитровывают 0,1 н. раствором едкого натра до бледно-розового цвета, который не исчезает в течение 1 мин.

Сумму поглощенных оснований (мг-экв. на 100 г почвы) рассчитывают по формуле

$$C = aT_1 - bT_2,$$

где a — количество взятого для титрования фильтрата, мл; T_1 — поправка к титру 0,1 н. раствора соляной кислоты; b — количество 0,1 н. раствора едкого натра, пошедшего на титрование остатка соляной кислоты, мл; T_2 — поправка к титру 0,1 н. раствора едкого натра.

Определение реакции почвы потенциометрическим методом. Реакцию почвенного раствора (рН) учитывают при решении вопроса о необходимости известкования. Сущность данного метода заключается в измерении электродвижущей силы, которая возникает при погружении в суспензию почвы двух разных электродов — измерительного и электрода сравнения.

Для анализа навеску воздушно-сухой почвы (20 г) переносят в коническую колбу на 200 мл, куда доливают 50 мл 1 н. раствора хлорида калия. После взбалтывания в течение 1—2 мин содержимое фильтруют, часть фильтрата переносят в стаканчик на 50 мл. Измеряют рН фильтрата на потенциометре, предварительно настроенном при помощи буферных растворов рН 4,01; 6,86 и 9,18.

Через 1 мин после погружения электродов в вытяжку проводят отсчет по шкале потенциометра, после чего стаканчик с вытяжкой убирают, а электрод ополаскивают дистиллированной водой и подсушивают фильтром для последующего погружения.

Определение гидролитической кислотности. Гидролитическую кислотность также определяют потенциометрическим методом, сущность которого заключается в обработке почвы 1 М раствором едкого натра в воде в соотношении 1:2,5 с последующим потенциометрическим определением кислотности полученной суспензии.

Для анализа 30 г почвы, доведенной до воздушно-сухого состояния, помещают в коническую колбу на 200 мл, доливают туда 75 мл 1 М раствора CH_3COONa , содержимое взбалтывают 1 мин и оставляют до следующего дня. На другой день суспензию вновь взбалтывают и определяют рН при помощи иономера. По графику (рис. 34) определяют гидролитическую кислотность.

Определение степени насыщенности почвы основаниями. Степень насыщенности почвы основаниями (%) определяют расчетным путем по формулам

$$\text{СНО} = 100\text{С}/(\text{С} + \text{Н}_p)$$

или $\text{СНО} = 100\text{С}/\text{Е}$,

где С — сумма поглощенных оснований, мг-экв. на 100 г почвы; Н_p — гидролитическая кислотность, мг-экв. на 100 г почвы; $\text{Е} = \text{С} + \text{Н}_p$ — емкость поглощения почвы, мг-экв. на 100 г почвы.

Определение нитратного азота при помощи ионоселективного электрода. Этот метод основан на том, что нитраты из почвы освобождаются с участием 1%-ного раствора алюмокалиевых квасцов, концентрацию ионов нитратов определяют с использованием ионоселективного электрода.

Для анализа в колбу Эрленмейера на 150 мл помещают 20 г почвы и заливают 50 мл 1%-ного раствора алюмокалиевых квасцов.

После взбалтывания в течение 3 мин суспензию отстаивают 30 мин и пропускают на приборе в режиме «рХ». Ионметр «ЭВ-74» настроен по рабочим образцовым растворам, показывает pNO_3 . Для приготовления образцовых растворов 10,11 г высушенного при температуре 95—105 °С нитрата калия растворяют в 1%-ном растворе алюмокалиевых квасцов и этим раствором объем колбы на 1 л доводят до метки. Это и будет исходным раствором с концентрацией 0,1 М едкого кали, который используют для приготовления шкалы образцового раствора с

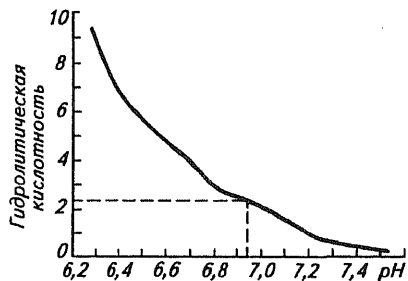


Рис. 34. Графическое изображение зависимости гидролитической кислотности от значения рН

концентрацией 0,01 М, 0,001 М и 0,0001 М едкого кали. По этой шкале и проводят калибровку ионометра.

После пропускания анализируемых суспензий на ионометре показатели рNO₃ переводят в нитраты, выраженные в миллиграммах на килограмм почвы, используя данные таблицы 40.

40. Содержание нитратного азота (мг на 1 кг почвы) при разных показаниях ионометра

Целые и десятые доли по- казаний ионометра	Сотые доли показаний ионометра									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,5	109	107	105	102	100	97,7	95,5	93,3	91,2	89,1
2,6	87,1	85,1	83,2	81,3	79,4	77,6	75,9	74,1	72,4	70,8
2,7	69,2	67,6	66,1	64,6	63,1	61,7	60,3	58,9	57,5	56,2
2,8	55,0	53,7	52,5	51,3	50,1	49,0	47,9	46,8	45,7	44,7
2,9	43,6	42,7	41,7	40,7	39,8	38,8	38,0	37,2	36,3	35,5
3,0	34,7	33,9	33,1	32,4	31,6	30,9	30,2	29,5	28,8	28,2
3,1	27,5	26,9	26,3	25,7	25,1	24,6	24,0	23,4	22,9	22,4
3,2	21,9	21,4	20,9	20,4	20,0	19,5	19,1	18,6	18,2	17,8
3,3	17,4	17,0	16,6	16,2	15,9	15,5	15,1	14,8	14,5	14,1
3,4	13,8	13,5	13,2	12,9	12,6	12,3	12,0	11,8	11,5	11,2
3,5	11,0	10,7	10,5	10,2	10,0	9,8	9,6	9,3	9,1	8,9
3,6	8,7	8,5	8,3	8,1	7,9	7,8	7,6	7,4	7,2	7,1
3,7	6,9	6,8	6,6	6,5	6,3	6,2	6,0	5,9	5,8	5,6
3,8	5,5	5,4	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5
3,9	4,4	4,3	4,2	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5
4,0	3,5	3,4	3,3	3,2	3,2	3,1	3,0	3,0	2,9	2,8

Для пересчета содержания нитратного азота на абсолютно сухую почву используют переводные коэффициенты на влажность взятых на анализ образцов почвы.

Определение щелочногидролизуемого азота в почве по методике Корнфилда. Для анализа используют чашку Конвея со стеклянной перегородкой в наружном отделении. В наружную часть чашки помещают 2 г подготовленной для исследования почвы, а во внутреннюю наливают 2 мл 2%-ного раствора борной кислоты и добавляют 2—3 капли реактива Гроака. Затем в наружную часть чашки наливают 5 мл 1 М раствора едкого натра. Для того чтобы навеска почвы не смачивалась, чашку поддерживают в слегка наклонном состоянии. Чашку накрывают крышкой, смазанной вазелином, и осторожными круговыми движениями перемешивают почву с раствором в течение 1 мин. После этого чашку на 48 ч помещают в термостат с температурой 28 °С. За это время весь аммиак почвы связывается борной кислотой, которая титруется 0,02 М раствором серной кислоты до перехода зеленой окраски в фиолетово-красную.

Содержание азота (мг в 1 кг почвы) рассчитывают по формуле

$$N = a \cdot 0,28 \cdot 500,$$

где a — количество 0,02 М раствора серной кислоты, расходуемой на титрование, мл; 0,28 — количество азота, соответствующее 1 мл 0,02 М раствора серной кислоты, мг; 500 — коэффициент для пересчета 2 г навески в 1 кг почвы.

Определение подвижных форм фосфора и калия по Чирикову в модификации ЦИНАО. Этот метод используют для анализа черноземных и серых лесных почв. При этом навеску почвы (4 г) переносят в бутылку на 250 мл и заливают 100 мл 0,5 М раствора CH_3COOH . Закрытую плотной пробкой бутылку взбалтывают 1 ч на ротаторе. После отстаивания в течение 18—20 ч содержимое бутылки фильтруют. Первую порцию фильтрата сливают, а из остального 10 мл переносят в колбу на 100 мл, в которую доливают реактив Б до метки. Через 10 мин содержимое колбы фотокolorиметрируют при красном светофильтре. Другую часть фильтрата используют для определения содержания калия на пламенном фотометре.

Содержание подвижных форм фосфора и калия в почве определяют по графику, построенному согласно рабочей шкале образцовых растворов. Для приготовления образцовых растворов концентрацией 1 мг P_2O_5 и 1 мг K_2O в 1 мл соответственно 1,918 г KH_2PO_4 и 0,557 г KCl растворяют в колбе на 1 л 0,5 М раствором CH_3COOH с таким расчетом, чтобы в итоге общий объем содержимого колбы составил 1 л. Затем берут 7 колб на 500 мл и наливают в них образцовый раствор в объемах, приведенных в таблице 41. Содержимое всех колб доводят до метки 0,5 М раствором CH_3COOH и хорошо взбалтывают, затем подвергают анализу на пламенном фотометре. На основе фотометрирования растворов этих 7 колб строят калибровочный график, по которому определяют содержание в анализируемой навеске подвижных форм фосфора и калия в миллиграммах на килограмм почвы.

41. Объем образцового раствора и концентрация P_2O_5 для определения подвижных форм фосфора и калия

Показатель	Номер колбы						
	1	2	3	4	5	6	7
Объем исходного образцового раствора в колбе, мл	0	4	10	20	30	40	50
Концентрация P_2O_5 и K_2O в колбах, мг на 1 кг почвы	0	20	50	100	150	200	250

Реактив Б готовят в день проведения анализа, растворяя 1,056 г аскорбиновой кислоты в 200 мл реактива А в колбе на 1 л, в которую до метки доливают дистиллированную воду. *Реактив А* на время анализа сохраняют в темном стеклянном сосуде с притертой пробкой. Для его приготовления 6 г молибдата аммония растворяют при нагревании в 200 мл дистиллированной воды. В другом сосуде растворяют 0,145 г сурьмяно-виннокисло-го калия в 100 мл подогретой дистиллированной воды. После охлаждения оба раствора сливают в колбу на 1 л и добавляют в нее 500 мл 5 М раствора серной кислоты, после чего содержимое колбы доводят дистиллированной водой до метки.

Определение содержания гумуса в почве по методике Б. А. Никитина. Из подготовленного для анализа образца почвы на аналитических весах берут навески с учетом ожидаемого содержания в почве углерода:

Содержание углерода, %	Навеска, г
1	1,0—1,5
2	0,5—0,8
3	0,3—0,5
4	0,25—0,4
5—6	0,2—0,3
7	0,15—0,25
8	0,12—0,2

Навеску помещают в колбу на 50 мл и заливают 20 мл хромовой смеси. Осторожно перемешивают содержимое колбы, не оставляя сухих почвенных частиц на стенках, колбу на 20 мин помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 150—160 °С. Одновременно в шкаф можно поместить 16—20 колб, среди которых должна быть контрольная колба без почвы, содержащая лишь 20 мл хромовой смеси. Охладив колбы, доводят их объем водой до метки. После отстаивания в течение суток раствор над осадком осторожно сливают или отбирают пипеткой в кюветы, в которых измеряют оптическую плотность раствора на спектрофотометре или фотоэлектроколориметре при длине волны 590 нм. Для сравнения в качестве оптического поля используют раствор из контрольной колбы.

Содержание углерода определяют при помощи калибровочного графика. Для его построения готовят стандартный раствор с таким расчетом, чтобы в 1 мл раствора содержался 1 мг углерода. Для этого в колбе на 1 л растворяют в воде 2,5022 г глюкозы или 2,3771 г сахарозы. Затем в первую колбу на 50 мл отбирают 2,5 мл, во вторую — 5, в третью — 10, в четвертую — 15 и в пятую — 20 мл стандартного раствора. Шестая колба остается пустой. После выпаривания содержимого колб на водяной бане в каждую из них, в том числе и в шестую, добавляют по 20 мл хромовой смеси и помещают в сушильный шкаф для сжигания глюкозы. Охладив колбы, доливают до метки воду для разбавления остатка. Через сутки раствор фотометрируют.

По полученным значениям оптической плотности раствора с известным содержанием в нем углерода строят калибровочный график, по которому определяют содержание углерода (%) в анализируемых почвенных образцах.

Окислитель в форме 0,4 н. раствора хромовой смеси готовят так: 40 г хромовокислого калия измельчают в ступке, растворяют в дистиллированной воде. Раствор фильтруют через бумажный фильтр в колбу на 1 л, добавляют до метки дистиллированную воду. После этого содержимое колбы переливают в сосуд из тугоплавкого стекла или фарфоровую чашку на 3—5 л, где смешивают с 1 л концентрированной серной кислоты.

3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ МЕТОДОМ ШТАТНОВА

Биологическую активность почвы оценивают по интенсивности выделения CO_2 из почвы. Анализ проводят в полевых условиях. Для этого поверхность избранной площадки освобождают от растительности, на подставку ставят поглотитель в виде фарфоровой чашки, содержащей 10 мл 0,1 н. раствора едкого натра, и накрывают стеклянным колпаком. Одновременно под этот же колпак помещают для контроля плоскодонный сосуд, в который для изоляции от внешнего воздуха наливают 1%-ный раствор серной кислоты слоем 0,5—1,0 см и на подставке помещают поглотитель.

Срок экспозиции 1—3 ч, после чего раствор поглотителя сливают через воронку в коническую колбочку, а чашку и воронку ополаскивают дистиллированной водой. Перед титрованием в колбу добавляют 50%-ный хлористый барий для связывания CO_2 . После титрования 0,1 н. раствором соляной кислоты приступают к расчетам. Например, на титрование 10 мл 0,1 н. раствора едкого натра в контрольной пробе израсходовано 9 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты, а в опытной — 6 мл. Таким образом, с ограниченной колпаком поверхности почвы за 2 ч экспозиции на связывание CO_2 израсходовано 3 мл (9 мл — 6 мл), что соответствует 0,30 мг-экв., или 0,0066 г (0,30·44/1000·2) CO_2 . Если площадь ограниченной колпаком поверхности почвы составляет 500 см², то за это же время с площади 1 м² выделилось бы 0,132 г CO_2 (0,0066·10 000/500), а с 1 га — 1,32 кг. Следовательно, за 1 ч с площади 1 га выделилось бы 0,66 кг CO_2 , а за сутки — 15,84 кг.

3.5. УЧЕТ ЗАСОРЕННОСТИ ПОСЕВОВ И ПОЧВЫ

Прогнозировать появление сорняков на полях возможно лишь при наличии данных о засоренности посевов в предыдущем году и наличии в почве семян и вегетативных органов размножения сорняков.

Засоренность посевов. В исследовательской работе используют три основных метода учета засоренности посевов: глазомерный, количественный и количественно-весовой.

Г л а з о м е р н ы й метод заключается в том, что исследователь, обходя поле по краям и по диагонали, оценивает засоренность посевов определенной культуры по 4-балльной шкале:

- 1 — встречаются лишь единичные сорняки;
- 2 — сорняков мало, но они уже не единичные;
- 3 — сорняков много, но меньше, чем культурных растений;
- 4 — сорняков значительно больше, чем культурных растений.

Средний балл засоренности поля выводят на основе оценок засоренности отдельных его участков. Засоренность посевов определяют несколько раз — в начале, середине и в конце вегетации. Каждый раз наряду с оценкой засоренности в баллах указывают биологические группы наиболее распространенных сорняков. Такой метод чаще всего используют для составления карты засоренности полей в хозяйстве. На карте в нижнем углу каждого поля указывают балл засоренности, штрихами или красками обозначают биологические группы сорняков, которые чаще всего встречаются. Менее распространенные группы сорняков указывают в отдельных сегментах вписанного в контур поля круга.

Под картой засоренности обязательно должна быть приведена расшифровка условных обозначений. По такой карте можно судить лишь об общей окультуренности отдельных полей хозяйства.

К о л и ч е с т в е н н ы й метод позволяет получить сведения не только о видовом составе сорняков, но и об их количестве на единицу площади. По диагонали делянки небольшого размера (до 200—300 м²) в пяти местах через равномерные промежутки на поверхность почвы накладывают рамку площадью 0,25 м² (0,5 × 0,5 м) или 1 м² (1 × 1 м). В производственных опытах на полях площадью до 100 га рамки накладывают в 10 местах, а на полях площадью 100—150 га и более — в 20—30 местах.

В пределах каждой рамки подсчитывают общее число сорняков, выделяя малолетние и многолетние. Кроме того, отдельно среди этих групп указывают число одно- и двудольных сорняков. Все подсчеты заносят в рабочую таблицу такой формы:

Номер поля	Культура	Номер площадки (повторность)	Площадь рамки, м ²	Число сорняков в пределах рамки			
				малолетних		многолетних	
				однодольных	двудольных	однодольных	двудольных

При количественном методе засоренность посевов выражают числом сорняков на 1 м², поэтому при использовании рамки площадью 0,25 м² число сорняков в пробе умножают на перевод-

ной коэффициент на площадь, который в данном случае равен 4 ($1 \text{ м}^2 : 0,25 \text{ м}^2$).

После пересчета числа сорняков на площадь 1 м^2 засоренность посевов оценивают по 3-балльной шкале (табл. 42).

42. Шкала засоренности посевов

Число сорняков, на 1 м^2		Балл засоренности	Степень засоренности
малолетних	многолетних		
<10	<1	1	Слабая
10—50	1—5	2	Средняя
>50	>5	3	Сильная

Более полную информацию о засоренности посевов обеспечивает количественно-весовой метод, при котором наряду с числом учитывают и массу сорняков. Сорняки взвешивают без корней сырыми, а после сушки — и в воздушно-сухом состоянии, массу сорняков выражают в граммах на квадратный метр или в тоннах на гектар. По этому показателю более обоснованно можно судить о том вреде, который сорняки причиняют культурным растениям.

Засоренность почвы семенами сорных растений. Для разработки системы мер борьбы с сорной растительностью лучше всего пользоваться данными о засоренности верхнего слоя почвы. Наличие в почве семян сорняков необходимо определять ежегодно после проведения основной обработки почвы. Для этого анализа отбирают почвенные пробы буром Калентьева по диагонали исследуемого участка через равномерные промежутки. На делянках полевого опыта повторность отбора проб 5-кратная. В производственных условиях на поле площадью до 100 га отбирают 10 проб, а на поле больших размеров — 20 проб. Глубина отбора проб — до 10 см, поскольку с большей глубины семена сорняков, как правило, не прорастают. В один пакет отбирают почву из слоя 0—5 см, а в другой — 6—10 см. При этом на пакетах указывают номер поля, глубину отбора и число индивидуальных проб.

При отсутствии почвенного бура в производственных условиях пробы чаще всего отбирают лопатой, ножом и совком. Общая масса пробы при таком отборе должна быть в пределах 0,5—1,0 кг. После доведения почвы до воздушно-сухого состояния и тщательного перемешивания из этой пробы отбирают два объединенных образца по 100 г каждый.

Наиболее распространенный метод определения содержания семян сорняков в почве — промывание почвы водой на ситах с отверстиями 0,25 мм над ведром или другой емкостью. Для того чтобы на промывание расходовалось меньше воды, почвенные образцы предварительно замачивают на 2—3 ч. После промывания на сите остаются растительные остатки, мелкие камешки и

семена сорняков, диаметр которых превышает 0,25 мм. Более мелкие семена вместе с промывочной водой и минеральным остатком почвы проходят через сито и попадают в подставленную емкость. Для отделения таких семян осторожно сливают воду и осадок переносят в химический стакан или фарфоровую чашку на 500—750 мл, на 2/3 заполненную насыщенным раствором поваренной соли или поташа. При этом более тяжелые минеральные частицы почвы оседают на дно, а легкие семена сорняков и растительные остатки остаются на поверхности. Для полного отделения органической части осадка от минеральной его несколько раз перемешивают стеклянной палочкой. Затем всю плавающую на поверхности тяжелого раствора массу сливают на бумажный фильтр и туда же при помощи промывалки переносят весь остаток с сита. Когда содержимое фильтра при комнатной температуре дойдет до воздушно-сухого состояния, его высыпают на разборную доску или листок плотной белой бумаги, откуда шпателем отбирают семена, делят на виды и подсчитывают.

При отборе проб буром засоренность 1 м^2 определенного слоя почвы семенами сорняков рассчитывают по формуле

$$Z_c = 10\,000Ч/НП,$$

где 10 000 — площадь 1 м^2 , переведенная в см^2 ; Ч — число семян сорняков в почвенном образце; Н — число проб, из которых готовился образец; П — площадь бура, рассчитанная по диаметру внутренней части бура, см^2 .

Разделив числовое значение Z_c на 100, можно выразить засоренность почвы семенами сорняков в млн семян на 1 га.

Если образцы почвы отбирают не буром, т. е. не учитывают площадь, с которой отбирали образцы, то засоренность почвы семенами сорняков выражают числом семян в 1 кг абсолютно сухой почвы и рассчитывают по формуле

$$Z_c = (100 + В) Ч/100Г,$$

где В — влажность почвы на время отмывки семян, %; Г — масса почвенного образца перед отмывкой семян, кг.

Пользоваться таким показателем засоренности почвы не совсем удобно, поэтому лучше его переводить в миллионы семян на 1 га. Для этого при отборе почвенных проб определенной массы засоренность почвы семенами сорняков (млн семян на 1 га) определяют по формуле

$$Z_c = ТОЧ/Г,$$

где Т — толщина слоя почвы, из которого отбирали пробы, см; О — объемная масса почвы на время отбора проб, $\text{г}/\text{см}^3$.

Однако по полученному показателю засоренности почвы семенами сорняков еще нельзя представить реальную угрозу, по-

скольку не все семена сорных растений жизнеспособны. Для определения содержания в отмытой пробе жизнеспособных семян сорняков разных видов разделенные на виды семена раскладывают в чашки Петри на увлажненную фильтровальную бумагу. Прикрыв чашки стеклом, их помещают на 20 дней в термостат, где постоянно поддерживают температуру 22—25 °С.

Проросшие семена в первые 5 дней подсчитывают ежедневно, а потом на седьмой и десятый день. Затем непроросшие семена переносят в новые чашки и продолжают вести учет еще 10 дней. В конце 20-дневного периода по конечному результату учета всхожесть семян сорняков (%) определяют по формуле

$$P = 100a/b,$$

где а — число проросших семян; б — общее число семян.

Число жизнеспособных семян сорняков различных видов в миллионах на 1 га рассчитывают, умножив общее число семян на процент их жизнеспособности.

Засоренность почвы органами вегетативного размножения сорняков. Органы вегетативного размножения многолетних сорняков в почве учитывают после их раскопки с определенной площади и глубины. Для этого используют рамки размером 0,5 × 0,5 м. Раскопки при помощи лопаты, ножа или кельмы ведутся в 4—5-кратной повторности на делянках полевого опыта и в 10—20-кратной повторности — в исследованиях, проводимых в условиях производства. Глубина раскопок — 30 см, так как в этом слое почвы размещается основная масса органов вегетативного размножения большинства сорняков.

По диагонали делянки (поля) через равномерные промежутки на предварительно очищенную от надземной растительности поверхность почвы накладывают рамку, по внутренним краям ножом обводят контур, в границах которого лопатой по частям вынимают почву и складывают ее на мешковину или клеенку. Глубину раскопки контролируют линейкой. Убедившись в полноте раскопки и раздавив все комки почвы, приступают к отбору органов вегетативного размножения сорняков. При этом учитывают число подземных побегов, измеряют их длину и подсчитывают на них число почек, каждая из которых является основой для образования новых растений. Результаты учета переводят на площадь 1 м² или 1 га.

3.6. ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ УЧЕТЫ НА ПОСЕВАХ РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

Зерновые колосовые. За период вегетации проводят следующие фитопатологические наблюдения:

р ж а в ч и н у на посевах озимых колосовых обнаруживают

перед уходом растений в зиму, осматривая листья на пяти равноотдаленных площадках размером 50 × 50 см в каждом повторении опыта. Оценивают степень поражения согласно шкале из Методики государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (рис. 35) в процентах;

пораженность озимых плесенью определяют весной до боронования озимых визуально на всех повторениях с учетом площади, которую занимают пораженные места, в процентах к общей площади делянки;

склеротиниоз учитывают путем осмотра по диагонали делянки через равномерные промежутки 100 растений. При этом число растений со склероциями в пробе и будет показывать процент пораженности посевов этой болезнью;

корневые гнили учитывают в фазе выхода растений в трубку и при молочной спелости зерна. Для этого на защитных полосах всех делянок в опыте выкапывают 100 растений, которые после промывки их корней анализируют по степени поражения этой болезнью таких отдельных частей растений, как корни, подземное междоузлие, узел кущения и основание стебля. Характер поражения оценивают в баллах:

- 0 — поражение отсутствует;
- 1 — присутствуют пятна желтоватого цвета;
- 2 — пятна приобретают буроватый оттенок;
- 3 — сильное побурение пятен с частичной их трухлявостью;
- 4 — наличие отдельных отмерших органов или их частей.

Рассчитывают индекс пораженности органа или его части (%) по формуле

$$P = 100 \Sigma ab / 4n,$$

где a — число пораженных органов с одинаковыми признаками; b — соответствующий этому признаку балл пораженности; Σ — сумма произведений числовых значений ($a \cdot b$); n — число учетных органов; 4 — самый высокий балл пораженности.

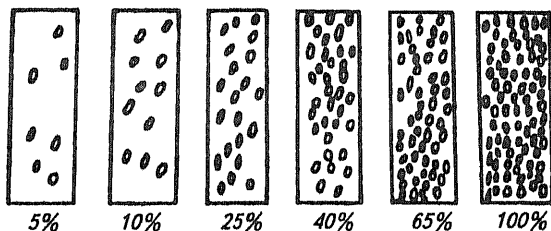


Рис. 35. Шкала учета пораженности бурой, желтой, корончатой и карликовой ржавчинной

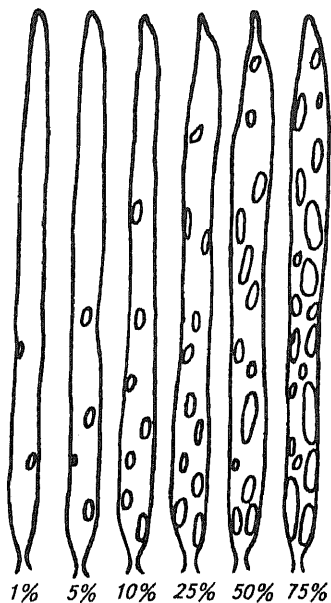


Рис. 36. Шкала учета пораженности листьев мучнистой росой

Степень поражения листьев различными болезнями, которые проявляются в виде пятен, оценивают путем осмотра на каждом повторении 20 растений (стеблей), равномерно отдаленных один от другого по диагонали делянки. При этом долю пораженной части листа оценивают визуально и выражают десятками процентов (10, 20, 30 и т. д.);

поражение мучнистой росой определяют в период выхода в трубку — колошения и оценивают по шкале, показанной на рис. 36;

степень поражения пшеницы бурой и желтой ржавчиной, а овса корончатой ржавчиной оценивают путем осмотра двух верхних листьев, а по второму и третьему верхним листьям оценивают степень поражения ячменя карликовой и желтой ржавчиной, а также ржи бурой и желтой ржавчиной (см. рис. 35);

пораженность септориозом учитывают на верхних втором и третьем листьях, а оценивают в процентах по шкале, приведенной на рис. 37;

полосатую пятнистость учитывают дважды: в период всходов путем осмотра 100 растений и в период налива зерна с учетом числа недоразвитых колосьев в 100-стебельной пробе;

учет пыльной головки пшеницы и ячменя проводят в период полного колошения, а стеблевой и карликовой головки пшеницы и ржи — в фазе молочной спелости зерна путем осмотра 100 растений (по 20 растений в пяти местах) на каждой делянке опыта. Выражают пораженность растений в процентах к осмотренным;

желтую ржавчину и септориоз колоса учитывают путем осмотра перед уборкой урожая 200 колосьев — по 40 в пяти равноотдаленных местах по диагонали делянки. Пораженность оценивают в процентах (см. рис. 37);

поражение стеблевой ржавчиной пшеницы, ржи, ячменя и овса оценивают в фазе восковой спелости зерна при осмотре по длине делянки 20 стеблей с использованием шкалы, приведенной на рис. 38;

твердую головню, фузариоз колоса, черный и базальный бактериозы пшеницы, твердую головню ржи, стеблевую головню пшеницы, каменную головню ячменя и головню овса учитывают путем осмотра на делянке 100 продуктивных стеблей.

Гречиха. Из фитопатологических исследований на посевах гречихи проводят:

учет увядания всходов и фитофтороза — путем осмотра 100 растений через 10 дней после появления полных всходов;

поражение аскохитозом, фитофторозом и мучнистой росой в виде пятнистости листьев определяют визуально в начальной стадии созревания зерна. Степень поражения выражают в процентах.

Просо. Посевы этой культуры осматривают для определения поражения растений такими наиболее распространенными болезнями:

бактериальным увяданием — через 10 дней после полных всходов и во время выметывания метелки путем осмотра 100 растений на делянке;

головней — во время созревания урожая путем осмотра 100 растений, отобранных в пяти местах на делянке.

Рис. На каждой делянке осматривают 100 растений для учета их поражения загниванием всходов, пирикулярриозом, склеротиниозом и повреждения нематодой. Выражают степень поражения в процентах. Гельминтоспориоз, аскохитоз и другие пятнистости листьев учитывают визуально с выведением процента пораженной поверхности согласно шкале, приведенной на рисунке 40.

Зерновые бобовые культуры. Осматривая 100 растений (по 10

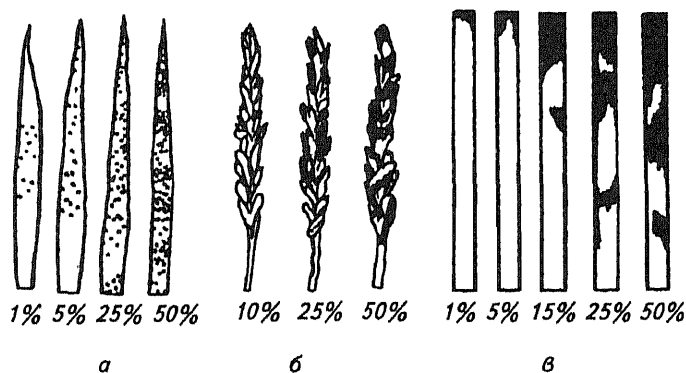


Рис. 37. Шкала учета пораженности листьев (а), колоса (б) и стеблей (в) септориозом

растений в 10 местах на делянке), учитывают процент пораженности увяданием, фузариозом всходов, мозаикой, черной ножкой, белой и серой гнилью, полосатой пятнистостью и ризоктониозом. Кроме того, пятнистость листьев и стеблей в виде аскохитоза, бактериоза, антракноза, ржавчины и мучнистой росы учитывают визуально и по степени поражения, выраженной в процентах пораженной поверхности от всей площади листьев и стеблей (согласно ранее приведенным шкалам). Аскохитоз, антракноз, бактериоз бобов и семян, корневые гнили учитывают одновременно по распространенности болезни и степени поражения ею растений.

Кукуруза. Для учета процента поражаемости различными видами головни и стеблевыми гнилями осматривают по диагонали делянки 20 растений. Одновременно пятнистость листьев и стеблей оценивают и по степени поражения растений. Поражение болезнями початков учитывают путем осмотра 30 типичных початков с делянки. По степени поражения поверхности початков оценивают развитие болезни (%), используя формулу

$$A = (a_1p_1 + a_2p_2 + a_3p_3 + a_4p_4 + a_5p_5 + a_6p_6 + a_7p_7 + a_8p_8 + a_9p_9 + a_{10}p_{10})/N,$$

где a_1, a_2, \dots, a_{10} — развитие болезни на початке составляет соответственно 10, 20, ..., 100 %; p_1, p_2, \dots, p_{10} — число початков с соответствующим процентом развития болезни; N — число початков в пробе.

Сорго. Перед уборкой учитывают путем осмотра 100 растений на делянке процент поражения головней, в то время как для учета поражения бактериальной пятнистостью листьев достаточно обследовать 25 растений — по пять рядом растущих в пяти равноотдаленных местах на делянке.

Сахарная и кормовая свекла. Планируют следующие фитопатологические наблюдения и учеты:

процент поражения корневым узлом учитывают через 10 дней после появления всходов путем осмотра 100 растений по диагонали делянки;

степень поражения церкоспорозом, мучнистой росой и другими болезнями, которые проявляются в виде пятнистости листьев, определяют при осмотре 20 растений на двух несмежных рядках;

поражение ложной мучнистой росой, желтухой и мозаикой определяют путем осмотра во второй половине лета 100 растений на средних рядках делянки и выражают в процентах;

поражение корнеплодов фомозом, бурой и фузариозной гнилью, туберкулезом и раком учитывают при осмотре пробы из 20 корней, отобранной для химического анализа во время уборки урожая.

Подсолнечник. Путем осмотра по диагонали делянки 20 растений учитывают процент поражения и степень развития таких болезней, как серая и белая гниль, ложная мучнистая роса, ржавчина, фомоз, сухая гниль корзинок, аскохитоз, церкоспороз, гельминтоспориоз, бурая и коричневая пятнистость, желтая и зеленая мозаика, бактериальное увядание и др.

Многолетние травы. За весь жизненный цикл многолетних трав учитывают:

степень поражения желтой и бурой пятнистостью листьев, ржавчиной, мучнистой и ложной мучнистой росой — путем осмотра растений на площадках размером 0,5×0,5 м в 5-кратной повторности на делянке;

рак клевера, различные виды головни, бактериальную гниль корней, фузариозное увядание, мозаику клевера — при осмотре 100 растений на делянке. На семенных посевах клевера дополнительно учитывают распространенность цветковой плесени, которую определяют путем осмотра во время полного цветения 100 сорванных в 10 местах на делянке головок;

пораженность клевера антракнозом определяют путем осмотра поверхности листьев и стеблей на 100 стеблях с делянки и выражают в процентах;

стеблевую ржавчину злаковых трав учитывают на 20

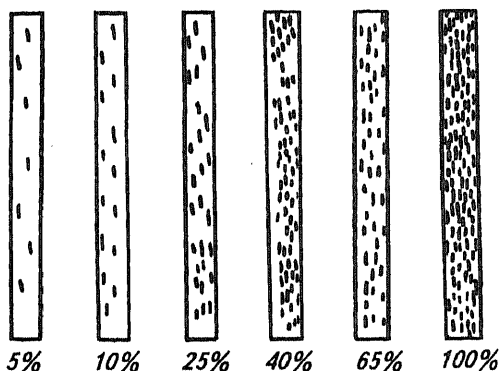


Рис. 38. Шкала учета пораженности стеблевой ржавчиной

отдельных стеблях с делянки при помощи шкалы, приведенной на рисунке 38;

бурую ржавчину и мучнистую росу учитывают согласно шкалам, приведенным на рисунках 35 и 36.

3.7. ЭНТОМОЛОГИЧЕСКИЕ УЧЕТЫ

Зерновые культуры. Поврежденность такими скрытностебельными вредителями, как гессенская и шведская мухи, стеблевые блохи, учитывают при осмотре 100 растений на делянке, отобранных подряд в пяти равномерно отдаленных друг от друга местах в день проведения анализа. На озимых культурах пробы отбирают дважды — перед уходом растений в зиму и весной, а на яровых — в фазе выхода в трубку. Кроме того, поврежденность растений озимых колосовых гессенской мухой дополнительно учитывают и в фазе молочной спелости зерна. Отобранные растительные пробы анализируют в такой последовательности:

отбирают и учитывают мертвые растения;

срывают нижние листья и толстой иглой осторожно раскрывают стебель до узла кущения;

обнаруживают вредителя или следы повреждения (при их отсутствии растение считается неповрежденным).

Для учета поврежденности растений зеленоглазкой, стеблевой молью, просяной мухой, кукурузным мотыльком на делянке отбирают пробу из 100 стеблей с включением продуктивных и непродуктивных, а при определении поврежденности хлебными пилильщиками и учитывают только продуктивные стебли в таком же количестве.

Поврежденность зерна различными вредителями определяют непосредственно перед уборкой урожая, при этом на делянке отбирают по 100 колосьев и анализируют их, учитывая процент и степень поврежденности зерна.

Для учета поврежденности колоса трипсами в матерчатые мешочки отбирают по 100 колосьев с делянки в фазе молочно-восковой спелости зерна. В лаборатории вредителей учитывают и пересчитывают их число на один колос. После этого из общей пробы отбирают 10 колосьев для определения процента поврежденности зерна названным вредителем.

Поврежденность растений тлей учитывают путем осмотра 100 растений, отобранных в 10—20 местах на делянке. Степень заселенности растений тлей оценивают по 5-балльной шкале:

- 1 — отдельные особи на двух-трех нижних листьях;
- 2 — колонии из 3—5 особей на двух-трех нижних листьях;
- 3 — » из 10—15 особей на половине всех листьев;
- 4 — » из 20 особей на 2/3 всех листьев;
- 5 — » больших размеров на всех растениях.

Средний балл поврежденности растений тлями выводят как среднее арифметическое.

Поврежденность зерновок клопами и черепашками, клопами-слепняками, хлебными жуками, зерновыми совками, а зерна ячменя и овса дополнительно и шведскими мухами учитывают следующим образом. В пяти местах по диагонали делянки отбирают 100 колосьев, обмолачивают и из обмолоченной массы отбирают образец из 500 зерен. Зерно ячменя и овса разрезают для выявления внутри зерновок личинок шведской мухи. Поврежденное хлебными жуками зерно может быть частично или полностью выедено. Однако учитывают не степень поврежденности, а лишь процент поврежденных зерен в пробе.

Для учета процента поврежденности зерна разными видами наиболее злостных клопов нужно знать такие их особенности:

клоп-черепашка оставляет на нижней части зерновки единичные глубокие проколы диаметром до 0,25 мм овальной формы с неровными краями. Пораженная часть зерновки отличается бледно-желтой окраской, а сам прокол на этом фоне темно-серый;

у клопов-элиев уколы неглубокие, размещаются они в основном по бокам и в верхней части зерновки. Уколы красно-коричневые, овальной или продолговатой формы, диаметром 0,1—0,2 мм;

клопы-слепняки группируют свои уколы в строчку на более узкой стороне зерновки и в верхней ее части. Уколы красно-коричневые, овальной или продолговатой формы, диаметром менее 0,1 мм.

Растениям проса большой вред наносят просяной комарик, просяная муха и кукурузный мотылек. Поврежденность ими учитывают при полном выходе метелки из влагалища листа.

Для выявления поврежденности просяным комариком на делянке отбирают до 10 метелок. Поврежденными считаются зерна, в середине которых выявлены личинки или куколки просяного комарика, а также зерна, в которых между верхними пленками сохранилась белая оболочка от ложного кокона, из которого уже вылетел просяной комарик.

Для учета поврежденности метелки просяной мухой (в процентах) со всей учетной площади делянки отбирают 100 растений. Личинок просяной мухи обнаруживают во влагалище листа или в основании метелки. Характерная особенность повреждения просяной мухой заключается в том, что поврежденные стебли частично или полностью не выбрасывают метелки, а если метелка и вышла из влагалища листа, то она является бесплодной.

Кукурузный мотылек поражает стебель проса перед выбрасыванием метелки. Поврежденность в процентах определя-

ется при осмотре 100 растений, отобранных с делянки после выбрасывания метелки. На стебле растений в это время можно обнаружить отверстие с червоточиной или беловатую засохшую и нередко обломанную метелку.

Учитывают процент поврежденности растений риса просяной мухой (по такой же методике, что и на посевах проса) и степень поврежденности рисовой пьявицей, рисовым комариком, рисовым трипсом (визуально при явно заметных повреждениях посевов). Путем осмотра 100 растений на делянке оценивают степень заселения тлями с использованием 5-балльной шкалы, как и на посевах колосовых зерновых культур.

Посевам кукурузы и сорго большой вред наносят шведская муха и кукурузный мотылек.

Поврежденность шведской мухой учитывают при анализе пробы из 50 растений, отобранных в фазе 6—8 листьев на защитных полосах делянки. Поврежденность оценивают по 5-балльной шкале:

1 — на листьях единичные отверстия со светлой каймой, некоторые листья гофрированные, растения не отстают в росте;

2 — такие же повреждения на большинстве растений, междоузлия несколько сближены;

3 — большие отверстия на листьях, отдельные разрывы листовой пластинки, значительная ее гофрированность вплоть до склеивания верхушек листьев, заметное отставание растений в росте;

4 — кроме листьев поражен еще и конус нарастания, вследствие чего растение сильно отстает в росте и формирует множество пасынков;

5 — полностью уничтожен конус нарастания, растение гибнет.

Для учета поврежденности кукурузным мотыльком перед уборкой урожая с делянки отбирают по 50 растений и анализируют отдельно стебли и початки. Оценку проводят согласно 5-балльной шкале:

1 — на стебле и початке 1—5 червоточин;

2 — червоточин столько же, а стебель сломан выше початка;

3 — червоточин 6—10, излом стебля там же;

4 — червоточин более 10, излом стебля там же;

5 — стебель сломан ниже початка или сломана ножка початка.

Учет поврежденности растений кукурузы и сорго тлей ведут по такой же методике, как и на посевах зерновых колосовых культур.

Зерновые бобовые культуры. Степень поврежденности различными вредителями за вегетационный период выражают в процентах. Для этого по диагонали делянки отбирают 100 растений, при анализе которых могут быть обнаружены следующие повреждения:

обгрызенные края листьев, всходов, что характерно для долгоносика;

поврежденная ростковыми мухами и луговым мотыльком подземная часть проростков;

грубое объедание листьев, бутонов и соцветий гусеницами многоядных совок;

перекушенные кравчиком стебли люпина;

проколы на цветках, оставленные гороховым комариком;

поврежденные соцветия вики личинками фитономуса;

проеденные гусеницами многоядных совок стенки бобов.

Степень поврежденности тлями определяют с использованием 5-балльной шкалы (см. подраздел «Зерновые культуры»).

Поврежденность семян плодояркой и огневкой, проявляющаяся в виде объеденной поверхности семени, определяют на время уборки урожая при осмотре 500 семян из пробы, отобранной для химического и других анализов.

Через месяц после уборки определяют процент повреждения семян различными видами зерновок. Для этого разрезают 500 предварительно намоченных семян.

Сахарная и кормовая свекла. Учет поврежденности растений вредителями ведут путем осмотра 100 растущих растений на двух средних рядах делянки. При этом определяют:

процент всходов, поврежденных жуками-долгоносиками (объедают семядоли и листья), свекловичной щитовоской (выедает округлые сквозные отверстия на листьях) и блошками (выедают мякоть, не затрагивая кожицу нижней стороны листа);

процент поврежденных растений старшего возраста луговым мотыльком (гусеницы съедают пластинку листа вместе с жилками); свекловичной мухой (личинки выедают паренхиму листа под эпидермисом с образованием в них пустот — мин) и свекловичной минирующей молью (при съедании паренхимы листа оставляет проходы в черешках);

процент растений, поврежденных за вегетацию личинками долгоносиков (выгрызают главный корень, после чего растение полностью засыхает), медведками (насквозь прогрызают главный корень, и растение легко вырывается) и многоядными совками (перегрызают корневую шейку, объедают пластинку и черешки листьев);

степень заселения растений тлями в баллах (по той же шкале, что и на посевах зерновых культур).

Многолетние бобовые травы. Планируют следующие энтомологические учеты (результаты выражают в процентах):

поврежденность листьев клубеньковыми долгоно-

с и к а м и определяют в разные периоды вегетации путем осмотра 20 растений на делянке. На поврежденных листьях края имеют овальные выгрызы;

поврежденность клеверным семяедом определяют путем осмотра 100 головок, сорванных при их побурении. Головка считается поврежденной, если при отрывании завязи от цветоноса обнаруживаются личинки или куколки вредителя;

поврежденность семян клевера толстоножкой определяют после ручного обмолота 100 головок, сорванных с делянки перед уборкой. Из вымолоченных семян отбирают объединенную пробу (200 семян). Семена в покрытом двойным слоем марли стакане вместе с ванночкой с водой для поддержания высокой влажности воздуха помещают в термостат с температурой 20—25 °С. Через 9—10 дней из поврежденных семян вылетят толстоножки, после чего всю пробу высыпают в сосуд с водой. Для последующего анализа отбирают только легкие, всплывшие на поверхность семена, так как только среди них могут быть поврежденные толстоножкой. Их обнаруживают путем прощупывания семян скальпелем — поврежденные экземпляры продырявлены;

для учета поврежденности бобов люцерновым семяедом перед скашиванием люцерны в валки на делянке отбирают 100 продуктивных стеблей, с них срывают все бобы и из них отбирают объединенную пробу (100 бобов). После их раскрытия определяют степень повреждения семян семяедами (рыжий семяед съедает семя полностью, а желтый оставляет от семени лишь оболочку);

поврежденность семян эспарцета эспарцетовой зерновкой учитывают при анализе пробы семян после обмолота 100 бобов, сорванных выборочно со 100 стеблей на делянке. При нажиме скальпелем из пораженных семян выступает жидкость от раздавливания личинок вредителя.

Многолетние злаковые травы. При анализе пробы из 100 стеблей определяют:

степень поврежденности листьев (в %) блошками (на верхней стороне выедена паренхима) и пьявицами (выедена ткань листьев);

процент стеблей, поврежденных колосовой мухой (полностью уничтожен зародыш султана или объедены зачатки колосков султана), стеблевыми блошками (выгрызают сердцевину молодых стеблей при выходе растений в трубку, на поверхности стебля остается выходное отверстие) и шведскими мухами (личинки поражают сердцевину молодых стеблей, в результате центральный листок отмирает).

Растениям костра большого наносят вред соответствующие комарик и мухи. Для учета поврежденности зерновок на делянке отбирают образец из 200 зерновок. Поврежденными

считаются зерновки, в которых после разрезания обнаружены личинки (у мух они размером до 2,8 мм, а у комариков — до 1,1 мм) или ложные коконы.

3.8. ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Во всех опытах, где объектом исследований является растение (культурное или сорное), обязательно планируются фенологические наблюдения, сущность которых заключается в регистрации фаз развития растений. Фазы различаются между собой по внешним признакам. Началом фазы считается период, когда в нее вступило 10—15 % растений. Если в нее вступило 70—75 % растений, фаза считается полной.

Фенофазы определяет визуально одновременно на всем опыте один и тот же исследователь. Данные фенологических наблюдений используют при оценке влияния погодных (климатических) условий и почвенной среды на развитие подопытного растения, а также для расчета длительности межфазных периодов и вегетационного периода в целом.

Различные культуры характеризуются определенными фенофазами. Согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур принято определять следующие фазы. Для пшеницы, ржи, ячменя, овса, тритикале, проса — всходы (начальные и полные); начало кущения; колошение, или выбрасывание метелки (начальное и полное); полное цветение ржи; молочная (кроме проса), восковая (хозяйственная) и полная спелость (если уборку проводят при полной спелости зерна). Кроме того, для озимых зерновых отмечают даты прекращения осенней вегетации и возобновления ее весной. А для определения длительности периода посев—всходы обязательно фиксируют даты посева всех культур.

При проведении фенологических наблюдений исследователю необходимо учитывать следующее. Всходы на посевах злаковых культур отмечают при появлении первых раскрытых листочков у 75 % растений. Начало кущения отвечает периоду, когда у 10—15 % растений появится из влагалища главного стебля первый листочек бокового побега.

Сроком прекращения осенней вегетации озимых культур является дата перехода среднесуточной температуры воздуха для пшеницы, тритикале и ячменя через +5 °С, а для ржи — через +4 °С. При этом следует пользоваться данными ближайшей к району исследований метеостанции.

Возобновление вегетации озимых культур весной приходится на время, когда начинают отрастать листья, срезанные сразу после таяния снега.

Колошение пшеницы, ржи, тритикале и ячменя приходится на время, когда из влагалища верхнего листа вышло около поло-

вины колоса. Признак выбрасывания метелки проса и овса — выход верхушки метелки из влагалища верхнего листа.

Фаза цветения ржи отмечается тогда, когда на большинстве колосьев снаружи появились пыльники.

Молочная спелость наступает, когда зерно в средней части колоса (у овса в верхней части метелки) достигнет почти полной длины, однако имеет еще зеленую окраску. При нажиме на зерновку пальцем она лопается и из нее вытекает полужидкая масса. У пшеницы, тритикале и овса эта масса молочного цвета, а у ржи и ячменя — желтоватого цвета, подобна некруто сваренному яичному белку. Само растение в этот период остается еще зеленым, за исключением самых нижних листьев, которые желтеют.

При восковой, или хозяйственной, спелости зерно желтого цвета, твердое, однако при нажиме ногтем еще легко режется, а при изгибе зерновка ячменя и овса лопается. Все листья и стебель в это время желтые.

При полной спелости зерновка становится твердой, при нажиме ножом она раскалывается. В это время зерно легко вымолачивается, поэтому с этой фазой совпадает начало уборки зерновых культур прямым комбайнированием.

У гречихи отмечают следующие фазы развития растений: всходы (начальные и полные), цветение (начальное и полное), побурение первых плодов и хозяйственная, или уборочная, спелость. Фаза всходов отмечается при появлении семядолей на поверхности почвы. Начало цветения приходится на время, когда первые цветы появляются на 10—15 % растений, а полное цветение характеризуется наличием первых цветков более чем на 75 % растений.

У кукурузы отмечают фазы появления всходов и полные всходы, начало и полное выбрасывание метелок, начало и полное цветение початков, молочную, молочно-восковую, восковую и полную спелость. Начало цветения початков согласуется с появлением тычиночных нитей. Фаза молочной спелости характеризуется полностью сформировавшимся зерном, однако оно легко раздавливается и из него вытекает белая жидкость, похожая на молоко. При молочно-восковой спелости из раздавленного зерна вытекает уже тестообразная масса с некоторым включением твердых крупинок. В фазе восковой спелости зерно уже не раздавливается пальцами, но еще режется ногтем. Признак полной спелости зерна — его почернение в месте прикрепления к стержню початка и пожелтение оберток. Фазы спелости зерна определяют после освобождения от оберток десяти початков на защитных полосах делянки. Определенную фазу регистрируют тогда, когда в эту фазу вступило восемь початков из десяти.

У сорго фиксируют фазы полных всходов (когда их появилось около 75 %), кущения, полного выбрасывания метелок

(75 % и более), начала (10—15 %) и полного цветения, молочно-восковой, восковой и полной спелости зерна.

Для растений р и с а характерны следующие фенологические фазы: всходы (начальные и полные), начало кущения, начальное и полное выбрасывание метелки, молочная, восковая и полная спелость. Начало всходов отмечается при появлении первого настоящего листа с пластинкой, а полные всходы — при четко выраженных рядках. Кущение растений характеризуется появлением первого бокового побега, а выбрасывание метелки — выходом ее верхушки из влагалища листа. Фазу молочной спелости зерна фиксируют тогда, когда зерно в средней по высоте части метелки мягкое, зеленое и при раздавливании из него выделяется жидкость, похожая на молоко. На верхушках метелки в этой фазе зерно может быть и в восковой спелости. В фазе восковой спелости зерно в средней части метелки при сжатии пальцами уже не раздавливается, но еще режется ногтем, а цветочные чешуи желтеют. При полной спелости зерно становится таким твердым, что не режется ногтем.

У зерновых бобовых культур (горох, соя, вика, чечевица, фасоль, люпин, кормовые бобы, чина, сераделла, нут) отмечают фазы полных всходов, начального и полного цветения, начальной и хозяйственной спелости. Фаза всходов регистрируется при появлении на поверхности почвы первых листочков или семядоль. Начальная спелость характеризуется пожелтением одного-двух нижних бобов у 10—15 % растений.

Хозяйственную спелость устанавливают с учетом следующего состояния отдельных культур:

горох, вика, чечевица — на большинстве растений пожелтело около 60—70 % бобов;

фасоль, нут — при спелости преобладающего большинства бобов;

соя — спелости достигло 70 % бобов на растении и более;

сераделла — при побурении нижних бобов;

люпин — при созревании 80—90 % бобов центральной кисти.

У корнеплодных культур фиксируют фазы всходов (начальных и полных), смыкания листьев в рядках и между-рядьях. На посевах свеклы дополнительно определяют фазу появления первой пары настоящих листьев.

На посадках к а р т о ф е л я необходимо отмечать фазы всходов, цветения, начала отмирания ботвы.

На посевах п о д с о л н е ч н и к а определяют фазы всходов и начала образования корзинок, цветения и созревания.

На посевах л ь н а учитывают фазы всходов (начальных и полных), появления четвертого-пятого листа, цветения.

Для растений многолетних бобовых и злаковых трав характерны фенологические фазы, приведенные в таблице 43.

43. Фенологические фазы многолетних трав

Фенологические фазы	Бобовые			Злаковые		
	первого года жизни	последующих лет жизни		первого года жизни	последующих лет жизни	
		на корм	на семена		на корм	на семена
Всходы						
начальные	Есть	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет
полные	Есть	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет
Начало отрастания весной	Нет	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть
Начало кущения	Нет	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет
Начало выбрасывания метелки	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть	Есть
Цветение						
начальное	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет	Есть
полное	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет	Есть
Спелость						
начальная	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет	Есть
хозяйственная	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет	Есть

3.9. ОЦЕНКА ПОСЕВОВ И УЧЕТ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Визуальная оценка посевов. Общее состояние посевов оценивают визуально в основные фазы развития выращиваемых культур. Оценку дают по следующей шкале:

- 5 — состояние отличное;
- 4 — хорошее;
- 3 — удовлетворительное;
- 2 — плохое;
- 1 — очень плохое;
- 0 — полная или почти полная гибель посева.

Состояние посевов оценивают также после различных стихийных явлений — резкого снижения температуры воздуха, града, ливня и др.

Результаты наблюдений за посевами заносят в полевой журнал. Эти записи могут быть основанием для выбраковки отдельных участков или части поля в производственных условиях. По результатам визуальной оценки можно в некоторой степени оценивать условия питания растений, принимая во внимание, что светлая желто-зеленая окраска листьев свидетельствует о недостаточном азотном питании, а красноватая (в виде ожогов края листа) — о калийном голодании.

Морозо- и зимостойкость озимых культур. Морозостойкость озимых определяют после первых морозов, когда возникает угроза вымерзания растений. Для этого используют метод монолитов. На защитных полосах деланки с помощью лома, топора

и лопаты вырубает почву с растениями в виде монолита длиной 25—30, шириной 30 (чтобы охватить 2 смежных рядка) и глубиной 20 см. Делать это нужно очень осторожно, чтобы свести к минимуму травмирование растений. Вырубленный монолит с этикеткой помещают в деревянный ящик соответствующих размеров и укрывают мешковиной, чтобы растения не подмерзли при доставке с поля в помещение.

Первые 2—3 дня ящики с монолитами держат при температуре 5—10 °С, почва постепенно оттаивает. Затем их переносят на 12 дней в светлое помещение с температурой 18—20 °С.

На 15-й день после отбора проб приступают к анализу состояния растений. Их вынимают из почвы, промывают в воде и подсчитывают по отдельности мертвые и живые. У живых растений отмечается начало отрастания листьев и появление новых корешков. Физически травмированные растения в учет не берут.

Морозостойкость растений (%) рассчитывают по формуле

$$M = 100a/b,$$

где а — число живых растений в монолите; б — общее число растений в пробе.

Метод монолитов можно использовать для определения морозостойкости только в том случае, когда до установления критически низких температур на жизнеспособность растений не повлияли другие отрицательные факторы (например, вымокание).

Для сравнительной оценки зимостойкости различных озимых культур или сортов отдельной озимой культуры морозостойкость лучше всего определять путем искусственного промораживания в условиях лабораторно-вегетационного опыта. Для этого используют ящики размером 40 × 30 × 10 см. Их целиком набивают почвой, выставляют на вегетационную площадку и умеренно увлажняют почву. К посеву приступают на 2—3-й день после наступления оптимальных сроков посева исследуемой культуры. Рядками параллельно короткой стороне ящика высевают по 5—6 сортов, включая контрольный районированный сорт, который будет служить стандартом. При этом каждый из исследуемых сортов размещают в четырех ящиках, чтобы было по два ящика для двух сроков промораживания. Возшедшие растения проходят закаливание в природных условиях осенью и в начале зимы. Затем приступают к промораживанию. Растения различных культур промораживают при трех градациях отрицательных температур, близких к критическим: для пшеницы — 18, 20 и 22, для ржи — 19, 22 и 25, для ячменя — 14, 16 и 18 °С.

Оба ящика с растениями помещают в камеру для промораживания одновременно. Начинают промораживание с температуры, которая до этого была зафиксирована в ящиках на глубине залегания узла кущения. Через каждый час температуру снижают на 2 °С. Когда она достигнет заданного значения, ящики оставляют

в камере на сутки. После этого температуру в камере через каждый час повышают на 2 °С. Когда температура будет выше нуля, ящики переносят в теплое помещение для отрастания растений при температуре 18—20 °С с 16-часовым освещением. Через сутки растения обрезают на высоте 3—4 см от поверхности почвы и подсчитывают общее число растений каждого образца (сорта). Через 8—10 дней по числу отросших растений оценивают морозостойкость при том или ином режиме промораживания.

Зимостойкость озимых культур за период перезимовки определяют в основном методом монолитов, которые отбирают 25 января и 23 февраля. Это очень трудоемкий и занимающий много времени метод, поэтому на практике используют также ускоренный способ отрастания растений. В те же сроки на делянке отбирают растения с комьями земли. Их должно быть примерно столько же, сколько при отборе монолитом. В теплое помещение растения с комьями земли опускают для оттаивания в холодную воду. После промывания в чистой воде их обрезают сверху на расстоянии 3—5 мм от основания узла кушения, переносят в чашки Петри или другие сосуды, заливают 0,5%-ным раствором тетразола и помещают на 1 ч в термостат с температурой +40 °С. При отсутствии термостата сосуды с обрезанными узлами кушения прикрывают темным светонепроницаемым материалом и оставляют в отапливаемом помещении на 4 ч. За этот период у живых растений конус нарастания окрашивается в вишнево-красный цвет, у мертвых не окрашивается. Затем определяют процент живых растений в пробе.

При отсутствии тетразола (или подобных химических реактивов) для ускоренного разделения растений в пробе на живые и мертвые используют метод Донского НИИСХ. Отмытые от почвы растения обрезают с обеих сторон от узла кушения на расстоянии 1 см, помещают в стеклянную банку на смоченную водой вату или фильтровальную бумагу. Для создания высокой влажности банку плотно закрывают и помещают на 12—24 ч в теплое место (24—26 °С). Через сутки у живых растений можно заметить рост стебля и корней.

И наконец, зимостойкость посевов озимых культур можно оценивать в баллах путем сравнения их состояния весной и перед уходом в зиму:

5 — состояние отличное, посев планируемой густоты, растения непереросшие, кустистость хорошая, желтизна листьев отсутствует;

4 — состояние хорошее, густота посева 71—80 % планируемой, растения непереросшие, без признаков поражения болезнями и вредителями, кушение среднее;

3 — состояние среднее, густота посева 61—70 % планируемой, кушение слабое, поражение болезнями и вредителями среднее;

2 — состояние плохое, густота посева 51—60 % планируемой,

растения нераскутившиеся, заметно пораженные болезнями и вредителями, почва переуплотненная, с множеством трещин;

1 — состояние плохое, густота посева 31—50 % планируемой, растения очень ослаблены;

0 — изреженность посева составляет более 70 %.

Таким образом, если состояние посевов озимых культур за зимний период не ухудшилось, то согласно этой шкале зимостойкость посева оценивается 5 баллами. Когда же состояние посевов за зиму ухудшилось, то конкретную оценку зимостойкости озимых можно вывести согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур при помощи таблицы 44.

44. Зимостойкость озимых культур в зависимости от состояния перед уходом растений в зиму и весной, баллы

Оценка посевов перед уходом в зиму, балл	Оценка посевов весной, балл										
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,0	2,5	3,5	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	1,8	2,5	3,5	5,0	—	—	—	—	—	—	—
2,0	1,3	1,8	2,9	3,8	5,0	—	—	—	—	—	—
2,5	0,8	1,3	2,4	3,0	3,7	5,0	—	—	—	—	—
3,0	0,6	0,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	—	—	—	—
3,5	0,4	0,6	1,7	2,2	2,6	3,4	4,2	5,0	—	—	—
4,0	0,0	0,4	1,4	1,9	2,3	3,0	3,7	4,3	5,0	—	—
4,5	0,0	0,0	1,2	1,7	2,1	2,7	3,3	3,9	4,4	5,0	—
5,0	0,0	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Среднюю оценку зимостойкости посевов в полевых опытах рассчитывают с точностью до 0,1 балла как среднее арифметическое этого показателя в каждом повторении.

Иногда оценить состояние посевов озимых культур в баллах на время весеннего возобновления вегетации трудно даже для опытного исследователя из-за неравномерного выпадения растений за зиму. На таких посевах целесообразно использовать дробную глазомерную оценку. Для этого делянку разбивают по длине на несколько равных площадок и на каждой из них посев оценивают по приведенной шкале. Затем выводят средний балл, который и будет характеризовать общее состояние посева на делянке (поле).

Засухоустойчивость растений. Этот показатель определяют путем фиксации увядания листьев. Оценивают засухоустойчивость в баллах:

- 5 — увядание отсутствует;
- 4 — » единичное и слабое;
- 3 — » среднее;
- 2 — » значительное;
- 1 — » очень сильное.

Наблюдают за увяданием листьев с установлением устойчивой жаркой погоды ежедневно в 14—16 ч и перед закатом солнца.

Устойчивость посевов к полеганию, ломкости колоса, осыпанию зерна и прорастанию его в колосе. Устойчивость посевов к полеганию оценивают, начиная с даты возникновения этого явления через каждые 5—10 дней вплоть до уборки урожая. Это дает возможность заметить способность отдельных сортов данной культуры возвращаться после полегания в вертикальное положение. Устойчивость посевов к полеганию оценивают в баллах:

- 5 — полегание не отмечается вовсе;
- 4 — » незначительное;
- 3 — » среднее;
- 2 — » значительное, затрудняющее уборку урожая комбайном;
- 1 — » значительное, задолго до уборки урожая, посевы непригодны для комбайнирования.

При фиксировании даты полегания указывают причину этого явления, фазу развития растения и характер полегания (корневое или стеблевое).

Для оценки полегания кукурузы на каждой делянке опыта анализируют выборку. С учетом угла наклона главного стебля все растения делят на 4 группы:

- 5 баллов — прямостоячие;
- 4 балла — со слабым полеганием (отклонения от вертикального положения менее 30°);
- 2 балла — со средним полеганием (отклонения от вертикального положения в пределах 30—60°);
- 0 баллов — со значительным полеганием (отклонения более 60°).

Для расчета среднего балла устойчивости растений кукурузы к полеганию умножают число растений с каждым баллом на сам балл полегания, эти произведения складывают и сумму делят на общее число исследованных растений (100).

Отдельно учитывают растения с полеганием, которое произошло на ранних стадиях развития. Такие растения отличаются от других саблевидным изгибом и непригодны для уборки урожая комбайном.

Осматривая те же 100 растений кукурузы на делянке, учитывают процент сломанных или надломанных ниже прикрепления початков стеблей, а также процент сильно наклоненных к земле початков (как правило, они теряются при механизированной уборке).

На посевах ячменя наклонность и ломкость колоса определяют после налива зерна и оценивают в баллах:

- 5 — отсутствуют;
- 4 — незначительные;
- 3 — средние;
- 2 — выше средних;
- 1 — выражены в значительной степени.

Склонность посевов к осыпанию зерна определяют путем осмотра в период созревания урожая и оценивают в баллах:

- 5 — не отмечается;
- 4 — незначительное;
- 3 — среднее;
- 2 — выше среднего;
- 1 — значительное.

Более точно осыпаемость зерна определяют, учитывая осыпавшиеся на поверхность почвы зерна с использованием рамок площадью 0,25—1,0 м², которые накладывают в четырех повторностях на делянке.

Устойчивость к прорастанию зерна в колосе определяют путем осмотра посевов с последующей оценкой их по 5-балльной шкале:

- 5 — зерно не прорастает вовсе;
- 4 — отмечается незначительное прорастание;
- 3 — прорастание среднее;
- 2 — » выше среднего;
- 1 — » значительное.

Вымолачиваемость зерна. У различных зерновых и масличных культур вымолачиваемость определяют во время комбайновой уборки и оценивают в баллах:

- 5 — очень хорошая;
- 4 — хорошая;
- 3 — средняя;
- 2 — ниже средней;
- 1 — плохая.

Густота посевов (насаждений). Густоту растений культур сплошного сева определяют дважды за вегетацию на специальных площадках, которые выделяют после появления всходов в 3—4-кратной повторности на делянке. Для культур с междурядьями шириной 15 см площадь учетных площадок составляет 1 м² с включением шести смежных рядков длиной 111 см ($6 \cdot 1,11 \cdot 0,15 \text{ м} = 1 \text{ м}^2$), а на посевах с междурядьями 7,5 см учетная площадка размером 0,1 м² включает два смежных рядка длиной 66,7 см. Закрепляют учетные площадки гибкими ветками, которые не мешают проведению работ по уходу за растениями (боронование и др.). Размещать пробные площадки необходимо по диагонали учетной площади делянки. Первый раз густоту растений определяют в фазе полных всходов, второй — перед уборкой. Зная норму высева, по результатам первого подсчета можно установить полевую всхожесть семян. Результаты второго подсчета дают возможность рассчитать сохранность растений за вегетационный период (%) по формуле

$$C = 100U/V,$$

где U и V — число растений на 1 м² соответственно перед уборкой и в фазе полных всходов.

На посевах озимых культур и многолетних трав сплошного сева проводят учет густоты растений по этой методике перед уходом в зиму и после возобновления весенней вегетации. На основании результатов двух этих учетов при необходимости можно определить зимостойкость.

Учитывать густоту растений на посевах пропашных культур в зависимости от специфики опыта планируют в следующие сроки: в фазе полных всходов; после формирования густоты посевов; после каждой междурядной обработки почвы; перед уборкой урожая. На делянках с небольшой учетной площадью густоту растений определяют сплошным способом — учетом растений на всей площади. Там, где сплошной учет невозможен, используют выборочный метод, схема которого показана на рисунке 39.

Для того чтобы по результатам выборочного метода можно было объективно судить о густоте растений на всей делянке, выборку необходимо формировать из отрезков всех рядков и со всей длины учетной площади делянки. При этом длину отдельного отрезка рядка находят делением длины делянки на число учетных рядков. Для определения густоты посева на всей учетной площади конкретного варианта суммируют число растений на всех отрезках выборки и эту сумму умножают на число учетных рядков на делянке.

Высота растений. Как правило, высоту измеряют в определенных фазы развития растений. Для этого используют мерную линейку с нулевой отметкой на самом конце. Конец линейки устанавливают на поверхность почвы. В зависимости от величины делянки объем выборки составляет 50—100 растений, отбираемых в разных местах по диагонали учетной площади. При этом стебель измеряют от поверхности почвы до верхушки растения без учета остей у остистых колосовых культур. Итоговый показатель такого учета — средняя высота растений на делянке. Если планируют определять высоту в динамике, при первоначальном измерении все растения, входящие в выборку, фиксируют и используют позднее в качестве исследуемых.

Облиственность растений. На предварительно закрепленных растениях при определении длины стеблей учитывают также число листьев и их площадь. Число листьев на растении определяют путем их подсчета на всех растениях, входящих в выборку, с последующим выведением среднего арифметического.

Площадь листового аппарата можно определить несколькими способами. Среди них в исследовательской работе наиболее широко распространен

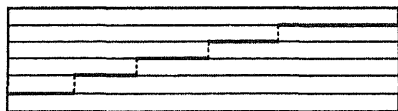


Рис. 39. Схема выборочного учета густоты посева пропашных культур (учетные отрезки рядков изображены черной сплошной линией)

способ высечек, который заключается в следующем. На пробных площадках делянки выделяют 10—20 типичных растений. Все листья с них обрывают и взвешивают. Потом при помощи ручного сверла в виде металлической трубки определенного диаметра с заостренными краями берут из оборванных листьев 20—50 высечек общей площадью не менее 10—20 см². После взвешивания высечек общую площадь оборванных листьев в пробе (см²) рассчитывают по формуле

$$\Pi = \text{МП}_1\text{К}/\text{М}_1,$$

где М — масса листьев в пробе, г; Π_1 — площадь одной высечки, см²; К — число высечек; М_1 — масса высечек, г.

Разделив общую площадь листьев в пробе на число выборочных растений, определяют площадь листьев на одном растении, а умножив последний показатель на густоту растений на 1 га рассчитывают площадь листового аппарата (м²/га).

Площадь листового аппарата можно определить и контурным способом. Контурные разложенных на бумаге листьев с пробных растений обводят карандашом, затем их площадь измеряют планиметром и выводят общую площадь учетных листьев. При отсутствии планиметра контуры листьев на бумаге вырезают и взвешивают. Одновременно взвешивают расчерченную на квадратики площадью 1 см² такую же бумагу определенной площади. По отношению массы расчерченной бумаги к ее площади рассчитывают массу 1 см² бумаги. Разделив массу вырезанных из бумаги контуров листьев на массу 1 см² бумаги, определяют площадь листьев в пробе. Дальнейшие расчеты ведут по методике способа высечек.

Существует расчетный способ определения площади отдельных листьев. Зная длину и ширину листа и используя переводные коэффициенты (0,67 — для злаковых культур с линейной, продолговатой формой листьев и 0,74 — для культур с овальными листьями), рассчитывают площадь одного отдельного листа (см²) по формуле

$$\Pi = \text{ДШК},$$

где Д и Ш — соответственно длина и ширина листа, см; К — переводной коэффициент (0,67 или 0,74).

Такой способ определения площади листовой поверхности имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущество этого способа заключается в том, что его можно использовать и при изучении динамики нарастания листовой пластинки на учетных растениях, т. е. определять площадь листьев на растении несколько раз за вегетацию, не срезая их.

Недостаток расчетного способа — снижение точности определения площади листового аппарата.

Более точен расчетный способ определения площади листьев с использованием уравнения регрессии. Пример такого расчета приведен в разделе 4.6.1 при рассмотрении корреляционного и регрессионного анализов.

Зная площадь листового аппарата, можно определить листовой индекс ($L_{л}$), который характеризует коэффициент использования посевами земельной площади. Его рассчитывают по формуле

$$L_{л} = P_{л} / P_{п},$$

где $P_{л}$ — площадь листовой поверхности с учетных растений, m^2 ; $P_{п}$ — площадь поля, на которой рассчитана листовая поверхность, m^2 .

Интенсивность нарастания растительной массы. Этот показатель определяют путем взвешивания пробных растений в разные периоды вегетации. Чаще всего пробы отбирают в определенные фазы развития растений, а иногда — в какие-либо календарные сроки. Так, на посевах сахарной и кормовой свеклы пробы растений отбирают за вегетацию 3 раза: за 2 мес до уборки, за 1 мес до уборки и непосредственно перед уборкой урожая.

Отобранные растения очищают от земли и взвешивают. Нарастание массы за определенный период определяют по разнице массы пробных растений последнего и предыдущего сроков отбора. Для определения суточного прироста массы одного растения суммарный прирост пробных растений необходимо разделить на число растений в пробе и на длительность периода в днях.

Для параллельного определения прироста сухого вещества после каждого взвешивания сырой пробы из нее отбирают средний образец массой около 100 г для определения процентного содержания сухого вещества. Растительную массу измельчают и помещают в металлические коробки, которые взвешивают и ставят в сушильный шкаф. Сушат их при температуре не выше $105^{\circ}C$ до тех пор, пока масса не станет постоянной. После взвешивания коробок с сухим растительным образцом и отдельного взвешивания тары рассчитывают массу сырого и сухого растительного материала в пробе. Эти данные используют для определения содержания сухого вещества в растительной массе (%) по формуле

$$C_{в} = 100M_2 / M_1,$$

где M_1 и M_2 — масса соответственно сырого образца и сухого вещества, г.

Умножив содержание сухого вещества в пробе на массу взве-

шенной сырой пробы, рассчитывают массу абсолютно сухой пробы на определенном этапе изучения нарастания растительной массы в динамике.

Чистая продуктивность фотосинтеза. Интенсивность прироста растений можно оценивать также по чистой продуктивности фотосинтеза за отдельный отрезок времени или за весь вегетационный период. Чистая продуктивность фотосинтеза — это сухая масса урожая в граммах, образуемая 1 м² листьев за 1 сут. Ее определяют по формуле

$$\text{ЧПФ} = \frac{M_2 - M_1}{0,5D(\Pi_{л1} + \Pi_{л2})},$$

где M_1 и M_2 — сухая масса растений с 1 м² соответственно в начале и конце учитываемого периода, г; $\Pi_{л1}$ и $\Pi_{л2}$ — площадь листового аппарата растений на 1 м² посева соответственно в начале и в конце того же промежутка времени, м²; D — длительность учитываемого периода, сут.

3.10. ИЗУЧЕНИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ

Для изучения строения корневой системы исследуемого объекта (культуры или сорняков) и характера распределения корней по профилю почвы используют различные методики. Наиболее распространены методики, которые базируются на использовании для наблюдения за ростом корней остекленных траншей, на сухой раскопке корневой системы и на отмывке корней под струей воды.

Остекленные траншеи используют в том случае, когда перед исследователем ставится задача изучить рост корней в динамике. Предварительно роют траншею на глубину возможного проникновения корней. Одну из стенок траншеи, к которой пристраивают остекленную раму (стекло должно быть толстым), делают с некоторым наклоном. Все пространство между наклонной стенкой и стеклом засыпают почвой, уплотняя ее до природного состояния. После этого на расстоянии 2—3 см от верхней части остекленной рамы на рекомендуемую для культуры глубину в почву высевают семена или высаживают рассаду. В начальный период роста корни приближаются к стеклу, а в дальнейшем растут вдоль стеклянной поверхности, что позволяет исследователю вести необходимые наблюдения и учеты.

При сухой раскопке корневой системы за 5—10 см от исследуемой культуры роют вертикальную траншею шириной около 1 м (чтобы в ней свободно помещался при раскопке экспериментатор) и глубиной 1 м (при необходимости и глубже). Затем ножом или другим заостренным металлическим предметом осторожно освобождают каждый корень от почвы на всю глубину проникновения корневых волосков. Если почва очень сухая и уплотненная, ее слегка увлажняют водой из резиновой груши. По мере освобождения корней форму их размещения зарисовы-

вают на бумаге. Для достоверности рисунка бумагу расчерчивают на квадраты такого же размера, как на металлической сетке, прикрепленной к стенке, вдоль которой осуществляется раскопка. Рисунок позволяет при необходимости смонтировать все освобожденные от почвы корни на стенде.

Для облегчения способа раскопки корни в пределах вертикальной стенки вырытой траншеи можно отмывать от почвы сверху вниз струей воды из опрыскивателя. По мере отмытой формы их размещения переносят на бумагу, а при необходимости учитывают число отдельных корневых волосков и их длину.

Для учета массы корней в определенном слое почвы используют способ отмывки корневой системы из почвенного монолита под струей воды с дальнейшим высушиванием и взвешиванием. Высота почвенного монолита зависит от задачи опыта и особенностей опытной культуры. Для однолетних культур сплошного посева с шириной междурядий 7,5 или 15 см площадь поверхности монолита составляет 30×20 см, а высота — до 60 см. Для многолетних культур высота монолита увеличивается до 100 см. Монолит размещают длинной стороной поперек рядков. Для культур широкорядного способа посева одна из сторон монолита, размещаемая поперек рядков, должна быть равной или кратной ширине междурядий, а другая сторона монолита остается такой же, как и при раскопке корней культур сплошного сева.

При раскопке почвенного монолита необходимо точно выдерживать вертикальность стенок и заданный размер, который проверяют специально подготовленным деревянным шаблоном прямоугольной формы по размеру поверхности монолита. Выкапывают монолит послойно через каждые 20 см или из отдельных генетических горизонтов, помещают в тару (мешки или ящики), снабжают этикетками и отправляют к месту отмывки корней.

Когда учет корней планируется вести только до 40-сантиметровой глубины, где у большинства культур сосредоточено около 90 % всей корневой массы, рекомендуется рамочный способ раскопки, описанный Н. З. Станковым. Для культур сплошного сева используют рамку с внутренним размером $30 \times 33,3$ см, а для пропашных культур с междурядьями 45 и 70 см — соответственно $45 \times 22,2$ и $70 \times 71,4$ см. В первых двух случаях площадь составляет по $0,1 \text{ м}^2$, а в третьем — $0,5 \text{ м}^2$. Корни раскапывают следующим образом. Рамку накладывают на очищенную от растительных остатков поверхность делянки, закрепляют металлическими шпильками или длинными гвоздями и хорошо отточенным ножом отрезают почву в пределах внутренних сторон рамки на глубину до 10 см. Затем почву в пределах образовавшегося контура разрезают на отдельные куски, которые специальным совком или прямоугольной кельмой переносят в мешок с этикеткой, на которой указывают вариант, повторность, глубину

отбора и номер пробы. В такой же последовательности выкапывают почву из слоев 10—20, 20—30 и 30—40 см. Глубину отбора контролируют линейкой, а площадь — другой рамкой, наружные стороны которой на 1—2 мм меньше внутренних сторон первой рамки. По мере раскопки вторая рамка углубляется, и по ней контролируют контур раскопки.

Для обеспечения удовлетворительной точности на делянке с равномерным травостоем раскопку монолитом или рамочным способом ведут в 3—4-кратной повторности, а при неравномерном травостое — не менее чем в 6-кратной.

Иногда почвенные пробы для учета корневой массы культур сплошного сева отбирают с использованием буров малого (5—8 см) и большого (15—25 см) диаметров. Однако при этом даже при 10—20-кратной повторности не достигается необходимой точности, а большая повторность отбора почвенных проб делает процесс очень трудоемким. Такой способ отбора почвенных проб совсем непригоден для учета корневой массы пропашных культур независимо от ширины междурядий.

Корни отмывают от почвы струей воды на двойных ситах, которые накладывают одно на другое. Диаметр отверстий верхнего сита 1—2, нижнего — 0,25 мм, высота стенок 15—20 см. Пробу почвы высыпают на верхнее сито и промывают водой, которая вместе с илистыми частичками почвы и разными примесями, в том числе тонкими корешками, стекает на нижнее сито. После промывки всей почвенной пробы через верхнее сито все оставшиеся на нем растительные остатки переносят в стакан или чашку. На нижнем сите задерживается более мелкая растительная масса, состоящая из живых и полуразложившихся корешков, а также остатков прошлогодней стерни. Весь остаток со второго сита смывают в цилиндр с водой. На самом дне цилиндра собираются разложившиеся и гумифицированные корневые остатки, несколько выше — живые корешки, а все мертвые растительные остатки всплывают на поверхность. Выделенные таким способом живые корни разделяют пинцетом на две фракции по диаметру корешков (до и более 1 мм). Массу корней определяют путем взвешивания корней фракций после их доведения до воздушно-сухого и абсолютно сухого состояния. При необходимости можно определить объем, площадь поверхности и длину корней.

Объем корней определяют путем их погружения в узкий мерный цилиндр с водой. Разница между объемом, который вода занимает до и после погружения корней, будет составлять объем корневой массы в пробе (см³).

Площадь поверхности корней в пробе (см²) рассчитывают после установления их объема по формуле

$$П = 406/д,$$

где Об — объем корней, см³; д — средний диаметр корней, измеренный штангельциркулем, см.

Зная площадь поверхности, рассчитывают суммарную длину корней (см) в пробе по формуле

$$Д = П/3,14д.$$

Пересчет всех показателей учета корней на 1 га ведут путем их умножения на переводной коэффициент, полученный от деления 1 га (в см² или м²) на площадь отобранной почвенной пробы (в тех же единицах измерения).

3.11. УЧЕТ НАДЗЕМНЫХ И КОРНЕВЫХ ОСТАТКОВ

В опытах, где планируется определение баланса гумуса, необходимо учитывать количество растительных остатков возделываемых культур, так как растительные остатки — важный источник пополнения почвы органическим веществом. Однако вести учет послеуборочных надземных и корневых остатков одновременно не следует, поскольку ко времени уборки урожая значительная часть мелких корешков разлагается. При учете корней в этот период исследователь получит заниженные результаты.

Надземные растительные остатки большинства сельскохозяйственных культур (за исключением тех, которые скашивают на зеленую массу или сено) необходимо учитывать непосредственно после уборки урожая, а корневые — в фазе колошения — цветения зерновых (злаковых и бобовых) и в период интенсивного нарастания урожая клубне- и корнеплодных культур, когда растения имеют наиболее развитую корневую систему.

Для определения массы послеуборочных надземных остатков используют рамку размером 1×1 м, которую накладывают в каждом варианте в девяти аналитических повторностях (по 3 на делянке и в трех повторениях опыта). Все растительные остатки в пределах каждой рамки собирают в отдельный бумажный или целлофановый пакет, куда помещают этикетку с указанием даты учета, варианта, номера пробы и повторения. В лаборатории или в другом помещении содержимое пакета взвешивают, помещают в сушильный шкаф, доводят до абсолютно сухого состояния и вновь взвешивают. В балансовых расчетах в большинстве случаев массу растительных остатков выражают в абсолютно сухом веществе. Разделив полученный результат в граммах на квадратный метр на 100, получают количество абсолютно сухих надземных остатков в тоннах на гектар.

Для учета корневых остатков чаще всего используют описанный ранее рамочный способ раскопки почвенных проб Н. З. Станкова с последующей отмывкой корней. Всю отмывку

массу высушивают и взвешивают в воздушно-сухом и абсолютно сухом состоянии на технических весах с точностью 0,01 г. Для перевода полученного результата взвешивания в тонны на гектар используют формулу

$$K = K_1 / 100P_k,$$

где K_1 — масса корней в пробе, г; P_k — площадь внутреннего контура рамки, м².

3.12. УЧЕТ УРОЖАЯ

Уборка и учет урожая — наиболее ответственные для экспериментатора операции, от качества которых зависят результаты исследований. Эта работа требует большого внимания и аккуратности. Небрежность и излишняя поспешность могут привести к грубым ошибкам, которые невозможно исправить даже при наличии самых современных статистических анализов.

К проведению учета урожая необходимо хорошо подготовиться. За 1—2 дня до уборки нужно тщательно осмотреть весь опыт, возобновить межевые знаки каждой делянки, убрать этикетки, колышки и другие посторонние предметы, которые могут попасть в уборочную технику и вывести ее из строя.

Особенно тщательно осматривают учетные площади делянок. При необходимости на них выделяют выключки, иногда выбраковывают и целые делянки, однако к этому следует прибегать лишь в крайних случаях. Причиной для выбраковки могут быть повреждения посева из-за града, ливня, ураганного ветра, потравы скотом, воровства, изреживания посева пропашных культур при междурядных обработках, ошибок во время закладки опыта. Полностью бракуют целые делянки и тогда, когда выключки составляют 50 % площади и более, так как уменьшать учетную площадь делянки разрешается не более чем на 30—40 %.

Недопустимо выбраковывать целые учетные делянки лишь по сугубо субъективному впечатлению экспериментатора. Если возникают какие-то сомнения, то используют статистический метод браковки, описание которого приведено в разделе 4.3.

Перед уборкой с учетных делянок необходимо убрать урожай на всех выключках и защитных полосах, чтобы избежать смешивания этой продукции с учетной. Исключение делают лишь в том случае, когда на узких боковых защитных полосах между вариантами практически невозможно использовать уборочную технику. Тогда перед снятием урожая с учетных делянок освобождают от урожая лишь торцевые защитные полосы, а учетные площади убирают вдоль делянки строго по ее боковым границам.

Способ уборки урожая в опыте должен быть одним из общепринятых в исследовательской практике. Исключением из этого правила могут быть только опыты, где вопрос изучения сроков и

способов уборки урожая является составной частью программы исследований. При механизированной уборке все учетные делянки в опыте (или, в крайнем случае, в пределах целого повторения) необходимо убирать в один день и одним уборочным агрегатом.

Чаще всего в исследовательской практике для учета урожая используют сплошной способ, когда урожай учитывают на всей учетной площади делянки.

Зерновые колосовые культуры сплошного сева. Убирают урожай в основном прямым комбайнированием, используя для этого малогабаритные комбайны, а при их отсутствии — обычные, переоборудованные для поделяночного учета. При этом малогабаритными комбайнами можно убирать урожай и на делянках с относительно небольшими (25—50 м²) учетными площадями. Обычные комбайны используют на делянках с учетной площадью не менее 100 м², в противном случае результаты учета урожая сильно искажаются. Это обусловлено тем, что потери зерна у серийных отечественных комбайнов намного больше, чем у малогабаритных (соответственно 4,2—8,7 и 2,9—4,9 г/м² при уборке ячменя).

При планировании площади учетной делянки для комбайновой уборки урожая необходимо учитывать и ту закономерность, что чем выше урожайность культуры, тем меньшей может быть учетная площадь, и наоборот.

Используя комбайн на уборке урожая, необходимо выдерживать оптимальный и одинаковый на площади опыта режим работы агрегата. Скорость движения комбайна на всех делянках должна быть равномерной, нельзя останавливать агрегат посередине делянки. После того как комбайн пройдет всю делянку, его останавливают на 3—4 мин, не выключая молотильного аппарата, чтобы все вымолоченное зерно попало в приемную камеру. Зерно высыпают в мешок, куда помещают этикетку с указанием номера делянки, названия варианта и номера повторения. После обмолота нескольких делянок мешки с зерном взвешивают непосредственно в поле, в крайнем случае на току или в специально отведенном помещении. После взвешивания зерна из каждого мешка отбирают объединенную (из верхней, средней и нижней частей объема) пробу массой 1—2 кг для определения влажности, засоренности и качественных показателей зерна. Результаты взвешивания зерна с делянки (бункерная масса) пересчитывают до стандартных показателей урожайности.

Бункерную массу (в кг) с делянки пересчитывают на 1 га с использованием переводного коэффициента, который рассчитывают по формуле

$$K_{\Pi} = 10000/\Pi,$$

где Π — площадь учетной делянки, м².

Умножив массу урожая с делянки (в кг) на K_n и разделив на 1000 (для перевода килограммов в тонны), получим бункерную урожайность зерна в тоннах с гектара.

Однако в бункер вместе с чистым зерном попадают мякина и другие примеси. Для того чтобы определить урожайность зерна 100%-ной чистоты, необходимо установить процентное содержание чистого зерна в бункерной массе. Для этого разбирают образец массой 500 г из предварительно отобранных проб зерна в 2-кратной повторности. Чистоту зерна рассчитывают по формуле

$$Ч = M_2/M_1 = 100M_2/500 = M_2/5,$$

где M_1 — масса образца (500 г), взятого для анализа, г; M_2 — масса чистого зерна в образце, г.

Умножив бункерную урожайность на чистоту, получают урожайность зерна при 100%-ной чистоте. Эта урожайность рассчитана на зерно при уборочной (полевой) влажности, которая в разные годы может быть различной. Для перевода урожайности зерна при 100%-ной чистоте и полевой влажности в урожайность чистого зерна при стандартной 14%-ной влажности (т/га) используют формулу

$$У = У_1(100 - В) / (100 - 14),$$

где $У_1$ — урожайность чистого зерна при уборочной влажности, т/га; $В$ — влажность зерна на время уборки, %.

Для пересчета урожайности пшеницы, ржи, ячменя, овса, тритикале, гречихи, проса, сорго, риса, гороха, фасоли, чечевицы, чины, нута, сои, эспарцета на 14%-ную влажность зерна можно воспользоваться таблицей 45. Например, при уборочной влажности зерна 13,1 % переводной коэффициент будет равным 1,010, а при влажности 15,5 % — 0,983.

45. Коэффициенты для пересчета урожайности зерна (семян) при различной уборочной влажности на урожайность стандартной 14%-ной влажности

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,047	1,045	1,044	1,043	1,042	1,041	1,040	1,038	1,037	1,036
11	1,035	1,034	1,033	1,031	1,030	1,029	1,028	1,027	1,026	1,024
12	1,023	1,022	1,021	1,020	1,019	1,017	1,016	1,015	1,014	1,013
13	1,012	1,010	1,009	1,008	1,007	1,006	1,005	1,003	1,002	1,001
14	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,981	0,980	0,979	0,978
16	0,977	0,976	0,974	0,973	0,972	0,971	0,970	0,969	0,967	0,966
17	0,965	0,964	0,963	0,962	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956	0,955
18	0,953	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,945	0,944	0,943
19	0,942	0,941	0,940	0,938	0,937	0,936	0,935	0,934	0,933	0,931
20	0,930	0,929	0,928	0,927	0,926	0,924	0,923	0,922	0,921	0,920
21	0,919	0,917	0,916	0,915	0,914	0,913	0,912	0,910	0,909	0,908
22	0,907	0,906	0,905	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,896
23	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,888	0,887	0,886	0,885
24	0,884	0,882	0,881	0,880	0,879	0,878	0,877	0,876	0,874	0,873
25	0,872	0,871	0,870	0,869	0,867	0,866	0,865	0,864	0,863	0,862
26	0,860	0,859	0,858	0,857	0,856	0,855	0,853	0,852	0,851	0,850
27	0,849	0,848	0,847	0,845	0,844	0,843	0,842	0,841	0,840	0,838
28	0,837	0,836	0,835	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829	0,828	0,827
29	0,826	0,824	0,823	0,822	0,821	0,820	0,819	0,817	0,816	0,815
30	0,814	0,813	0,812	0,810	0,809	0,808	0,807	0,806	0,805	0,803
31	0,802	0,801	0,800	0,799	0,798	0,797	0,795	0,794	0,793	0,792
32	0,791	0,790	0,788	0,787	0,786	0,785	0,784	0,783	0,781	0,780
33	0,779	0,778	0,777	0,776	0,774	0,773	0,772	0,771	0,770	0,769
34	0,767	0,766	0,765	0,764	0,763	0,762	0,760	0,759	0,758	0,757
35	0,756	0,755	0,753	0,752	0,751	0,750	0,749	0,748	0,747	0,745
36	0,744	0,743	0,742	0,741	0,740	0,738	0,737	0,736	0,735	0,734
37	0,733	0,731	0,730	0,729	0,728	0,727	0,726	0,724	0,723	0,722
38	0,721	0,720	0,719	0,717	0,716	0,715	0,714	0,713	0,712	0,710
39	0,709	0,708	0,707	0,706	0,705	0,703	0,702	0,701	0,700	0,699
40	0,698	0,697	0,695	0,694	0,693	0,692	0,691	0,690	0,688	0,687

Влажность зерна (%), как и другой растениеводческой продукции, на период уборки лучше всего определять термостатно-весовым способом с использованием формулы

$$B = 100v/C,$$

где v — масса испарившейся воды при высушивании зерна, г; C — масса навески зерна до сушки, г.

Расчет чистоты и влажности зерна ведут в отдельной рабочей тетради, а все остальные записи по учету урожая и доведению его до стандартных показателей заносят в ведомость такой формы:

Вариант _____

Дата уборки _____

Показатель	Повторность				
	I	II	III	...	n
Номер делянки					
Площадь делянки, м ²					
Переводной коэффициент на 1 га (K _п)					
Бункерная масса с делянки, кг					
Бункерная урожайность, т/га					
Чистота зерна (Ч), %					
Урожайность чистого зерна при уборочной влажности (У ₁), т/га					
Влажность зерна на время уборки (В), %					
Коэффициент для пересчета на стандартную влажность (см. табл. 45)					
Урожайность чистого зерна при стандартной влажности, т/га					

Урожайность побочной продукции зерновых культур сплошного сева выражают, как правило, отношением соломы к зерну. Для расчета этого отношения перед уборкой делянки отбирают пробные снопы с площади 1 м². Их взвешивают и обмолачивают вручную или на специальных молотилках. После этого зерно взвешивают, а массу соломы определяют по разнице между массой снопа до обмолота и массой вымолоченного зерна. Разделив массу соломы на массу зерна, получают соотношение между побочной и основной продукцией. Это соотношение представляет собой переводной коэффициент, на который умножают урожайность зерна для получения урожайности соломы при полевой влажности. Для перевода этого показателя в урожайность соломы при стандартной 16%-ной влажности его умножают на переводной коэффициент на влажность. Коэффициенты для перевода урожайности соломы зерновых культур, сена однолетних и многолетних трав, семян вики, кормового гороха, бобов, донника, сераделлы и люпина при различной уборочной влажности на урожайность при стандартной влажности можно взять из таблицы 46 или рассчитать по формуле

$$K_B = (100 - B)/(100 - 16) = (100 - B)/84,$$

где B — влажность соломы на время уборки, %.

46. Коэффициенты для пересчета урожайности побочной продукции на стандартную 16%-ную влажность

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,071	1,070	1,069	1,068	1,067	1,065	1,064	1,063	1,062	1,061
11	1,060	1,058	1,057	1,056	1,055	1,054	1,052	1,051	1,050	1,049
12	1,048	1,046	1,045	1,044	1,043	1,042	1,040	1,039	1,038	1,037
13	1,036	1,035	1,033	1,032	1,031	1,030	1,029	1,027	1,026	1,025
14	1,024	1,023	1,021	1,020	1,019	1,018	1,017	1,015	1,014	1,013
15	1,012	1,011	1,010	1,008	1,007	1,006	1,005	1,004	1,002	1,001
16	1,000	0,999	0,998	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,990	0,989
17	0,988	0,987	0,986	0,985	0,983	0,982	0,981	0,980	0,979	0,977
18	0,976	0,975	0,974	0,973	0,971	0,970	0,969	0,968	0,967	0,965
19	0,964	0,963	0,962	0,961	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955	0,954
20	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942
21	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	0,933	0,932	0,931	0,930
22	0,929	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,921	0,920	0,919	0,918
23	0,917	0,915	0,914	0,913	0,912	0,911	0,910	0,908	0,907	0,906
24	0,905	0,904	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,896	0,895	0,894
25	0,893	0,892	0,890	0,889	0,888	0,887	0,886	0,885	0,883	0,882
26	0,881	0,880	0,879	0,877	0,876	0,875	0,874	0,873	0,871	0,870
27	0,869	0,868	0,867	0,865	0,864	0,863	0,862	0,861	0,860	0,858
28	0,857	0,856	0,855	0,854	0,852	0,851	0,850	0,849	0,848	0,846
29	0,845	0,844	0,843	0,842	0,840	0,839	0,838	0,837	0,836	0,835
30	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829	0,827	0,826	0,825	0,824	0,823
31	0,821	0,820	0,819	0,818	0,817	0,815	0,814	0,813	0,812	0,811
32	0,810	0,808	0,807	0,806	0,805	0,804	0,803	0,802	0,801	0,800
33	0,798	0,796	0,795	0,794	0,793	0,792	0,790	0,789	0,788	0,787
34	0,786	0,785	0,783	0,782	0,781	0,780	0,779	0,777	0,776	0,775
35	0,774	0,773	0,771	0,770	0,769	0,768	0,767	0,765	0,764	0,763

Чаще всего урожай зерновых культур убирают отдельным способом: сначала косилками или жатками скашивают надземную массу в валки, а после ее подсыхания проводят обмолот комбайнами, оборудованными подборщиками.

Если из-за затяжных дождей провести учет урожая зерновых культур сплошного посева невозможно, используют метод пробных снопов. На каждой делянке при наступлении уборочной спелости растений отбирают, как минимум, по два снопа массой 4—5 кг. При этом каждый сноп формируют из отдельных проб, взятых в зависимости от величины учетной площади в 40—80 местах. Эту работу на всем участке выполняет один опытный работник. Отобранные снопы непосредственно на опытном массиве связывают, взвешивают, снабжают этикетками и отправляют к месту сушки. Затем скашивают остальную массу урожая со всей учетной площади и взвешивают ее.

Снопки сушат в специальных хорошо вентилируемых помещениях в подвешенном состоянии. Когда снопы приобретают постоянную массу (воздушно-сухое состояние), их взвешивают и обмолачивают. Вымолоченное зерно взвешивают, а массу соломы рассчитывают по разнице между массой снопа до обмолота и массой зерна. Сразу после обмолота отбирают пробы зерна и соломы на влажность для дальнейшего пересчета полученной урожайности основной и побочной продукции на стандартную влажность.

Урожай зерна и соломы в воздушно-сухом состоянии со всей учетной площади (кг) делянки рассчитывают по формуле

$$Y = AM/C,$$

где A — средняя масса зерна (или соломы) в пробных снопах после сушки, кг; M — масса всего скошенного травостоя с делянки, включая массу пробных снопов, кг; C — средняя масса пробного снопа во время отбора, кг.

Для определения урожайности основной и побочной продукции при стандартной влажности (т/га) урожай зерна и соломы с делянки (по отдельности) умножают на переводные коэффициенты на гектарную площадь и стандартную влажность и результат делят на 1000 для перевода килограммов в тонны.

При использовании для учета урожая метода пробных снопов можно ограничиться 2-кратной повторностью отбора снопов с делянки лишь при условии хорошей выравненности посева, это можно делать и в опытах, где намечается значительная разница в урожайности зерновой культуры между вариантами. Когда предполагают, что различия в урожайности по вариантам опыта будут незначительными, повысить точность учета урожая можно путем отбора пяти—восьми проб снопов на делянке. Однако это очень затрудняет учет урожая.

При отсутствии уборочной техники и большой пестроте плодородия почвы на учетных делянках допускается учет урожая методом пробных площадок. С учетом пестроты посева на каждой делянке выделяют не менее 40—60 пробных площадок (по 1 м²), которые убирают отдельно. После суммирования урожая с каждой делянки урожайность культуры (т/га) рассчитывают по формуле

$$Y = 10\,000U_1/1000\Pi = 10U_1/\Pi,$$

где 10 000 — площадь гектара, выраженная в квадратных метрах; U_1 — суммарный урожай с пробных площадок, кг; 1000 — коэффициент для перевода килограммов в тонны; Π — суммарная площадь пробных площадок на делянке, м².

Кукуруза на зерно. Урожай кукурузы на учетных делянках полевого опыта убирают, выламывая початки вручную. Затем их взвешивают и определяют урожайность зерна. Для этого пере-

считывают массу початков с учетной делянки на урожайность початков с 1 га и определяют коэффициент выхода зерна — делят массу зерна из 20 типичных початков с делянки на массу этих пробных початков до обрушивания зерна. Затем рассчитывают урожайность зерна при влажности, определенной на время обрушивания початков, умножая урожайность початков на коэффициент выхода зерна из початков. После определения влажности зерна на период обрушивания початков рассчитывают урожайность зерна при стандартной 22%-ной влажности. Для этого урожайность зерна при полевой влажности (на период обрушивания початков) умножают на переводной коэффициент на стандартную влажность, который можно взять из таблицы 47 или рассчитать по формуле

$$K_B = (100 - B)/(100 - 22) = (100 - B)/78,$$

где В — влажность зерна на время обрушивания початков, %; 22 — стандартная влажность зерна, %.

47. Коэффициенты для пересчета урожайности зерна кукурузы на стандартную 22%-ную влажность

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	1,089	1,088	1,087	1,086	1,085	1,083	1,082	1,081	1,079	1,078
16	1,077	1,076	1,074	1,073	1,072	1,070	1,069	1,068	1,067	1,065
17	1,064	1,063	1,061	1,060	1,059	1,058	1,056	1,055	1,054	1,052
18	1,051	1,050	1,048	1,047	1,046	1,045	1,044	1,042	1,041	1,040
19	1,038	1,037	1,036	1,035	1,033	1,032	1,031	1,029	1,028	1,027
20	1,026	1,024	1,023	1,022	1,021	1,019	1,018	1,017	1,015	1,014
21	1,013	1,012	1,010	1,009	1,008	1,006	1,005	1,004	1,002	1,001
22	1,000	0,999	0,997	0,996	0,995	0,994	0,992	0,991	0,989	0,988
23	0,987	0,986	0,985	0,983	0,982	0,981	0,979	0,978	0,977	0,976
24	0,974	0,973	0,972	0,971	0,969	0,968	0,967	0,965	0,964	0,963
25	0,962	0,960	0,959	0,958	0,956	0,955	0,954	0,952	0,951	0,950
26	0,949	0,947	0,946	0,945	0,944	0,942	0,941	0,940	0,938	0,937
27	0,936	0,935	0,933	0,932	0,931	0,929	0,928	0,927	0,926	0,924
28	0,923	0,922	0,921	0,919	0,918	0,917	0,915	0,914	0,913	0,912
29	0,910	0,909	0,908	0,906	0,905	0,904	0,902	0,901	0,900	0,899
30	0,897	0,896	0,895	0,894	0,892	0,891	0,890	0,888	0,887	0,886
31	0,885	0,883	0,882	0,881	0,879	0,878	0,877	0,876	0,874	0,873
32	0,872	0,870	0,869	0,868	0,867	0,865	0,864	0,863	0,862	0,860
33	0,859	0,858	0,856	0,855	0,854	0,852	0,851	0,850	0,849	0,847

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	0,846	0,845	0,844	0,842	0,841	0,840	0,838	0,837	0,836	0,835
35	0,833	0,832	0,831	0,829	0,828	0,827	0,826	0,824	0,823	0,822
36	0,821	0,819	0,818	0,817	0,815	0,814	0,813	0,812	0,810	0,809
37	0,808	0,806	0,805	0,804	0,802	0,801	0,800	0,799	0,797	0,796
38	0,795	0,794	0,792	0,791	0,790	0,788	0,787	0,786	0,785	0,783
39	0,782	0,781	0,779	0,778	0,777	0,776	0,774	0,773	0,772	0,771
40	0,769	0,768	0,767	0,765	0,764	0,763	0,762	0,760	0,759	0,758
41	0,756	0,755	0,754	0,752	0,751	0,750	0,749	0,747	0,746	0,745
42	0,744	0,742	0,741	0,740	0,738	0,737	0,736	0,735	0,733	0,732
43	0,731	0,729	0,728	0,727	0,726	0,724	0,723	0,722	0,721	0,719
44	0,718	0,717	0,715	0,714	0,713	0,712	0,710	0,709	0,708	0,706
45	0,705	0,704	0,702	0,701	0,700	0,699	0,697	0,696	0,695	0,694
46	0,692	0,691	0,690	0,688	0,687	0,686	0,684	0,683	0,682	0,681
47	0,679	0,678	0,677	0,676	0,674	0,673	0,672	0,671	0,669	0,668
48	0,667	0,665	0,664	0,663	0,662	0,660	0,659	0,658	0,656	0,655
49	0,654	0,652	0,651	0,650	0,649	0,647	0,646	0,645	0,644	0,642
50	0,641	0,640	0,639	0,637	0,636	0,635	0,633	0,632	0,631	0,629

Подсолнечник. В зависимости от размера учетных делянок урожай подсолнечника убирают механизированным способом или вручную. Зерноуборочные комбайны со специальными приставками используют в фазе полного подсыхания корзинок в опытах с относительно большими учетными делянками. Когда учетная площадь составляет 100 м² и менее, урожай подсолнечника убирают вручную в два этапа. При побурении корзинок их срезают и насаживают на стебли растений семенами вниз (чтобы их не склевали птицы). Когда корзинки полностью подсыхнут, семена вымолачивают и взвешивают. Из них отбирают пробы для определения чистоты, влажности и качественных показателей семян. Чистоту и влажность семян определяют по той же методике, что и для зерновых культур. По аналогичной методике определяют и переводной коэффициент на площадь 1 га. Стандартная влажность для семян подсолнечника составляет 12 %. Переводной коэффициент для пересчета урожая на стандартную влажность семян берут из таблицы 48 или рассчитывают по формуле

$$K_B = (100 - B)/(100 - 12) = (100 - B)/88,$$

где B — влажность семян на время обмолота корзинок, %.

48. Коэффициенты для пересчета урожайности подсолнечника и других масличных культур на стандартную 12%-ную влажность

Целье проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	1,057	1,056	1,054	1,053	1,052	1,051	1,050	1,049	1,048	1,046
8	1,045	1,044	1,043	1,042	1,041	1,040	1,039	1,037	1,036	1,035
9	1,034	1,033	1,032	1,031	1,029	1,028	1,027	1,026	1,025	1,024
10	1,023	1,022	1,020	1,019	1,018	1,017	1,016	1,015	1,014	1,012
11	1,011	1,010	1,009	1,008	1,007	1,006	1,004	1,003	1,002	1,001
12	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990
13	0,989	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982	0,981	0,979	0,978
14	0,977	0,976	0,975	0,974	0,973	0,972	0,970	0,969	0,968	0,967
15	0,966	0,965	0,964	0,962	0,961	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956
16	0,955	0,953	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,945	0,944
17	0,943	0,942	0,941	0,940	0,939	0,937	0,936	0,935	0,934	0,933
18	0,932	0,931	0,929	0,928	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922
19	0,920	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	0,914	0,912	0,911	0,910
20	0,909	0,908	0,907	0,906	0,904	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899
21	0,898	0,897	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,889	0,887
22	0,886	0,885	0,884	0,883	0,882	0,881	0,879	0,878	0,877	0,876
23	0,875	0,874	0,873	0,872	0,870	0,869	0,868	0,867	0,866	0,865
24	0,864	0,862	0,861	0,860	0,859	0,858	0,857	0,856	0,854	0,853
25	0,852	0,851	0,850	0,849	0,848	0,847	0,845	0,844	0,843	0,842

Умножив массу вымолоченных семян с делянки (в кг) на чистоту и переводные коэффициенты на гектарную площадь и стандартную влажность и разделив произведение на 1000 (для перевода килограммов в тонны), можно подсчитать урожайность семян подсолнечника в тоннах на гектар.

Сахарная, кормовая и столовая свекла, морковь и другие корнеплоды, картофель. Урожай корне- и клубнеплодов на опытных делянках убирают полумеханизированным способом (механическое подкапывание и ручная подборка). Затем корнеплоды или клубни слегка подсушивают, тщательно очищают от земли и взвешивают. Если на них налипло много мокрой почвы, которая после подсыхания не отряхивается, необходимо из взвешенной массы урожая с делянки отобрать специальную пробу массой 20—30 кг. После взвешивания продукцию промывают в воде, подсушивают и снова взвешивают. Разделив результат второго взвешивания на результат первого взвешивания, получают поправочный коэффициент на чистоту. Ранее рассчитанную урожайность загрязненной продукции умножают на этот коэффициент и получают доведенную до стандартных показателей урожайность исследуемой корне- и клубнеплодной культуры.

При уборке корнеплодов параллельно учитывают и побочную продукцию.

Прядильные культуры (лен, конопля). Учет урожая прядильных культур можно проводить сплошным способом и с помощью пробных снопов по описанным ранее методикам. В том и другом случае определяют урожайность семян и соломы. Для этого после высушивания массы до воздушно-сухого состояния проводят обмолот, а потом взвешивают семена и солому. Результаты взвешивания используют для расчета урожайности. Для пересчета урожайности семян и соломы при полевой (уборочной) влажности на стандартную (для семян — 12 %, соломы — 16 %) предварительно определяют влажность той и другой продукции.

Для определения выхода волокна с каждой делянки отбирают пробу массой 18—20 кг, связывают в несколько небольших снопов и помещают на специальные стлища. После вылеживания в течение определенного времени снопы взвешивают и узнают суммарную массу тресты в пробе. Выход тресты рассчитывают по формуле

$$B_T = U_c M_2/M_1,$$

где U_c — урожайность соломы при уборочной влажности, т/га; M_2 — масса тресты в пробе, кг; M_1 — масса соломы в пробе до вылеживания, кг.

Выход волокна определяют путем пересчета после переработки пробы тресты в волокно.

Многолетние (однолетние) травы. Зеленую массу трав учитывают сплошным способом, взвешивают урожай со всей учетной делянки и рассчитывают урожайность с 1 га с использованием переводного коэффициента на площадь. Сено можно учитывать двумя способами — сплошным и с помощью пробных снопов. В первом случае взвешивают высушенное на делянке сено (со всей учетной площади). Во втором случае с покосов с охватом всей учетной площади отбирают пробный сноп зеленой массы (не менее 4—5 кг), затем взвешивают зеленую массу со всей учетной площади (с включением пробного снопа). Пробные снопы сушат на специальных стеллажах в хорошо проветриваемых помещениях или на чердаках до воздушно-сухого состояния, после чего снова взвешивают и из них отбирают образцы для определения влажности сена в воздушно-сухом состоянии. С учетом массы пробного снопа до и после сушки определяют выход сена в воздушно-сухом состоянии. Умножая урожай зеленой массы трав с учетной делянки на показатель выхода сена и переводные коэффициенты на площадь 1 га и стандартную 16%-ную влажность, рассчитывают итоговый показатель — урожайность сена.

Этот способ определения урожайности сена требует больших затрат времени. Более быстро можно определить биологическую урожайность сена с использованием формулы

$$U_c = U_{3.M} (100 - B)/(100 - 16) = U_{3.M} (100 - B)/84,$$

где $U_{з.м}$ — урожайность зеленой массы, т/га; В — влажность зеленой массы на период скашивания, %; 16 — стандартная влажность сена, %.

Отношение $(100 - В)/84$ представляет собой переводной коэффициент на стандартную влажность сена, который можно рассчитать или взять из таблицы 46.

Учет урожая зеленой массы или сена на пастбищах определяют перед каждым стравливанием скотом (при загонном использовании пастбищ) одним из трех способов:

1) в каждом варианте взвешивают скошенную зеленую массу с трех учетных площадок (по 2 м² каждая), перед последующими выпасами учетные площадки выделяют на новых местах;

2) взвешивают скошенную массу с половины учетной делянки, на второй половине зеленую массу учитывают перед последующим выпасом;

3) всю учетную площадь конкретного варианта делят на одинаковые площадки по числу предполагаемых выпасов, перед каждым выпасом для учета зеленой массы выделяют новую площадку.

Урожайность семян бобовых и злаковых трав определяют после обмолота подсушенных валков с учетных площадей комбайнами для поделуточного обмолота на стандартных площадках. Это сводит к минимуму потери семян, которые осыпаются при движении уборочного агрегата вдоль валков убираемой делянки. После перевода вымолоченной массы семян на гектарную площадь и 100%-ную чистоту урожайность семян многолетних бобовых трав пересчитывают на 13%-ную (табл. 49), а семян многолетних и однолетних злаковых трав — на 15%-ную влажность (табл. 50).

49. Коэффициенты для пересчета урожайности семян многолетних бобовых трав на стандартную 13%-ную влажность

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	1,092	1,091	1,090	1,089	1,087	1,086	1,085	1,084	1,083	1,082
6	1,080	1,079	1,078	1,077	1,076	1,076	1,074	1,072	1,071	1,070
7	1,069	1,068	1,067	1,066	1,064	1,063	1,062	1,061	1,060	1,059
8	1,057	1,056	1,055	1,054	1,053	1,052	1,051	1,049	1,048	1,047
9	1,046	1,045	1,044	1,043	1,041	1,040	1,039	1,038	1,037	1,036
10	1,034	1,033	1,032	1,031	1,030	1,029	1,028	1,026	1,025	1,024
11	1,023	1,022	1,021	1,020	1,018	1,017	1,016	1,015	1,014	1,013
12	1,011	1,010	1,009	1,008	1,007	1,006	1,005	1,003	1,002	1,001
13	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990
14	0,989	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982	0,980	0,979	0,978
15	0,977	0,976	0,975	0,974	0,972	0,971	0,970	0,969	0,968	0,967

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	0,966	0,964	0,963	0,962	0,961	0,960	0,959	0,957	0,956	0,955
17	0,954	0,953	0,952	0,951	0,949	0,948	0,947	0,946	0,945	0,944
18	0,943	0,941	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,934	0,933	0,932
19	0,931	0,930	0,929	0,928	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922	0,921
20	0,920	0,918	0,917	0,916	0,915	0,914	0,913	0,911	0,910	0,909
21	0,908	0,907	0,906	0,905	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898
22	0,897	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,889	0,887	0,886
23	0,885	0,884	0,883	0,882	0,880	0,879	0,878	0,877	0,876	0,875
24	0,874	0,872	0,871	0,870	0,869	0,868	0,867	0,866	0,864	0,863
25	0,862	0,861	0,860	0,859	0,857	0,856	0,855	0,854	0,853	0,852
26	0,851	0,849	0,848	0,847	0,846	0,845	0,844	0,843	0,841	0,840
27	0,839	0,838	0,837	0,836	0,834	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829
28	0,828	0,826	0,825	0,824	0,823	0,822	0,821	0,820	0,818	0,817
29	0,816	0,815	0,814	0,813	0,811	0,810	0,809	0,808	0,807	0,806
30	0,805	0,803	0,802	0,801	0,800	0,799	0,798	0,797	0,795	0,794
31	0,793	0,792	0,791	0,790	0,789	0,787	0,786	0,785	0,784	0,783
32	0,782	0,780	0,779	0,778	0,777	0,776	0,775	0,774	0,772	0,771
33	0,770	0,769	0,768	0,767	0,766	0,764	0,763	0,762	0,761	0,760
34	0,759	0,757	0,756	0,755	0,754	0,753	0,752	0,751	0,749	0,748
35	0,747	0,746	0,745	0,744	0,743	0,741	0,740	0,739	0,738	0,737

50. Коэффициенты для пересчета урожайности семян злаковых многолетних и однолетних трав на стандартную 15%-ную влажность

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	1,118	1,116	1,115	1,114	1,113	1,112	1,111	1,109	1,108	1,107
6	1,106	1,105	1,104	1,102	1,101	1,100	1,099	1,098	1,096	1,095
7	1,094	1,093	1,092	1,091	1,089	1,088	1,087	1,086	1,085	1,084
8	1,082	1,081	1,080	1,079	1,078	1,076	1,075	1,074	1,073	1,072
9	1,071	1,069	1,068	1,067	1,066	1,065	1,064	1,062	1,061	1,060
10	1,059	1,058	1,056	1,055	1,054	1,053	1,052	1,051	1,049	1,048
11	1,047	1,046	1,045	1,044	1,042	1,041	1,040	1,039	1,038	1,036
12	1,035	1,034	1,033	1,032	1,031	1,029	1,028	1,027	1,026	1,025
13	1,024	1,022	1,021	1,020	1,019	1,018	1,016	1,015	1,014	1,013
14	1,012	1,011	1,009	1,008	1,007	1,006	1,005	1,004	1,002	1,001
15	1,000	0,999	0,998	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989
16	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,982	0,981	0,980	0,979	0,978
17	0,976	0,975	0,974	0,973	0,972	0,971	0,969	0,968	0,967	0,966
18	0,965	0,964	0,962	0,961	0,960	0,959	0,958	0,956	0,955	0,954
19	0,953	0,952	0,951	0,949	0,948	0,947	0,946	0,945	0,944	0,942
20	0,941	0,940	0,939	0,938	0,936	0,935	0,934	0,933	0,932	0,931

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	0,929	0,928	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,921	0,920	0,919
22	0,918	0,916	0,915	0,914	0,913	0,912	0,911	0,909	0,908	0,907
23	0,906	0,905	0,904	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,896	0,895
24	0,894	0,893	0,892	0,891	0,889	0,888	0,887	0,886	0,885	0,884
25	0,882	0,881	0,880	0,879	0,878	0,876	0,875	0,874	0,873	0,872
26	0,871	0,869	0,868	0,867	0,866	0,865	0,864	0,862	0,861	0,860
27	0,859	0,858	0,856	0,855	0,854	0,853	0,852	0,851	0,849	0,848
28	0,847	0,846	0,845	0,844	0,842	0,841	0,840	0,839	0,838	0,837
29	0,835	0,834	0,833	0,832	0,831	0,829	0,828	0,827	0,826	0,825
30	0,824	0,822	0,821	0,820	0,819	0,818	0,816	0,815	0,814	0,813
31	0,812	0,811	0,809	0,808	0,807	0,806	0,805	0,804	0,802	0,801
32	0,800	0,799	0,798	0,797	0,795	0,794	0,793	0,792	0,791	0,789
33	0,788	0,787	0,786	0,785	0,784	0,782	0,781	0,780	0,779	0,778
34	0,776	0,775	0,774	0,773	0,772	0,771	0,769	0,768	0,767	0,766
35	0,765	0,764	0,762	0,761	0,760	0,759	0,758	0,756	0,755	0,754

3.13. АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Растительные образцы отбирают для определения влажности, химического состава и оценки качества продукции по основным технологическим показателям. Это очень ответственная работа, поскольку по небольшой по объему выборке оценивают весь объект исследований. В зависимости от планируемых анализов растительные образцы отбирают в процессе вегетации культуры, во время уборки урожая или после определенного периода хранения продукции.

Образцы зерна, находящегося в мешках, отбирают специальным конусным щупом из верхней, средней и нижней частей в такой повторности, чтобы обеспечить следующую массу образца (кг): для мягкой пшеницы — 2,5; твердой пшеницы — 3,5; ячменя, овса, проса, гречихи, гороха и риса — 1; люпина, бобов, фасоли, чечевицы, нута, чины — 0,5. При отборе из мешков образцов продукции масличных культур их масса должна составлять (кг): для подсолнечника — 0,7; сои, клещевины — 0,5; льна, мака, горчицы, рапса, сурепицы, рыжика — 0,25.

Если партия зерна и семян, из которой намечается отбор растительных образцов, большая (целые бурты или закрома), объединенный образец формируют в несколько этапов. Сначала конусным щупом отбирают исходный образец продукции массой в несколько раз больше рекомендованных для отдельных культур образцов. Чем больше партия зерна, тем больше должна быть и

масса выборки на первой стадии ее формирования. Это правило обеспечивает типичность выборки.

Затем исходный образец равномерным тонким слоем раскладывают на столе или другой ровной поверхности в виде квадрата, который делят по диагоналям на четыре треугольника. Массу зерна (семян) из двух противоположных треугольников отбрасывают, а из двух оставшихся снова формируют квадрат. Процесс деления на треугольники продолжают до тех пор, пока масса оставшегося зерна не приблизится к рекомендуемой для данной культуры величине.

Отобранные образцы зерна или семян ссыпают в матерчатые мешочки, снабженные этикетками (снаружи и внутри).

Растительные образцы зеленой массы отбирают во время уборки урожая по диагонали каждой делянки и в каждом повторении с таким расчетом, чтобы масса общей пробы была в пределах 3—5 кг. Затем зеленую массу измельчают на отрезки размером 2—3 см, тщательно перемешивают и из нее отбирают две средние пробы по 0,5 кг для различных анализов.

При уборке кукурузы на силос в фазе молочно-восковой спелости зерна отдельно на каждой делянке отбирают пробы початков и листостебельной массы — соответственно 4 и 8 кг. Эти пробы сразу же измельчают на отрезки длиной 4—6 см, из измельченной массы отбирают образец массой 0,5 кг для определения влажности и проведения химических анализов. Когда масса одного растения кукурузы или другой силосной культуры достигает 1 кг и более, растительные пробы с таких посевов отбирают следующим образом. Перед уборкой на делянке выделяют 6—8 типичных растений, их срезают и расчленяют на отдельные фракции — стебли, листья, соцветия и початки. Затем каждую фракцию взвешивают, измельчают и согласно процентному соотношению массы отдельных фракций формируют объединенную пробу массой 2 кг, из которой отбирают два растительных образца по 0,5 кг.

Отобранные растительные образцы силосной и зеленой массы, предназначенные для химических анализов, немедленно фиксируют в термостате с температурой 80—90 °С в течение 30 мин для того, чтобы прекратились все ферментативные и микробиологические процессы, свойственные живому растительному организму.

При уборке урожая картофеля растительные образцы формируют в два приема. Сначала из всех повторностей отдельного варианта составляют общую пробу и лишь затем из нее отбирают по 20 типичных клубней, которые помещают в полиэтиленовые пакеты с этикетками и отправляют к месту хранения или в лабораторию.

На посевах сахарной свеклы с каждой делянки для составления объединенного растительного образца отбирают по 40 ти-

пичных по массе и форме корнеплодов, кладут их в полиэтиленовые мешки и отвозят в лабораторию. Если в день отбора проанализировать пробы невозможно, то их прикапывают на специально выделенном участке земель, чтобы сохранить корнеплоды в свежем состоянии.

Сноповые образцы на посевах зерновых колосовых, бобовых и крупяных культур сплошного посева отбирают за день до уборки урожая на ранее зафиксированных и используемых для определения густоты насаждения участках площадью 1 м². Все растения (культурные и сорняки) вырывают или выкапывают, укладывают в сноп, который перевязывают шпагатом в двух местах. К снопу привязывают этикетку с указанием варианта, повторности и даты отбора снопового образца.

На посевах подсолнечника перед уборкой с делянки отбирают по 10 типичных растений, взвешивают отдельно стебли, листья и корзинки и с учетом соотношения массы отдельных органов готовят растительный образец массой 0,5 кг для химического анализа.

Все отобранные для химических анализов образцы после высушивания измельчают и помещают в бумажные пакеты. Такие пакеты могут долго храниться в сухом помещении без существенного изменения химического состава растительной массы.

3.13.1. АНАЛИЗ ЗЕРНА И СЕМЯН

Масса 1000 зерен (семян). Этот показатель определяют взвешиванием с точностью до 0,01 г двух навесок по 500 зерен (семян). Если расхождение между результатами взвешивания взятых навесок превышает 3 %, из зерновой пробы отбирают и взвешивают третью навеску. Затем определяют среднее арифметическое всех взвешиваний. После определения средней массы 1000 зерен (семян) при физической влажности ее пересчитывают на стандартную влажность зерна (семян) по формуле

$$M = M_1 (100 - v)/(100 - V),$$

где M_1 — средняя масса 1000 зерен (семян) при физической влажности; v — влажность зерна (семян) на период взвешивания (физическая влажность), %; V — стандартная влажность зерна (семян), %.

Натура, или объемная масса зерна (семян). Натура характеризуется массой зерна (семян) в объеме 1 л. Ее определяют с помощью специальных весов — пурок разного объема — 0,25; 0,5 или 1 л. Для определения натуры из заранее заготовленного для анализов образца отбирают при наличии пурки объемом 1 л две пробы по 1 кг зерна (семян), при наличии пурок объемом 0,25 или 0,5 л массу каждой пробы уменьшают соответственно до 0,25 и 0,5 кг. После очистки от различных примесей зерно поме-

щают в пурку и взвешивают с точностью до 1 г. Если разница между взвешиваниями двух навесок из одного варианта превышает 5 г (для овса 10 г), то для определения природы необходимо использовать третью повторность.

Содержание проросших зерен (семян). Для определения этого показателя из одного образца отбирают две навески по 50 г каждая, из них выделяют проросшее зерно (семена) и взвешивают. Среднее содержание проросших зерен в образце показывают в процентах с точностью до 0,1 %.

Выравненность семенного материала. Для определения выравненности семян хлебных злаков из очищенного зерна берут в двух повторностях навеску, масса которой в зависимости от величины партии семян составляет 100—500 г. Отобранную навеску просеивают на колонке сит с продолговатыми прямоугольными отверстиями. Разница в ширине отверстий соседних сит в этом наборе 0,2 мм. Оставшееся после просеивания на каждом сите зерно взвешивают. Затем выбирают показатели двух соседних сит, где осталось больше всего зерна, суммируют и по полученному результату рассчитывают процентное содержание этих семян в анализируемой навеске. Это и есть процент выравненности семян.

Аналогичным образом определяют выравненность семенного материала других культур, используя сита с отверстиями другой формы, отвечающей форме анализируемых семян.

Всхожесть семян. Из анализируемой партии семенного материала в четырех повторностях отбирают пробы по 100 зерновок или семян. Их раскладывают на увлажненную фильтровальную бумагу, помещенную на дно чашек Петри. Подписанные и накрытые чашки Петри помещают для прорастания семян в термостат с температурой около 20 °С. Фильтровальная бумага постоянно должна быть влажной.

Технология проращивания семян свеклы имеет свою специфику. Из каждой партии (фракции) семенного материала отбирают в четырехкратной повторности по 100 клубочков, их вдавливают вровень с поверхностью в кварцевый песок, увлажненное состояние которого поддерживают в течение всего 10-дневного периода прорастания семян. В течение первых 18 ч суток в термостате, где проращивают семена свеклы, должна быть температура 20 °С, а в остальные 6 ч суток — 30 °С. Такой температурный режим соблюдают в течение 10 сут проращивания.

Всхожесть семян определяют после постоянного для различных культур периода выдержки в термостате (сут): для семян мягкой пшеницы, ржи, ячменя, овса, проса, тритикале, кукурузы, гороха, сои, чины, горчицы, рапса, рыжика, подсолнечника, льна, конопли — 7; твердой пшеницы, гречихи, фасоли, сорго, тимофеевки — 8; риса, чумизы, кормовых бобов, люпина, нута,

клещевины, мака, махорки, свеклы, моркови, тыквы, бобовых трав, житняка, овсяницы, райграса, суданской травы — 10; табака, арбузов — 12; лисохвоста, пырея бескорневищного — 14.

Проросшими считаются такие семена, у которых на время определения всхожести имеются нормально развитые росток и корешки, а главный корешок по длине не короче самого семени. Семена, которые характеризуются недоразвитыми корешками и одним стебельком или в которых корешок и росток совсем отсутствуют, а сама зерновка или семянка загнила, считаются не проросшими.

Число проросших семян в пробе из 100 семян характеризует всхожесть (в %). Определенный вариант или партию семенного материала оценивают по обобщенному показателю всхожести семян, рассчитанному как среднее арифметическое из всех четырех повторностей анализа.

Для более быстрого определения всхожести используют метод ускоренного проращивания М. К. Фирсовой, применимый к хлебным злакам и зерновым бобовым культурам. Пробу из 100 семян для набухания помещают в сосуд с подогретой до 30 °С водой на 4 ч (для кукурузы — на 6 ч). Вода должна быть выше уровня семян на 1—2 см. После набухания семена вдавливают в хорошо увлажненный и уплотненный песок вровень с его поверхностью, покрывают слоем марли и слоем увлажненного песка толщиной в зависимости от крупности семян 0,5—2,0 см. Семена помещают в термостат с температурой 30 °С и проращивают в течение 2 сут. Для подсчета проросших семян верхний слой песка снимают вместе с марлей.

Жизнеспособность семян. Этот показатель оценивают по количеству живых семян в пробе, а определяют путем проращивания предварительно обработанных семян. Обработку проводят для нарушения покоя анализируемых семян, используя подсушивание и прогревание, накальвание, удаление оболочки над зародышем.

Подсушивание и прогревание можно применять для семян всех культур, однако режим этой подготовки для разных культур неодинаков (табл. 51).

51. Режим подсушивания и прогревания семян различных культур

Культуры	Температура прогревания, °С	Продолжительность прогревания, сут
Зерновые	30	3—5
Соя	30	0,5
Подсолнечник	30	7
Свекла, морковь	30	3—5
Табак	30—35	7—10
Кориандр	18—20	2

Семена злаковых трав прогревают первые 4 ч при температуре 40 °С, а в последующие 4 ч — при 50—60 °С.

Накальвание применяют для семян люпина, оно открывает доступ к зародышу кислорода и воды и таким образом способствует началу ферментативных процессов и прекращению периода покоя. Накальвают оболочку с противоположной рубчику стороны, после чего семена намачивают в течение 4—6 ч в воде комнатной температуры и ставят на проращивание.

Доступ кислорода и воды к зародышу семян подсолнечника и гречихи облегчают, удаляя оболочку — у семян подсолнечника полностью, а у гречихи — лишь одну грань.

После предварительной обработки определяют описанными ранее методами всхожесть семян, по которой и оценивают их жизнеспособность. При обработке семян накальванием или удалением плодовой оболочки жизнеспособными считаются все проросшие семена независимо от состояния их проростков.

Посевная годность. Этот показатель характеризуется процентным содержанием чистых и одновременно всхожих семян в пробе. Его рассчитывают по формуле

$$ПГ = ЧВс/100,$$

где Ч и Вс — чистота и всхожесть семян, %.

Сила роста. Это такой показатель качества семян, который позволяет оценить их по всхожести и способности ростков пробиться на поверхность для образования нормальных всходов. Для определения силы роста растения выращивают в сосуде с песком в течение 10 сут со дня посева в двукратной повторности. Например, для зерновых колосовых культур берут толстостенный сосуд диаметром 15 см и высотой 20 см, наполняют его кварцевым песком, просеянным через сито с отверстиями 1 мм и увлажненным до 60 % полной влагоемкости. Песок хорошо уплотняют и выравнивают. Его поверхность должна быть ниже краев сосуда на глубину заделки семян в полевых условиях. На поверхности песка равномерно размещают 100 семян и засыпают их сверху слоем крупнозернистого песка, который при просеивании задерживался на ситах с отверстиями 1 мм. Затем сосуд прикрывают стеклянной пластинкой и помещают в тепло для проращивания семян. Когда первые ростки достигнут стеклянной пластинки, ее снимают. На десятые сутки все всходы срезают вровень с поверхностью песка, подсчитывают и взвешивают. После осторожного удаления верхнего слоя песка подсчитывают не вышедшие на поверхность ростки, ослабленные, с искривленными проростками и пораженные болезнями, а также устанавливают число только набухших и отдельно загнивших семян.

Сила роста характеризуется двумя показателями: числом всхо-

дов (в % к объему анализируемой пробы) и массой этих всходов (в г) с обязательным пересчетом на пробу из 100 семян.

Для приближения результатов лабораторных исследований к полевым условиям сосуды следует наполнять не песком, а почвой, типичной для района исследования.

3.13.2. АНАЛИЗ СНОПОВЫХ ОБРАЗЦОВ

Для анализа сноповых образцов зерновых культур подсчитывают число растений, число всех стеблей (включая продуктивные и непродуктивные) и рассчитывают коэффициент продуктивного кущения

$$K_{п.к} = B_1/A,$$

где B_1 — число продуктивных стеблей; A — число растений.

Затем определяют содержание продуктивных стеблей (%) в сноповом образце

$$B'_1 = 100B_1/B,$$

где B — число всех стеблей.

Для определения остальных показателей структуры урожая из пробного снопа отбирают 25 типичных для варианта стеблей, при анализе которых учитывают:

среднюю длину колоса (метелки) путем деления суммарной длины 25 колосьев (метелок) на 25;

среднее число колосков в колосе (сумму колосков в тех же 25 колосьях делят на 25);

среднее число зерен в колосе (общее число зерен с 25 обмолоченных колосьев делят на 25).

После проведения этих подсчетов сноп обрезают на высоте среза стеблей при комбайновой уборке, взвешивают и обмолачивают. Очищенное от мякины зерно взвешивают с точностью до 1 г, а массу соломы и мякины рассчитывают по разнице массы пробного снопа и массы вымолоченного из него зерна. Разделив массу зерен из пробного снопа на число продуктивных стеблей в нем, получают важный показатель структуры урожая зерновых колосовых — среднюю массу зерна с одного продуктивного стебля.

При анализе сноповых образцов зерновых бобовых культур определяют такие показатели:

число стеблей в снопе;

число продуктивных стеблей;

число непродуктивных стеблей;

среднее число бобов на одном растении (по 25-стебельной пробе);

среднее число зерен и их массу с одного боба (по той же 25-стебельной пробе);

соотношение зерна и соломы (определяют после обмолота снопа);

высоту прикрепления нижних бобов к стеблю (на 25 пробных растениях измеряют расстояние от корневой шейки до места прикрепления нижнего боба).

При необходимости сноповый образец анализируют для определения степени пораженности растений болезнями и вредителями.

3.13.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУХОГО ВЕЩЕСТВА И ВЛАГИ В РАСТЕНИЯХ

Содержание воды в растениях определяют после высушивания навески растительного материала при температуре 100—105 °С до тех пор, пока его масса не станет постоянной. Содержание воды в растительной массе (%) рассчитывают по формуле

$$V_p = 100(M_1 - M_2)/M_1,$$

где M_1 и M_2 — масса соответственно сырой и сухой навески, г.

После определения влажности растительного материала содержание сухого вещества в нем (%) рассчитывают по формуле

$$C_B = 100 - V_p.$$

Если влажность растительного материала предварительно не определяли, то после высушивания навески содержание сухого вещества (%) рассчитывают по формуле

$$C_B = 100M_2/M_1.$$

3.13.4. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Содержание азота, фосфора и калия в растительных образцах. Из заранее подготовленного и подсушенного до абсолютно сухого состояния растительного материала отбирают навеску 0,2—0,4 г, помещают в мерную колбу на 50—100 мл, куда добавляют 5—10 мл концентрированной серной кислоты и 0,2 мл перекиси водорода. После осторожного взбалтывания содержимого колбу ставят на песчаную баню и постепенно нагревают. Через каждые 30—40 мин нагревания колбу охлаждают и к ее содержимому добавляют 3—5 капель перекиси водорода, а в конце озоления — 2—3 капли этого препарата для полного обесцвечивания раствора. Затем содержимое колбы в последний раз прогревают в течение 15—20 мин, а после охлаждения доводят дистиллированной водой уровень до метки, тщательно перемешивают и отстаивают.

Для определения содержания фосфора из колбы отбирают 1 мл отстоявшегося раствора в колбу на 50 мл, добавляют 19 мл свежего (приготовленного в тот же день) реактива Б, перемешивают путем встряхивания и через 1 ч содержимое колориметрируют на светло-красном светофильтре в кювете шириной 1 см. Аналогично окрашивают и колориметрируют образцовые растворы шкалы. Процентное содержание фосфора в исследуемом растворе определяют по калибровочному графику, на горизонтальной оси которого нанесены значения концентрации фосфора на абсолютно сухое вещество (в %), а на вертикальной — оптическая плотность раствора.

Для приготовления шкалы образцовых растворов в 8 мерных колб на 500 мл наливают по 200—300 мл дистиллированной воды и по 25 мл концентрированной серной кислоты, после перемешивания содержимого в каждую колбу добавляют определенное количество исходного образцового раствора (табл. 52) и содержимое колбы доводят дистиллированной водой до метки.

52. Шкала образцовых растворов для определения содержания фосфора

Показатель	Номер колбы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем исходного образцового раствора в колбе, мл	0	1	2	4	6	8	10	16
Содержание фосфора в колбе, мг в 1 мл	0	0,002	0,004	0,008	0,0012	0,0016	0,0020	0,0032
Содержание фосфора (% на сухое вещество) в исследуемом растворе при навеске:								
2 мг	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8
4 мг	0	0,025	0,05	0,01	0,15	0,2	0,25	0,4

Исходный образцовый раствор готовят путем растворения в колбе объемом 1 л с дистиллированной водой 4,393 г монофосфата калия, 1 мг такого раствора будет содержать 1 мг фосфора.

Для приготовления *реактива Б* в колбу объемом 1 л помещают 168 мл реактива А, растворяют в нем 0,887 г аскорбиновой кислоты, после чего содержимое колбы доводят дистиллированной водой до метки.

Реактив А готовят так: 6 г молибдата аммония и 0,1454 г сурьмяно-виннокислого калия по отдельности растворяют при нагревании в 200 мл дистиллированной воды. После охлаждения оба раствора сливают в колбу объемом 1 л, куда добавляют 500 мл 5 н. серной кислоты, и содержимое колбы доводят до метки.

Содержание к а л и я определяют путем пропускания исследуемого раствора через пламенный фотометр, одновременно фотометрируют образцовые растворы шкалы (табл. 53) и используют калибровочный график, в котором по горизонтальной оси нанесена концентрация калия, а по вертикальной — оптическая плотность раствора.

53. Шкала образцовых растворов для определения содержания калия

Показатель	Номер колбы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем исходного образцового раствора в колбе, мл	0	1	3	5	10	15	20	30
Содержание калия в колбе, мг в 1 мл	0	0,002	0,006	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06
Содержание калия (% на сухое вещество) при навеске 2 г и объеме колбы 50 мл	0	0,05	0,15	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5

А з о т определяют при помощи отгонки аммиака на приборе Сереньева в такой последовательности: включают вакуум, заливают в барбатар 1—2 мл 0,02 н. раствора титранта. Аликвоту минерализатора (10—25 мл) переносят в реакторную камеру, вводят туда раствор куприта натрия до изменения окраски жидкости и отгоняют аммиак под вакуумом в течение 5 мин при слабом кипении электролита в рубашке реактора. Титруют раствор до устойчивого перехода его окраски из зеленой в лиловую. После окончания отгонки аммиака вакуум отключают, сливают растворы из реактора и барбатера и начинают анализ следующего образца.

Содержание азота (% на сухое вещество) рассчитывают по формуле

$$N = a \cdot 0,2 \cdot 0,014 \cdot 100 / H,$$

где a — объем титранта, израсходованного на титрование, мл; H — аликвотная навеска, г.

Реактивы для этого анализа готовят следующим образом. *Электролит* для реактора изготавливают путем растворения 10 г лимонной кислоты в 1 л дистиллированной воды. Для изготовления *куприта натрия* 350 г едкого натра растворяют в 1 л дистиллированной воды. Затем в отдельном сосуде с 30—50 мл дистиллированной воды растворяют 1,2 г медного купороса. После охлаждения едкого натра раствор медного купороса по каплям

переносят в раствор едкого натра в колбе объемом 1 л, которую при этом энергично встряхивают.

Для того чтобы изготовить 0,02 н. по серной кислоте *титрант для фиксанала*, серную кислоту переводят (путем многократного ополаскивания сосуда из-под фиксанала с серной кислотой дистиллированной водой) в мерную колбу на 1—2 л, туда же добавляют 200 мл 0,1%-ного спиртового раствора метилрота в кислотной форме и после доведения дистиллированной водой до метки содержимое переносят в 10-литровый баллон. Затем отдельно растворяют в колбе на 1 л с дистиллированной водой 40 г борной кислоты, доливают туда 100 мл 0,1%-ного раствора метилленблау, доводят содержимое колбы дистиллированной водой до метки и переносят его в основной 10-литровый баллон, доливают туда до метки дистиллированную воду и все тщательно перемешивают.

Определение содержания нитратного азота в растениеводческой продукции ионометрическим методом. Этот метод основан на возникновении электродвижущей силы при наличии в воде или слабых растворах нейтральных солей ионов NO_3^- . Измеряют эту силу нитратным электродом на ионоизмерителях различной конструкции.

Для анализа отбирают образец тонко измельченной растительной массы (12,5 г), переносят в стакан гомогенизатора, заливаются 50 мл 1%-ного раствора алюмокалиевых квасцов и гомогенизируют в течение 2 мин. При отсутствии гомогенизатора растительный образец растирают в ступке с кварцевым песком до однородной массы, одновременно добавляя 50 мл 1%-ного раствора алюмокалиевых квасцов.

Суспензию переносят в химический стакан на 100 мл, после чего приступают к определению концентрации в суспензии нитрат-ионов с использованием ионоселективного электрода.

Содержание азота нитратов ($\text{N}-\text{NO}_3^-$) (мг на 1 кг сырой массы) при отношении пробы 1:4 (12,5:50 мл) рассчитывают по формуле

$$\text{N}-\text{NO}_3 = \text{Antilg} (4,75 - \text{NO}_3^-),$$

где Antilg — антилогарифм, определяемый при помощи вспомогательных таблиц; NO_3^- — показатель ионоизмерителя.

Так, если ионоизмеритель показал на шкале счетчика $\text{pC}_{\text{NO}_3^-}$ испытуемого раствора 2,40, тогда содержание $\text{N}-\text{NO}_3^-$ будет равным $\text{Antilg} (4,75 - 2,40) = \text{Antilg} 2,35$. Согласно таблице логарифмов при значении Antilg 2,35 содержание $\text{N}-\text{NO}_3^-$ составит в приведенном примере 224 мг на 1 кг сырой массы анализируемой продукции.

Когда нужно получить лишь ориентировочные данные о содержании нитратов в растении или в его отдельных органах, для

анализа используют более простую методику. Присутствие иона NO_3^- в реакции с дифениламином дает синюю анилиновую окраску, по интенсивности этой окраски можно ориентировочно судить о концентрации нитратов в растительном объекте.

Для анализа берут растительный образец, тонко измельчают и растирают в фарфоровой чашке стеклянной палочкой. Затем на растительную массу пипеткой наносят раствор дифениламина в концентрированной серной кислоте, в результате чего содержимое чашки приобретает синеватую окраску.

Степень окраски оценивают по 5-балльной шкале (табл. 54).

54. Шкала для определения содержания нитратов в растительных образцах

Характер окраски	Оценочный балл	Содержание нитратов в сыром растительном образце, %
Следы голубой окраски, которые быстро исчезают	1	0,0028±0,0006
Окраска светло-голубая, быстро исчезающая	2	0,0067±0,0004
Окраска светло-синяя, исчезающая через 2—3 мин	3	0,0157±0,0006
Окраска синяя, но проявляется она не сразу	4	0,0174±0,0007
Окраска темно-синяя, исчезающая лишь со временем	5	0,0221±0,0005

Такой анализ рекомендуется проводить в 4—5-кратной повторности.

Содержание в растительном материале белкового азота и белка. Содержание белкового азота в растительном образце определяют методом Кьельдаля. Навеску 1—2 г тонко измельченного растительного материала помещают в химический стакан на 150—200 мл, доливают туда 50 мл дистиллированной воды и нагревают до кипения. Слегка охладив, к еще теплomu раствору добавляют 25 мл 6%-ного раствора медного купороса, перемешивают и добавляют 25 мл 1,25%-ного раствора едкого натра для образования основной соли сульфата меди, которая осаждает белки. В стакане выпадает осадок белка и меди. После отстаивания осадка в течение 30—40 мин его фильтруют через беззольный фильтр. Раствор осторожно сливают на фильтр, а осадок отмывают декантацией горячей водой до тех пор, пока промывные воды при добавлении хлорида бария уже не образуют осадка.

Отмытый осадок вместе с фильтром высушивают при температуре 50—60 °С, переносят в колбу Кьельдаля, куда добавляют 20 мл концентрированной серной кислоты, 0,5 г медного купороса в качестве катализатора и комок парафина для уменьшения пенообразования.

В колбу-приемник наливают 40—60 мл 0,1 М раствора серной кислоты, добавляют 3—4 капли метилоранжа, после чего конец трубки-холодильника погружают в кислоту колбы-приемника.

Сжигание содера с осадком продолжают до полного обесцвечивания содержимого колбы Кьельдаля. Затем содержимое колбы переносят в дистилляционную колбу, добавляют туда 2 г цинка, 1—2 капли фенолфталеина, осторожно по стенке доливают 70—80 мл 30—40%-ного раствора едкого натра и быстро соединяют колбу с холодильником. Дистилляция считается оконченной, когда уже нет реакции на ионы аммония (проверяют с помощью реактива Несслера и лакмусовой бумаги).

Раствор в колбе-приемнике титруют 0,1 М раствором едкого натра, после чего содержание белкового азота (%) рассчитывают по формуле

$$N_6 = (aT_1 - bT)0,0014 \cdot 100/N,$$

где a — количество 0,1 М раствора серной кислоты, взятой для связывания аммиака, мл; T_1 — поправка к титру кислоты; b — количество 0,1 М раствора NaOH, израсходованного на титрование остатка кислоты, мл; T — поправка к титру едкого натра; 0,0014 — количество азота, которое связывается 1 мл 0,1 М раствора серной кислоты, г; 100 — коэффициент для перевода абсолютных величин в проценты; N — навеска растительного образца, г.

Содержание белка в растительном образце (в %) определяют расчетным путем. Для этого содержание белкового азота в растительном образце умножают на переводные коэффициенты, которые равны: для пшеницы, ржи, ячменя, овса, гороха, вики, бобов 5,70; кукурузы и гречихи 6,00; подсолнечника, конопли, льна, клецевины, люпина 5,50; для остальных культур 6,25.

Определение содержания хлорофилла в зеленой части растения фотоэлектроколориметрическим методом. В основу электроколориметрического метода положена способность хлорофилла интенсивно поглощать красные лучи спектра света. Сравнив интенсивность двух световых пучков, которые прошли через стандартный раствор с известной концентрацией хлорофилла и исследуемый раствор, можно определить содержание этого пигмента в опытном образце.

Для анализа 250 мг мелко нарезанной зеленой массы помещают в фарфоровую ступку и после добавления 3—4 мл этилового спирта растирают ее содержимое до однородного состояния. Растиертую массу переносят на сухой фильтр, установленный на воронке над колбочкой объемом 25 мл, затем туда же смывают небольшими порциями этилового спирта всю оставшуюся на стенках ступки зелень. Содержимое колбы после фильтрации спиртовой вытяжки доводят этиловым спиртом до метки, хорошо взбалтывают и колориметрируют.

С учетом оптической плотности фильтрата концентрацию

хлорофилла в абсолютно сухой растительной массе (%) рассчитывают по формуле

$$X = \frac{A_1 \cdot 0,0000850 \cdot 100}{A_2 N (1 - 0,01B)},$$

где A_1 — оптическая плотность исследуемого раствора; O — объем вытяжки в колбе, мл (в описанном анализе 25 мл); A_2 — оптическая плотность стандартного раствора; N — навеска сырой растительной массы, взятой на анализ, г (в данной методике 0,25 г); B — содержание воды в растительном образце, % (анализ для определения этого показателя ведется параллельно с основным).

Пленчатость зерна и семянка. Пленчатость зерна и семянка — это отношение массы снятых пленок к массе анализируемого материала (с пленками), ее выражают в процентах. Рекомендуется взвешивать не снятые с зерен пленки, а только голые зерна. Массу пленок устанавливают по разнице массы зерен с пленками и зерен без пленок. Масса отбираемой навески для анализа и процесс снятия пленок зависят от культуры, продукция которой анализируется. Анализ проводят в двух повторностях.

Для определения пленчатости зерна *о в с а* берут навеску 5 г. Зерна от пленок освобождают простым надавливанием пинцетом на пленчатые зерна вблизи их основания. При этом голое зерно выдвигается из пленки и легко вынимается.

Для определения пленчатости зерна *г р е ч и х и* и *п р о с а* масса навески 2,5 г. Для анализа навеску помещают в фарфоровую ступку и пестиком осторожно, чтобы не раскрошить оболочку, раздавливают зерна и отделяют оболочки. Для облегчения снятия пленок на дно ступки укладывают тонкую металлическую сетку и такой же сеткой обтягивают пестик.

Масса навески *я ч м е н я* 5 г. Пленки снимаются после предварительного намачивания зерен в воде, кислоте или щелочи. Процесс намачивания довольно длительный и может сопровождаться выщелачиванием растворимых веществ из пленок и самого зерна, что в итоге может исказить истинное соотношение пленок и голого зерна. Если поместить зерна в камеру с разреженным воздухом, воздух удаляется из-под пленок, после чего вода легко проникает под пленку. В таком случае пленки отделяются в течение нескольких минут.

Для определения лузжистости семянка *п о д с о л н е ч н и к а* отбирают навеску 10 г. Лузга легко отделяется от ядер пальцами.

Расчеты пленчатости зерна различных культур и лузжистости семянка подсолнечника сравнивают по повторностям. Если разница между ними не превышает 1 %, то по результатам двух повторностей выводят среднеарифметический показатель. В противном случае анализ приходится проводить в третий раз.

Стекловидность зерна. Стекловидность определяют при разрезе зерна. Стекловидное зерно имеет на разрезе стекловидный

блеск и кажется более или менее прозрачным, тогда как мучнистые зерна не просвечивают и в проходящем свете кажутся темными.

Для анализа из каждого варианта отбирают 2 пробы по 100 зерен. Ножом или скальпелем зерна разрезают пополам, раскладывают на матовое стекло, через которое снизу проходит свет, и анализируют. По степени стекловидности их делят на 5 групп. К первой группе относят полностью стекловидные семена, в которых коэффициент стекловидности равен единице; ко второй — семена, стекловидные на $3/4$ (коэффициент стекловидности 0,75); к третьей — семена, стекловидные наполовину (0,50); к четвертой — семена, в которых стекловидная часть занимает лишь $1/4$ (0,25); к пятой — полностью мучнистые семена (коэффициент стекловидности 0).

После разделения семян на группы подсчитывают число зерен в каждой группе. Умножив число зерен в группе на соответствующий коэффициент стекловидности, рассчитывают показатель числа зерен в переводе на 100%-ную стекловидность. Путем суммирования этих показателей для всех групп рассчитывают общую стекловидность зерна в исследуемом образце, выраженную в процентах (одно зерно в 100-семенной пробе соответствует 1 %). Пример расчета стекловидности зерна в пробе представлен в таблице 55.

55. Определение общей стекловидности зерна в пробе

Группа зерен по степени стекловидности	Число зерен в группе	Коэффициент перевода на 100%-ную стекловидность	Число зерен со 100%-ной стекловидностью
I	20	1,00	20
II	18	0,75	13,5
III	42	0,50	21
IV	8	0,25	2
V	12	0	0

В анализируемой пробе из 100 зерен их количество с условной 100%-ной стекловидностью составило 56,5. Это значит, что общая стекловидность зерна в пробе составляет 56,5 %, а оставшая часть пробы (43,5 %) представлена мучнистыми зёрнами.

Содержание клейковины в зерне пшеницы. Этот анализ основан на отмывке крахмала, клетчатки и растворимых примесей из сгустка вязкой массы, образованной при взаимодействии некоторых белков с водой.

Для анализа объединенный образец зерна массой 30—50 г размалывают на специальной мельнице для размола зерна или с помощью кофемолки. После тщательного перемешивания из размолотой массы отбирают навеску (25 г), заливают в фарфоровой чашке 14 мл воды и размешивают шпателем до однородного

состояния. Затем фарфоровую чашку накрывают стеклом и оставляют на 20 мин при температуре 16—20 °С. Клейковину отмывают струей воды над густым капроновым ситом таким образом, чтобы сгусток замешанной массы все время оставался целостным. Если некоторые кусочки теста отрываются водой, их подбирают и присоединяют к общей массе. Во время отмывания клейковины клейкую массу все время переминают пальцами: вначале слабее, а в конце более интенсивно. Заканчивают промывание образца тогда, когда промывная вода остается совершенно прозрачной и не окрашивается в синий цвет в присутствии раствора йода (это свидетельствует о полном отсутствии крахмала в пробе). Оставшаяся масса представляет собой клейковину, ее отжимают от воды руками до тех пор, пока она не начнет приставать к пальцам.

Отжатую клейковину взвешивают с точностью до 0,01 г. Повторив в течение еще 2—3 мин отмывание и отжимание воды, взвешивают снова. Если разница между первым и вторым взвешиванием не превышает 0,1 г, отмывание клейковины прекращают.

Содержание сырой клейковины (%) рассчитывают по формуле

$$K = 100a_1/a,$$

где a_1 — масса сырой клейковины, г; a — масса навески, взятой для отмывания клейковины, г (в данной методике 25 г).

Если необходимо определить содержание в навеске сухой клейковины, сырую клейковину высушивают в течение 20 ч при температуре 100—105 °С, а после охлаждения в эксикаторе взвешивают. Подставив в приведенную формулу вместо a_1 (масса сырой клейковины) массу сухой клейковины, можно рассчитать содержание в зерне сухой клейковины.

По аналогичной методике определяют содержание клейковины в муке, при этом берут навеску муки 25 г.

Повторность анализа в том и в другом случае двукратная.

Содержание сырой клетчатки. Сырая клетчатка представляет собой в основном целлюлозу, небольшое количество гемицеллюлоз и лигнина, которые остаются после удаления из навески кислотным и щелочным гидролизом легкорастворимых углеводов, крахмала, белков, амидов, жира и липидов.

Для анализа берут навеску (1,5—2,0 г) в размолотом и воздушно-сухом состоянии, помещают в стакан на 300—400 мл и заливают 200 мл 4%-ного раствора серной кислоты, предварительно подогретой до 70—80 °С. После тщательного перемешивания стеклянной палочкой кипятят на плитке в течение 5 мин. После отстаивания осадка еще горячий раствор отсасывают воронкой Джандиера с бумажным фильтром в колбу Бунзена. Оставшийся осадок заливают 200 мл горячей дистиллированной воды, перемешивают и жидкость снова отсасывают из стакана. Такую опера-

цию повторяют трижды. После третьего отсасывания фильтрат смывают в стакан небольшим количеством дистиллированной воды, приливают туда 100 мл 5%-ного раствора щелочи, содержимое стакана доводят дистиллированной водой до метки 200 мл и кипятят в течение 5 мин. Затем раствор фильтруют через воронку Бюхнера с бумажным фильтром, предварительно высушенным в течение 1 ч при температуре 105 °С и взвешенным вместе с бюксой. Осадок на воронке отмывают от щелочи горячей дистиллированной водой и после пробы на лакмус дополнительно промывают 15 мл спирта и 15 мл эфира. Промытый осадок с фильтром переносят в бюксу, в которой высушивался пустой фильтр, и сушат в термостате при температуре 105 °С в течение 4 ч, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.

Массу сырой клетчатки (осадка на фильтре) рассчитывают по разности между массой фильтра с осадком и бюксой и чистым фильтром с бюксой. Содержание сырой клетчатки в воздушно-сухой растительной массе (%) определяют по формуле

$$СК = 1006/a,$$

где б — масса сырой клетчатки (осадка), г; а — масса воздушно-сухой навески, г.

Определение крахмалистости клубней картофеля. Содержание крахмала определяют по крахмальному числу, которое рассчитывают по удельной массе клубней. Удельную массу определяют по массе вытесненной клубнями воды. Для этого берут стеклянный сосуд на 4—5 л, устанавливают на строго горизонтальной подставке и наполняют чистой водой температурой 17,5 °С на 2/3 объема. Верхний уровень воды отмечают по всей окружности сосуда меткой. Затем воду сливают в заранее подготовленную и взвешенную посуду, а в сосуд помещают 1 кг вымытых сухих клубней картофеля. После этого в сосуд доливают слитую перед этим воду до тех пор, пока уровень не достигнет метки. Оставшуюся воду (замещенную картофелем) взвешивают. Учитывая, что 1 г воды соответствует ее объему 1 см³, можно рассчитать удельную массу клубней картофеля (г/см³)

$$УМ = M_1/M_2,$$

где M₁ — масса помещенных в сосуд клубней, г; M₂ — объем вытесненной клубнями воды, см³.

Зная удельную массу клубней, можно определить крахмальное число (табл. 56), которое представляет собой суммарную массу крахмала и сахаров. Для того чтобы установить содержание крахмала, находящегося в клубнях картофеля в виде крахмальных зерен, необходимо из крахмального числа вычесть содержание сахара, равное примерно 1,5 %.

**56. Соотношение удельной массы клубней картофеля (г/см³)
и крахмального числа**

Удельная масса	Крахмальное число	Удельная масса	Крахмальное число	Удельная масса	Крахмальное число	Удельная масса	Крахмальное число
1,0493	7,400	1,0753	12,928	1,1025	18,746	1,1312	24,891
1,0504	7,600	1,0764	13,164	1,1038	19,027	1,1325	25,169
1,0515	7,800	1,0776	13,420	1,1050	19,284	1,1338	25,447
1,0526	8,100	1,0787	13,656	1,1062	19,541	1,1351	25,725
1,0537	8,300	1,0799	13,913	1,1074	19,797	1,1364	26,004
1,0549	8,600	1,0811	14,169	1,1086	20,054	1,1377	26,282
1,0560	8,800	1,0822	14,405	1,1099	20,333	1,1390	26,560
1,0571	9,000	1,0834	14,662	1,1111	20,589	1,1403	26,888
1,0582	9,300	1,0846	14,918	1,1123	20,846	1,1416	27,116
1,0593	9,500	1,0858	15,175	1,1136	21,124	1,1429	27,395
1,0604	9,700	1,0870	15,432	1,1148	21,381	1,1442	27,673
1,0616	9,996	1,0881	15,667	1,1161	21,659	1,1455	27,951
1,0627	10,232	1,0893	15,924	1,1173	21,916	1,1468	28,229
1,0638	10,468	1,0905	16,181	1,1185	22,194	1,1481	28,907
1,0650	10,724	1,0917	16,438	1,1198	22,451	1,1494	28,786
1,0661	10,959	1,0929	16,695	1,1211	22,629	1,1507	29,064
1,0672	11,195	1,0941	16,951	1,1224	23,008	1,1521	29,363
1,0684	11,452	1,0953	17,208	1,1236	23,264	1,1534	29,642
1,0695	11,687	1,0965	17,465	1,1249	23,543	1,1547	29,920
1,0707	11,944	1,0977	17,722	1,1261	23,799	1,1561	30,219
1,0718	12,179	1,0989	17,979	1,1274	24,078	1,1574	30,498
1,0730	12,436	1,1001	18,235	1,1286	24,334	1,1587	30,776
1,0741	12,671	1,1013	18,492	1,1299	24,613	1,1601	31,075

Определение сахаристости и других технологических свойств корнеплодов сахарной свеклы. Для определения сахаристости и других технологических свойств корнеплодов берут пробу из 40 корней. Перед анализом типичные по массе и форме корнеплоды тщательно очищают от почвы и из них при помощи сверла или сегментной терки отбирают измельченную пробную массу (мезгу). Из нее на пергаментную бумагу в виде квадратиков размером 5×5 см в двукратной повторности отбирают навеску (13 г), которую смывают в стаканчик дистиллированной водой из автоматической пипетки вместимостью 89 мл. Содержимое стаканчика тщательно перемешивают стеклянной палочкой и оставляют на оттаивание на 30 мин, в течение которых перемешивание повторяют еще 3 раза. Затем приступают к измерению электропроводности содержимого стаканчиков. Для этого электрод кондуктомера погружают в раствор и по шкале прибора снимают показания его электропроводности, которые являются исходными величинами для расчета содержания в мезге кондуктометрической золы (%) по формуле

$$KЗ = 657СЭ,$$

где 657 — эмпирический коэффициент для перевода показателей электропроводности в золу; С — константа измерительной каморки прибора; Э — электропроводность раствора в сименсах (См) с учетом электропроводности воды.

Измерять электропроводность раствора рекомендуется при температуре содержимого стаканчика 20 °С, при отклонении от указанной температуры содержание золы корректируют по таблице 57. При этом поправку прибавляют при температуре раствора ниже 20 °С и вычитают при температуре выше 20 °С.

57. Поправка на температуру раствора при определении содержания растворимой золы по электропроводности

Температура, °С	Содержание золы в пробе при константе каморки						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
20,2 и 19,8	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005
20,4 и 19,6	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
20,6 и 19,4	0,007	0,008	0,009	0,010	0,012	0,013	0,014
20,8 и 19,2	0,009	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020
21,0 и 19,0	0,11	0,013	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024
21,2 и 18,8	0,013	0,015	0,018	0,021	0,024	0,026	0,029
21,4 и 18,6	0,015	0,018	0,021	0,024	0,028	0,031	0,034
21,6 и 18,4	0,017	0,020	0,024	0,028	0,032	0,035	0,039
21,8 и 18,2	0,019	0,023	0,027	0,031	0,036	0,039	0,044
22,0 и 18,0	0,022	0,026	0,031	0,035	0,039	0,044	0,048
22,2 и 17,8	0,024	0,029	0,035	0,039	0,043	0,048	0,053
22,4 и 17,6	0,027	0,031	0,036	0,042	0,047	0,052	0,057
22,6 и 17,4	0,029	0,034	0,039	0,045	0,051	0,056	0,062
22,8 и 17,2	0,031	0,036	0,042	0,048	0,055	0,061	0,067
23,0 и 17,0	0,033	0,039	0,046	0,052	0,059	0,066	0,072
23,2 и 16,8	0,035	0,042	0,049	0,056	0,063	0,070	0,077
23,4 и 16,6	0,037	0,045	0,052	0,060	0,067	0,074	0,082
23,6 и 16,4	0,039	0,047	0,055	0,063	0,071	0,079	0,087
23,8 и 16,2	0,041	0,049	0,058	0,067	0,075	0,084	0,092
24,0 и 16,0	0,044	0,052	0,062	0,070	0,078	0,087	0,096
24,2 и 15,8	0,046	0,055	0,065	0,074	0,082	0,092	0,101
24,4 и 15,6	0,048	0,057	0,068	0,077	0,086	0,096	0,106
24,6 и 15,4	0,050	0,060	0,071	0,081	0,090	0,100	0,111
24,8 и 15,2	0,052	0,062	0,074	0,084	0,094	0,105	0,116
25,0 и 15,0	0,055	0,065	0,077	0,087	0,098	0,109	0,120

Для определения сахаристости к содержимому стаканчика, где уже определялось содержание золы, добавляют 1 мл маточного раствора свинцового уксуса, хорошо перемешивают стеклянной палочкой и оставляют на 3—5 мин для осветления раствора. Затем раствор отфильтровывают в чистый сухой сосуд и подвергают поляризации с использованием поляризационной трубки

длиной 400 мм. На шкале поляриметра показатели представлены процентным содержанием сахара в корнеплодах.

По содержанию кондуктометрической золы и сахара рассчитывают потери сахара с мелассой, выход сахара, выход мелассы и коэффициент МБ-фактор.

Потери сахара с мелассой (% к массе корнеплодов) определяют по формуле $ПМ = 3,76КЗ$,

где 3,76 — переводной коэффициент (постоянное число); КЗ — содержание кондуктометрической золы в корнеплодах, %.

В зоне достаточного увлажнения потери сахара с мелассой рекомендуется рассчитывать по формуле $ПМ = 5,454КЗ - 0,828$.

Выход сахара (% к массе корнеплодов) рассчитывают по формуле $Б = Д - 0,9 - ПМ$,

где Д — содержание сахара в корнеплодах, %; 0,9 — потери сахара в процессе производства до мелассы, %.

Выход мелассы из корнеплодов (%) определяют по формуле $М = 7,5КЗ$,

где 7,5 — эмпирический коэффициент.

МБ-фактор, который характеризует количество получаемой мелассы (кг) на каждые 100 кг производимого белого сахара, рассчитывают по формуле $МБ = М/Б$.

Определение содержания жира в растениеводческой продукции методом обезжиренного остатка. Метод обезжиренного остатка основан на экстрагировании жира органическими растворителями, чаще всего используют этиловый эфир.

Для анализа готовят пакетик из фильтровальной бумаги, после высушивания при температуре 105 °С его взвешивают и помещают в него 1—2 г измельченной растительной массы. После сушки в течение 2—3 ч в термостате с температурой 100—105 °С охлажденный в эксикаторе пакетик вновь взвешивают и помещают в экстрактор аппарата Сокслета. В колбу этого аппарата наливают эфир выше уровня сифона. Колбу с эфиром соединяют с экстрактором при помощи холодильника, через который пропускают холодную воду. Колбу с эфиром нагревают на водяной бане с такой интенсивностью, чтобы в течение 1 ч экстрактор наполнялся и опорожнялся 6—8 раз.

По окончании процесса экстракции пакетик вынимают из экстрактора, подсушивают под вытяжным шкафом, а затем высушивают в термостате при температуре 100—105 °С до постоянной массы. Охлажденный в эксикаторе пакетик взвешивают. Содержание жира в абсолютно сухой навеске (%) рассчитывают по формуле $Ж = 100 (b - c)/(b - a)$,

где b — масса пакетика с сухой навеской до экстрагирования, г; c — масса пакетика с сухим остатком жира после экстрагирования, г; a — масса высушенного пустого пакетика, г.

Определение содержания каротина по Циррелло. В основу этого метода положена способность каротина растворяться в органических растворителях. Для анализа в фарфоровую ступку помещают 1—3 г тонко измельченной свежей растительной массы, смачивают небольшим количеством бензина и перемешивают с 5 г чистого песка или измельченного стекла и 15 г сульфата натрия. Растертое до однородной массы содержимое ступки переносят в стеклянную мерную банку на 200 мл, ополоснув ступку небольшим количеством бензина. При этом в банку добавляют 10 г оксида алюминия и 5 г оксида кальция, а после доведения содержимого банки бензином до метки ее закрывают полиэтиленовой крышкой и помещают в темное место на 18—20 ч. Отстоявшийся прозрачный раствор отсасывают пипеткой с резиновой грушей в кювету фотоэлектроколориметра, а в контрольную кювету наливают чистый бензин. После фотоэлектроколориметрирования содержание каротина в растительном материале (мг/кг сырой массы) рассчитывают по формуле $K = 0,00416 \cdot 1000a/H$,

где 0,00416 — коэффициент перевода 1 мл исходного раствора бихромата калия в эквивалентное количество миллиграммов каротина; 1000 — коэффициент для перевода на 1 кг растительной массы; a — количество исходного раствора согласно рабочему графику, мл; H — навеска растительной массы, г.

Для построения рабочего графика готовят стандартный раствор, для чего 0,720 г бихромата калия растворяют дистиллированной водой в мерной колбе на 1 л. При этом 1 мг раствора будет соответствовать 0,00416 мг каротина. Для приготовления шкалы образцовых растворов в мерные колбы объемом 100 мл наливают 10, 20, 30, 40 и 50 мл стандартного раствора, после чего содержимое колб доводят дистиллированной водой до метки. В результате в 1 мл первой, второй, третьей, четвертой и пятой колб будет содержаться соответственно 0,000416; 0,000832; 0,001248; 0,001669 и 0,00208 мг каротина. Пропустив через фотоэлектроколориметр содержимое колб, на оси Y откладывают значения плотности растворов, а на оси X — концентрацию каротина в растворе. Точки пересечения этих показателей и будут основой для построения калибровочного рабочего графика, по которому определяют в приведенной формуле величину a .

Пример. Навеска растительной массы 1 г, оптическая плотность исследуемого раствора 0,2, что соответствует 20 мл исходного раствора бихромата калия.

В таком случае $K = (20 \cdot 0,00416 \cdot 1000)/1 = 83,2$ мг/кг.

Часть 4

ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ



4.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

4.1.1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ

Еще в Древней Греции высоко чтит математику, считая, что в природе все упорядочивается в соответствии с числами. В работах Аристотеля впервые появляются рассуждения о корреляциях. Более конкретно об использовании математики в исследованиях высказался в XV в. Леонардо да Винчи, который считал, что без применения математики недостоверна ни одна наука. В XVII в. Я. Бернулли показал, что при большом числе измерений средняя арифметическая становится постоянной. Кривая вероятности впервые была приведена в литературе Лапласом в 1783 г., а в 1795 г. К. Гаусс исследовал кривую распределения и ввел способ наименьших квадратов.

Дальнейшая история математической статистики связана с трудами Ф. Гальтона, который в 1889 г. разработал методику корреляционного и регрессионного анализов. Его работы продолжил К. Пирсон, развивший учение о кривых распределения в биологии, предложивший метод χ^2 . Теорию «малой выборки» обосновал в 1908 г. В. Госсет (псевдоним Стьюдент).

Особый вклад в математическую статистику внес английский математик Р. Фишер. В 1935 г. он опубликовал методику математического планирования экспериментов, а в 1938 г. — теорию статистической проверки гипотез — дисперсионный анализ. Продолжателями работ Р. Фишера стали Ф. Йейтс, много сделавший для разработки схем дисперсионного анализа, а также Дж. У. Снедекор, Т. Литтл, Ф. Хиллз и др.

В России методы статистической обработки в агрономических исследованиях впервые использовал в 1867—1869 гг. Д. И. Менделеев. Полную сводку методов математической статистики в 1909—1911 гг. составил А. В. Леонтович. С 1929 г. эти методы пропагандировал Н. Ф. Деревницкий, он же был первым, кто изложил идеи и методы Р. Фишера. С 1931 г. распространение методов математической статистики в агрономии связано с именем В. Н. Перегудова. Работа А. А. Любищева «Руководство по применению в биологии дисперсионного анализа Р. Фишера» — это превосходный анализ использования методов математической статистики в шестидесятых годах. Затем появляются солидные работы Н. А. Плохинского (1970), П. Ф. Рокицкого (1967),

В. Ю. Урбаха (1964), А. С. Молостова (1965) и др. Особым событием был выход книги Б. А. Доспехова «Методика полевого опыта» (1965), которая уже выдержала пять изданий и пользуется успехом как у студентов, так и у научных работников. Ценное пособие — работа Г. Ф. Лакина «Биометрия» (1980).

4.1.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Результаты агрономических исследований анализируют методами математической статистики, т. е. систематизируют, обрабатывают и делают обоснованные выводы и предложения. При этом оперируют определенными понятиями, терминами и символами.

Объекты исследований в агрономии — это отдельные растения, их группы и среда произрастания. Всем им свойственно явление изменчивости, или варьирования. Степень варьирования, выраженную математически, называют *вариацией*. Если тысячи семян одной и той же культуры, одного сорта посеять и выращивать в одинаковых условиях, растения всегда будут различаться по росту, массе, внешнему виду, урожаю, его качеству и т. д. Число таких растений или других объектов исследований представляет собой *генеральную совокупность*.

Для того чтобы точно определить среднюю высоту растения или среднее число клубней на нем, следовало бы в короткий срок, за несколько часов, измерить тысячи растений и сосчитать десятки тысяч клубней, что практически невозможно. Нецелесообразно также проращивать все семена, предназначенные для посева, чтобы определить их всхожесть. В подобных случаях следует воспользоваться *теорией вероятностей*, которая обобщает закономерности массовых случайных явлений. Согласно этой теории вместо сплошного учета всей генеральной совокупности большого объема для изучения можно брать определенную ее часть и судить по ней о состоянии совокупности в целом. Таким образом, по вероятностям одних случайных событий находят вероятность других, связанных с первыми.

Пусть в ящике будет 100 клубней картофеля: 30 — сорта Гатчинский и 70 — сорта Невский. Какова вероятность того, что первый взятый наугад клубень будет принадлежать сорту Гатчинский или Невский? Вероятность взять клубень сорта Гатчинский составит $30:100 = 0,3$, Невский — $70:100 = 0,7$. Таким образом, вероятность наступления определенного события есть отношение чисел всех возможных случаев к общей выборке. События, вероятность которых составляет более 0,5, называют вероятными, а менее 0,5 — маловероятными. В данном примере взять клубень Невского вероятно, а Гатчинского — маловероятно.

Отношение числа случаев с данным событием n к числу всех возможных случаев N составляет *уровень вероятности* P . $P = n/N$.

Вероятность невозможного события равна нулю. Например, вероятность вынуть клубни сорта Волжанин, которых не было в ящике ($n = 0$), составит $P = 0/N = 0$. Вероятность обязательного события равна единице. Так, если в ящике все 100 клубней принадлежат одному сорту ($n = 100$; $N = 100$), то $P = n/N = 1$. Вероятность, равная единице, называется достоверной.

Нормальное распределение. Если часть (выборка) генеральной совокупности составляет не менее 30 членов и стремится к бесконечности ($n \rightarrow \infty$), то для такой части используют закономерности больших чисел, установленные для кривой нормального распределения (распределения Гаусса), показанной на рисунке 40.

Как видно из рисунка, в области $\mu \pm \sigma$, или $x \pm S$, находится 68,26 % всех наблюдений, в области $\mu \pm 2\sigma$, или $x \pm 2S$, — 95,46, в области $\mu \pm 3\sigma$, или $x \pm 3S$, — 99,73 %.

Площадь под кривой, находящуюся на t стандартных отклонений влево и вправо от x , называют уровнем вероятности и выражают в процентах либо в долях единицы.

Для анализа результатов полевых опытов пользуются уровнем доверительной вероятности, равным 0,95, и записывают его символом $P_{0,95}$, а для более ответственных анализов — уровнем 0,99 ($P_{0,99}$). На уровне доверительной вероятности $P_{0,95}$ исследователь, утверждая или отрицая какое-либо явление, положение, рискует ошибиться в 5 случаях из 100, на уровне $P_{0,99}$ — в 1 случае из 100.

Иногда пользуются не уровнем доверительной вероятности, а *уровнем значимости* P_1 , который рассчитывают по формуле $P_1 = 1 - P$. Эмпирические распределения в отличие от теоретических не всегда симметричны. У них может быть не одна, а несколько вершин. Это свидетельствует о неоднородности выборки: в нее могут попасть, например, растения другого сорта или сильно отличающегося варианта.

Малые выборки. Наряду с большими выборками ($n > 30$) в агрономических исследованиях часто пользуются выборками с $n < 30$, например, в опыте может быть 4—8 повторностей или

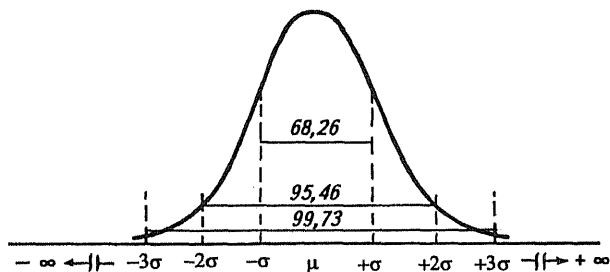


Рис. 40. Кривая нормального распределения теоретического (μ, σ) и эмпирического (\bar{x}, S)

10—12 вариантов. Выборки, состоящие менее чем из 30 членов, называют *малыми выборками*; на них нельзя переносить законы больших чисел. Для малых выборок применяют распределение вероятностей Стьюдента (В. Госсета), которое получило название закона малых выборок, и критерий Стьюдента, обозначаемый буквой t (табл. 58). По таблице можно найти величину вероятности, зная значение t , либо значение t , зная величину вероятности. Предварительно рассчитывают *число степеней свободы* (ν) — число возможных независимых сравнений.

58. Значение t (критерия Стьюдента) для малых выборок

Число степеней свободы	Уровни доверительной вероятности (P)			
	0,900	0,950	0,990	0,998
1	6,31	12,71	63,66	318,54
2	2,92	4,30	9,93	22,38
3	2,35	3,18	5,84	10,24
4	2,13	2,78	4,60	7,58
5	2,02	2,57	4,03	5,90
6	1,94	2,45	3,71	5,20
7	1,90	2,37	3,50	4,80
8	1,86	2,31	3,36	4,50
9	1,83	2,26	3,25	4,30
10	1,81	2,23	3,17	4,15
11	1,80	2,20	3,11	4,00
12	1,78	2,18	3,06	3,95
13	1,77	2,16	3,01	3,85
14	1,76	2,15	2,98	3,80
15	1,75	2,13	2,95	3,75
16	1,75	2,12	2,92	3,70
17	1,74	2,11	2,90	3,65
18	1,73	2,10	2,88	3,60
19	1,73	2,09	2,86	3,57
20	1,73	2,09	2,85	3,55
21	1,72	2,08	2,83	3,50
22	1,72	2,07	2,82	3,45
23	1,71	2,07	2,81	3,40
24	1,71	2,06	2,80	3,35
25	1,71	2,06	2,79	3,30
26	1,71	2,06	2,78	3,25
27	1,70	2,05	2,77	3,20
28	1,70	2,05	2,76	3,15
29	1,70	2,04	2,76	3,10
30	1,64	1,96	2,58	3,00

Пусть имеется шесть повторностей ($n = 6$), от каждой из которых зависит средняя арифметическая \bar{x} . Для того чтобы получить число степеней свободы повторностей (ν_p), т. е. число не связанных один с другим элементов, уменьшают число повторностей на единицу. Тогда $\nu_p = n - 1$. Число степеней свободы для вариантов (ν_v) вычисляют по формуле $\nu_v = l - 1$, где l — число вариантов. Для шести повторностей опыта $\nu_p = n - 1 = 6 - 1 = 5$. Критерий Стьюдента $t_{0,95} = 2,57$. Отыскав в первой колонке таблицы 58 число 5 и в третьей критерий 2,57, приходят к заключению, что опыт проводится на уровне доверительной вероятности $P_{0,95}$, вполне достаточной для полевого опыта. Выбрав уровень вероятности и рассчитав критерий t , можно найти оптимальное число повторностей, прибавив к числу степеней свободы единицу. Пусть в опыте $P_{0,95}$, а $t_{0,95} = 3,18$. Тогда оптимальная повторность n составит $\nu_p + 1 = 3 + 1 = 4$.

Критерий достоверности (существенности). Критерий — это показатель, позволяющий судить о надежности выводов, подтверждающих или опровергающих статистическую гипотезу. Чаще всего пользуются нулевой гипотезой (H_0). Нулевая гипотеза — предположение об отсутствии реального различия между фактическими и ожидаемыми (теоретическими) наблюдениями, например различия между средними значениями вариантов по урожаю, его качеству, росту растений и т. д. Для двух средних арифметических \bar{x}_1 и \bar{x}_2 нулевую гипотезу записывают так: $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$.

Для проверки статистических гипотез используют *критерий достоверности*. Синонимы термина «достоверность» — существенность, иногда значимость, несомненность, весомость. Большинство специалистов по математической статистике рекомендуют использовать понятие «критерий достоверности», некоторые — «критерий существенности».

Для проверки нулевых гипотез используют параметрические и непараметрические критерии.

П а р а м е т р и ч е с к и е критерии достоверности применимы лишь для нормального распределения, это критерий Стьюдента (t), критерий Фишера (F).

Критерий достоверности Стьюдента (t) прямо пропорционален разности средних арифметических ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2$) или разности между долями ($p_1 - p_2$) и обратно пропорционален ошибке разности (s_d). Расчетное, фактическое значение критерия t сравнивают с теоретическими значениями на определенных уровнях значимости (см. табл. 1 приложений).

Критерий достоверности Фишера (F) прямо пропорционален дисперсии вариантов (s_v^2) и обратно пропорционален дисперсии остатка (s_z^2). Его фактическое значение сравнивают с теоретическим, которое находят в таблице (см. табл. 2, 3 приложений).

Не все выборки из биологических объектов распределяются

нормально, поэтому для проверки нулевых гипотез используют непараметрические критерии: χ^2 -критерий, T -критерий, критерий знаков (Z), которые здесь не рассматриваются.

4.1.3. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

Математическую статистику используют прежде всего для планирования опытов. В хорошо спланированном опыте должно быть достаточное число вариантов, повторностей, все варианты в начале опыта должны находиться в одинаковых условиях. Очень важен также выбор метода статистической обработки результатов.

Существенная задача математической статистики — отобрать в спланированном и заложенном опыте объекты для исследований, которые будут объективно отражать влияние изучаемых факторов. В данном случае речь идет об использовании метода рендомизации при отборе образцов для опыта.

Не менее важно определить число образцов для исследований, т. е. оптимизировать объем выборки.

В процессе предварительной обработки данных иногда приходится восстанавливать выпавшие данные (числа), а также браковать сомнительные. Для этого в малых выборках используют критерий τ (тау), а в больших — интервальную оценку средних арифметических по формуле $\bar{x} \pm tS_{\bar{x}}$. Примеры таких задач приведены далее.

В проведенном опыте определяют достоверность различий между средними арифметическими исследуемых выборок. Эти задачи решают с применением критериев достоверности t , F , а также наименьшей существенной разности (НСР). Во многих исследованиях возникает необходимость определить взаимосвязи и зависимости между различными показателями, для чего используют коэффициент корреляции (r) и корреляционное отношение (η).

Прогнозируют или отыскивают неизвестные показатели по уже известным с помощью регрессионного анализа, составляя уравнения регрессии для линейных и криволинейных зависимостей.

Почти во всех исследованиях возникает вопрос о точности опытов. Ее характеризуют значением относительной ошибки $s_{\bar{x}}\%$.

Очень существенно, что математическую статистику можно применять лишь в методически правильно спланированных и проведенных опытах. Опыты, не отвечающие этим условиям, следует немедленно браковать.

4.2. АНАЛИЗ ВАРИАЦИОННЫХ РЯДОВ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ И КАЧЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

4.2.1. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Различают изменчивость количественную и качественную. Количественно изменяться могут масса урожая, процент сахара, кислот, витаминов, крахмала или белка в урожае, размеры растений, содержание питательных элементов в почве, т. е. все, что имеет массу, размер, объем и т. п. В свою очередь, количественную изменчивость подразделяют на непрерывную и прерывистую. Первая выражается в основном дробными числами, вторая — только целыми. Все перечисленные ранее показатели представляют непрерывную изменчивость. Примером прерывистой изменчивости может быть число завязей, семян, листьев, побегов на растениях, число самих растений, т. е. все показатели, представляющие единое целое.

Ход анализа вариационных рядов количественной изменчивости зависит от объема выборки — малого (< 30 единиц) или большого (> 30 единиц). Как для малых, так и для больших выборок вычисляют следующие основные статистические характеристики: среднюю арифметическую \bar{x} , дисперсию s^2 , стандартное отклонение s , ошибку средней арифметической $s_{\bar{x}}$, коэффициент вариации V , относительную ошибку средней арифметической $s_{\bar{x}}\%$. В конце анализа дают интервальную оценку средней арифметической.

4.2.1.1. МАЛЫЕ ВЫБОРКИ

Примером малых выборок может быть число повторностей, которое чаще всего колеблется от 3 до 6. К малым выборкам относится также число колосков в колосе, клубней картофеля в кусте, семян гороха в бобах и т. п.

Для малых выборок вычисляют такие статистические характеристики: средние арифметические, дисперсии, стандартные отклонения, коэффициенты вариации, ошибки выборочных средних, относительные ошибки и др.

Средняя арифметическая простая (\bar{x}). Для вычислений используем, например, данные учета числа листьев кукурузы на полях с равномерным и очень неравномерным внесением удобрений (табл. 59).

59. Зависимость числа листьев кукурузы на одном растении от равномерности внесения удобрений

Внесение удобрений	Повторение				\bar{x}
	I	II	III	IV	
Равномерное	14	18	13	15	15
Очень неравномерное	16	7	20	17	15

Варьирующий показатель — число листьев — обозначим буквой X , количество повторений — n . Среднюю арифметическую простую вычисляют по формуле

$$\bar{x} = \Sigma X/n.$$

Для варианта с равномерным внесением удобрений средняя арифметическая $\bar{x}_1 = \Sigma X/n = (14+18+13+15)/4 = 15$ листьев.

Для варианта с очень неравномерным внесением удобрений $\bar{x}_2 = \Sigma X/n = (16+7+20+17)/4 = 15$ листьев.

Итак, средние арифметические одинаковые, но размах вариации (R) разный. При равномерном внесении удобрений $R_1 = X_{\max} - X_{\min} = 18 - 13 = 5$, а при очень неравномерном внесении $R_2 = X_{\max} - X_{\min} = 20 - 7 = 13$. Следовательно, число листьев варьирует более значительно, когда создается пестрота во внесении удобрений.

Средняя арифметическая является основной статистической характеристикой вариационного ряда, все остальные лишь объясняют ее.

Дисперсия. При повторных исследованиях для других выборок одной и той же совокупности размах вариации может быть другим, т. е. он не является характерным показателем варьирования. Более полно вариационный ряд характеризует дисперсия s^2 — средний квадрат отклонений каждого члена вариационного ряда (X_1, X_2, \dots, X_n) от средней арифметической. Дисперсию вычисляют по формуле $s^2 = \Sigma(X - \bar{x})^2/(n - 1)$.

Для вычисления дисперсии составляют таблицу (табл. 60).

60. Вычисление квадратов отклонений от \bar{x}

Равномерное внесение				Очень неравномерное внесение			
Повторение	x	$X - x$	$(X - x)^2$	Повторение	X	$X - x$	$(X - x)^2$
I	14	-1	1	I	16	1	1
II	18	3	9	II	7	-8	64
III	13	-2	4	III	20	5	25
IV	15	0	0	IV	17	2	4
$\bar{x}_1 = 15 \quad \Sigma = 0 \quad \Sigma(X - \bar{x})^2 = 14$				$\bar{x}_2 = 15 \quad \Sigma = 0 \quad \Sigma(X - \bar{x})^2 = 94$			

Подставив данные в формулу, получают дисперсии:

$$s_1^2 = 14/(4-1) = 4,67 \text{ и } s_2^2 = 94/(4-1) = 31,3 \text{ листа.}$$

Дисперсии характеризуют не только величину изменения вариационных рядов, но и специфику варьирования. Дисперсия для второго варианта почти в семь раз превосходит дисперсию для первого.

Стандартное отклонение (s). Этот показатель представляет собой корень квадратный из дисперсии и вычисляется по формуле $s = \sqrt{s^2}$. В вариантах с равномерным внесением удобрений $s_1 = \sqrt{4,67} = 2,16$, с неравномерным $s_2 = \sqrt{31,1} = 5,59$. Как и дисперсия, стандартное отклонение выражается в тех же единицах измерения, что и характеризуемый им признак. Чем сильнее варьирует показатель, тем больше числовое значение стандартного отклонения. В расчетах оно является более удобной характеристикой, чем дисперсия.

Коэффициент вариации. Дисперсия и стандартное отклонение непригодны, когда в опытах сравнивают изменчивость признаков, выраженных разными единицами измерения (масса урожая, т, число плодов, длина побегов, см, площадь листьев, см², и др.). В этих случаях пользуются коэффициентом вариации. Коэффициент вариации V — это отношение стандартного отклонения s к средней арифметической, выраженное в процентах: $V = 100(s/\bar{x})$. Коэффициент вариации первого варианта составляет $V_1 = 100(2,16/15) = 14,4 \%$, второго — $V_2 = 100(5,59/15) = 37,3 \%$, т. е. у последнего варьирование увеличено более чем в два раза.

Сравним вариационный ряд урожая, где средняя арифметическая $\bar{x}_1 = 1,06$ т, а стандартное отклонение $s_1 = 0,18$ т, с вариационным рядом площади листьев, где средняя арифметическая $\bar{x}_2 = 32,4$ см², а стандартное отклонение $s_2 = 2,5$ см². Коэффициент вариации урожая составит $V_1 = 100(0,18/1,06) = 17 \%$, а площади листьев — $V_2 = 100(0,25/3,24) = 7,72 \%$.

Если судить только по стандартным отклонениям, то можно сделать ошибочный вывод, что урожай варьирует меньше, чем площадь листьев. Однако коэффициенты вариации свидетельствуют о том, что урожай варьирует в два раза сильнее, чем площадь листьев.

Коэффициент вариации не превышает 50 %, если распределение симметрично, при сильно асимметричных распределениях он может достигать 100 % и более. Принято считать варьирование незначительным, если коэффициент вариации находится в пределах 10 %, средним, если он равен 10...20 %, и значительным, если он превышает 20 %. Коэффициент вариации используют для расчета объема выборки, числа повторностей при планировании опытов (см. разделы 1.6, 1.7).

Ошибка выборочной средней. Средние арифметические имеют ошибки, которые возникают в результате неполной представительности выборки. Эти ошибки свойственны только выбороч-

ному методу исследования, их числовое значение зависит как от степени изменчивости изучаемого признака, так и от объема выборки. Ошибку выборочной средней вычисляют по формуле

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\Sigma(X - \bar{x})^2}{n(n-1)}}.$$

В нашем примере с внесением удобрений и четырьмя повторностями ($n = 4$), где уже вычислены значения $\Sigma(X - \bar{x})^2$, ошибка выборочной средней для первого варианта составит

$$s_{\bar{x}_1} = \sqrt{14/4(4-1)} = 1,08,$$

а для второго

$$s_{\bar{x}_2} = \sqrt{94/4(4-1)} = 2,8.$$

Ошибку стандартного отклонения s_s рассчитывают по формуле $s_s = s/\sqrt{2n}$. Формула для расчета ошибки коэффициента вариации имеет вид $s_v = V/\sqrt{2n}$. Все эти ошибки выражают в тех же единицах, что и варьирующий признак, приписывая их к соответствующим характеристикам $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$. Таким образом определяют предельное числовое значение средней арифметической. Если это значение желают определить с вероятностью 0,997, то $s_{\bar{x}}$ утраивают: $\bar{x} \pm 3s_{\bar{x}}$. Тогда на уровне вероятности $P_{0,997}$ наименьшее значение средней арифметической для первого варианта будет $\bar{x} - 3s_{\bar{x}_1} = 15 - 3 \cdot 1,08 = 11,76$ листа, а наибольшее $\bar{x} + 3s_{\bar{x}_1} = 15 + 3 \cdot 1,08 = 18,24$ листа. На уровне вероятности $P_{0,95}$ предельное значение определяют, вычитая или прибавляя к средней арифметической $2s_{\bar{x}}$, тогда $\bar{x}_1 - 2s_{\bar{x}_1} = 15 - 2 \cdot 1,08 = 12,84$ листа, а $\bar{x}_2 + 2s_{\bar{x}_2} = 15 + 2 \cdot 1,08 = 17,16$ листа.

Относительная ошибка выборочной средней $s_{\bar{x}}\%$ — это отношение ошибки выборочной средней к соответствующей средней арифметической, выраженное в процентах:

$$s_{\bar{x}}\% = 100(s_{\bar{x}}/\bar{x}).$$

Чем меньше относительная ошибка, тем выше точность средней арифметической. Точность принято считать высокой при $s_{\bar{x}}\% \leq 3\%$, средней при $s_{\bar{x}}\% = 3...6\%$ и низкой при $s_{\bar{x}}\% > 6...7\%$. Сомнительны результаты полевых опытов, в которых значение относительных ошибок выражается десятными и сотыми долями процентов. В таких случаях следует говорить либо о погрешности в расчетах, либо, к сожалению, о недобросовестности исследователя.

4.2.1.2. БОЛЬШИЕ ВЫБОРКИ

Для больших выборок статистические характеристики можно вычислять способом произведений, но он трудоемок, особенно при наличии многозначных чисел и очень большом объеме выборки. Более удобен способ условной средней, т. е. от произвольного начала A . При этом способе все данные ранжируют, выделяют группы с определенным интервалом i , определяют частоту f , т. е. число членов в каждой группе вариационного ряда.

Вариационный ряд — ряд ранжированных чисел, для которых указаны значения варьирующего признака и соответствующие им частоты (т. е. сколько раз повторяется тот или иной признак).

Пример. В опыте с озимой пшеницей взяли подряд 40 колосьев ($n=40$), измерили их длину (в см) и результаты разместили в возрастающем порядке: 4,2; 4,5; 4,6; 4,7; 4,9; 5,4; 5,5; 5,6; 5,8; 5,9; 6,0; 6,0; 6,3; 6,4; 6,5; 6,7; 6,7; 6,8; 6,9; 6,9; 7,1; 7,2; 7,2; 7,3; 7,3; 7,3; 7,4; 7,4; 7,8; 7,8; 7,9; 8,2; 8,5; 8,7; 8,8; 9,1; 9,6; 9,9; 10,1; 10,7.

Обработку вариационного ряда ведут в такой последовательности. Определяют число групп по формуле $\mathcal{C}_r = \sqrt{n} = \sqrt{40} \approx 6...7$ групп. Как правило, когда n находится в пределах 30...60, берут 6...7 групп, 60...100 — 7...8, более 100 — 8...15 групп.

Вычисляют интервал групп (колосьев) по формуле

$$i = (X_{\max} - X_{\min}) / \mathcal{C}_r = (10,7 - 4,2) / 6 \approx 1 \text{ см.}$$

Значения интервала группы для удобства расчетов округляют до целого числа. Последующие расчеты проводят, записывая результаты в таблицу (табл. 61).

61. Таблица для обработки вариационного ряда (большие выборки)

Группы, см	Среднее значение группы X	Частота f	Отклонения $X-A$	$f(X-A)$	$(X-A)^2$	$f(X-A)^2$
4,2—5,2	4,7	5	-2,2	-11,0	4,84	24,20
5,3—6,3	5,8	8	-1,1	-8,8	1,21	9,68
6,4—7,4	6,9 (A)	15	0	0	0	0
7,5—8,5	8,0	5	1,1	5,5	1,21	6,05
8,6—9,6	9,1	4	2,2	8,8	4,84	19,36
9,7—10,7	10,2	3	3,3	9,9	10,89	32,67
		$\Sigma f = 40$		$\Sigma f(X-A) = 4,4$		$\Sigma f(X-A)^2 = 91,96$

Первая группа начинается наименьшим числом (4,2), к которому прибавляют интервал группы i , составляющий 1 см.

Последующие группы образуются аналогично. Вычисляют среднее значение групп, одно из которых берется за произвольное начало (A). Оно должно быть в середине групп и иметь наибольшую частоту. Таким числом является 6,9, его частота составляет 15.

Сумма всех чисел должна быть равной объему выборки (n): $\Sigma f = n = 40$. Вычитая значения из произвольного начала, получают отклонения $X-A$ (со знаками «+» или «-»).

Дальнейшие расчеты ведут по формулам:

$$\text{произвольный момент первой степени } b = \Sigma f(X - A) / n = 4,4 / 40 = +0,11;$$

$$\text{средняя арифметическая } \bar{x} = A + b = 6,9 + 0,11 = 7,01 \text{ см};$$

$$\text{корректирующий фактор } C = [\Sigma f(X - A)]^2 / n = 4,4^2 / 40 = 0,484;$$

$$\text{дисперсия } s^2 = \Sigma f(X - A)^2 / (n - 1) = 91,96 - 0,484 / (40 - 1) = 2,35;$$

$$\text{стандартное отклонение } s = \sqrt{s^2} = \sqrt{2,35} = 1,53 \text{ см};$$

$$\text{коэффициент вариации } V = 100s / \bar{x} = 100 \cdot 1,53 / 7,01 = 21,8 \%;$$

$$\text{ошибка выборочной средней } s_{\bar{x}} = s / \sqrt{n} = 1,53 / \sqrt{40} = 1,53 / 6,325 = 0,242 \text{ см};$$

$$\text{относительная ошибка среднего арифметического } s_{\bar{x}}\% = s_{\bar{x}} \cdot 100 / \bar{x} = 0,242 \cdot 100 / 7,01 = 3,45 \%.$$

Интервальную оценку средней арифметической дают на двух уровнях вероятности: $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$.

Вычисляют число степеней свободы $\nu = n - 1 = 40 - 1 = 39$.

По таблице Стьюдента находят теоретические значения критерия $t_{0,95}$ и $t_{0,99}$, которые подставляют в формулу для интервальной оценки $\bar{x} \pm t s_{\bar{x}}$. Произведение $t s_{\bar{x}}$ называют областью индивидуального рассеивания. Подставив в формулу вычисленные значения, а также $t_{0,95} = 2,04$ и $t_{0,99} = 2,75$, имеем интервал для $P_{0,95}$ 6,52...7,50 см и для $P_{0,99}$ 6,34...7,65 см.

Изображают вариационный ряд графически (рис. 41) и делают выводы:

1) средняя арифметическая длины колоса 7,01 см;

2) $V = 21,8$ свидетельствует о значительной вариации длины колосьев;

3) значение относительной ошибки 3,45 % указывает на то, что средняя арифметическая вычислена с удовлетворительной точностью;

4) к данному вариационному

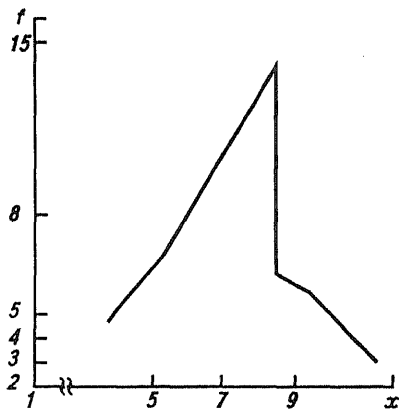


Рис. 41. Графическое изображение вариационного ряда:

x — значения варьирующего показателя;
 f — частота

ряду относятся колосья в интервале 6,52...7,50 на уровне $P_{0,95}$ и 6,34...7,35 на уровне $P_{0,99}$;

5) на графике кривая вариационного ряда имеет одну вершину, что свидетельствует об однородности выборки.

4.2.2. КАЧЕСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

При качественной изменчивости в выборке имеется одна из двух возможностей (альтернатив) — данный признак либо есть, либо отсутствует. Такую изменчивость называют еще альтернативной. В опытах с качественной изменчивостью вместо измерения какого-либо показателя подсчитывают число объектов с тем или иным признаком. Примеры качественной изменчивости: число поврежденных и здоровых растений, число подмерзших растений, число испортившихся и здоровых клубней картофеля в хранилище и т. п.

Для анализа качественной изменчивости вычисляют следующие статистические характеристики: долю наличия признака p , долю отсутствия признака q , показатель изменчивости качественного признака s , коэффициент вариации V_p , ошибку выборочной доли s_p . Общий объем выборки обозначают буквой N , а число объектов с данным признаком — n .

Доля наличия признака — это отношение числа объектов с данным признаком к общему числу объектов, т. е. к объему выборки, рассчитанное по формуле $p = n/N$. Пусть в выборке из 100 клубней картофеля сорта Темп 30 поражены паршой, а в выборке из 100 клубней сорта Пригожий — 10. Обозначив характеристики для сорта Темп p_1, n_1, N_1 , а для сорта Пригожий p_2, n_2, N_2 , получим

$$p_1 = n_1/N_1 = 30/100 = 0,3; p_2 = n_2/N_2 = 10/100 = 0,1.$$

Доля отсутствия признака — это разность между целым, т. е. единицей, и долей наличия признака, рассчитанная по формуле $q = 1 - p$. Для сорта Темп $q_1 = 1 - p_1 = 1 - 0,3 = 0,7$, для сорта Пригожий $q_2 = 1 - p_2 = 1 - 0,1 = 0,9$.

Показатель изменчивости качественного признака для альтернативной изменчивости, т. е. когда изучаемый объект имеет две градации, как в нашем случае (пораженные и непораженные клубни), рассчитывают по формуле $s = \sqrt{pq}$. Для сорта Темп $s_1 = \sqrt{p_1 q_1} = \sqrt{0,3 \cdot 0,7} = 0,458$, а для сорта Пригожий $s_2 = \sqrt{p_2 q_2} = \sqrt{0,1 \cdot 0,9} = 0,3$.

Максимальная изменчивость наблюдается при $p = q = 0,5$. При этом показатель s изменчивости также равен 0,5:
 $s_{\max} = \sqrt{0,5 \cdot 0,5} = 0,5$.

Если изучаемый объект имеет более двух градаций, например,

в выборке есть плоды томата зеленые, бурые, спелые и перезревшие, то показатель изменчивости вычисляют по формуле

$$s = \frac{k}{\sqrt{p_1 p_2 \dots p_k}},$$

где p_1, p_2, \dots, p_k — доли признака от общего объема выборки; k — число градаций признака.

Так, если среди 100 плодов томата оказалось 15 зеленых, 35 бурых, 40 спелых и 10 перезревших, при $k = 4$
 $s = \sqrt{0,15 \cdot 0,35 \cdot 0,40 \cdot 0,1} = 0,214$.

Коэффициент вариации — отношение показателя изменчивости к его максимальному значению, выраженное в процентах, вычисляют по формуле $V_p = 100 (s / s_{\max})$.

Для сорта Темп коэффициент вариации составит $V_{p_1} = 100 (0,458 / 0,4) = 91,6 \%$, а для сорта Пригожий $V_{p_2} = 100 (0,3 / 0,5) = 60 \%$. Максимальное значение коэффициента вариации 100 % наблюдается при $s = s_{\max} = 0,5$.

Ошибка выборочной доли — это мера отклонения от доли наличия признака, которую для альтернативной изменчивости вычисляют по формуле $s_p = \sqrt{pq / N}$. Для изучаемых сортов картофеля ошибка выборочной доли составит $s_{p_1} = \sqrt{p_1 q_1 / N_1} = \sqrt{0,3 \cdot 0,7 / 100} = 0,046$, $s_{p_2} = \sqrt{p_2 q_2 / N_2} = \sqrt{0,1 \cdot 0,9 / 100} = 0,03$. Интервальную оценку доли дают по формуле $p \pm 2s_p$ на уровне доверительной вероятности $P_{0,95}$ и $p \pm 3s_p$ на уровне вероятности $P_{0,99}$. Эти интервалы для сорта Темп при $P_{0,95}$ составят $0,3 - 2 \cdot 0,46 = 0,3 - 0,092 = 0,208$; $0,3 + 0,092 = 0,392$. Итак, нижняя граница интервала 0,208 доли, а верхняя — 0,392 доли. Если градаций более двух, то ошибку выборочной доли вычисляют по формуле $s_p = s / \sqrt{N}$, где s — показатель изменчивости, а N — объем выборки. Для примера со 100 плодами томата, имеющими четыре градации зрелости и $s = 0,214$, значение ошибки выборочной доли составит $s_p = 0,214 / \sqrt{100} = 0,021$.

В пределах двойной ошибки выборочной доли все значения доли укладываются с вероятностью $P_{0,95}$, в пределах тройной ошибки — с вероятностью $P_{0,99}$.

4.3. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ К СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Перед статистической обработкой данные необходимо соответствующим образом подготовить: округлить, вычислить средние арифметические по каждой опытной делянке и варианту, выбраковать сомнительные и восстановить выпавшие данные, преобразовать их.

Округление опытных данных. В исследованиях пользуются следующим правилом: для получения достаточно точных чисел

необходимо иметь опытные данные с тремя значащими цифрами. Так, урожай следует записывать 0,187; 1,87; 18,7 т/га.

Для более тщательного округления используют уменьшенное в 4 раза стандартное отклонение определенного вариационного ряда. Если первой значащей цифрой для $s/4$ окажется целое число, то данные округляют до целого числа.

При расчете суммы квадратов берут дополнительную цифру, т. е. если исходные данные имеют десятые доли, то квадраты вычисляют до сотых. Если цифра за последней значащей цифрой больше 5 или после 5 следует цифра больше нуля, то последнюю значащую цифру увеличивают на единицу. Так, числа 84,67 и 84,651 округляют до 84,7. Если за последней значащей цифрой стоит 5, а затем нули, то последнюю значащую нечетную цифру увеличивают на единицу: $84,550 = 84,6$, а четная цифра остается неизменной: $84,450 = 84,4$.

Вычисление средних арифметических. Вычисление простых средних арифметических было показано ранее. Однако иногда в опытах урожай собирают с разных площадей. Так, на участке площадью 0,5 га урожайность картофеля (X_1) составила 13,0 т/га, а на участке площадью 16 га (X_2) — 11,0 т/га. Средняя арифметическая, рассчитанная по формуле простой, $\bar{x} = (13,0 + 11,0) / 2 = 12,0$ га. Но так как площади участков очень различаются, следует вычислять взвешенную среднюю арифметическую

$$\bar{x}_{\text{взв}} = \frac{x_1f_1 + x_2f_2 + \dots + x_nf_n}{\Sigma f} = \frac{13,0 \cdot 0,5 + 11,0 \cdot 16}{0,5 + 16} = 11,1 \text{ т/га.}$$

Таким образом, она будет на 0,9 т меньше средней арифметической. После вычисления средних арифметических по каждой опытной делянке необходимо проверить гипотезу о принадлежности сомнительных данных к совокупности. Речь идет о браковке тех данных, которые достоверно отличаются от всех остальных в конкретных вариационных рядах.

Браковка сомнительных данных. Сомнительные данные, которые значительно отличаются от всех остальных данных какого-либо варианта, определяют только с помощью математической статистики. Субъективная браковка данных недопустима. Рассмотрим это на конкретном примере.

В одном из вегетационных опытов, где была 6-кратная повторность в варианте с двойной дозой азота, учли массу растений и получили следующие результаты, г на сосуд: 20,8; 19,0; 10,1; 19,9; 21,0; 22,0. Чтобы убедиться, что все данные принадлежат к определенному вариационному ряду, выполняют следующие операции.

1. Ранжируют вариационный ряд в возрастающем порядке: 10,1; 19,0; 19,9; 20,8; 21,0; 22,0. Двум первым и двум последним данным присваивают обозначения X_1 , X_2 , X_{n-1} , X_n . Наиболее

сомнительными будут крайние, т. е. 10,1 и 22,0. Их сомнительность проверяют путем расчета критерия τ для X_1 и X_n по формулам

$$\tau_1 = \frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1} = \frac{19,0 - 10,1}{21,0 - 10,1} = 0,817;$$

$$\tau_n = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2} = \frac{22 - 21}{22 - 19} = 0,333.$$

2. Находят критерии τ теоретические (см. табл. 7 приложений). При значении $n = 6$ $\tau_{0,95} = 0,689$, $\tau_{0,99} = 0,805$.

3. Сравнивают критерии τ расчетные с теоретическими. Если τ расчетные больше или равны τ теоретическим, то проверяемые данные сомнительны.

Выводы: 1) так как $\tau_1 = 0,817$, т. е. больше $\tau_{0,95}$ и $\tau_{0,99}$, то проверяемый результат (10,1) сомнителен и должен быть забракован. Это утверждается не только на уровне доверительной вероятности $P_{0,95}$, но и на уровне $P_{0,99}$, когда по теории вероятностей возможность ошибиться составляет один случай на 100; 2) $\tau_n = 0,333$, т. е. меньше $\tau_{0,95}$ и $\tau_{0,99}$, следовательно, проверяемые данные 22,0 не сомнительны и не должны браковаться.

Итак, среднюю арифметическую следует вычислять не из шести, а из пяти оставшихся данных: $(19,0 + 19,9 + 20,8 + 21,0 + 22,0) / 5 = 20,7$ г.

Без браковки сомнительных данных средняя арифметическая была бы значительно заниженной: $\bar{x} = (10,1 + 19,0 + 19,9 + 20,8 + 21,0 + 22,0) / 6 = 18,8$ г.

Следует отметить, что браковать сомнительные данные по приведенным формулам можно при числе повторностей не менее 4.

Восстановление выпавших данных. Обработка данных часто осложняется выпадением данных на некоторых делянках опыта (повреждения растений птицами, вредителями, затопление делянки после ливней, проезд транспорта и т. д.).

Из-за выпадения данных средние арифметические в вариантах могут быть либо завышены, если выпал результат с очень низким числовым значением, либо занижены, если выпал результат с наибольшим числовым значением. Из-за этого возникают ошибки, которые можно устранить, если восстановить выпавшие данные, т. е. вычислить их наиболее вероятные значения. При выпадении одного результата пользуются формулой

$$X_{\text{вос}} = \frac{lV + nP - \Sigma X}{(l-1)(n-1)},$$

где l — число вариантов; V — сумма данных в варианте, где выпал результат; n — число повторностей в опыте; P — сумма данных в повторности, где выпал

результат; ΣX — сумма данных во всем опыте, за исключением выпавшего результата.

Для примера возьмем урожайность зерна кукурузы в одном из опытов (З. М. Грицаенко, 1985) и результаты запишем в таблицу 62. Для удобства расчетов в этом и последующих примерах будем выражать урожайность в центнерах с гектара (1 ц = 100 кг).

62. Зависимость урожайности кукурузы (ц/га) от внесения разных доз агелона

Вариант	Урожайность в повторениях		
	I	II	III
1. Без агелона	40	39	40
2. Агелон (1 кг/га)	39	X	42
3. Агелон (1,5 кг/кг)	42	44	43
4. Агелон (2,0 кг/га)	43	47	46

Как видно, во втором повторении второго варианта отсутствует результат, и его надо восстановить.

$$V = 39 + 42 = 81;$$

$$P = 39 + 44 + 47 = 130;$$

$$\Sigma X = 40 + 39 + 40 + 39 + 42 + 42 + 44 + 43 + 43 + 47 + 46 = 465.$$

Подставив числовые значения в формулу, получим

$$X_{\text{вос}} = \frac{4 \cdot 81 + 3 \cdot 130 - 465}{(4 - 1)(3 - 1)} = 41,2 \text{ ц/га.}$$

Восстановленный результат ставят на выпавшее место и выполняют соответствующий анализ. При выпадении одновременно нескольких данных в одном опыте можно использовать метод статистической обработки для опытов с неполным числом данных.

Преобразование исходных данных. Не все результаты исследований подчиняются законам нормального распределения, иногда имеется неоднородность дисперсий по выборкам, наблюдается большое варьирование по вариантам опыта. В таких случаях проводят следующие преобразования.

Если данные в опытах, где учитывают, например, численность сорняков, вредителей, распространение болезней, выражаются большими числами, их преобразуют путем извлечения корня квадратного из X (\sqrt{X}). Например, если в почве в одном из повторений число семян сорняков составляет 4231 на 1 м², тогда $X_{\text{преобр}} = \sqrt{4231} = 65$.

Если результаты исследований выражены числами, близкими к нулю, их преобразуют по формуле $\sqrt{X+1}$.

Если некоторые наблюдения равны нулю, например, баллом 0 выражают отсутствие подмерзания растений, результаты таких наблюдений трансформируют в $\lg X$ или в $\lg (X+1)$.

Если наблюдаемые показатели выражены в процентах, например степень поражения листьев болезнью, результаты учетов преобразуют в угол-арксинус $\sqrt{\text{процент}}$ (см. табл. 5 приложений). Такие преобразования проводят при числовых значениях показателей от 0 до 15 и от 85 до 100 %, так как здесь можно сильно снизить варьирование. Данные в пределах 15...85 % в преобразовании не нуждаются. Так, если поражение листьев болезнью составило 9,3 %, то угол-арксинус $\sqrt{\text{процент}}$ будет равен 17,8.

Данные опытов, в которых определяют действие повреждающих факторов, например летальные дозы радиации, преобразуют в пробиты. Так, при гибели 67 % растений пробит составляет 5,44.

Преобразованные данные обрабатывают методом дисперсионного анализа, оценивают достоверность разности между вариантами, а затем возвращаются к исходным данным.

Выбор метода статистической обработки данных. Если данные по каждой экспериментальной единице, например по опытной деланке, не кажутся сомнительными, вычисляют средние арифметические по вариантам и проводят агрономический анализ всего опыта. Если ничто в опыте не вызывает сомнений, его результаты подвергают соответствующему анализу, например дисперсионному.

Метод анализа результатов полевых опытов зависит от способа размещения вариантов. При размещении методом рендомизированных повторений используют дисперсионный анализ рендомизированных повторений, при полной рендомизации — дисперсионный анализ полной рендомизации, при размещении латинским квадратом — дисперсионный анализ латинского квадрата и т. д.

Многофакторные опыты можно размещать методами рендомизированных повторений, расщепленных деланок, смешивания. Результаты подвергают соответствующим дисперсионным анализам — рендомизированных повторений, расщепленных деланок, смешивания.

Данные вегетационных опытов, а также опытов по технологии хранения продукции обрабатывают теми же методами, что и данные полевых опытов, размещенных методом полной рендомизации. Результаты опытов, в которых варианты размещены стандартными методами, обрабатывают разностным методом, предназначенным для сопряженных выборок.

Если варианты в опыте размещены систематически (что, вообще-то, не рекомендуется), результаты обрабатывают дробным

методом. При обработке показателей качественной изменчивости достоверность разницы определяют по критерию Стьюдента.

Соответствие между наблюдаемыми и теоретическими распределениями в генетических исследованиях оценивают по критерию χ^2 . Зависимости между различными показателями растений, между растениями и их средой определяют с помощью корреляционных и регрессионных анализов. Для изучения корреляции качественных признаков используют формулу Юлла.

4.4. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

Предположим, что проведен полевой опыт, размещенный методом рендомизированных повторений. Основной его показатель — урожай — изменяется по вариантам, повторениям, а также из-за случайных причин — неучтенного варьирования условий среды и самих растений. Р. Фишер выразил эти изменения суммами квадратов следующих рассеиваний: вариантов — C_v , повторений — C_p , ошибки — C_z . Их суммирование дает сумму квадратов общего рассеивания: $C_y = C_v + C_p + C_z$.

Для каждого рассеивания вычисляют число степеней свободы v по формулам: $v_y = N - 1$; $v_v = l - 1$; $v_p = n - 1$; $v_z = (l - 1)(n - 1)$. Путем деления суммы квадратов на соответствующее число степеней свободы получают дисперсию s^2 . Слово «дисперсия» означает рассеивание данных опыта и расчленение общего варьирования изучаемых показателей на составные части. Отсюда и название метода — дисперсионный анализ. Для дисперсионного анализа представляют интерес дисперсия вариантов s_v^2 и дисперсия ошибки s_z^2 . Соотношение дисперсий — это тот критерий, который позволяет дать общую оценку достоверности различий между средними арифметическими опыта. В честь автора дисперсионного анализа критерий обозначили первой буквой его фамилии F (*критерий Фишера*). F вычисляют по формуле $F = s_v^2/s_z^2$.

Расчетный фактический критерий $F_{\text{факт}}$ сравнивают с теоретическим $F_{\text{теор}}$, который находят по таблицам. Если $F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$, то достоверность различий в опыте доказана, т. е. имеется одна или несколько пар вариантов, средние арифметические которых достоверно различаются. Если $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$, то достоверных различий между вариантами нет. Бывают случаи, когда $F_{\text{факт}}$ лишь несколько меньше $F_{\text{теор}}$. Строго следуя правилу, изложенному выше, можно сделать вывод об отсутствии достоверной разницы в опыте. Однако дальнейший анализ позволяет иногда найти эту разницу хотя бы в одном-двух вариантах. В подобных случаях, не ограничиваясь расчетом F , следует продолжить вычисления до наименьшей существенной разности (НСР). С этим показателем сравнивают разницу между парами вариантов ($d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$). Если $d \geq \text{НСР}$, то разницу между анали-

зируемыми вариантами считают доказанной. Доказательства чаще всего ведут на уровнях доверительной вероятности $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$.

Дисперсионный анализ — наиболее совершенный метод статистической обработки данных, но он применим только к опытам, размещенным методом рендомизации.

Преимущества дисперсионного анализа заключаются в вычленении из общего варьирования его компонентов, в вычислении обобщенной ошибки всего опыта E на основе большего числа наблюдений, чем индивидуальные ошибки отдельных вариантов в недисперсионных методах. Так, при пяти вариантах и четырех повторностях число степеней свободы ошибки составляет $(5-1)(4-1) = 12$, тогда как для каждого варианта опыта $4-1 = 3$. Дисперсионный анализ особенно ценен для многофакторных опытов, так как позволяет определить достоверность не только действия, но и взаимодействия факторов.

В конце дисперсионного анализа обязательно вычисляют относительную ошибку всего опыта

$$s_{\bar{x}} \% = 100 (E/\bar{x}_N),$$

где E — обобщенная ошибка опыта; \bar{x}_N — средняя арифметическая всего опыта.

По числовому значению относительной ошибки судят о точности опыта. Определение точности обязательно при анализе результатов любых исследований.

Основное различие дисперсионных анализов состоит в перечне вычисляемых сумм квадратов. Для рендомизированных повторений вычисляют $C_y = C_p + C_v + C_z$;

для полной рендомизации $C_y = C_v + C_z$;

для латинского квадрата и латинского прямоугольника $C_y = C_p + C_c + C_v + C_z$;

для двухфакторного опыта $C_y = C_p + C_A + C_B + C_{AB} + C_z$;

для трехфакторного опыта $C_y = C_p + C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC} + C_{ABC} + C_z$;

для метода смешивания $C_y = C_{p1} + C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC} + C_z$;

для двойного расщепления делянок $C_y = C_p + C_A + C_B + C_{AB} + C_{zI} + C_{zII}$;

для тройного расщепления делянок $C_y = C_p + C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC} + C_{ABC} + C_{zI} + C_{zII} + C_{zIII}$.

4.4.1. АНАЛИЗ ДАННЫХ ОДНОФАКТОРНЫХ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

Опыт, размещенный методом рендомизированных повторений с полным набором данных. Для обработки возьмем результаты урожайности кукурузы в опыте с гербицидом агелоном, в котором

восстановлены данные (табл. 63). Количество вариантов $l=4$, количество повторений $n=3$, общее количество делянок $N = ln = 4 \cdot 3 = 12$.

В процессе дисперсионного анализа вычисления ведут в такой последовательности.

63. Зависимость урожайности зерна кукурузы от дозы агелона, ц/га

Вариант	Повторения			Сумма	Среднее \bar{x}
	I	II	III		
1. Без агелона	40	39	40	119	39,7
2. Агелон (1 кг/га)	39	41	42	122	40,7
3. Агелон (1,5 кг/га)	42	44	43	129	43,0
4. Агелон (2 кг/га)	43	47	46	136	45,3

Среднюю арифметическую округляют до целого числа, берут за произвольное начало ($A=42$) и вычисляют отклонения каждого результата от произвольного начала: $40-42=-2$; $39-42=-3$ и т. д. Составляют таблицу отклонений (табл. 64), в которую заносят суммы отклонений по повторениям (P) и вариантам (V) и всего опыта (q). Все отклонения возводят в квадрат и составляют таблицу квадратов (табл. 65).

64. Отклонения результатов опыта от произвольного начала A

Вариант	Повторения			Отклонения суммы
	I	II	III	
1	-2	-3	-2	-7
2	-3	-1	0	-4
3	0	2	1	3
4	1	5	4	10
Сумма по повторениям (P)	-4	3	3	$q=2$

65. Квадраты отклонений и их суммы

Вариант	Повторения			$\Sigma \alpha_i^2$	Σs^2
	I	II	III		
1	4	9	4	17	49
2	9	1	0	10	16
3	0	4	1	5	9
4	1	25	16	42	100
$\Sigma \alpha_p^2$	14	39	21	$\Sigma \Sigma \alpha^2 = 74$	$\Sigma s^2 = 174$
Σp^2	16	9	9	$\Sigma p^2 = 34$	$q^2 = 4$

Среднеарифметическая всего опыта

$$\bar{x}_N = \Sigma X / N = (40 + 39 + 40 + 39 + 41 + 42 + 42 + 44 + 43 + 43 + 47 + 46) / 12 = 42,2 \text{ ц/га.}$$

Суммы квадратов рассеиваний общего (C_y), повторений (C_p), вариантов (C_v) и ошибки (C_z) вычисляют по формулам:

$$C_y = (\Sigma \alpha^2 N - q^2) / N = (74 \cdot 12 - 4) / 12 = 73,7 ;$$

$$C_p = (\Sigma p^2 n - q^2) / N = (34 \cdot 3 - 4) / 12 = 8,2 ;$$

$$C_v = (\Sigma s^2 l - q^2) / N = (174 \cdot 4 - 4) / 12 = 57,7 ;$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v = 73,7 - 8,2 - 57,7 = 7,8.$$

Вычисляют число степеней свободы общего рассеивания (v_y), повторений (v_p), вариантов (v_v), остатка (v_z):

$$v_y = N - 1 = 12 - 1 = 11; v_p = n - 1 = 3 - 1 = 2;$$

$$v_v = l - 1 = 4 - 1 = 3; v_z = (l - 1)(n - 1) = (4 - 1)(3 - 1) = 6.$$

После этого данные заносят в таблицу дисперсионного анализа (табл. 66), в которой вычисляют дисперсию вариантов (s_v^2), дисперсию остатка (s_z^2) и критерий Фишера фактический $F_{\text{факт}}$ (расчетный).

Дисперсию рассчитывают по формулам:

$$s_v^2 = C_v / v_v = 57,7 / 3 = 19,2;$$

$$s_z^2 = C_z / v_z = 7,8 / 6 = 1,3.$$

66. Результаты дисперсионного анализа

Рассеивание	Суммы квадратов	v	s ²	F _{факт}	F _{теор}	
					P _{0,95}	P _{0,99}
Общее	73,7	11	—	14,8	4,76	9,78
Повторений	8,2	2	—			
Вариантов	57,7	3	19,2			
Остатка (ошибки)	7,8	6	1,3			

Критерий Фишера фактический рассчитывают по формуле

$$F_{\text{факт}} = s_v^2 / s_z^2 = 19,2 / 1,3 = 14,8.$$

Теоретическое значение критерия Фишера находят по таблице 2 приложений по числу степеней свободы вариантов — 3 (колон-

ка с числом 3) и остатка — 6 (шестая строчка). На их пересечении находят $F_{0,95} = 4,76$ и $F_{0,99} = 9,78$. Составляют итоговую таблицу дисперсионного анализа (табл. 67).

67. Итоговая таблица дисперсионного анализа

Вариант	\bar{x}	Разность	НСР		$s_x\%$
			0,95	0,99	
1	39,7	—			
2	40,7	1,0	2,28	3,45	1,56
3	43,0	3,3			
4	45,3	5,6			

Сравнивая фактический (расчетный) критерий Фишера с теоретическим, делают вывод о достоверности опыта.

Выход: так как фактическое значение критерия Фишера составляет 14,8, что больше $F_{0,95}$ (4,76) и $F_{0,99}$ (9,78), то опыт достоверный на обоих уровнях доверительной вероятности — $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$. Это значит, что между средними арифметическими пар вариантов разности будут достоверными и дисперсионный анализ надо продолжать. Если критерий Фишера расчетный намного меньше теоретического значения, тогда все расчеты прекращают и делают вывод об отсутствии достоверных разностей между какими-либо парами вариантов опыта.

Обобщенную ошибку опыта (E) и ошибку разности (s_d) рассчитывают по формулам:

$$E = \sqrt{s_z^2/n} = \sqrt{1,3/3} = 0,66;$$

$$s_d = E \cdot 1,41 = 0,66 \cdot 1,41 = 0,93$$

(1,41 — это постоянное число, $\sqrt{2}$).

Наименьшую существенную разность (НСР) рассчитывают, как правило, на двух уровнях доверительной вероятности по формулам:

$$НСР_{0,95} = s_d t_{0,95}; \quad НСР_{0,99} = s_d t_{0,99}.$$

Теоретическое значение критерия Стьюдента находят в таблице 1 приложений по числу степеней свободы остаточного рассеивания v_z , которое в нашем опыте составляет 6. В графе таблицы 1 приложений выбирают уровень доверительной вероятности ($P_{0,95}$ или $P_{0,99}$), а в строке (в приведенном примере) число — 6. На их пересечении $t_{0,95} = 2,45$, а $t_{0,99} = 3,71$.

Рассчитывают НСР:

$$НСР_{0,95} = s_d t_{0,95} = 0,93 \cdot 2,45 = 2,28 \text{ ц/га};$$

$$HCP_{0,99} = sd_{0,99} = 0,93 \cdot 3,71 = 3,45 \text{ ц/га.}$$

Относительную ошибку всего опыта вычисляют по формуле

$$s_{\bar{x}} \% = 100E / X_N = 100 \cdot 0,66/42,2 = 1,56 \%.$$

Затем в итоговую таблицу дисперсионного анализа (см. табл. 67) вносят значения средних арифметических по вариантам, $HCP_{0,95}$, $HCP_{0,99}$ и относительную ошибку опыта.

Сравнивая разности между парами средних арифметических со значениями HCP , делают выводы о существенности этих разностей. При этом придерживаются правила: если разность между какими-либо парами средних арифметических больше, чем значения HCP , или равна им, тогда эти разности существенны.

В ы в о д ы: 1) поскольку во втором варианте прирост урожайности составляет 1 ц/га, что меньше $HCP_{0,95}$ (2,28) и $HCP_{0,99}$ (3,45), то он недостоверен; 2) в третьем варианте прирост урожайности составляет 3,3 ц/га, что больше $HCP_{0,95}$ (2,28), тогда на этом уровне вероятности он достоверен, а на высшем уровне — недостоверен; 3) в четвертом варианте прирост урожайности составляет 5,6 ц/га, что больше $HCP_{0,95}$ и $HCP_{0,99}$, и он достоверен на обоих уровнях доверительной вероятности. Итак, эффективными оказались лишь дозы агелона 1,5 и 2 кг/га; 4) разность между третьим и четвертым вариантами составляет 2,3 ц/га, что больше $HCP_{0,95}$, следовательно, целесообразность повышения доз агелона до 2 кг/га доказана.

Значение относительной ошибки $s_{\bar{x}} \%$, которая составляет 1,56, свидетельствует об очень высокой точности опыта. Этими выводами и заканчивается дисперсионный анализ.

Опыт, размещенный методом полной рендомизации. Для того чтобы продемонстрировать эффективность полевого опыта, размещенного методом полной рендомизации, используем данные предыдущего опыта, полагая, что он размещен методом полной рендомизации. При этом, как уже отмечалось, повторения не организуют, поэтому рассчитывать суммы квадратов повторений нет необходимости. В дисперсионном анализе полной рендомизации рассчитывают такие суммы квадратов: C_y , C_v , C_z .

Предположим условно, что опыт с изучением доз агелона был размещен методом полной рендомизации, были получены те же урожаи кукурузы. При дисперсионном анализе значения сумм квадратов общего рассеивания и вариантов такие же, как и в предыдущем примере: $C_y = 73,7$ и $C_v = 57,7$. Суммы квадратов остатка (ошибки) $C_z = C_y - C_v = 73,7 - 57,7 = 16,0$.

Число степеней свободы для этих рассеиваний: $v_y = N - 1 = 12 - 1 = 11$; $v_v = l - 1 = 4 - 1 = 3$; $v_z = v_y - v_v = 11 - 3 = 8$.

Составляют таблицу дисперсионного анализа результатов опыта, размещенного методом полной рендомизации (табл. 68).

68. Таблица дисперсионного анализа

Рассеивание	Сумма квадратов	v	s ²	F _{факт}	F _{теор}	
					F _{0,95}	F _{0,99}
Общее	73,7	11	—		4,07	7,59
Вариантов	57,7	3	19,2	9,6		
Остатка (ошибки)	16,0	8	2,0			

Рассчитывают дисперсии и критерий Фишера, находят его теоретические значения.

Дисперсии s²:

вариантов s_v² = C_v/v_v = 57,7/3 = 19,2;

остатка s_z² = C_z/v_z = 16,0/8 = 2,0.

Критерий Фишера фактический F_{факт} = s_v²/s_z² = 19,2/2 = 9,6.

Теоретическое значение находят по числу степеней свободы вариантов (v_v), которое равно 3, и остатку (v_z), равному 8.

Обобщенная ошибка E = √s_z²/n = √2/3 = 0,82.

Ошибка разности s_d = E · 1,41 = 1,16.

Наименьшая существенная разность составляет:

$$НСР_{0,95} = s_d \cdot t_{0,95} = 1,16 \cdot 2,31 = 2,67 \text{ ц/га};$$

$$НСР_{0,99} = s_d \cdot t_{0,99} = 1,16 \cdot 3,36 = 3,9 \text{ ц/га}.$$

Относительная ошибка

$$s \bar{x}\% = 100E / \bar{x}_N = 100 \cdot 0,82 / 42,2 = 1,94.$$

Составляют итоговую таблицу (табл. 69).

69. Итоги дисперсионного анализа

Вариант	\bar{x}	Разность	НСР		s \bar{x} %
			0,95	0,99	
1	39,7	—			
2	40,7	1,0	2,67	3,90	1,94
3	43,0	3,3			
4	45,3	5,6			

В ы в о д ы: 1) поскольку критерий Фишера фактический составляет 9,6, что больше F_{0,95} (4,07) и F_{0,99} (7,59), то опыт достоверен на обоих уровнях вероятности; 2) поскольку в третьем варианте прирост урожайности составляет 3,3 ц/га, что больше НСР_{0,95}, то на этом уровне он достоверен; 3) в четвертом варианте прирост урожайности составляет 5,6 ц/га, что больше НСР_{0,95} и

НСР_{0,99}, следовательно, этот прирост достоверен на обоих уровнях доверительной вероятности; 4) значение относительной ошибки 1,94 % свидетельствует о высокой точности опыта.

Опыт, размещенный методом латинского квадрата. Для анализа латинского квадрата используем данные об урожайности рекогносцировочного посева озимой пшеницы (табл. 70).

70. Урожайность озимой пшеницы как предшественника в опыте с удобрением кукурузы, ц/га

Ряд	Столбцы				Сумма		Среднее по вариантам
	1	2	3	4	по рядам (P)	по вариантам	
1	С 50	А 50	Д 53	В 55	208	А 217	54,3
2	А 52	Д 53	В 56	С 58	219	В 218	54,5
3	Д 51	В 53	С 56	А 58	218	С 218	54,5
4	В 54	С 54	А 57	Д 59	224	Д 216	54,0
Сумма по столбцам	207	210	222	230	$\Sigma P = 869$	$\Sigma V = 869$	$\bar{x} = 54,3$

Число вариантов $l = 4$, повторностей $n = 4$, общее число делянок $N = ln = 4 \cdot 4 = 16$.

$$\Sigma P = \Sigma C = \Sigma V = \Sigma X = 869.$$

$$\bar{x}_N = \Sigma X / N = 869 / 16 = 54,3.$$

Среднее арифметическое округляют до целого числа и берут за произвольное начало $A = 54$. Это число вычитают из урожайности на каждой отдельной делянке и составляют таблицу 71.

71. Отклонения от произвольного начала А и суммы отклонений

Ряд	Столбцы				Суммы	
	1	2	3	4	P	V
1	С -4	А -4	Д 1	В 1	-8	А 1
2	А -2	Д -1	В 2	С 4	3	В 2
3	Д -3	В -1	С 2	А 4	2	С 2
4	В 0	С 0	А 3	Д 5	8	Д 0
Суммы С	-9	-6	6	14	5	5

Рассчитывают:
корректирующий фактор

$$C = (\Sigma X)^2 / M = 5^2 / 16 = 1,56;$$

суммы квадратов общего рассеивания

$$C_y = \Sigma X^2 - C = (4^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + 5^2) - 1,56 = 121,4;$$

сумму квадратов столбцов

$$C_c = \Sigma c^2/n - C = (9^2 + 6^2 + 6^2 + 14^2)/4 - 1,56 = 349/4 - 1,56 = 85,7;$$

сумму квадратов рядов

$$C_p = \Sigma p^2/n - C = (8^2 + 3^2 + 2^2 + 8^2)/4 - 1,56 = 141/4 - 1,56 = 33,7;$$

сумму квадратов вариантов

$$C_v = \Sigma V^2/n - C = (1^2 + 2^2 + 2^2 + 0^2)/4 - 1,56 = 9/4 - 1,56 = 0,69;$$

сумму квадратов остатка

$$C_z = C_y - C_c - C_p - C_v = 121,4 - 85,7 - 33,7 - 0,69 = 1,31;$$

число степеней свободы всех рассеиваний:

$$v_y = N - 1 = 16 - 1 = 15, \quad v_c = n - 1 = 4 - 1 = 3,$$

$$v_p = n - 1 = 4 - 1 = 3,$$

$$v_v = l - 1 = 4 - 1 = 3, \quad v_z = v_y - v_c - v_p - v_v = 15 - 3 - 3 - 3 = 6.$$

Результаты записывают в таблицу дисперсионного анализа (табл. 72).

72. Таблица дисперсионного анализа

Рассеивание	Суммы квадратов	v	s ²	F _{факт}	F _{теор}	
					0,95	0,99
Общее	121,4	15	—			
Столбцов	85,7	3	—			
Рядов	33,7	3	—	1,05	4,76	9,78
Вариантов	0,69	3	0,23			
Остатка (ошибки)	1,31	6	0,22			

Рассчитывают: обобщенную ошибку

$$E = \sqrt{s_z^2/n} = \sqrt{0,22/4} = 0,23;$$

ошибку разности

$$s_d = E \cdot 1,41 = 0,23 \cdot 1,41 = 0,32;$$

наименьшую существенную разность:

$$HCP_{0,95} = s_d t_{0,95} = 0,32 \cdot 2,45 = 0,78 \text{ ц/га};$$

$$HCP_{0,99} = sd_{0,99} = 0,32 \cdot 3,71 = 1,18 \text{ ц/га};$$

относительную ошибку опыта

$$s_{\bar{x}} \% = 100E/\bar{x}_N = 100 \cdot 0,23/54,3 = 0,42 \%$$

Результаты расчетов записывают в таблицу 73.

73. Результаты дисперсионного анализа

Вариант	\bar{x}	Разность	HCP		$s_{\bar{x}} \%$
			0,95	0,99	
1. N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀	54,3	—			
2. N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	54,5	0,2	0,78	1,18	0,42
3. N ₁₀₀ P ₈₀ K ₈₀	54,5	0,2			
4. N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	54,0	0,3			

В ы в о д ы: 1) критерий Фишера фактический $F_{\text{факт}}$ составляет 1,05, что значительно меньше $F_{0,95}$ (4,76) и $F_{0,99}$ (9,78), следовательно, опыт недостоверный; 2) разности между любой парой вариантов меньше, чем $HCP_{0,95}$ и $HCP_{0,99}$, следовательно, разности незначительные. Это значит, что все варианты того опыта, который будет заложен после данного рекогносцировочного посева, окажутся в одинаковых условиях плодородия почвы; 3) значение относительной ошибки (0,42 %) свидетельствует об очень высокой точности планируемого опыта на период его закладки.

4.4.2. АНАЛИЗ ДАННЫХ МНОГОФАКТОРНЫХ ОПЫТОВ, РАЗМЕЩЕННЫХ МЕТОДОМ РЕНДОМИЗИРОВАННЫХ ПОВТОРЕНИЙ

Двухфакторный опыт. Для анализа используем данные об урожайности озимой пшеницы в зависимости от обработки почвы (фактор *A*) и удобрения (фактор *B*), приведенные в таблице 74.

74. Зависимость урожайности озимой пшеницы (ц/га) от способов обработки почвы после однолетних трав и системы удобрения (П. В. Костокрыз, 1992)

Способ обработки (фактор <i>A</i>)	Система удобрения (фактор <i>B</i>)	Урожайность по повторениям				Сумма <i>V</i>	\bar{x}
		I	II	III	IV		
Вспашка на глубину 20—22 см	Без удобрений	48	46	54	52	200	50,0
	Органические удобрения	50	54	52	58	214	53,5
	Минеральные удобрения	61	55	62	58	236	59,0

Способ обработки (фактор А)	Система удобрения (фактор В)	Урожайность по повторениям				Сумма V	\bar{x}
		I	II	III	IV		
Дискование на 8—10 см	Без удобрений	52	55	56	54	217	54,3
	Органические удобрения	54	59	57	57	227	56,8
	Минеральные удобрения	64	62	66	65	257	64,3
		329	331	347	34,4	$\Sigma X = 1351$	$\bar{x}_N = 56,3$
$\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X = 1351$							

Для того чтобы было легче следить за ходом анализа, округлим урожайность по повторениям до целого числа. Определим: число вариантов по фактору $Al_A = 2$, по фактору $BV_B = 3$, общее число вариантов $l = l_A l_B = 2 \cdot 3 = 6$; число повторностей $n = 4$, общее число делянок в опыте $N = ln = 6 \cdot 4 = 24$.

Средняя арифметическая всего опыта $\bar{x}_N = \Sigma X / N = 1351 / 24 = 56,3$ ц/га.

Дисперсионный анализ проводят в такой последовательности. Корректирующий фактор $C = (\Sigma X)^2 / N = 1351^2 / 24 = 76050$.

Сумма квадратов всех видов рассеивания: общего — C_y , повторений — C_p , вариантов — C_v , ошибки (остатка) — C_z :

$$C_y = \Sigma X^2 - C = (48^2 + 46^2 + 54^2 + \dots + 65^2) - 76050 = 628;$$

$$C_p = \Sigma p^2 / l - C = (329^2 + 331^2 + 347^2 + 344^2) / 6 - 76050 = 41,2;$$

$$C_v = \Sigma v^2 / n - C = (200^2 + 214^2 + 236^2 + 217^2 + 227^2 + 257^2) / 4 - 76050 = 490;$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v = 628 - 41,2 - 490 = 96,8.$$

Для расчета сумм квадратов отдельно для факторов А и В, а также их взаимодействия составляют таблицу 75.

75. Таблица для вычисления действия и взаимодействия факторов

Обработка почвы (А)	Система удобрений (В)			Сумма по А
	без удобрений	органические	минеральные	
Вспашка	200	214	236	650
Дискование	217	227	257	701
Сумма по В	417	441	493	$\Sigma X = 1351$

Сумма квадратов фактора A

$$C_A = \Sigma A^2 / (l_B n) - C = (650^2 + 701^2) / (3 \cdot 4) - 76050 = 108,4.$$

Сумма квадратов фактора B

$$C_B = \Sigma B^2 / (l_A n) - C = (417^2 + 441^2 + 493^2) / (2 \cdot 4) - 76050 = 377.$$

Сумма квадратов взаимодействия факторов AB

$$C_{AB} = C_Y - C_A - C_B = 490 - 108,4 - 377 = 4,6.$$

Число степеней свободы всех рассеиваний:

$$v_y = N - 1 = 24 - 1 = 23; \quad v_p = n - 1 = 4 - 1 = 3;$$

$$v_A = l_A - 1 = 2 - 1 = 1; \quad v_B = l_B - 1 = 3 - 1 = 2;$$

$$v_{AB} = (l_A - 1)(l_B - 1) = 1 \cdot 2 = 2;$$

$$v_z = v_y - v_p - v_A - v_B - v_{AB} = 23 - 3 - 1 - 2 - 2 = 15.$$

Дисперсии факторов A , B и их взаимодействия:

$$s_A^2 = C_A / v_A = 108,4 / 1 = 108,4;$$

$$s_B^2 = C_B / v_B = 377 / 2 = 188,5;$$

$$s_{AB}^2 = C_{AB} / v_{AB} = 4,6 / 2 = 2,3;$$

$$s_z^2 = C_z / v_z = 96,8 / 15 = 6,45.$$

Критерии Фишера фактические:

$$F_A = s_A^2 / s_z^2 = 108,4 / 6,45 = 16,8;$$

$$F_B = s_B^2 / s_z^2 = 188,5 / 6,45 = 29,2;$$

$$F_{AB} = s_{AB}^2 / s_z^2 = 2,3 / 6,45 = 0,36.$$

Составляют таблицу результатов дисперсионного анализа (табл. 76).

76. Результаты дисперсионного анализа

Рассеивание	Сумма квадратов	ν	s^2	$F_{\text{факт}}$	$F_{\text{теор}}$	
					0,95	0,99
Общее	628	23	—			
Повторений	41,2	3	—			
Фактора A	108,4	1	108,4	16,8	4,54	8,68
Фактора B	377	2	188,5	29,2	3,60	6,36
Взаимодействия AB	4,6	2	2,3	0,36	3,60	6,36
Остатка (ошибки)	96,8	15	6,45			

Обобщенные ошибки:

$$\text{всего опыта: } E = \sqrt{s_z^2/n} = \sqrt{6,45/4} = 1,27;$$

$$\text{фактора } A: E_A = \sqrt{s_z^2/l_B n} = \sqrt{6,45/(3 \cdot 4)} = 0,73;$$

$$\text{фактора } B: E_B = \sqrt{s_z^2/l_A n} = \sqrt{6,45/(2 \cdot 4)} = 0,89.$$

Ошибки разности:

$$\text{всего опыта: } s_d = E \cdot 1,41 = 1,27 \cdot 1,41 = 1,79;$$

$$\text{фактора } A: s_{dA} = E_A \cdot 1,41 = 0,73 \cdot 1,41 = 1,03;$$

$$\text{фактора } B: s_{dB} = E_B \cdot 1,41 = 0,89 \cdot 1,41 = 1,25.$$

Наименьшие существенные разности:

$$\text{всего опыта: } НСР_{0,95} = s_d t_{0,95} = 1,79 \cdot 2,13 = 3,81;$$

$$НСР_{0,99} = s_d t_{0,99} = 1,79 \cdot 2,95 = 5,28;$$

$$\text{фактора } A: НСР_{0,95} = s_{dA} t_{0,95} = 1,03 \cdot 2,13 = 2,19;$$

$$НСР_{0,99} = s_{dA} t_{0,99} = 1,03 \cdot 2,95 = 3,04;$$

$$\text{фактора } B: НСР_{0,95} = s_{dB} t_{0,95} = 1,25 \cdot 2,13 = 2,66;$$

$$НСР_{0,99} = s_{dB} t_{0,99} = 1,25 \cdot 2,95 = 3,68.$$

Относительная ошибка всего опыта

$$s_x\% = 100E/\bar{x}_N = 100 \cdot 1,27/56,3 = 2,26 \%$$

В конце дисперсионного анализа составляют итоговую таблицу (табл. 77).

77. Итоговая таблица дисперсионного анализа

Фактор <i>A</i> (обработка почвы)	Фактор <i>B</i> (удобрения)	\bar{x}	Разность по факторам		НСР		$s_x\%$
			<i>A</i>	<i>B</i>	0,95	0,99	
Вспашка	Без удобрений	50,0	—	—	3,81	5,28	2,26
	Органические	53,5	—	3,5			
	Минеральные	59,0	—	9,0			
Дискование	Без удобрений	54,3	4,3	—	3,04	3,68	
	Органические	56,8	3,3	2,5			
	Минеральные	64,3	5,3	10,0			
НСР _{0,95}			2,19	2,66			
НСР _{0,99}			3,04	3,68			

Выводы: 1) поскольку критерии Фишера фактические F_A и F_B составляют соответственно 16,8 и 29,2, что значительно больше теоретических критериев (3,6 и 6,36), то действие обработки почвы и удобрений достоверно. Критерий Фишера для взаимодействия факторов (F_{AB}) составляет 0,36, что меньше теоретических значений. Следовательно, взаимодействие вспашки и удобрений недостоверно; 2) дискование почвы (фактор A) после однолетних трав как при внесении удобрений, так и без них обеспечивает существенную прибавку урожая озимой пшеницы, эти различия достоверны на обоих уровнях вероятности — $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$; 3) существенность прибавки от минеральных удобрений доказана на обоих уровнях доверительной вероятности; прирост урожая от органических удобрений существен лишь при вспашке и только на уровне вероятности $P_{0,95}$; 4) относительная ошибка опыта составляет 2,26 %, что свидетельствует о его высокой точности.

Трехфакторный опыт. Для лучшего понимания этого анализа возьмем минимальное число градаций каждого из трех факторов (по две градации) и 3-кратную повторность (табл. 78).

Определяют число вариантов и повторений:

$$l_A = 2, l_B = 2, l_C = 2, l = l_A l_B l_C = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8; n = 3;$$

$$N = ln = 8 \cdot 3 = 24.$$

Вычисляют суммы:

$$\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X = 1514.$$

78. Зависимость урожайности озимой пшеницы от условий погоды, способов обработки и удобрений, ц/га

Фактор			Повторения (X)			Суммы (V)	\bar{x}	Код варианта
A (погода)	B (обработка почвы)	C (удобрения)	I	II	III			
1989 г. (обычная)	Вспашка	Органические	62	60	64	186	62,0	0
		Минеральные	68	78	72	208	69,8	C
	Дискование	Органические	64	75	66	205	68,3	B
		Минеральные	68	73	78	219	73,0	BC
1990 г. (засушливая)	Вспашка	Органические	50	54	52	156	52,0	A
		Минеральные	61	55	62	178	59,3	AC
	Дискование	Органические	54	59	57	170	56,7	AB
		Минеральные	64	62	66	192	64,0	ABC
Суммы P			491	506	517	$\Sigma X = 1514$	$\bar{x}_N = 63,1$	
$\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X = 1514$								

Средняя арифметическая $\bar{x}_N = \Sigma X / N = 1514 / 24 = 63,1$.

79. Группировка данных для вычисления сумм и разностей

Вариант	Последовательность вычислений	Колонка			
		первая	вторая	третья	четвертая
		ΣV	ΣV_1	ΣV_2	ΣV_3
0	$0 + C$	186	394	818	1514
<i>C</i>	$B + BC$	208	424	696	80
<i>B</i>	$A + AC$	205	334	36	58
<i>BC</i>	$AB + ABC$	219	362	44	-8
<i>A</i>	$C - 0$	156	22	30	-122
<i>AC</i>	$BC - B$	178	14	28	8
<i>AB</i>	$AC - A$	170	22	-8	-2
<i>ABC</i>	$ABC - AB$	192	22	0	8

Вычисления ведут⁶ в указанной в таблице 79 последовательности. Так, во второй колонке число 394 получают путем суммирования 186 и 208; 424 = 205 + 219 и т. д.; в третьей колонке — 394 + 424 = 818; 334 + 362 = 696 и т. д.; в четвертой колонке — 818 + 696 = 1514; 36 + 44 = 80 и т. д.

Далее вычисляют корректирующий фактор и все суммы квадратов (см. данные табл. 78):

$$C = (\Sigma X)^2 / N = 1514^2 / 24 = 95508;$$

$$C_y = \Sigma X^2 - C = (62^2 + 60^2 + \dots + 66^2) - 95508 = 1230;$$

$$C_p = \Sigma p^2 / l - C = (491^2 + 506^2 + 517^2) / 8 - 95508 = 42,8;$$

$$C_A = \Sigma A^2 / N = (-122)^2 / 24 = 620;$$

$$C_B = \Sigma B^2 / N = 58^2 / 24 = 140;$$

$$C_C = \Sigma C^2 / N = 80^2 / 24 = 6400 / 24 = 266;$$

$$C_{AB} = 2^2 / 24 = 0,167;$$

$$C_{AC} = 8^2 / 24 = 2,67;$$

$$C_{BC} = -8^2 / 24 = 2,67;$$

$$C_{ABC} = 8^2 / 24 = 2,67;$$

$$C_z = C_y - C_p - C_A - C_B - C_C - C_{AB} - C_{AC} - C_{BC} - C_{ABC} = 1230 - 42,8 - 620 - 140 - 264 - 0,167 - 2,67 - 2,67 - 2,67 = 155.$$

Определяют число степеней свободы:

$$v_y = N - 1 = 24 - 1 = 23;$$

$$\begin{aligned}
 v_A &= l_A - 1 = 2 - 1 = 1; \\
 v_B &= l_B - 1 = 2 - 1 = 1; \\
 v_C &= l_C - 1 = 2 - 1 = 1; \\
 v_p &= n - 1 = 3 - 1 = 2; \\
 v_{AB} &= (l_A - 1)(l_B - 1) = (2 - 1)(2 - 1) = 1; \\
 v_{BC} &= (l_B - 1)(l_C - 1) = (2 - 1)(2 - 1) = 1; \\
 v_{AC} &= (l_A - 1)(l_C - 1) = (2 - 1)(2 - 1) = 1; \\
 v_{ABC} &= (l_A - 1)(l_B - 1)(l_C - 1) = (2 - 1)(2 - 1)(2 - 1) = 1; \\
 v_z &= v_y - v_p - v_A - v_B - v_C - v_{AB} - v_{AC} - v_{BC} - v_{ABC} = \\
 &= 23 - 2 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 = 14.
 \end{aligned}$$

Составляют таблицу дисперсионного анализа (табл. 80).

80. Таблица дисперсионного анализа

Рассеивание	Суммы квадратов	v	s ²	F _{факт}	F _{теор}	
					0,95	0,99
Общее	1230	23	—	—	—	—
Повторений:	42,8	2	—	—	—	—
A (погоды)	620	1	620	55,9	4,60	8,86
B (обработки почвы)	140	1	140	12,6	4,60	8,86
C (удобрения)	264	1	264	23,8	4,60	8,86
Взаимодействие AB	0,167	1	0,167	0,015	4,60	8,86
Взаимодействие AC	2,67	1	2,67	0,241	4,60	8,86
Взаимодействие BC	2,67	1	2,67	0,241	4,60	8,86
Взаимодействие ABC	2,67	1	2,67	0,241	4,60	8,86
Ошибки	155	14	11,1			

В ы в о д ы: 1) критерии Фишера фактические для факторов A, B и C составляют соответственно 55,9; 12,6; 23,8, что значительно больше F_{0,95} и F_{0,99}. Следовательно, влияние условий погоды, обработки почвы и удобрения достоверно на самых высоких уровнях доверительной вероятности; 2) критерии Фишера фактические для взаимодействия всех факторов находятся в пределах 0,015—0,241, что значительно меньше теоретических значений. Следовательно, взаимодействие комбинаций всех факторов недостоверно.

Обобщенные ошибки:

$$\begin{aligned}
 E &= \sqrt{s_z^2/n} = \sqrt{11,1/3} = 1,92; \\
 E_A &= \sqrt{s_z^2/(l_A l_B n)} = \sqrt{11,1/(2 \cdot 2 \cdot 3)} = 0,96.
 \end{aligned}$$

Поскольку $l_A = l_B = l_C = 2$, то $E_B = E_C = E_A$. При этом $E_{AB} = E_{AC} = E_{BC}$.

$$E_{AB} = E_{AC} = E_{BC} = \sqrt{s_x^2 / (l_A l_B)} = \sqrt{11,1 / (2 \cdot 3)} = 1,36.$$

Ошибки разности:

$$s_d = E \cdot 1,41 = 1,92 \cdot 1,41 = 2,71;$$

$$s_{dA} = E_A \cdot 1,41 = 0,96 \cdot 1,41 = 1,36;$$

$$s_{dAB} = E_{AB} \cdot 1,41 = 1,36 \cdot 1,41 = 1,91.$$

Наименьшие существенные разности для $P_{0,95}$:

$$HCP_{0,95} = s_d t_{0,95} = 2,71 \cdot 2,15 = 5,83 \text{ ц/га};$$

значение критерия $t_{0,95}$ берут для $\nu_z = 14$, оно составляет 2,15;

$$HCP_{A, B, C} = s_{d(A, B, C)} t_{0,95} = 1,36 \cdot 2,15 = 2,95;$$

$$HCP_{AB, AC, BC} = s_{d(AB, AC, BC)} t_{0,95} = 1,91 \cdot 2,15 = 4,11.$$

Относительную ошибку рассчитывают по формуле

$$s_x \% = 100 E / \bar{x}_N = 100 \cdot 1,92 / 63,1 = 3,04 \%$$

Наименьшая существенная разница $HCP_{AB, AC, BC} = 4,11$.

Составляют итоговую таблицу дисперсионного анализа (табл. 81).

81. Результаты дисперсионного анализа

А (погодные условия)	В (обработка почвы)	С (удобрения)	\bar{x}	Разность по факторам			HCP _{0,95} для всего опыта	s _x %
				А	В	С		
1989 г.	Вспашка	Органические	62,0	—	—	—	5,83	3,04 %
		Минеральные	69,3	—	—	7,3		
	Дискование	Органические	68,3	—	6,3	—		
		Минеральные	73,0	—	3,7	4,7		
1990 г.	Вспашка	Органические	52,0	-10,0	—	—	2,95	2,95
		Минеральные	59,3	-10,0	—	7,3		
	Дискование	Органические	56,7	-11,6	4,7	—		
		Минеральные	64,0	-9,0	4,7	7,3		
HCP _{0,95} для факторов А, В, С				2,95	2,95	2,95		

Выводы: 1) в 1990 г. снижение урожайности озимой пшеницы в 5—8-м вариантах превышает значение НСР для фактора *A*, следовательно, это снижение существенно; 2) существенным является также повышение урожайности под влиянием дискования при внесении органических и минеральных удобрений; 3) минеральные удобрения существенно повышают урожайность озимой пшеницы по сравнению с органическими; 4) значение относительной ошибки (3,04 %) свидетельствует о высокой точности опыта.

Для вычисления основных эффектов и взаимодействия факторов пользуются алгоритмом (табл. 82).

82. Вычисление основных эффектов и взаимодействия факторов на основе алгоритма

Эффект	0	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>AB</i>	<i>AC</i>	<i>BC</i>	<i>ABC</i>	Сумма	Результат эффектов
Итого	62,0	52,0	68,3	69,3	56,7	59,3	73,0	64,0	504,6	$\bar{x} = 63,1$
<i>A</i>	—	+	—	—	+	+	—	+	—40,6	—10,2
<i>B</i>	—	—	+	—	+	—	+	+	19,4	4,85
<i>C</i>	—	—	—	+	—	+	+	+	26,6	6,65
<i>AB</i>	+	—	—	+	+	—	—	+	—0,6	—0,15
<i>AC</i>	+	—	+	—	—	+	—	+	2,6	0,65
<i>BC</i>	+	+	—	—	—	—	+	+	—2,6	—0,65
<i>ABC</i>	—	+	+	+	—	—	—	+	2,6	0,65

Для этого данные первого порядка (итог) вычисляют с учетом знаков алгоритма «плюс» или «минус». Так, для фактора *A* прибавляют числа $-62,0 + 52,0 - 68,3 - 69,3 + 56,7 + 59,3 - 73,0 + 64,0 = -40,6$. Результаты эффектов получают делением сумм факторов или их взаимодействия на 4 (количество плюсов).

Эффекты, которые превышают НСР_{0,95} (она составляет 5,83), являются существенными. Это факторы *A* (условия погоды) и *C* (удобрения). Эффекты фактора *B* (обработка почвы), их парные и тройные взаимодействия несущественны.

4.5. НЕДИСПЕРСИОННЫЕ МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОПЫТОВ

Недисперсионные методы применяют для опытов, варианты в которых размещены не случайно, т. е. не рендомизированно. К этим методам обработки относятся дробный и разностный методы, а также обработка показателей качественной изменчивости.

4.5.1. ДРОБНЫЙ МЕТОД

Для примера используем данные сортоизучения трех гибридов кукурузы в четырех повторениях (И. П. Чучмий, 1991). Данные записывают в таблицу 83 и ведут вычисления.

83. Урожайность гибридов кукурузы, ц/га

Гибрид	Повторения	X	$X - \bar{x}$	$(X - \bar{x})^2$	$s_{\bar{x}}$	s_d	t	$s_{\bar{x}} \%$
Коллективный 244 МВ	I	85	-4	16	1,58	—	—	1,77
	II	91	2	4				
	III	88	-1	1				
	IV	92	3	9				
	\bar{x}_1	89	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 30$				
Киевский 27	I	96	-5	25	2,61	3,01	3,99	2,58
	II	106	5	25				
	III	97	-4	16				
	IV	105	4	16				
	\bar{x}_2	101	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 82$				
Юбилейный 70М	I	95	1	1	1,85	2,43	2,08	1,97
	II	94	0	0				
	III	89	-5	25				
	IV	98	4	16				
	\bar{x}_3	94	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 42$				

Средние арифметические:

$$\bar{x}_1 = \Sigma X_1 / n_1 = (85 + 91 + 88 + 92) / 4 = 89 \text{ ц/га};$$

$$\bar{x}_2 = \Sigma X_2 / n_2 = (96 + 106 + 97 + 105) / 4 = 101 \text{ ц/га};$$

$$\bar{x}_3 = \Sigma X_3 / n_3 = (95 + 94 + 89 + 98) / 4 = 94 \text{ ц/га}.$$

Отклонения $X - \bar{x}$ вычисляют вычитанием урожайности на каждой делянке из среднего арифметического варианта. Эти отклонения возводят в квадрат, суммируют и получают суммы $\Sigma (X - \bar{x})^2$.

Суммы используют для вычисления ошибок средних арифметических ($s_{\bar{x}}$):

$$s_{\bar{x}_1} = \sqrt{\frac{\Sigma (X - \bar{x}_1)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{30}{4(4-1)}} = 1,58;$$

$$s_{\bar{x}_2} = \sqrt{\frac{\Sigma (X - \bar{x}_2)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{82}{4(4-1)}} = 2,61;$$

$$s_{\bar{x}_3} = \sqrt{\frac{\Sigma (X - \bar{x}_3)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{42}{4(4-1)}} = 1,85.$$

Ошибки разностей s_d :

$$s_d(1-2) = \sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2} = \sqrt{1,58^2 + 2,61^2} = 3,01;$$

$$s_d(1-3) = \sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_3}^2} = \sqrt{1,58^2 + 1,85^2} = 2,43;$$

$$s_d(2-3) = \sqrt{s_{\bar{x}_2}^2 + s_{\bar{x}_3}^2} = \sqrt{2,61^2 + 1,85^2} = 3,20.$$

Критерии Стьюдента фактические $t_{\text{факт}}$:

$$t_{1-2} = \bar{x}_2 - \bar{x}_1 / s_d(1-2) = (101 - 89) / 3,01 = 3,99;$$

$$t_{1-3} = \bar{x}_3 - \bar{x}_1 / s_d(1-3) = (94 - 89) / 2,43 = 2,08;$$

$$t_{2-3} = \bar{x}_2 - \bar{x}_3 / s_d(2-3) = (101 - 94) / 3,20 = 2,19.$$

Фактические критерии Стьюдента ($t_{\text{факт}}$) сравнивают с теоретическими.

Если фактические критерии больше теоретических или равны им, то делают вывод о существенности разности между средними арифметическими.

Теоретические значения критериев Стьюдента находят в таблице 1 приложений обычно на двух уровнях доверительной вероятности ($P_{0,95}$ и $P_{0,99}$) по числу степеней свободы (ν), которое определяют по формуле

$$\nu = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) = (4 - 1) + (4 - 1) = 6.$$

При $\nu=6$ $t_{0,95}=2,45$, $t_{0,99}=3,71$.

Выводы: 1) критерий Стьюдента между средними арифметическими первого и второго гибридов составляет $t_{1-2}=3,99$, что больше $t_{0,95}(2,45)$ и $t_{0,99}(3,71)$, следовательно, гибрид Киевский 27 по сравнению с Коллективным 244 МВ обеспечивает существенную прибавку урожайности (12 ц/га) на обоих уровнях доверительной вероятности; 2) между первым и третьим, вторым и третьим вариантами критерий Стьюдента фактический составляет соответственно 2,08 и 2,19, что значительно меньше $t_{0,95}$ и $t_{0,99}$. Следовательно, существенная разница в урожайности между этими гибридами не доказана.

Точность определения средних арифметических оценивают по относительной ошибке:

$$s_{\bar{x}_1}\% = 100 s_{\bar{x}_1} / \bar{x}_1 = 100 \cdot 1,58 / 89 = 1,77\%;$$

$$s_{\bar{x}_2}\% = 100 s_{\bar{x}_2} / \bar{x}_2 = 100 \cdot 2,61 / 101 = 2,58\%;$$

$$s_{\bar{x}_3}\% = 100 s_{\bar{x}_3} / \bar{x}_3 = 100 \cdot 1,85 / 94 = 1,97\%.$$

Общую ошибку всего опыта вычисляют по формуле

$$s_{\bar{x}}\% = (s_{\bar{x}_1}\% + s_{\bar{x}_2}\% + s_{\bar{x}_3}\%) / l = (1,77 + 2,58 + 1,97) / 3 = 2,11\%.$$

Поскольку значение $s_{\bar{x}}\%$ составляет 2,11, то точность опыта достаточно высокая.

4.5.2. РАЗНОСТНЫЙ МЕТОД

Разностный метод обработки используют для опытов, размещенных стандартными методами (ямб-, дактиль-методы, парный метод Константинова). Эти методы размещения вариантов чаще всего применяют в сортоизучении, а также в условиях сильного варьирования плодородия почвы. При стандартном размещении контрольный и опытный варианты находятся в одинаковых условиях плодородия почвы независимо от повторения. Это повышает существенность различий между вариантами и точность опыта. Для доказательства высокой эффективности этого метода используем данные предыдущего примера с гибридами кукурузы, условно предположив, что опыт размещен дактиль-методом (табл. 84).

84. Обработка разностным методом данных опыта с изучением урожайности гибридов кукурузы, ц/га

Повторения	Гибрид		d	$d - \bar{d}$	$(d - \bar{d})^2$
	Киевский	Коллективный			
I	96	85	11	-1	1
II	97	88	9	-3	9
III	105	91	14	2	4
IV	106	92	14	2	4
$\bar{x}_2 = 101$		$\bar{x}_1 = 89$	$\bar{d} = 12$	$\Sigma = 0$	$\Sigma(d - \bar{d})^2 = 18$

Продолжение

Повторения	Гибрид		d	$d - \bar{d}$	$(d - \bar{d})^2$
	Юбилейный	Коллективный			
I	89	85	4	-1	1
II	94	88	6	1	1
III	95	91	4	-1	1
IV	98	92	6	1	1
$\bar{x}_3 = 94$		$\bar{x}_1 = 89$	$\bar{d} = 5$	$\Sigma = 0$	$\Sigma(d - \bar{d})^2 = 4$

Разность (d) между гибридами вычисляют по повторениям: $96 - 85 = 11$; $97 - 88 = 9$; $89 - 85 = 4$ и т. д. Затем определяют средние арифметические разности: $(11 + 9 + 14 + 14) / 4 = 12$; $(4 + 6 + 4 + 6) / 4 = 5$.

Отклонения $d - \bar{d}$ рассчитывают между каждой разностью и средним значением: $11 - 12 = -1$; $9 - 12 = -3$ и т. д. Эти отклонения возводят в квадрат и суммируют, а их суммы $\Sigma(d - \bar{d})^2$ используют для вычисления ошибок разностей (s_d) по формулам:

$$s_d(1-2) = \sqrt{\frac{\Sigma(d - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{18}{4(4-1)}} = 1,22;$$

$$s_{d(1-3)} = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{4}{4(4-1)}} = 0,58.$$

Вычисляют критерий существенности Стьюдента фактический:

$$t_{(1-2)} = (\bar{x}_2 - \bar{x}_1) / s_{d(1-2)} = (101 - 89) / 1,22 = 9,84;$$

$$t_{(1-3)} = (\bar{x}_3 - \bar{x}_1) / s_{d(1-3)} = (94 - 89) / 0,58 = 8,62.$$

Фактические критерии сравнивают с теоретическими и делают выводы, пользуясь таким правилом: если фактический критерий Стьюдента равен теоретическому значению или больше него, то разность между вариантами существенна.

Теоретические значения критериев берут из таблицы 1 приложений по числу степеней свободы, которое вычисляют по формуле $\nu = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) = (4 - 1) + (4 - 1) = 6$. На уровне $P_{0,95}$ $t_{0,95} = 2,45$, а на уровне $P_{0,99}$ $t_{0,99} = 3,71$.

Выводы: 1) поскольку критерий Стьюдента фактический между первым и вторым сортом составляет 9,84, что больше $t_{0,95}$ и $t_{0,99}$, то разность существенна; 2) аналогичный вывод делают о разности между третьим и первым сортом.

Относительную ошибку опыта вычисляют по формуле

$$s_{\bar{x}} \% = \frac{100 \cdot \sum s_d}{1,41 (l-1) \sum \bar{x}} = \frac{100 \cdot 3(1,22 + 0,58)}{1,41 (3-1) (89 + 101 + 89)} = 0,67 \%$$

Поскольку значение относительной ошибки опыта составляет 0,67 %, то точность опыта очень высока.

При систематическом размещении вариантов и дробном методе статистической обработки относительная ошибка была почти в три раза большей. Значительно повысилась при разностном методе существенность различий между средними арифметическими изучаемых сортов. Таким образом, стандартный метод размещения вариантов и разностный метод статистической обработки являются эффективными.

4.5.3. ОБРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Показатели качественной изменчивости — это сохранившиеся или вымерзшие растения озимых культур, пораженные болезнями или здоровые их органы, поврежденные или не поврежденные вредителями растения, количество испорченных клубней картофеля во время зимнего хранения и др.

Проанализируем результаты опыта, в котором изучали влияние качества лущения стерни кукурузы на повреждение початков кукурузы мотыльком:

1) без лущения из 100 початков (N_1) повреждено 23 (n_1);

- 2) после одного лущения из 150 початков (N_2) повреждено 15 (n_2);
 3) после двух лущений из 200 початков (N_3) повреждено 10 (n_3).

Сначала вычисляют долю наличия признаков (p) и их отсутствия (q) по формулам:

$$p_1 = n_1/N_1 = 23/100 = 0,23; \quad q_1 = 1 - p_1 = 1 - 0,23 = 0,77;$$

$$p_2 = n_2/N_2 = 15/150 = 0,10; \quad q_2 = 1 - p_2 = 1 - 0,10 = 0,90;$$

$$p_3 = n_3/N_3 = 10/200 = 0,05; \quad q_3 = 1 - p_3 = 1 - 0,05 = 0,95.$$

Для определения существенных различий между долями наличия признаков вычисляют критерий Стьюдента (t_p):

$$t_p(1-2) = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{p_1 q_1/N_1 + p_2 q_2/N_2}} = \frac{0,23 - 0,10}{\sqrt{0,23 \cdot 0,77/100 + 0,1 \cdot 0,90/150}} = 0,13/0,04626 = 2,67;$$

$$t_p(1-3) = \frac{p_1 - p_3}{\sqrt{p_1 q_1/N_1 + p_3 q_3/N_3}} = \frac{0,23 - 0,05}{\sqrt{0,23/100 + 0,05 \cdot 0,95/200}} = 0,18/0,0422 = 4,02;$$

$$t_p(2-3) = \frac{p_2 - p_3}{\sqrt{p_2 q_2/N_2 + p_3 q_3/N_3}} = \frac{0,10 - 0,05}{\sqrt{0,1 \cdot 0,9/150 + 0,05 \cdot 0,05/200}} = 0,05/0,0289 = 1,73.$$

Фактические критерии Стьюдента сравнивают с теоретическими, которые берут из таблицы 1 приложений по числу степеней свободы ν_p . $\nu_p = (N_1 - 1) + (N_2 - 1) = (100 - 1) + (50 - 1) = 248$. При ν_p , которое колеблется от 100 до бесконечности (∞), критерии $t_{0,95} = 1,95$; $t_{0,99} = 2,58$.

Если критерии Стьюдента фактические равны теоретическим или больше их, то различия существенны.

Выводы: 1) поскольку критерии фактические между первым и вторым, а также между первым и третьим вариантами составляют 2,67 и 4,02, что значительно больше $t_{0,95}$ (1,95) и $t_{0,99}$ (2,58), то при одном и двух лущениях стерни кукурузы наблюдается существенное уменьшение повреждений початков кукурузы мотыльком; 2) между вторым и третьим вариантом критерий фактический составляет 1,73, что меньше, чем 1,95 и 2,58. Таким образом, увеличение количества лущений с одного до двух не приводит к существенному уменьшению повреждения початков кукурузным мотыльком. Следовательно, целесообразно проводить одно лущение.

4.5.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ МЕЖДУ ФАКТИЧЕСКИМИ И ОЖИДАЕМЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ ПО χ^2 -КРИТЕРИЮ

Критерий χ^2 (хи-квадрат), предложенный К. Пирсоном, используют для определения: 1) соответствия фактических и ожидаемых (теоретических) частот при скрещивании сортов; 2) достоверности различия в степени подмерзания сортов, поражения и повреждения растений на различных агрофонах; 3) подчинения фактического распределения нормальному, биномиальному распределению; 4) принадлежности выборки к данной совокупности и т. д.

В перечисленных анализах используют только частоты тех или иных показателей, но не показатели в натуральном выражении. Частот должно быть не менее 50, а в каждой группе (классе) — не менее пяти наблюдений.

Пример 1. В опытах Т. С. Фадеевой (по М. Е. Лобашову, 1967) изучали наследование признаков у земляники. Во втором поколении дигибридного скрещивания при неполном доминировании двух параллелей ожидалось расщепление по фенотипу в отношении $(1:2:1)^2$, или $1:2:2:4:1:2:1:2:1$. Фактически получено следующее число растений, различающихся по форме чашечки (табл. 85). Необходимо определить соответствие фактического расщепления ожидаемому.

В ы ч и с л е н и я: $F_1 = (1/16) \cdot 307 = 19,19$; $F_2 = (2/16) \cdot 307 = 38,37$; ...; $F_5 = (4/16) \cdot 307 = 76,76$ и т. д.

Число степеней свободы $\nu \chi^2 = (C - 1)(k - 1) = (2 - 1)(9 - 1) = 8$; $\chi_{0,95}^2 = 15,51$; $\chi_{0,99}^2 = 20,09$.

В ы в о д: так как $\chi_{\text{факт}}^2 (11,37)$ меньше $\chi_{0,95}^2$ и $\chi_{0,99}^2$, то фактическое расщепление не отличается достоверно от ожидаемого (теоретического).

Пример 2. При скрещивании двух сортов гороха (с желтыми и зелеными семенами) во втором поколении Г. Мендель получил 407 желтых и 143 зеленых семени. По схеме Менделя их соотношение должно быть 3:1. Соответствует ли фактическое расщепление ожидаемому? Вычисление приведено в таблице 86.

$$F_1 = (3/4) \cdot 550 = 412,5; F_2 = (1/4) \cdot 550 = 137,5;$$

$$f_1 - F_1 = 407 - 412,5 = -5,5; f_2 - F_2 = 143 - 137,5 = 5,5;$$

$$\chi^2 = \frac{(f_1 - F_1)^2}{F_1} + \frac{(f_2 - F_2)^2}{F_2} = \frac{-5,5^2}{412,5} + \frac{5,5^2}{137,5} = 0,29;$$

$$\nu \chi^2 = (C - 1)(k - 1) = (2 - 1)(2 - 1) = 1;$$

$$\chi_{0,95}^2 = 3,84; \chi_{0,99}^2 = 6,63.$$

85. Вычисление теоретических частот F и критерия χ^2 по таблице 2x9

Показатели	Форма чашечки									Сумма
	нормаль- ная	промежу- точная	листовид- ная	нормаль- ная	промежу- точная	листовид- ная	нормаль- ная	промежу- точная	листовид- ная	
Ожидаемое рас- щепление H_0	1	2	1	2	4	2	1	2	1	16
Фактические частоты f	f_1 25	f_2 33	f_3 17	f_4 45	f_5 85	f_6 30	f_7 20	f_8 42	f_9 10	307
Ожидаемые частоты F	F_1 19,19	F_2 38,37	F_3 19,19	F_4 38,37	F_5 76,76	F_6 38,37	F_7 19,19	F_8 38,37	F_9 19,19	307
Разность $f - F$	5,81	-5,37	-2,19	6,63	8,24	-8,37	0,81	3,63	-9,19	-
$(f - F)^2$	33,76	28,84	4,80	43,96	67,90	70,06	0,66	13,18	84,46	-
Соотношение $(f - F)^2/F$	1,75	0,75	0,25	1,15	0,88	1,82	0,03	0,34	4,40	$\chi^2 = 11,4$

86. Вычисление теоретических частот F по таблице

Показатель	Семена		Сумма
	желтые	зеленые	
Ожидаемое расщепление	3	1	4
Наблюдаемые частоты f	407	143	550
Ожидаемые частоты F	412,5	137,5	550
Разность $f - F$	-5,5	5,5	—
$(f - F)^2$	30,25	30,25	—
Отношение $(f - F)^2 / F$	0,07	0,22	0,29

Вывод: так как χ^2 (0,29) меньше $\chi_{0,95}^2$ и $\chi_{0,99}^2$, то фактическое расщепление признаков у растений гороха не соответствует ожидаемому. Следовательно, оно носит случайный характер.

4.6. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗЫ

Между варьирующими явлениями, объектами, условиями среды, ростом, продуктивностью растений и другими показателями существуют определенные взаимосвязи: значение средней величины одного признака изменяется при изменении другого признака. Когда определенному значению независимой переменной X соответствует несколько значений другого признака Y , зависимость приобретает стохастический характер. Взаимосвязи между варьирующими признаками называют *корреляцией*.

Классификация корреляций. Корреляции подразделяют по направлению, форме и числу связей. По направлению корреляция может быть прямой или обратной. При **прямой** корреляции с увеличением значения признака X увеличивается значение признака Y . Примеры прямой корреляции: чем быстрее нарастает число клубней картофеля определенных размеров, тем выше урожай; чем больше длина листа, тем больше его площадь; чем лучше освещены растения, тем интенсивнее синтез органических веществ, и т. п.

При **обратной** корреляции с увеличением значения признака X значение признака Y уменьшается. Например, при постоянном увеличении массы корней свеклы уменьшается их сахаристость.

По форме корреляция бывает линейной и криволинейной. **Линейная** корреляция имеет место, когда с увеличением признака X соответственно увеличивается второй признак Y . Например, площадь листьев возрастает с увеличением их длины; урожай увеличивается с увеличением числа полноценных зерен; ростовые процессы улучшаются при увеличении площади питания растений.

При **криволинейной** корреляции значения X и Y из-

меняются сначала в одном направлении, а затем в противоположных. Так, при постоянно возрастающих дозах фактора X (азотные или другие удобрения, влажность почвы, ее плотность и т. п.) урожай Y сначала возрастает, затем стабилизируется, а после дальнейшего увеличения признака X снижается. Линейная связь выражается коэффициентом корреляции r , а криволинейная — корреляционным отношением η (буква «эта»).

По числу связей корреляция может быть простой, когда имеется связь между двумя признаками, и множественной, когда связано три признака и более. Например, урожай зависит от дозы азота, фосфора, калия, норм орошения и других факторов. По силе связи корреляция бывает полной, сильной, средней, слабой; она может быть также достоверной и недостоверной, о чем будет сказано далее.

Значение корреляций и регрессий. Если корреляционный анализ показал наличие сильной и достоверной связи, т. е. такой, которая установлена на уровнях вероятности $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$, проводят регрессионные анализы, вычисляя коэффициент регрессии R_{xy} или R_{yx} . *Регрессия* — это характер и степень изменения одного из признаков X на единицу измерения другого Y . Например, с изменением длины листа на 1 см его площадь изменяется на $4,6 \text{ см}^2$.

После корреляционных и регрессионных анализов составляют *уравнения регрессии*, которые используют: 1) для вычисления неизвестного показателя по известному, например площади листьев по их длине; 2) для прогнозирования будущего урожая по числу цветков или завязей; 3) для прогнозирования качества урожая по элементам погоды; 4) для прогнозирования распространения вредителей и болезней по внешним условиям; 5) для прогнозирования качества продуктов переработки и их хранения по качеству сырья и т. д.

4.6.1. АНАЛИЗ ЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Корреляционный анализ. Проанализируем зависимость между длиной листьев озимой пшеницы и их площадью (табл. 87).

87. Вычисление корреляционной зависимости между длиной листьев озимой пшеницы (см) и их площадью (см²)

Номер пар	Длина листьев (X), см	Площадь листьев (Y), см ²	$X - \bar{x}$	$Y - \bar{y}$	$(X - \bar{x}) \times (Y - \bar{y})$	$(X - \bar{x})^2$	$(Y - \bar{y})^2$
1	15,0	6,21	-6,4	-7,89	49,9	38,4	60,8
2	16,2	7,50	-5,2	-6,5	33,8	27,0	42,3
3	17,5	9,10	-3,9	-4,9	19,1	15,2	24,0
4	18,9	10,0	-2,5	-4,0	10,0	6,25	16,0
5	20,2	11,7	-1,2	-2,3	2,76	1,44	5,29

Номер пар	Длина листьев (X), см	Площадь листьев (Y), см ²	$X - \bar{x}$	$Y - \bar{y}$	$(X - \bar{x}) \times (Y - \bar{y})$	$(X - \bar{x})^2$	$(Y - \bar{y})^2$
6	20,5	12,0	-0,9	-2,0	1,8	0,81	4,0
7	20,7	12,5	-0,1	-1,5	0,15	0,01	2,25
8	20,9	12,9	-0,5	-1,1	0,55	0,25	1,21
9	21,3	13,1	-0,1	-0,9	0,09	0,01	0,81
10	21,7	13,6	0,3	-0,4	-1,2	0,09	0,16
11	22,0	14,0	0,6	0,0	0	0,36	0,0
12	22,2	15,0	0,8	1,0	0,8	0,64	1,0
13	22,2	15,5	0,8	1,5	1,2	0,64	2,25
14	22,6	15,8	1,2	1,8	2,16	1,44	3,24
15	22,9	16,2	1,5	2,2	3,3	2,25	4,84
16	23,0	17,0	1,6	3,0	4,8	2,56	9,0
17	24,1	18,1	2,7	4,1	11,1	7,29	16,81
18	24,9	19,1	3,5	5,1	17,9	12,3	26,0
19	25,4	20,2	4,0	6,2	24,8	16,0	38,4
20	25,3	21,1	3,9	7,1	27,7	15,21	50,4
	$\bar{x} = 21,4$	$\bar{y} = 14,0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma (X - \bar{x}) \times (Y - \bar{y}) = 210$	$\Sigma (X - \bar{x})^2 = 148$	$\Sigma (Y - \bar{y})^2 = 309$

Число пар $n = 20$

Вычисляют:
коэффициент корреляции

$$r = \frac{\Sigma (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma (X - \bar{x})^2 \Sigma (Y - \bar{y})^2}} = \frac{210}{\sqrt{148 \cdot 309}} = +0,98;$$

ошибку коэффициента корреляции

$$s_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,98^2}{20 - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,96}{18}} = 0,047;$$

критерий достоверности коэффициента корреляции

$$t_r = r/s_r = 0,98/0,047 = 20,9.$$

Теоретическое значение критерия Стьюдента находят по числу степеней свободы $\nu_r = n - 2 = 20 - 2 = 18$. Тогда $t_{0,95} = 2,1$; $t_{0,99} = 2,88$.

О силе связей делают вывод согласно такому правилу: если коэффициент корреляции равен единице, то связь полная, если он составляет 0,66—0,99 — сильная, 0,33—0,66 — средняя, менее 0,33 — слабая.

О направлении связи вывод делают в зависимости от знака коэффициента корреляции: «плюс» — корреляция прямая, «минус» — обратная.

Вывод о достоверности связей делают на основе такого прави-

ла: если критерий существенности коэффициента корреляции фактический больше критерия теоретического или равен ему, то связь достоверная (существенная).

Выводы: 1) поскольку $r = 0,98$, то между длиной листьев озимой пшеницы и их площадью связь сильная, почти полная; 2) коэффициент корреляции имеет положительный знак, поэтому корреляция прямая; 3) поскольку критерий Стьюдента фактический (t_r) составляет 20,9, что больше $t_{0,95}$ (2,1) и $t_{0,99}$ (2,88), то связь между длиной листьев озимой пшеницы и их площадью существенна на самых высоких уровнях доверительной вероятности.

Если число пар незначительное, то оценка достоверности корреляции искажается. Р. Фишер предложил оценивать достоверность по критерию t_Z , пользуясь формулой $t_Z = Z\sqrt{n-3}$.

Значение Z находят в таблице 6 приложений для определенного значения коэффициента корреляции r . Например, $n = 7$, а $r = 0,69$. При этом $Z = 0,848$, а $t_Z = 0,848\sqrt{7-3} = 1,7$.

Число степеней свободы $\nu_r = n - 2 = 7 - 2 = 5$. Для $\nu_r = 5$ $t_{0,95} = 2,57$, а $t_{0,99} = 4,03$. Так как $t_Z = 1,7$, что меньше $t_{0,95}$ и $t_{0,99}$, связь недостоверная.

Для оптимизации числа пар (повторностей) при корреляционном анализе пользуются формулой

$$n_{\text{опт}} = (t^2 / Z^2) + 3,$$

где t — критерий Стьюдента для ν_r (в данном примере $n-2 = 7-2 = 5$). При этом $t_{0,95} = 2,57$, а $t_{0,99} = 4,03$; Z — показатель, предложенный Р. Фишером (в этом примере 0,848).

Тогда

$$n_{0,95} = 2,57^2 / 0,848^2 + 3 = 12,2 \approx 13 \text{ пар,}$$

$$n_{0,99} = 4,03^2 / 0,848^2 + 3 = 25,6 \approx 26 \text{ пар.}$$

Таким образом, для проведения корреляционного анализа на уровне $P_{0,95}$ необходима выборка из 13, а на уровне $P_{0,99}$ — из 26 пар.

Регрессионный анализ. При сильной и достоверной связи и любом направлении (прямом или обратном) проводят регрессионный анализ, вычисляя коэффициент регрессии R_{yx} . Для нашего примера логично вычислить изменения площади листьев озимой пшеницы на единицу изменения длины по формуле

$$R_{yx} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2} = \frac{210}{148} = 1,42 \text{ см}^2 \text{ на 1 см длины.}$$

Площадь листьев (Y) по их длине (X) рассчитывают по уравнению линейной регрессии

$$Y = \bar{y} + R_{yx}(X - \bar{x}) = 14 + 1,42(X - 2,14).$$

Значения X получают после измерения длины 20—30 листьев пшеницы и определения их средней длины. Например, среднее значение длины листа составляет 21,7 см (см. десятую пару в табл. 87).

Фактическое значение площади листа при этой длине составляет 13,6 см², а расчетное будет $Y = 14 + 1,42 \cdot (21,7 - 21,4) = 14 + 0,43 = 14,4$ см². Разница между расчетной и фактической площадью составляет $14,4 - 13,6 = 0,8$ см², или 5,9 %. Таким образом, по уравнению регрессии площадь листа вычислена с удовлетворительной точностью.

Умножив площадь одного листа на число их на растении, получим общую поверхность листьев на одном растении. Зная количество растений на определенном участке, можно подсчитать на нем площадь всех листьев.

4.6.2. АНАЛИЗ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

В некоторых случаях, например при изучении влияния норм высева семян на величину урожая, наблюдается такая закономерность: с увеличением нормы высева урожай растет, при какой-то определенной норме он стабилизируется, а при дальнейшем увеличении нормы начинает снижаться из-за загущенности посевов. Подобная связь называется криволинейной. Если ее анализировать с помощью коэффициента корреляции r , он может указать на отсутствие связи или наличие весьма слабой зависимости. Для криволинейной зависимости вычисляют корреляционные отношения η_{xy} или η_{yx} .

Вычисление корреляционного отношения. В опыте с горохом изучали нормы высева и урожай зеленых бобов. В таблице 88 приведены вспомогательные величины для расчета корреляционного отношения по формуле

$$\eta_{yx} = \sqrt{\frac{\Sigma(Y-\bar{y})^2 - \Sigma(Y-\bar{y}_x)^2}{\Sigma(Y-\bar{y})^2}}$$

Нормы высева как значения независимой переменной X располагают в возрастающем порядке. Вариационный ряд разбивают на 4...7 групп так, чтобы в каждой из них было не менее двух наблюдений. Число наблюдений в группах может быть разным. Десять норм высева целесообразно разбить на пять групп, как показано в таблице 88.

Вычисления: корреляционное отношение

$$\eta_{yx} = \sqrt{\frac{\Sigma(Y-\bar{y})^2 - \Sigma(Y-\bar{y}_x)^2}{\Sigma(Y-\bar{y})^2}} = \sqrt{\frac{2654 - 362}{2654}} = 0,929;$$

ошибка корреляционного отношения

$$s_{\eta} = \sqrt{\frac{1 - \eta_{yx}^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,929^2}{10 - 2}} = 0,131;$$

88. Урожайность зеленых бобов гороха Y в зависимости от норм высева X , ц/га

Номер групп	X	Y	\bar{y}_x	$(Y - \bar{y}_x)$	$(Y - \bar{y}_x)^2$	$Y - \bar{y}$	$(Y - \bar{y})^2$
1	0,8	44	50	-6	36	-27	729
2	1,0	56		6	36	-15	225
3	1,2	62	68	-6	36	-09	81
4	1,4	74		6	36	03	9
5	1,6	88	91	-3	09	17	289
6	1,8	94		3	09	23	529
7	2,0	91	85	6	36	20	400
8	2,2	79		-6	36	08	64
9	2,4	69	61	8	64	-02	4
10	2,6	53		-8	64	-18	324
		$\bar{y} = 71$		$\Sigma (Y - \bar{y}_x) = 0$	$\Sigma (Y - \bar{y}_x)^2 = 362$	$\Sigma (Y - \bar{y}) = 0$	$\Sigma (Y - \bar{y})^2 = 2654$

критерий достоверности корреляционного отношения фактический

$$t_{\eta} = \frac{\eta_{yx}}{s_{\eta}} = \frac{0,929}{0,131} = 7,09.$$

Значение t теоретического берут из таблицы 1 приложений для степени свободы $\nu_{\eta} = n - 2 = 10 - 2 = 8$; $t_{0,95} = 2,31$; $t_{0,99} = 3,36$.

Выводы: 1) значение η_{yx} (0,929) свидетельствует о сильной связи между нормами высева семян гороха и урожаем зеленых бобов; 2) критерий $t_{\eta}(7,09)$ больше $t_{0,95}$ и $t_{0,99}$, следовательно, связь достоверна на обоих уровнях вероятности.

Корреляционное отношение всегда выражается положительным числом, поэтому выводы о направлении связи не делают.

Коэффициент корреляции r для данного примера составляет лишь 0,23, что значительно меньше η_{yx} , следовательно, для криволинейных зависимостей необходимо вычислять только корреляционное отношение.

4.6.3. СОСТАВЛЕНИЕ УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Поскольку в примере с урожайностью гороха связь сильная и высокодостоверная, используем эти данные для составления уравнения регрессии. Графическое изображение такой зависимости имеет форму параболы и выражается квадратическим уравнением $Y = a + b_1X + b_2X^2$.

Исходные данные для составления уравнения квадратичной параболы приведены в таблице 89.

Урожайность зеленых бобов гороха (ц/га) можно рассчитать по формуле

$$Y = \bar{y} \frac{\sum(X - \bar{x})Y}{\sum(X - \bar{x})^2} (X - \bar{x}) + \left[\frac{\sum(X - \bar{x})^2 Y - nCY}{\sum(X - \bar{x})^4 - nC^2} \right] [(X - \bar{x})^2 - C],$$

где $C = \sum(X - \bar{x})^2 / n$.

Из таблицы 89 берут значения средних сумм, повторностей и подставляют в формулу, предварительно рассчитав C :

$$C = 3,3/10 = 0,33.$$

После решения получаем уравнение регрессии

$$\begin{aligned} Y &= 71 + \frac{31,4}{3,3}(X - 1,7) + \frac{191,7 - 10 \cdot 0,33 \cdot 71}{1,93 - 10 \cdot 0,33^2} [(X - 1,7)^2 - 0,33] = \\ &= 71 + 9,52(X - 1,7) + \frac{-42,6}{0,841} [(X - 1,7)^2 - 0,33] = \\ &= 71 + 9,52X - 16,2 - 50,65[X^2 - 3,4X + 2,89 - \\ &\quad - 0,33] = 181,7X - 50,65X^2 - 74,9. \end{aligned}$$

89. Исходные данные для составления уравнения квадратичной параболы

Норма высева гороха, ц/га (X)	Урожайность зеленых бобов гороха, ц/га (Y)	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$(X - \bar{X})^4$	$(X - \bar{X})Y$	$(X - \bar{X})^2Y$
0,8	44	-0,9	0,81	0,6561	-39,6	35,64
1,0	56	-0,7	0,49	0,2401	-39,2	27,44
1,2	62	-0,5	0,25	0,0625	-31,0	15,5
1,4	74	-0,3	0,09	0,0081	-22,2	6,66
1,6	88	-0,1	0,01	0,0001	-8,8	0,88
1,8	94	0,1	0,01	0,0001	9,4	0,94
2,0	91	0,3	0,09	0,0081	27,3	8,19
2,2	79	0,5	0,25	0,0625	39,5	19,75
2,4	69	0,7	0,49	0,2401	48,3	33,81
2,6	53	0,9	0,81	0,6561	47,7	42,93
$\bar{x} = 1,7$	$\bar{y} = 71$	$\Sigma = 0$	$\Sigma (X - \bar{X})^2 = 3,3$	$\Sigma (X - \bar{X})^4 = 1,93$	$\Sigma (X - \bar{X})Y = 31,4$	$\Sigma (X - \bar{X})^2Y = 191,7$

Для проверки вычисления урожайности зеленых бобов гороха по этому уравнению возьмем норму высева 2 ц/га. Подставив эту норму в уравнение, получим расчетную урожайность $y = 181,7 \cdot 2 - 50,65 \cdot 2^2 - 74,9 = 363,4 - 202,6 - 74,9 = 85,9$ ц/га. Фактическая урожайность 91 ц/га. Ошибка прогнозирования составляет $91 - 85,9 = 5,1$ ц/га, или 5,6 %. Точность прогнозирования урожайности удовлетворительная.

Кроме кривых типа параболы могут быть кривые типа гиперболы, логарифмические и кривые многих других типов. Если простое уравнение кривой подобрать не совсем легко, то проводят выравнивание ряда Y способом простой скользящей средней.

4.6.4. МНОЖЕСТВЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ

Если результат опыта зависит одновременно от нескольких показателей или факторов, то имеет место множественная корреляция. Например, зависимость урожайности зерна кукурузы Y от массы початков молочно-восковой спелости X , массы листьев Z . Силу связи между ними определяют по коэффициенту множественной корреляции R на основании коэффициентов корреляции для парных связей r_{yx} , r_{yz} , r_{xz} по формуле

$$R = \sqrt{\frac{r_{yx}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{yx}r_{yz}r_{xz}}{1 - r_{xz}^2}}$$

Например, в опытах И. П. Чучмия (1990) изучали парные связи у ранних и среднеранних гибридов кукурузы. Число пар (n) составляло 30, а показателей (k) — 3. Коэффициенты корреляции для парных связей оказались такими: 1) между урожайностью зерна (Y) и массой початков молочно-восковой спелости (X) $r_{yx} = 0,79$; 2) между урожайностью зерна (Y) и массой листьев (Z) $r_{yz} = 0,70$; между массой початков (X) и массой листьев (Z) $r_{xz} = 0,82$. Подставив эти коэффициенты в формулу, определяем коэффициент множественной корреляции

$$R = \sqrt{\frac{0,79^2 + 0,7^2 - 2 \cdot 0,79 \cdot 0,7 \cdot 0,82}{1 - 0,82^2}} = 0,787.$$

Как видно, связь сильная (коэффициент корреляции изменяется в пределах 0,66...0,99).

Для оценки достоверности связи вычисляют критерий Фишера по формуле

$$F_R = \frac{R}{1 - R^2} \left(\frac{n - k}{k - 1} \right) = \frac{0,787}{1 - 0,787^2} \left(\frac{30 - 3}{3 - 1} \right) = 2,79.$$

$n = 3, k = 3.$

Теоретические значения критерия Фишера находят для числа степеней свободы $v_y = 2$ и $v_z = n - 3 = 30 - 3 = 27$. Эти критерии составляют $F_{0,95} = 3,37$; $F_{0,99} = 5,53$ (см. табл. 2, 3 приложений).

В ы в о д : поскольку F_R составляет 27,9, что значительно превышает $F_{0,95}$ и $F_{0,99}$, то исследуемые связи являются высокодостоверными.

Для линейной множественной зависимости между тремя показателями Y , X и Z уравнение регрессии имеет такой вид:

$$Y = a + b_1X + b_2Z,$$

где Y — зависимая переменная; a — общее начало отсчета; b_1 и b_2 — коэффициенты частной регрессии; X и Z — независимые переменные.

Значения a , b_1 , b_2 вычисляют методом наименьших квадратов.

4.6.5. КОРРЕЛЯЦИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ. КОЭФФИЦИЕНТ НАСЛЕДУЕМОСТИ

Корреляция качественных показателей. Коэффициент корреляции качественных показателей вычисляют по формуле Юлла

$$r_p = \frac{n_1n_4 - n_2n_3}{\sqrt{N_1N_2N_3N_4}},$$

где n_1 , n_3 — число объектов без изучаемого показателя; n_2 , n_4 — число объектов с изучаемым показателем; N_1 , N_2 , N_3 , N_4 — общие объемы выборок.

Пример. В опыте, где изучали влияние фунгицида на пораженность растений ячменя головней, установлено: 1) при опрыскивании фунгицидом из 100 растений (N_1) оказалось 95 непораженных (n_1), а пораженных — 5 (n_2); 2) без опрыскивания из 150 растений (N_2) непораженных было 100 (n_3), а пораженных — 50 (n_4). Всего в двух вариантах непораженных растений было $95 + 100 = 195$ (N_3), а пораженных — $5 + 50 = 55$ (N_4). Всего обследовано $100 + 150 = 250$ растений (N).

Необходимо определить, достоверна ли связь между применением фунгицида и уменьшением поражения растений ячменя головней. Коэффициент корреляции качественных показателей рассчитывают по приведенной ранее формуле

$$r_p = \frac{95 \cdot 50 - 5 \cdot 100}{\sqrt{100 \cdot 150 \cdot 195 \cdot 55}} = \frac{4250}{12683} = 0,34.$$

В ы в о д : между применением фунгицида и уменьшением поражения растений ячменя головней связь средняя.

Вычисляют ошибку коэффициента корреляции

$$ms_r = \sqrt{\frac{1 - r_p^2}{N - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,34^2}{250 - 2}} = \sqrt{\frac{0,884}{248}} = 0,059.$$

Вычисляют критерий достоверности Стьюдента

$$t_r = r_p/s_r = 0,34/0,059 = 5,76.$$

Теоретическое значение критерия Стьюдента находят по числу степеней свободы $\nu_p = N - 2 = 250 - 2 = 248$. При этом $t_{0,95} = 1,96$; $t_{0,99} = 2,58$.

Вывод: поскольку критерий достоверности фактический составляет 5,76, что больше $t_{0,95}$ (1,96) и $t_{0,99}$ (2,58), то связь достоверная на обоих уровнях вероятности.

Коэффициент наследуемости. В селекционной работе часто приходится определять долю генетической изменчивости в общей вариабельности определенных показателей, например долю сахаристости, наследуемую гибридом сахарной свеклы от материнской формы, или долю наследования белка от материнской формы пшеницы и др. Для решения таких вопросов определяют коэффициент наследуемости по формуле

$$h^2 = 2R_{yx},$$

где R_{yx} — коэффициент регрессии ряда Y по ряду X .

Для определения коэффициента регрессии составляют вариационные ряды наследуемого показателя материнской формы X и гибрида Y . По этим данным вычисляют коэффициент регрессии по формуле

$$R_{yx} = \frac{\Sigma(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\Sigma(X - \bar{x})^2}.$$

Удвоенное значение этого коэффициента покажет долю (или процент) наследуемости изучаемого показателя. Если на 1 % содержания сахара в корнеплодах сахарной свеклы сахаристость гибрида изменяется на 0,3 % ($R_{yx} = 0,3$), то коэффициент наследуемости составит $h^2 = 2R_{yx} = 2 \cdot 0,3 = 0,6$ доли, или 60 %.

Достоверность регрессий определяют, сопоставляя $t_{R_{yx}}$ и $t_{теор}$. Если регрессия достоверна, достоверной будет и наследуемость.

4.7. КОВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Нередки случаи, когда деревья или кусты ягодников, многолетние травы на делянках значительно различаются по силе роста и урожаю в самом начале опыта. Как правило, такие растения еще больше различаются в конце опыта, поэтому оценка эффективности изучаемых вариантов без поправок на первоначальное состояние растений не будет объективной. В таких случаях необходимо установить соотношение между варьированием первоначального показателя, например урожая X ,

и последующим урожаем Y с помощью ковариационного анализа.

Ковариационный анализ используют также тогда, когда отдельные растения в опыте выпадают из-за повреждения вредителями, морозами, поражения болезнями. Однако его не следует применять в тех случаях, когда сильное поражение болезнями или морозами при сортоиспытании является особенностью сорта или когда в агротехническом опыте растения выпадают под влиянием высоких доз удобрений, гербицидов.

Сочетание дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов для приведения фактических средних по ряду Y к полной выравненности условий опыта по ряду X называют *ковариационным анализом*. В математической статистике ковариация (cov) — это средняя из произведений отклонений двух переменных X и Y от их средних арифметических:

$$\text{cov} = \frac{\sum (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{(n - 1)}$$

Пример. Урожайность яблонь в начале (X) и в конце опыта (Y) приведена в таблице 90. Необходимо сделать поправку урожайности в конце опыта с учетом урожайности в начале опыта.

Дисперсионный анализ для ряда X :

$$\text{корректирующий фактор } C = (\sum X)^2 / N = 15,2^2 / 12 = 19,25;$$

$$C_y = \sum X^2 - C = (1,0^2 + 1,2^2 + 0,9^2 + 1,3^2 + 1,2^2 + 1,0^2 + 1,4^2 + 1,6^2 + 1,6^2 + 1,0^2 + 1,6^2 + 1,4^2) - 19,25 = 0,73;$$

$$C_p = \sum P_x^2 / l - C = (3,8^2 + 3,2^2 + 3,9^2 + 4,3^2) / 3 - 19,25 = 0,21;$$

$$C_v = \sum V_x^2 / n - C = (4,4^2 + 5,2^2 + 5,6^2) / 4 - 19,25 = 0,19;$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v = 0,73 - 0,21 - 0,19 = 0,33.$$

Дисперсионный анализ для ряда Y :

$$C = (\sum Y)^2 / N = 18,4^2 / 12 = 28,21;$$

$$C_y = \sum Y^2 - C = (1,4^2 + 1,4^2 + 1,5^2 + 1,7^2 + 1,3^2 + 1,1^2 + 1,5^2 + 1,7^2 + 1,9^2 + 1,5^2 + 1,6^2 + 1,8^2) - 28,21 = 0,55;$$

$$C_p = \sum P_y^2 / l - C = (4,6^2 + 4,0^2 + 4,6^2 + 5,2^2) / 3 - 28,21 = 0,24;$$

$$C_v = \sum V_y^2 / n - C = (6,0^2 + 5,6^2 + 6,8^2) / 4 - 28,21 = 0,19;$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v = 0,55 - 0,24 - 0,19 = 0,12.$$

90. Урожайность яблонь в начале и в конце опыта, т/га

Вариант	Урожайность по повторениям				Суммы	Среднее
	I	II	III	IV		
1. X	1,0	1,2	0,9	1,3	1,4	1,1
Y	1,4	1,4	1,5	1,7	6,0	1,5
2. X	1,2	1,0	1,4	1,6	5,2	1,3
Y	1,3	1,1	1,5	1,7	5,6	1,4
3. X	1,6	1,0	1,6	1,4	5,6	1,4
Y	1,9	1,5	1,6	1,8	6,8	1,7
Суммы						
P_x	3,8	3,2	3,9	4,3	$\Sigma X = 15,2$	$\bar{x} = 15,2:12 = 1,27$
P_y	4,6	4,0	4,6	5,2	$\Sigma Y = 18,4$	$\bar{y} = 18,4:12 = 1,53$
$n = 4 \quad l = 3 \quad N = 1 \quad n = 12$						

Дисперсионный анализ произведения XY:

$$C = \Sigma X \Sigma Y / N = 15,2 \cdot 18,4 / 12 = 23,31;$$

$$C_y = \Sigma XY - C = (1,0 \cdot 1,4 + 1,2 \cdot 1,4 + 0,9 \cdot 1,5 + 1,3 \cdot 1,7 + 1,2 \cdot 1,3 + 1,0 \cdot 1,1 + 1,4 \cdot 1,5 + 1,6 \cdot 1,7 + 1,6 \cdot 1,9 + 1,0 \cdot 1,5 + 1,6 \cdot 1,6 + 1,4 \cdot 1,8) - 23,31 = 0,43;$$

$$C_p = \Sigma P_x P_y / l - C = (3,8 \cdot 4,6 + 3,2 \cdot 4,0 + 3,9 \cdot 4,6 + 4,3 \cdot 5,2) / 3 - 23,31 = 0,226;$$

$$C_x = \Sigma V_x V_y / n - C = (4,4 \cdot 6,0 + 5,2 \cdot 5,6 + 5,6 \cdot 6,8) / 4 - 23,31 = 0,99;$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v = 0,43 - 0,226 - 0,09 = 0,114.$$

Сумма квадратов регрессии

$$C_R = \Sigma YX / \Sigma X^2 = C_z^2 \text{ (для XY)} / C_z^2 \text{ (для } X^2) = 0,114^2 / 0,33 = 0,039.$$

Коэффициент регрессии

$$R_{yx} = C_z \text{ (для YX)} / C_z^2 \text{ (для } X^2) = 0,35.$$

Составляют таблицу результатов ковариационного анализа (табл. 91).

Величина R_{yx} означает, что при изменении урожайности предварительного учета X на 1 т/га урожайность в опыте Y изменяется на 0,35 т/га.

Выводы: 1) F для вариантов (5,9) превышает $F_{0,95}$ (5,79), следовательно, действие вариантов достоверно; 2) F для регрессии (2,5) меньше $F_{0,95}$, поэтому поправки урожая можно не делать. В случае необходимости их проводят следующим образом.

91. Результаты ковариационного анализа

Распределение	Суммы квадратов и произведений		v	s ²	F _{факт}	F _{0,95}	Коэффициент регрессии
	X ²	XY					
Общее	0,73	0,43	0,55	N-1 = 12-1 = 11			
Повторений	0,21	0,226	0,24	n-1 = 4-1 = 3			
Вариантов	0,19	0,09	0,19	l-1 = 3-1 = 2	$\frac{0,19}{2} = 0,095$	$\frac{0,095}{0,016} = 5,9$	$\frac{C_{xy}}{C_x^2} = \frac{0,114}{0,33} = 0,35 \text{ т/га}$
Остаток I	0,33	0,114	0,12	11-5 = 6	$\frac{0,12}{6} = 0,02$	5,79	
Регрессия	—	—	$\frac{(0,114)^2}{0,33} = 0,039$	X = 1; Y = 1; X + Y = 2; 2-1 = 1	0,039 = 2,4 0,016		
Остаток II	—	—	0,12 - 0,039 = 0,081	6-1 = 5			

92. Корректировка урожайности

Вариант	Урожайность опыта (X)	$\bar{x} - X$	R _{кор} ($\bar{x} - X$) = 0,35($\bar{x} - X$)		Урожайность, т/га	
			фактическая	скорректированная		
1	1,1	0,17	1,5	1,5 + 0,06 = 1,56		
2	1,3	-0,03	1,4	1,4 - 0,01 = 1,39		
3	1,4	-1,13	1,7	1,7 - 0,05 = 1,65		
$\bar{x} = 1,27$	$\Sigma(\bar{x} - X) = 0$	$\Sigma = 0$	$\bar{y} = 1,53$	$\bar{y}_1 = 1,53$		

Рассчитывают среднюю арифметическую ряда X . $\bar{x} = \Sigma X/l = (1,1 + 1,3 + 1,4)/3 = 1,27$. Отклонения $\bar{x} - X$, произведения $R_{yx}(\bar{x} - X)$ и скорректированная урожайность $Y_1 = Y + R_{yx}(\bar{x} - X)$ приведены в таблице 92.

Произведения:

$$R_{yx}(\bar{x} - X_1) = 0,35(1,27 - 1,1) = 0,06;$$

$$R_{yx}(\bar{x} - X_2) = 0,35(1,27 - 1,3) = -0,01;$$

$$R_{yx}(\bar{x} - X_3) = 0,35(1,27 - 1,4) = -0,05.$$

Таким же образом проводят ковариационный анализ результатов опытов с выпавшими растениями.

4.8. ПРОБИТ-АНАЛИЗ

В опытах по защите растений часто требуется определить летальные дозы пестицидов, т. е. выявить концентрации, от которых погибает 50 % особей вредителей или сорняков (ЛД₅₀). В связи с катастрофами на АЭС и других объектах возникла необходимость установить ЛД₅₀ радиоактивного облучения для людей, животных, растений. Выявление летальных доз в таких случаях затрудняется тем, что при графическом изображении результатов исследований получают S-образную кривую, которая требует сложной статистической обработки. Для того чтобы облегчить определение ЛД₅₀, кривую трансформируют в прямую линию с помощью вероятностной единицы, которая называется пробитом (probability unit) и соответствует определенному проценту гибели особей (табл. 93). Например, если гибель гусениц капустной совки составляет 43 %, то пробит равен 4,82.

Дозы (концентрации) изучаемых препаратов или излучений переводят в логарифмы по таблице 94.

93. Проби́ты, соответствующие проценту гибели особей

Гибель, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,02	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33

94. Дробные части логарифмов (мантиссы)

№ п/п	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	00	041	079	114	146	176	204	230	255	279
2	301	342	342	362	380	398	415	431	447	462
3	477	491	505	519	531	544	556	568	580	591
4	602	613	623	633	643	653	663	672	681	690
5	699	708	716	724	732	740	748	756	763	771
6	778	785	792	799	806	813	820	826	833	839
7	845	851	857	863	869	875	881	886	892	898
8	903	908	914	919	924	929	934	940	944	949
9	954	959	964	968	973	978	982	987	991	995

Целые части логарифмов равны числу цифр в заданном числе, уменьшенному на единицу. Так, целые части логарифма для числа 2000 составят $4 - 1 = 3$, для числа 200 — 2, для 20 — 1, для 2 — 0. Полное значение логарифма для числа 6 по таблице 94 будет 0,778, для числа 12 — 1,079, 25 — 1,398, 50 — 1,699, 100 — 2,000 и т. д.

Пример. В опыте изучали концентрации амбуша против капустной совки (табл. 95). Необходимо определить ЛД₅₀.

95. Гибель гусениц капустной совки при действии различных доз (мл/л) амбуша

<i>D</i>	Средняя гибель, %	$\log D$ (ось <i>X</i>)	Пробит (ось <i>Y</i>)
6	23	0,778	4,26
12	43	1,079	4,82
25	50	1,398	5,00
50	69	1,699	5,50
100	80	2,000	5,84
200	98	2,301	7,05

По значениям $\log D$ и пробитам строят график (рис. 42). Определяют, что $\log \text{ЛД}_{50}$ равен 1,7. По антилогарифмам находят ЛД₅₀ — 50 мг амбуша на 1 л раствора.

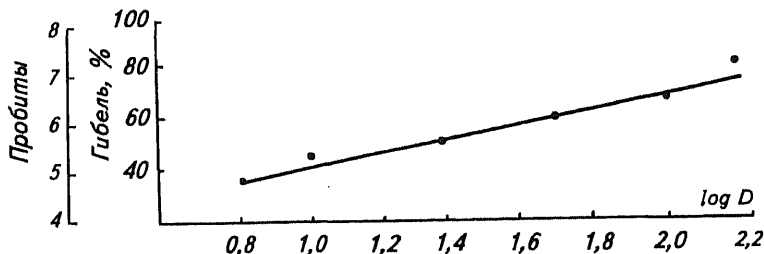


Рис. 42. Определение летальной дозы амбуша (ЛД₅₀) для гусениц совки с помощью пробитов и логарифмов дозы

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ t НА 5, 1 И 0,1%-НОМ УРОВНЯХ ЗНАЧИМОСТИ

Число степеней свободы	Уровень значимости			Число степеней свободы	Уровень значимости		
	0,05	0,01	0,001		0,05	0,01	0,001
1	12,71	63,66	—	18	2,10	2,88	3,92
2	4,30	9,93	31,60	19	2,09	2,86	3,88
3	3,18	5,84	12,94	20	2,09	2,85	3,85
4	2,78	4,60	8,61	21	2,08	2,83	3,82
5	2,57	4,03	6,86	22	2,07	2,82	3,79
6	2,45	3,71	5,96	23	2,07	2,81	3,77
7	2,37	3,50	5,41	24	2,06	2,80	3,75
8	2,31	3,36	5,04	25	2,06	2,79	3,73
9	2,26	3,25	4,78	26	2,06	2,78	3,71
10	2,23	3,17	4,59	27	2,05	2,77	3,69
11	2,20	3,11	4,44	28	2,05	2,76	3,67
12	2,18	3,06	4,32	29	2,05	2,76	3,66
13	2,16	3,01	4,22	30	2,04	2,75	3,65
14	2,15	2,98	4,14	50	2,01	2,68	3,50
15	2,13	2,95	4,07	100	1,98	2,63	3,39
16	2,12	2,92	4,02				
17	2,11	2,90	3,97				

2. ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ F НА 5%-НОМ УРОВНЕ ЗНАЧИМОСТИ (ВЕРОЯТНОСТЬ 95 %)

Степень свободы для меньшей дисперсии (числителя)	Степень свободы для большей дисперсии (знаменателя)													
	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	452	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	6,26	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	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,53	2,35	2,24	2,19
15	4,54	3,67	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	2,69	2,62	2,55	2,50	2,45	2,38	2,19	2,08	2,02
18	4,41	3,55	3,18	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	2,25	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	2,56	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

3. ЗНАЧЕНИЕ КРИТЕРИЯ F НА 1%-НОМ УРОВНЕ ЗНАЧИМОСТИ (ВЕРОЯТНОСТЬ 99 %)

Степень свободы для меньшей дисперсии (знаменатель)	Степень свободы для большей дисперсии (числитель)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	4042	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	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	27,05	26,60	26,35	26,23
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	7,46	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	5,28	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	4,95	4,85	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	3,78	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	3,99	3,78	3,69	3,61	3,54	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	3,68	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	3,65	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	2,19	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

4. ЗНАЧЕНИЯ 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			

Продолжение

Число степеней свободы	Уровень значимости									
	0,99	0,95	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,01		
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		

5. УГЛЫ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПРОЦЕНТАМ: УГОЛ-АРКСИНУС $\sqrt{\text{ПРОЦЕНТ}}$

%	Десятые доли процента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,0	1,8	2,6	3,1	3,6	4,0	4,4	4,8	5,1	5,4
1	5,7	6,0	6,3	6,6	6,8	7,0	7,3	7,5	7,7	7,9
2	8,1	8,3	8,5	8,7	8,9	9,1	9,3	9,5	9,6	9,8
3	10,0	10,1	10,3	10,5	10,6	10,8	10,9	11,1	11,2	11,4
4	11,5	11,7	11,8	12,0	12,1	12,2	12,4	12,5	12,7	12,8
5	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4	13,6	13,7	13,8	13,9	14,1
6	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,8	14,9	15,0	15,1	15,2
7	15,3	15,4	15,6	15,7	15,8	15,9	16,0	16,1	16,2	16,3
8	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	17,0	17,1	17,2	17,3	17,4
9	17,5	17,6	17,7	17,8	17,8	18,0	18,0	18,2	18,2	18,3
10	18,4	18,5	18,6	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,2	19,3
11	19,4	19,5	19,6	19,6	19,7	19,8	19,9	20,0	20,1	20,2
12	20,3	20,4	20,4	20,5	20,6	20,7	20,8	20,9	21,0	21,0
13	21,1	21,2	21,3	21,4	21,5	21,6	21,6	21,7	21,8	22,0

%	Десятые доли процента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	22,1	22,1	22,1	22,2	22,3	22,4	22,5	22,6	22,6	22,7
15	22,8	22,9	23,0	23,0	23,1	23,2	23,3	23,3	23,4	23,5
16	23,6	23,7	23,7	23,8	23,9	24,0	24,0	24,1	24,2	24,3
17	24,4	24,4	24,5	24,6	24,6	24,7	24,8	24,9	25,0	25,0
18	25,1	25,2	25,2	25,3	25,4	25,5	25,6	25,6	25,7	25,8
19	25,8	25,9	26,0	26,1	26,1	26,2	26,3	26,4	26,4	26,5
20	26,6	26,6	26,7	26,8	26,9	26,9	27,0	27,1	27,1	27,2
21	27,3	27,4	27,4	27,5	27,6	27,6	27,7	27,8	27,8	27,9
22	28,0	28,0	28,1	28,2	28,2	28,3	28,4	28,4	28,5	28,6
23	28,7	28,7	28,8	28,9	28,9	29,0	29,1	29,1	29,2	29,3
24	29,3	29,4	29,5	29,5	29,6	29,7	29,7	29,8	29,9	29,9
25	30,0	30,1	30,1	30,2	30,3	30,3	30,4	30,5	30,5	30,6
26	30,7	30,7	30,8	30,9	30,9	31,0	31,0	31,0	31,2	31,2
27	31,2	31,3	31,4	31,5	31,6	31,6	31,7	31,8	31,8	31,9
28	32,0	32,0	32,1	32,1	32,2	32,3	32,3	32,4	32,5	32,5
29	32,6	32,6	32,7	32,8	32,8	32,9	33,0	33,0	33,1	33,2
30	33,2	33,3	33,3	33,4	33,5	33,5	33,6	33,6	33,7	33,8
31	33,8	33,9	34,0	34,0	34,1	34,1	34,2	34,3	34,3	34,3
32	34,4	34,5	34,6	34,6	34,7	34,8	34,8	34,9	35,0	35,0
33	35,1	35,1	35,2	35,2	35,3	35,4	35,4	35,5	35,6	35,6
34	35,7	35,7	35,8	35,9	35,9	36,0	36,0	36,1	36,2	36,2
35	36,1	36,3	36,4	36,5	36,5	36,6	36,6	36,7	36,8	36,8
36	36,9	36,9	37,0	37,0	37,1	37,2	37,2	37,3	37,4	37,4
37	37,5	37,5	37,6	37,6	37,7	37,8	37,8	37,9	37,9	38,0
38	38,1	38,1	38,2	38,2	38,3	38,4	38,4	38,5	38,5	38,6
39	38,6	38,7	38,8	38,8	38,9	38,9	39,0	39,1	39,1	39,2
40	39,2	39,3	39,4	39,4	39,5	39,5	39,6	39,6	39,7	39,8
41	39,8	39,9	39,9	40,0	40,0	40,1	40,2	40,2	40,3	40,3
42	40,4	40,5	40,5	40,6	40,6	40,7	40,7	40,8	40,9	40,9
43	41,0	41,0	41,1	41,2	41,2	41,3	41,3	41,4	41,4	41,5

%	Десятые доли процента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	41,6	41,6	41,7	41,7	41,8	41,8	41,9	42,0	42,0	42,1
45	42,1	42,2	42,2	42,3	42,4	42,4	42,5	42,5	42,6	42,6
46	42,7	42,8	42,8	42,9	42,9	43,0	43,1	43,1	43,2	43,2
47	43,3	43,4	43,4	43,4	43,5	43,6	43,6	43,7	43,7	43,8
48	43,8	43,9	44,0	44,0	44,1	44,1	44,2	44,3	44,3	44,4
49	44,4	44,5	44,5	44,6	44,7	44,7	44,8	44,8	44,9	44,9
50	45,0	45,0	45,1	45,2	45,2	45,3	45,3	45,4	45,5	45,5
51	45,6	45,6	45,7	45,8	45,8	45,9	46,0	46,0	46,1	46,1
52	46,2	46,2	46,3	46,3	46,4	46,5	46,6	46,6	46,7	46,7
53	46,7	46,8	46,8	46,9	47,0	47,0	47,1	47,1	47,2	47,2
54	47,3	47,4	47,4	47,5	47,5	47,6	47,6	47,7	47,8	47,8
55	47,9	47,9	48,0	48,0	48,1	48,2	48,2	48,3	48,3	48,4
56	48,4	48,5	48,6	48,7	48,7	48,8	48,8	48,8	48,9	49,0
57	49,0	49,1	49,1	49,2	49,3	49,3	49,4	49,4	49,5	49,5
58	49,6	49,7	49,7	49,8	49,8	49,9	49,9	50,0	50,1	50,1
59	50,2	50,2	50,3	50,4	50,4	50,5	50,5	50,6	50,6	50,7
60	50,8	50,8	50,9	50,9	51,0	51,1	51,1	51,2	51,2	51,3
61	51,4	51,4	51,5	51,5	51,6	51,6	51,7	51,8	51,8	51,9
62	51,9	52,0	52,1	52,1	52,2	52,2	52,3	52,3	52,4	52,5
63	52,5	52,6	52,6	52,7	52,8	52,8	52,9	53,0	53,1	53,1
64	53,1	53,2	53,3	53,3	53,4	53,4	53,5	53,6	53,6	53,7
65	53,7	53,8	53,8	53,9	54,0	54,0	54,1	54,2	54,2	54,3
66	54,3	54,4	54,4	54,5	54,6	54,6	54,7	54,8	54,8	54,9
67	54,9	55,0	55,1	55,1	55,2	55,2	55,3	55,4	55,4	55,5
68	55,6	55,6	55,7	55,7	55,8	55,9	55,9	56,0	56,1	56,1
69	56,2	56,2	56,3	56,4	56,4	56,5	56,5	56,6	56,7	56,7
70	56,8	56,8	56,9	57,0	57,0	57,1	57,2	57,2	57,3	57,4
71	57,4	57,5	57,5	57,6	57,7	57,7	57,8	57,9	57,9	58,0
72	58,0	58,1	58,2	58,2	58,3	58,4	58,4	58,5	58,6	58,6
73	58,7	58,8	58,8	58,9	59,0	59,0	59,1	59,2	59,2	59,3

%	Десятые доли процента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74	59,3	59,4	59,5	59,5	59,6	59,7	59,7	59,8	59,9	59,9
75	60,0	60,1	60,1	60,2	60,3	60,3	60,4	60,5	60,5	60,6
76	60,7	60,7	60,8	60,9	60,9	61,0	61,0	61,1	61,2	61,3
77	61,3	61,4	61,5	61,6	61,6	61,7	61,8	61,8	61,9	62,0
78	62,0	62,1	62,2	62,2	62,3	62,4	62,4	62,5	62,6	62,6
79	62,7	62,8	62,9	62,9	63,0	63,1	63,2	63,2	63,3	63,4
80	63,4	63,5	63,6	63,6	63,7	63,8	63,9	63,9	64,0	64,1
81	64,2	64,2	64,3	64,4	64,4	64,5	64,6	64,7	64,8	64,8
82	64,9	65,0	65,0	65,1	65,2	65,3	65,4	65,4	65,5	65,5
83	65,6	65,7	65,8	65,9	66,0	66,0	66,1	66,2	66,3	66,3
84	66,4	66,5	66,6	66,7	66,7	66,8	66,9	67,0	67,0	67,1
85	67,2	67,3	67,4	67,4	67,5	67,6	67,6	67,8	67,9	67,9
86	68,0	68,1	68,2	68,3	68,4	68,4	68,5	68,6	68,7	68,8
87	68,9	69,0	69,0	69,1	69,2	69,3	69,4	69,5	69,6	69,6
88	69,7	69,8	69,9	70,0	70,1	70,2	70,3	70,4	70,4	70,5
89	70,6	70,7	70,8	70,9	71,0	71,1	71,2	71,3	71,4	71,5
90	71,6	71,7	71,8	71,8	72,0	72,0	72,2	72,2	72,3	72,4
91	72,5	72,6	72,7	72,8	73,0	73,0	73,2	73,3	73,4	73,5
92	73,6	73,7	73,8	73,9	74,0	74,1	74,2	74,3	74,4	74,6
93	74,7	74,8	74,9	75,0	75,1	75,2	75,4	75,5	75,6	75,7
94	75,8	75,9	76,1	76,2	76,3	76,4	76,6	76,7	76,8	77,0
95	77,1	77,2	77,3	77,5	77,6	77,8	77,9	78,0	78,2	78,3
96	78,5	78,6	78,8	78,9	79,1	79,2	79,4	79,5	79,7	79,9
97	80,0	80,2	80,4	80,5	80,7	80,9	81,1	81,3	81,5	81,7
98	81,9	82,1	82,3	82,5	82,7	83,0	83,2	83,4	83,7	84,0
99	84,3	84,6	84,9	85,2	85,6	86,0	86,4	86,9	87,4	88,2
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

6. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНАМИ Z И Г

Десятые доли Г	Значения Z при сотых долях Г									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090
0,1	0,100	0,110	0,121	0,131	0,141	0,151	0,161	0,172	0,182	0,192
0,2	0,203	0,213	0,224	0,234	0,245	0,255	0,266	0,277	0,288	0,299
0,3	0,309	0,321	0,332	0,343	0,354	0,365	0,377	0,388	0,400	0,412
0,4	0,424	0,436	0,448	0,460	0,472	0,485	0,498	0,510	0,523	0,536
0,5	0,549	0,563	0,576	0,590	0,604	0,618	0,633	0,648	0,663	0,678
0,6	0,693	0,709	0,725	0,741	0,758	0,776	0,793	0,811	0,829	0,848
0,7	0,867	0,887	0,908	0,929	0,951	0,973	0,996	1,020	1,045	1,071
0,8	1,099	1,127	1,157	1,188	1,221	1,256	1,293	1,333	1,376	1,422
0,9	1,472	1,527	1,589	1,658	1,738	1,832	1,946	2,092	2,298	2,647

7. ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ τ ДЛЯ 5%-НОГО И 1%-НОГО УРОВНЕЙ ЗНАЧИМОСТИ

n	τ		n	τ	
	0,01	0,05		0,01	0,05
4	0,991	0,995	13	0,502	0,395
5	0,916	0,807	16	0,472	0,369
6	0,805	0,689	18	0,449	0,349
7	0,740	0,610	20	0,430	0,334
8	0,683	0,554	22	0,414	0,320
9	0,635	0,512	24	0,400	0,309
10	0,597	0,477	26	0,389	0,299
11	0,566	0,460	28	0,378	0,291
12	0,541	0,428	30	0,369	0,283

8. ТАБЛИЦА СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	09	73	25	33	76	52	01	35	68	34	67	35	48	76	80	95	90	91	17
2	37	54	20	48	05	69	47	42	39	24	80	52	40	37	20	63	61	04	02
3	08	42	26	89	53	14	50	93	60	23	20	90	25	60	15	95	33	47	64
4	99	01	90	25	29	09	37	07	51	38	31	13	11	63	88	67	67	43	97
5	12	80	79	99	69	80	15	73	61	74	64	03	23	53	98	95	11	68	77
6	66	06	57	47	17	34	07	68	05	36	69	73	61	70	65	81	33	98	85
7	31	06	01	08	05	45	57	18	24	60	35	34	26	14	86	79	90	74	39
8	85	26	97	76	02	02	16	56	29	68	66	57	48	18	73	05	38	52	47
9	63	57	33	21	05	32	54	70	84	90	55	35	75	48	28	46	82	87	09
10	73	79	64	47	53	52	97	47	87	35	80	83	42	82	60	93	54	03	34
11	98	52	01	77	67	14	90	86	70	22	10	94	05	58	60	97	09	34	33
12	11	80	50	54	31	39	80	82	77	23	72	56	82	48	29	40	52	42	01
13	82	45	29	96	34	06	28	89	80	38	74	67	00	78	18	47	54	06	10
14	88	68	54	02	86	50	75	84	01	36	76	66	79	51	90	36	47	64	93
15	99	59	46	73	48	87	51	76	49	91	82	60	89	28	93	78	56	13	68
16	65	48	11	76	74	17	46	85	09	50	04	77	69	74	73	03	95	71	86
17	80	12	43	56	35	17	72	70	80	15	31	82	23	74	21	11	57	82	53
18	74	35	99	98	17	77	40	27	14	43	23	60	02	10	45	52	16	42	37
19	69	91	62	68	03	66	25	22	91	36	93	68	72	03	76	62	11	39	90
20	09	89	32	05	14	22	56	85	14	46	42	75	67	88	96	29	88	77	22
21	91	49	92	45	23	68	47	92	76	86	16	28	35	54	94	75	08	99	23
22	80	33	69	45	98	26	94	03	68	58	29	73	41	35	53	14	03	33	40
23	44	10	48	29	85	15	15	74	49	54	32	97	65	75	57	60	04	08	81
24	12	55	07	37	42	11	10	00	20	12	87	07	46	97	64	48	94	39	39
25	63	60	64	93	29	16	50	53	84	40	21	95	25	63	43	65	17	70	82
26	61	19	69	04	46	26	45	74	77	51	92	43	37	29	65	39	45	95	93
27	15	47	44	52	66	95	27	07	59	36	78	38	48	82	39	61	01	18	18
28	94	55	72	85	73	67	75	43	87	54	62	24	44	31	92	19	04	25	92
29	42	48	11	62	13	97	31	40	87	21	86	84	87	67	03	07	11	20	59
30	23	37	83	17	73	20	88	98	37	68	59	14	16	26	22	22	25	96	63

9. КРАТКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ (ПО Б. А. ДОСПЕХОВУ, 1985)

- Блок — часть повторения, компактная группа нескольких делянок, опыта; в зарубежной литературе термин применяют как для обозначения обычных повторений (см. «повторение»), так и собственно блоков — неполных повторений.
- Вариант опыта — изучаемое растение, сорт, условия возделывания, агротехнический прием или их сочетание.
- Вариационный ряд — ряд данных, в которых указаны значения варьирующего признака в порядке возрастания или убывания и соответствующие им численности объектов — частоты.
- Вероятность — мера объективной возможности события, отношение числа благоприятных случаев к общему числу всех возможных случаев. Обозначается буквой P .
- Выключка — часть учетной делянки, исключенная из учета из-за случайных повреждений или ошибок, допущенных при проведении опыта.
- Делянка опытная — элементарная единица опыта, часть площади опыта, имеющая определенные размер и форму и предназначенная для размещения отдельного варианта.
- Делянка учетная — часть площади опытной делянки, предназначенная для учета урожая (без боковых и поперечных защиток).
- Дисперсионный анализ — метод анализа результатов эксперимента, заключающийся в разложении общей изменчивости результативного признака, например урожая, на части — компоненты, соответствующие повторениям, вариантам, ошибкам случайного порядка и т. д. Значимость действия и взаимодействия изучаемых факторов оценивают по F и $HCP_{0,5}$.
- Достоверность опыта — правильно спланированные и реализованные схема и методика проведения опыта, соответствие их поставленным перед исследователем задачам, правильный выбор объекта, условий проведения опыта и метода статистической обработки данных.
- Защитная полоса, защита — краевые (боковые и поперечные) части делянок, которые не подвергаются учету и служат для исключения влияния растений соседних вариантов, для предохранения учетной части делянок от случайных повреждений, для разворота машин и орудий и т. п.
- Значимость (существенность) — мера объективной возможности (риск) сделать ошибочное заключение при оценке результатов опыта. При оценке результатов полевого опыта принято опираться на 5%-ный уровень значимости, при котором риск сделать ошибочное заключение составляет 5 %.

При более строгой оценке принимают 1%-ный уровень значимости.

Изменчивость — вариабельность, вариация индивидуальных значений признаков X около среднего значения \bar{x} . Основной мерой изменчивости являются дисперсия s^2 и стандартное отклонение s .

Контроль (стандарт) — один или несколько вариантов, с которыми сравнивают опытные варианты.

Корреляционный анализ — статистический метод определения тесноты и формы связи между признаками.

Корреляция — взаимосвязь между признаками, заключающаяся в том, что средняя величина значений одного признака меняется в зависимости от изменения другого признака.

Коэффициент вариации (изменчивости) — относительный показатель изменчивости признака, представляющий отношение стандартного отклонения s к средней арифметической, выраженное в процентах. Обозначается буквой V .

Коэффициент корреляции — статистический показатель тесноты (силы) связи. Обозначается буквой r .

Коэффициент регрессии — R_{yx} — число, показывающее, в каком направлении и на какую величину изменяется в среднем зависимая переменная Y (результативный признак) при изменении независимой переменной X на единицу измерения.

Латинский квадрат — схема рендомизированного (случайного) размещения вариантов в опыте, в котором делянки располагаются рядами и столбцами (4×4 , 5×5 , 6×6 и т. д.). В каждом ряду и столбце должен быть полный набор вариантов схемы (повторения), и, следовательно, в латинском квадрате число повторений равно числу вариантов, а общее число делянок равно квадрату числа вариантов.

Латинский прямоугольник — схема рендомизированного (случайного) размещения вариантов в опыте. В основе лежит латинский квадрат, который и определяет повторность опыта, число рядов и столбцов. Число вариантов должно быть кратным повторности ($4 \times 4 \times 3$; повторность $n=4$, число вариантов $l=12$).

Методика полевого опыта — включает следующие элементы: число вариантов, площадь делянок, их форма и направление, повторность, система размещения вариантов, повторений и делянок на территории, метод учета урожая, организация опыта во времени, а также метод статистического анализа данных.

Метод расщепленных (сложных) делянок — эксперимент, в котором делянки одного опыта используют как блоки для другого. Делянки первого порядка расщепляют на делянки второго порядка, а последние — на более мелкие делянки

- третьего порядка. Метод расщепленных делянок с рендомизированным размещением вариантов используют для закладки многофакторных опытов.
- Метод рендомизированных (случайных) повторений — эксперимент, в котором варианты по делянкам размещены в случайном порядке по таблице случайных чисел или по жребию. Это наиболее распространенный метод размещения вариантов.
- Наименьшая существенная разность (НСР) — величина, указывающая границу возможных случайных отклонений в эксперименте; это та минимальная разность в урожаях между средними, которая в данном опыте признается существенной при 5%-ном (НСР₀₅) или 1%-ном (НСР₀₁) уровне значимости.
- Опыт — исследование, осуществляемое на специально выделенном участке для оценки действия различных вариантов (сортов) на урожай растений и его качество.
- Ошибка опыта, выборка — мера расхождения между результатами выборочного исследования и истинным значением измеряемой величины. При обработке результатов опыта методом дисперсионного анализа определяют обобщенную ошибку средних, выражаемую в тех же единицах измерения, что и изучаемый признак. Ошибку $s_{\bar{x}}$, выраженную в процентах от соответствующей средней, называют относительной ошибкой опыта или выборки ($s_{\bar{x}}\%$). В полевом опыте величину $s_{\bar{x}}\%$ (старое обозначение $m\%$ или P), часто без учета уровня урожайности, используют в качестве показателя, характеризующего точность полевого опыта.
- Относительная ошибка — ошибка средней, выраженная в процентах от соответствующей средней.
- Повторение — часть площади опытного участка, включающая делянки с полным набором вариантов схемы опыта.
- Повторность — число одноименных делянок каждого варианта в данном полевом опыте. Повторность опыта во времени — число лет испытания агротехнических приемов или сортов.
- Производственный сельскохозяйственный опыт — комплексные исследования, которые проводятся в производственных условиях бригадами, отделениями, хозяйствами или группой хозяйств и отвечают конкретным задачам производства, его развития и совершенствования.
- Рекогносцировочный (разведывательный) посев — сплошной посев одной культуры, предшествующий закладке опыта и проводимый для выявления степени однородности (путем дробного учета урожая) почвенного плодородия на площади опыта.
- Систематическое размещение вариантов — схема, при которой порядок следования вариантов в каждом повторении под-

чиняется определенной системе (последовательно, в шахматном порядке).

Схема опыта — совокупность опытных и контрольных вариантов, объединенных общей идеей.

Типичность (репрезентативность) — соответствие проведения опыта почвенно-климатическим и агротехническим условиям сельскохозяйственного производства данной зоны.

Уровень значимости — риск сделать ошибочное заключение. В агрономических исследованиях допускается 5 и 1 %. Обозначается буквой P_1 .

Учет урожая сплошной — метод учета урожая, при котором взвешивают и учитывают всю товарную часть продукции со всей площади каждой учетной делянки опыта.

Факториальный опыт (ПФЭ) — многофакторный опыт, схема которого включает все возможные сочетания (комбинации) факторов, что позволяет установить действие и взаимодействие изучаемых факторов.

Число степеней свободы — число свободно варьирующих величин. Обозначается буквой ν и в простейшем случае равно числу всех наблюдений, уменьшенному на единицу ($n - 1$).

10. БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН

μ — средняя генеральной совокупности;

σ^2 — дисперсия генеральной совокупности;

σ — стандартное отклонение генеральной совокупности;

X — значение варьирующего признака;

\bar{x} — средняя арифметическая;

Σ — сумма;

s^2 — дисперсия, средний квадрат;

s — стандартное отклонение, среднее квадратическое отклонение;

и;

V — коэффициент вариации, изменчивости;

$s_{\bar{x}}$ — ошибка средней арифметической;

$s_{\bar{x}}\%$ — относительная ошибка средней арифметической;

d — разность между средними арифметическими;

\bar{d} — средняя разности;

s_d — ошибка разности между средними арифметическими;

H_0 — нулевая гипотеза;

$t_{\text{факт}}$ — критерий Стьюдента фактический (расчетный);

P — уровень вероятности (значимости);

$t_{0,95}$, $t_{0,99}$ — теоретические значения критериев Стьюдента для

уровней вероятности $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$;

$F_{\text{факт}}$ — критерий Фишера фактический (расчетный);

$F_{0,95}$, $F_{0,99}$ — критерии Фишера теоретические для уровней вероятности $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$;

$\chi^2_{\text{факт}}$ — критерий хи-квадрат расчетный;

$\chi^2_{0,95}, \chi^2_{0,99}$ — критерии хи-квадрат для уровней вероятности $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$;

$НСР_{0,95}, НСР_{0,99}$ — наименьшие существенные разности для уровней вероятности $P_{0,95}$ и $P_{0,99}$;

l — число вариантов;

n — число повторностей, объем выборки;

N — число делянок в опыте, общее число наблюдений;

ν — число степеней свободы;

C — корректирующий фактор;

C_y, C_p, C_v, C_z — суммы квадратов рассеиваний: общего, повторений, вариантов, остатка (ошибки);

r — коэффициент линейной корреляции;

s_r — ошибка коэффициента линейной корреляции;

R_{yx} — коэффициент регрессии Y по X ;

s_R — ошибка коэффициента регрессии;

$r_{xy,z}, r_{xz,y}$ — частные линейные коэффициенты корреляции;

$R_{x,yz}, R_{y,xz}$ — множественные линейные коэффициенты корреляции;

η_{xy} — корреляционное отношение Y по X ;

cov — ковариация;

h^2 — коэффициент наследуемости.

ЛИТЕРАТУРА

- Агрофизические методы исследования почв. — М.: Наука, 1966. — 259 с.
- Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1965. — 436 с.
- Биометрический анализ в биологии / Под ред. Г. Н. Зайцева. — М.: Изд-во МГУ, 1982. — 160 с.
- Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений. — Киев: Наукова думка, 1973. — 591 с.
- Деревицкий Н. Ф. Опытное дело в растениеводстве. — Кишинев: Штиинца, 1962. — 616 с.
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. — М.: Колос, 1985. — 416 с.
- Доспехов Б. А., Васильев И. П., Туликов А. М. Практикум по земледелию. — М.: Агропромиздат, 1987. — 383 с.
- Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. — М.: Наука, 1968. — 265 с.
- Колпаков В. В., Сухарев И. П. Сельскохозяйственные мелиорации. — М.: Агропромиздат, 1988. — 319 с.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. — М.: Высшая школа, 1980. — 296 с.
- Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ / Пер. с англ. — М.: Колос, 1981. — 320 с.
- Майсурян Н. А. Растениеводство (лабораторно-практические занятия). — М.: Колос, 1964. — 399 с.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. — Вып. 2. — М., 1989. — 194 с.
- Моисейченко В. Ф., Заверюха А. Х., Трифонова М. Ф. Основы научных исследований в плодоводстве, овощеводстве и виноградарстве. — М.: Колос, 1994. — 384 с.
- Молостов А. С. Методика полевого опыта. — М.: Колос, 1965. — 239 с.
- Опытное дело в полеводстве / Под ред. Г. Ф. Никитенко. — М.: Россельхозиздат, 1982. — 192 с.
- Павлова М. Д. Практикум по агрометеорологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 184 с.
- Проведение многофакторных опытов с удобрениями и математический анализ их результатов / Под ред. В. Н. Перегудова. — М.: ВИУА, 1976. — 112 с.
- Растениеводство / П. П. Вавилов, В. В. Гриценко, В. С. Кузнецов и др. // Под ред. П. П. Вавилова. — М.: Агропромиздат, 1986. — 552 с.
- Сидякин В. Г., Сотников Д. И., Сташков А. Н. Основы научных исследований. Биология. — Киев: Вища школа, 1987. — 200 с.
- Снедекор Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии / Пер. с англ. — М.: Изд-во с.-х. лит., 1961. — 504 с.
- Урбах В. Ю. Биометрические методы. — М.: Наука, 1964. — 410 с.
- Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований. — М.: Колос, 1972. — 270 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть 1. Основы методики исследований	3
1.1. Опытное дело	3
1.1.1. Краткая история опытного дела	3
1.1.2. Структура и задачи научных учреждений	4
1.1.3. Основные понятия и термины	7
1.2. Научные исследования	10
1.2.1. Уровни и виды исследований	11
1.2.2. Системный подход в науке	13
1.2.3. Методы исследований	14
1.3. Агрономические опыты	25
1.3.1. Классификация опытов	25
1.3.2. Использование опытов для решения конкретных задач	28
1.3.3. Специфика опытов по сортоиспытанию	33
1.3.4. Требования, предъявляемые к опытам	35
1.3.5. Основные элементы методики полевого опыта	46
1.3.6. Условия проведения опытов	56
1.3.7. Пути повышения точности и достоверности опытов	60
1.4. Размещение вариантов в опытах	63
1.4.1. Классификация методов размещения вариантов	63
1.4.2. Случайное (рэндомизированное) размещение	66
1.4.3. Стандартное и систематическое размещение	75
1.5. Выбор и подготовка земельной площади для опытов	77
1.5.1. Почвенно-биологическое обследование земельной площади	78
1.5.2. Выбор почв для основных опытных культур	80
1.5.3. Подготовка земельной площади для опыта	82
1.5.4. Рекогносцировочные посевы	84
1.6. Планирование опытов	86
1.6.1. Теоретические основы планирования	86
1.6.2. Схемы опытов	92
1.6.3. Использование компьютера при планировании опытов	102
1.6.4. Сроки и техника отбора образцов	104
1.6.5. Объем выборки	105
1.7. Закладка различных опытов	109
1.7.1. Изучение сроков посева озимой пшеницы	109
1.7.2. Опыт с удобрением кукурузы	113
1.7.3. Специфика закладки опытов с орошением	117
1.7.4. Особенности агротехники на опытном поле	120
1.8. Опыты в условиях производства	123
1.8.1. Необходимость в проведении опытов на производстве	123
1.8.2. Выбор изучаемых вопросов и места для опыта	124
1.8.3. Закладка и проведение опытов	125
1.8.4. Специфика опытов, проводимых на производстве	127
Часть 2. Схемы опытов, наблюдения и учеты при изучении основных агрономических вопросов	132
2.1. Изучение предшественников полевых культур	132
2.2. Опыты с отдельными севооборотными звеньями и целыми севооборотами	137
2.3. Изучение использования удобрений	142

2.4.	Изучение обработки почвы	146
2.5.	Изучение сроков, способов посева (посадки), глубины заделки семян	151
2.5.1.	Сроки посева (посадки)	151
2.5.2.	Глубина заделки семенного материала	153
2.5.3.	Способы посева (посадки)	154
2.6.	Опыты с гербицидами	156
2.7.	Изучение химических средств защиты растений от вредителей и болезней	159
2.8.	Изучение противоэрозионных приемов	161
2.9.	Сортоиспытание	164
2.10.	Изучение орошения	168
Часть 3. Методика наблюдений и учетов		
3.1.	Метеорологические наблюдения	171
3.2.	Изучение физических свойств почвы	179
3.3.	Определение агрохимических показателей почвенной среды	188
3.4.	Определение биологической активности почвы методом Штатнова	194
3.5.	Учет засоренности посевов и почвы	194
3.6.	Фитопатологические учеты на посевах различных культур	198
3.7.	Энтомологические учеты	204
3.8.	Фенологические наблюдения	209
3.9.	Оценка посевов и учет биометрических показателей	212
3.10.	Изучение корневой системы	221
3.11.	Учет надземных и корневых остатков	224
3.12.	Учет урожая	225
3.13.	Анализ растительных образцов	238
3.13.1.	Анализ зерна и семян	240
3.13.2.	Анализ сноповых образцов	244
3.13.3.	Определение содержания сухого вещества и влаги в растениях	245
3.13.4.	Химико-технологические показатели	245
Часть 4. Основы статистического анализа результатов исследований		
4.1.	Математическая статистика	259
4.1.1.	Краткая история	259
4.1.2.	Основные понятия	260
4.1.3.	Основные задачи	264
4.2.	Анализ вариационных рядов количественной и качественной изменчивости	265
4.2.1.	Количественная изменчивость	265
4.2.1.1.	Малые выборки	265
4.2.1.2.	Большие выборки	269
4.2.2.	Качественная изменчивость	271
4.3.	Подготовка данных к статистической обработке	272
4.4.	Дисперсионный анализ	277
4.4.1.	Анализ данных однофакторных полевых опытов	278
4.4.2.	Анализ данных многофакторных опытов, размещенных методом рандомизированных повторений	286
4.5.	Недисперсионные методы статистической обработки опытов	294
4.5.1.	Дробный метод	294
4.5.2.	Разностный метод	297
4.5.3.	Обработка показателей качественной изменчивости	298
4.5.4.	Определение соответствия между фактическими и ожидаемыми распределениями по χ^2 -критерию	300
4.6.	Корреляционный и регрессионный анализы	302
4.6.1.	Анализ линейной зависимости	303
4.6.2.	Анализ криволинейной зависимости	306
4.6.3.	Составление уравнений регрессии для криволинейной зависимости	308

4.6.4. Множественная корреляция	310
4.6.5. Корреляция качественных показателей. Коэффициент наследуемости	311
4.7. Ковариационный анализ	312
4.8. Пробит-анализ	316
<i>Приложения</i>	318
1. Значения критерия t на 5, 1 и 0,1%-ном уровнях значимости	318
2. Значения критерия F на 5%-ном уровне значимости (вероятность 95 %)	319
3. Значения критерия F на 1%-ном уровне значимости (вероятность 99 %)	320
4. Значения критерия χ^2	321
5. Углы, соответствующие процентам: угол-арксинус $\sqrt{\text{процент}}$	322
6. Соотношение между величинами Z и r	326
7. Значения критерия t для 5%-ного и 1%-ного уровней значимости	326
8. Таблица случайных чисел	327
9. Краткий указатель терминов (по Б. А. Доспехову, 1985)	328
10. Буквенные обозначения величин	331
<i>Литература</i>	333

Учебное издание

**Моисейченко Владимир Федорович,
Трифоновна Мария Федотовна,
Заверюха Александр Харлампиевич,
Ещенко Владимир Емельянович**

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АГРОНОМИИ

Учебник для вузов

Художественный редактор *В. А. Чуракова*
Технический редактор *Т. Я. Белобородова*
Корректоры: *Л. А. Котова, В. Н. Маркина*

ИБ № 8310
Лицензия № 010159 от 04.01.92 г.

Сдано в набор 30.07.96. Подписано в печать 06.11.96. Формат 60x88 ¹/₁₆.
Бумага Офсетная № 1. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,58.
Усл. кр.-отт. 20,58. Уч.-изд. л. 22,90. Тираж 3140 экз. Изд № 252.
Заказ № 695 . «С» № 057.

Государственное предприятие ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Колос»,
107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18.

Типография «Внешторгиздат», 127576, Москва, Илимская, 7.