

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра агрохимии и  
физиологии растений

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АГРОХИМИЯ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Ставрополь  
«АГРУС»  
2020

УДК

ББК

Э

**Авторский коллектив:**

*А. Н. Есаулко, О. Ю. Лобанкова, В. В. Агеев, Е. В. Голосной,  
С. А. Коростылев, А. Ю. Ожередова*

**Рецензенты:**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

*В.С. Цховребов*

доктор сельскохозяйственных наук, доцент

*О.И. Власова*

Э

Экспериментальная агрохимия : учебное пособие / А. Н. Есаулко, О. Ю. Лобанкова, В. В. Агеев и др. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос.аграрного ун-та, 2020. – 187 с.

Настоящее учебное пособие разработано для самостоятельной работы студентов направления 35.04.04 «Агрономия», выполняющих практическим по дисциплине «Экспериментальная агрохимия» в соответствии с Государственным образовательным стандартом и программами магистратуры, рекомендуется к использованию при подготовке и выполнении выпускной квалификационной работы.

В учебном пособии приведено описание основных методов исследования в агрохимической экспериментальной работе, подробно рассматривается организация, методика и техника вегетационного и полевого опыта, показаны основы статистической обработки экспериментальных данных при проведении агрохимических исследований.

**УДК  
ББК**

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный  
аграрный университет, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

- 1 Основные направления проведения агрохимических исследований – исторический ракурс и перспективы
- 2 Основные методы исследований
- 3 Классификация и характеристика опытов. Группы и виды опытов
- 4 Вегетационный опыт
  - Сооружения для проведения вегетационных опытов
  - Модификации вегетационного опыта
  - Техника вегетационного опыта
  - Порядок и техника вегетационного опыта с песчаной культурой
  - Опыты с почвенной изоляцией удобрений
  - Схемы опыта
- 5 Полевой опыт
  - Методика и техника полевого опыта
  - Выбор участка
  - Подготовка участка
  - Размещение опыта на участке
  - Закладка опыта
  - Уход за растениями
  - Сопутствующие наблюдения в течение вегетационного периода
  - Учет результатов полевого опыта
  - Особенности проведения опытов в условиях производства
  - Особенности методики мелкоделяночных опытов
  - Особенности постановки опытов на орошаемых землях
  - Агрохимические и агрофизические исследования в полевых опытах с удобрениями
- 6 Статистическая обработка экспериментальных данных при проведении агрохимических исследований
  - Подготовка данных к статистической обработке
  - Обобщенный метод статистической обработки
  - Дисперсионный анализ
  - Оценка точности опыта
  - Таблицы Стюдента и Фишера
  - Пример обработки результатов полевого опыта
  - Корреляционный и регрессионный анализы
  - Ковариационный анализ
  - Словарь основных терминов
  - Литература
  - Приложение

## 1 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ – ИСТОРИЧЕСКИЙ РАКУРС И ПЕРСПЕКТИВЫ

Со времён Древней Греции высоко чтили математику, считая, что в природе все упорядочивается в соответствии с числами. В работах Аристотеля впервые высказываются 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.

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. Деревецкий, 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. Рокецкого (1967), В. Ю. Урбаха (1964), А. С. Молостова (1965)

и др. Особым событием был выход книги Б. А. Доспехова «Методика полевого опыта» (1965). До настоящего времени актуальной остаётся работа Г. Ф. Лакина «Биометрия» (1980).

В аграрной науке полевой опыт имеет историческую ценность. История восходит к середине XIX века и предвосхищена трудами основателей этой науки - Н. Соссюра, К. Шпренгеля, Ж. Буссенго, М. Вольни, Д. Лооза, Г. Гильберта и других. Это эпоха бурного развития науки, период «*experimenta lucifera*» – в каждом опыте открытие.

Тогда зародилась и была реализована идея сравнительного опыта, в котором по достаточно строгой методике испытывались воздействия на растения с применением одного, двух и даже трех факторов. В методическом отношении современные опыты – прямое продолжение этих традиций. Еще в то время были сформулированы основные постулаты, которые сегодня называют законами земледелия.

Интересно и знаменательно – Ю. Либих, формулируя эти постулаты, исходил из теоретических предпосылок и, прежде всего, закона сохранения вещества. Знаменательно и то, что в результате беспрецедентной экспериментальной работы (более чем за 150 лет), принципиальных дополнений к основным законам не произошло.

Полевые опыты в Европе и России начали закладывать одновременно. Но очень быстро выяснилось, что в России особая ситуация – огромный размах различий в природно-социально-экономических условиях. Это следовало учесть, а может быть, и использовать эти обстоятельства. В первой публикации по опытному делу Д. И. Менделеев (1868) сформулировал идею серийности экспериментов: закладка опытов по единой программе-методике в различных почвенно-климатических условиях России с использованием математического аппарата для верификации и репрезентативности научных результатов. Эта идея приобрела очертания стройной программы, а опытная сеть мыслилась как единая система в разработках А. Е. Зайкевича, В. В. Винер, А. С. Фамницина, П. Ф. Баранова, Н. М. Катаева и других.

К концу XIX в. в зарубежных странах и России создаются опытные станции и опытные поля (В. В. Таланов, Восточное и Западное поля в г. Ставрополе, Прикумское опытное поле, ныне в г. Буденновске), отрабатывается методика, закладываются многочисленные опыты.

К тридцатым годам XX в. методика опытного дела получает четкое оформление. Р. Фишер, Ф. Иэйтс закладывают основы планирования экспериментов, Э. Митчерлих формулирует законы факторов роста растений, закладывается по инициативе Д. Н. Прянишникова, А. Н. Лебеядцева, П. Г. Найдина географическая сеть опытов с удобрениями.

Перед Второй мировой войной и, особенно, после Великой Отечественной войны экспериментальная работа в аграрной науке приобретает грандиозный размах, публикуются руководства по опытному делу. В качестве основного учебника использовалась и используется ныне «Методика опытного дела» Б. А. Доспехова. Это издание стало настольной книгой каждого студента агрономического профиля и научного работника. В 70–90-е гг. прошлого века в бывшем СССР число полевых опытов по ориентировочным данным исчислялось 5 тысячами, в том числе около 400 многолетних. По этим показателям страна далеко обогнала весь остальной мир вместе взятый (Семенов В. А., 2003).

Длительные опыты с удобрениями, некоторые из которых приближаются к 100-летнему юбилею, позволяют выявить взаимосвязи между ростом и развитием растений, режимами и свойствами почв, воздействием погодных условий в различных почвенно-климатических зонах. Только на основе уникальной информации, содержащейся в длительных опытах, возможно разработать стратегию наиболее целесообразного взаимодействия человека с природой, приемами и способами, имеющимися в его арсенале (удобрения, технологии, средства химической и биологической защиты растений, селекция, структура севооборотов и т. д.), для получения необходимой сельскохозяйственной продукции и сохранения потомками плодородия почв и экологически сбалансированной природной среды.

Длительные опыты позволяют оценить изменения медленно текущих почвенных процессов, выявить точные математические взаимосвязи, позволяющие оптимизировать агротехнические приемы для различных почвенно-климатических сценариев. Экспериментальная информация длительных опытов может использоваться для прогнозных расчетов в ландшафтном земледелии, при устойчивости агроценозов, оценке роли управляемых и неуправляемых факторов продукционного процесса, оптимизации

системы удобрения с учетом степени окультуренности почвы и дифференцированных агротехнологий.

В результате экспедиции, посвященной 100-летию со дня выхода в свет книги В. В. Докучаева «Русский чернозем», выполненной под руководством профессоров Г. Г. Данилова, В. В. Агеева и географически охватывающей Южный Федеральный округ, было выявлено и описано 12 длительных опытов с удобрениями, заложенных в различных почвенно-климатических регионах. Экспедиция 1991 – 1994 гг., выполненная под руководством профессора В. В. Агеева по тому же маршруту, нашла сохранившимися 4 стационара, из которых 3 оказались «законсервированными».

По результатам инвентаризации длительных опытов в РФ, завершенной ВИУА в 2002 г., в стране проводится 328 длительных опытов, среди которых 42 имеют продолжительность более 50 лет, 119 - более 20 лет.

На первом этапе в Реестр длительных опытов Россельхозакадемии вошло 54 опыта. Южный Федеральный округ в Реестре представлен 5 длительными опытами, среди которых уникальный (заложенный профессором П. Е. Простаковым в 1946 г.), в котором проводится мониторинг плодородия чернозема обыкновенного при длительном орошении (с 1922 г.), естественном увлажнении и систематическом применении удобрений.

Из 5 стационаров три расположены в зоне черноземов выщелоченных и 2 – в зоне черноземов обыкновенных. Отсюда возникает необходимость пополнения Реестра и расширения всероссийской (федеральной) базы данных длительных опытов ежегодно по мере восстановления «законсервированных» опытов.

Уже упоминалось о предложениях ученых России создать в стране систему земледельческих, в широком понимании этого определения, экспериментов. Первый тезис этих предложений можно считать выполненным – создана развитая сеть научных учреждений. Но второй тезис о системе опытов практически никак не реализовался. Даже наиболее организованные экспериментальные блоки (географическая сеть опытов с удобрениями и сортоиспытание) далеко не в полной мере следуют принципу системности (Хомякова Д. М., Искандерян Р. А., 2003).

В целом же огромная масса опытов не составляет сколько-нибудь связной системы, а общая информативность полевых

экспериментов крайне низкая. В общепризнанных руководствах (Б. А. Доспехов, П. Н. Константинов, Н. Ф. Деревецкий и др.) вопросы организации опытного дела не были поставлены, несмотря на то, что в более ранних публикациях организационный аспект был ведущим, а потом он перестал рассматриваться.

Организационная структура опытного дела весьма инерционна и трудно воспринимает самые серьезные новации. К началу XX тысячелетия наука выдвинула новую парадигму земледелия – адаптивно-ландшафтную. Её приняли, но в структуре экспериментов не произошло никаких сдвигов, если не сказать, что во всех планах научных работ появились слова «адаптивно-ландшафтное», а опыты ведутся те же и так же, что и прежде. При такой постановке дела вряд ли можно рассчитывать на адекватное экспериментальное обеспечение разработки новых систем земледелия.

Научные учреждения аграрного профиля (и не одно) имеются в каждом субъекте Федерации. Однако реальная степень проективного покрытия угодий России экспериментальной сетью до сих пор не определена. Непонятно также, на какую территорию можно распространить результаты опытов того или иного научного учреждения. Предполагается чисто формальное решение: раз НИИСХ находится на территории известного субъекта РФ, значит, эта территория и есть сфера его обслуживания. То, что НИУ расположено в конкретных почвенно-климатических условиях и не обязательно свойственно всей территории административного субъекта, игнорируется. На таком фоне привычное представление о приоритете эксперимента приобретает негативный характер.

Результат опыта рассматривается как готовый научный продукт и привязывается часто не к почвенно-климатическим условиям, а к территории административного субъекта федерации, региона. Следствием этого становится расширительное толкование результатов опыта. Полученный в одной точке, он объявляется пригодным для административного субъекта или всего региона. Это стало нормой опасной и вредной. Она дезорганизует практику и дискредитирует науки.

В аграрной науке всегда, за исключением, может быть, периода её зарождения, отсутствовал такой атрибут научного процесса, как научное объяснение. В развитых естественных науках под этим понимается функция исследования, состоящая в раскрытии сущности изучаемого объекта или явления путем постижения законов и



закономерностей, которым они подчиняются (Герц Г., 1982; Никитин Е. П., 1970; Харвей Д., 1974; Braithwaite R. B., 1960; Nagel E., 1961; Popper K. R., 1959).

Между тем, объяснение и есть настоящая цель любого исследования. Без объяснения нет настоящего знания. Проблема в том, что современная манера постановки опытов направлена на выработку объяснений. В последнее время в качестве суррогата объяснения используются разного рода уравнения, полученные путем обработки экспериментальных данных. Их называют моделями. На самом деле это не модели и не объяснения, потому что никак не раскрывается содержательная сторона дела, определение формы зависимостей, выбор аргументов.

Компьютер, действительно, считает правильно. Но, что в результате? В правой части уравнения фигурирует, например, гумус в процентах, фосфор в миллиграммах, а в левой — тонны с гектара; как миллиграммы превращаются в тонны? Над используемыми нами математическими построениями довлеет некий рок — размерность. Необходимо разработать новые, адекватные формы уравнений, обеспечивающие её безусловное соблюдение.

Необходимо радикально пересмотреть отношение к математизации агрохимии и смежных наук. Это диктуется тем, что стандартные статистические процедуры, которые сейчас в широком ходу, редко подходят для обработки экспериментальных данных. Выборки информации, как правило, не имеют нормального распределения вероятности — обязательное условие для использования обычных статистических расчетов, а независимость переменных — столь же обязательное условие построения множественных зависимостей. В обычной практике анализ распределения в выборке не проводится. При получении неудовлетворительного результата исследователь чаще всего оставляет без внимания распределение, данные идут в расчеты. При видимом благополучии, результаты таких расчетов практически всегда неверны по существу, но ими широко оперируют для доказательства наличия связей, их формы и тесноты.

Сегодняшние возможности аграрной науки с каждым днём становятся всё шире. Есть время и, следовательно, возможность подумать и подготовить рациональные альтернативы и, в первую очередь, это касается новой организации опытного дела и нового подхода к эксперименту.

Стремление устранить недостатки – серьезное основание для пересмотра позиций и формирования новой системы взглядов, новой парадигмы, исходя из того, что наука сейчас знает больше, чем раньше, и она способна ставить перед природой более сложные задачи, глубже проникать в существо явлений. Однако современная методология ограничивает эти намерения. С другой стороны, практика будет ставить перед наукой более серьезные проблемы и требовать конкретных адаптационных решений, а не общих рекомендаций (Агеев В. В. с соавт., 1991; 2003; 2004).

Методы же выработки таких решений нельзя создать при современном экспериментальном вооружении, когда речь идет о точном земледелии. А что такое точное земледелие без точных адаптированных к конкретным условиям нормативов? Создать же такие нормативы можно, располагая не только точными, но и хорошо организованными данными. Это дело неблизкого будущего. Прежде надо осмыслить глубокие различия в понимании роли эксперимента в аграрной науке и естественных науках. Сравним два толкования этой роли:

- первоосновой, источником теоретических исследований, по Б. А. Доспехову (1973), служит наблюдение, опыт, а обобщение экспериментальных данных развивает теорию;

- согласно БСЭ (1978, т. 30, с. 6), «...эксперимент осуществляется на основе теории, определяющей постановку задач и интерпретацию его результатов. Нередко главной задачей эксперимента служит проверка гипотез и предсказаний теории».

Определения противоположны. Практически все отмеченные выше недостатки, свойственные аграрной науке, являются, так или иначе, следствием неверно выбранной позиции опыта в научном процессе: «на основе опыта можно проверить теорию, но нет пути от опыта к построению теории» (Эйнштейн, А. Собр. соч. - Т. IV, 1968. - С. 291). Вряд ли можно сомневаться в каноническом определении и авторитетнейшем высказывании. Есть сомнения в применимости этих положений в земледельческой науке.

И Энциклопедия, и А. Эйнштейн имеют в виду законы природы и соответствующие теории. Аграрная же наука не изучает законов природы, она их только использует; её сфера и уровень – природные и природно антропогенные закономерности, т. е. правила, гласящие, что, если в природе создается какой-то комплекс условий, то из него неизбежно вытекает определенное следствие.

Наши объекты изучения (почва, растения, удобрения, элементы окружающей среды и т. п.) таковы, что в формировании свойственных им закономерностей участвует множество законов. Закономерность всегда является пересечением действия многих законов. И само это множество определяет вероятностный характер закономерностей. Их стохастика есть фундаментальное свойство, а не свидетельство приближенности вследствие недостатка наших знаний (хотя последнее не исключено) или наличия неучтенных факторов. Соответственно этому использование статистических процедур для построения моделей и обработки данных – не вынужденный, а закономерный выбор. Наоборот, привлечение для этих целей жестких математических конструкций, например, дифференциальных уравнений, не оправдано и неверно, а точный результат расчета на самом деле лишь вероятный и, что очень важно, не обязательно самый вероятный. Законы природы универсальны. Они действуют одинаково всегда и везде.

Закономерности всегда конкретны. Они относятся к какому-то определенному событию и сочетанию условий. Это свойство закономерности позволяет воздействовать на её проявление и видоизменение за счет изменения действующих факторов или их соотношений. Сходство или тождество закономерностей, управляющих явлениями или объектами, свидетельствует об их однородности.

Закон нельзя вывести чисто индуктивным путем, а установление закономерностей предполагает эмпирическое обоснование. Поэтому аграрная наука не может точно копировать каноны естественных наук, но необходимо соблюдать высокий дух этих положений, потому что именно из этого посыла вытекает центральный тезис предлагаемой В. А. Семеновым (2003) концепции опытного дела: поиск закономерностей путем экспериментальной верификации гипотез, что будет символизировать фундаментализацию аграрной науки и считаться признаком её развития, подъема. Основные положения новой концепции опытного дела В. А. Семенов (2003) свел к короткому списку акций, объединенных в четыре блока:

1. Побудительные мотивы:
  - фундаментализация аграрной науки;
  - приведение научной продукции в соответствие с интересами современной и будущей практики.
2. Методология:

- постановка эксперимента на его законное место в научном процессе;
- принятие моделирования как атрибута планирования опыта и научного процесса в целом;
- освоение и реализация идеологии научного объяснения;
- создание многоуровневой системы экспериментов: большие балансовые опыты со шлейфом, кооперативные (комплексные), верификационные, ландшафтные, сравнительные с обязательной серийностью закладки опытов;
- использование адекватных математических процедур на всех этапах научного процесса.

### 3. Организация:

- иерархическая дифференциация экспериментов;
- объективная система распределения и размещения экспериментов;
- централизация планирования опытов, обработки данных и аналитического обеспечения, создание информационных баз данных;
- интенсификация экспериментальной работы. Рост затрат на отдельный опыт с одновременным ростом их удельной эффективности (объёма и качества информации на единицу затрат).

### 4. Ожидаемый эффект:

- создание системы экспериментов и охватывающих все уровни процессов на всю территорию страны;
- радикальный рост информативности, качества информации и снижение её удельной стоимости;
- параметризация закономерностей производственного процесса по культурам, географическому и технологическому векторам;
- создание расчетных систем и программных продуктов для формирования адаптивных систем земледелия, технологий и окультуривания почв.

Важный элемент концепции – развитие моделирования. Перед закладкой любого опыта выстраивается априорная модель изучаемого процесса. Модель-гипотеза формируется на основе накопленных знаний, логического анализа, интуиции. Гипотеза, её качество служат основанием для финансирования работы и создания экспериментальной установки. Предполагается, что всероссийские специализированные институты составят теоретический блок, а зональные и областные – экспериментальный.

Экспериментатор не ощущает потребности в содержательном объяснении результатов опыта. Редко встречаются обобщающие работы, в которых экспериментальные данные группируются по почвам или погодным условиям и делаются попытки проследить определенные зависимости. Первые обобщения – позитивное начинание, но не больше, связанное с упомянутыми «особенностями» математической обработки материала. Группировки по погоде не объективны и не могут рассматриваться как научный материал, если НИУ не имеет метеорологического обеспечения в виде метеостанций или метеопостов. Метеостанция (пост) должна быть на каждом опытном поле.

Экспериментатору для обоснования закладки опыта необходимо разработать гипотезу, при этом обнаруживается, что без объяснения привлекаемых данных или опоры на теоретические предпосылки этого сделать нельзя. Он вынужден это объяснение или предпосылки найти. Объективно возникает жесткая логическая связка: без научного объяснения нельзя создать гипотезу и модель, а без гипотезы нельзя заложить содержательный эксперимент. Только при наличии объяснения (правильного) эксперимент становится целенаправленным, а информация, получаемая в нем, приобретает новое качество. Это – новое знание.

В концепции предлагается выход, изложенный в блоке, – организация многоуровневых систем экспериментов. Основу системы составляют **большие балансовые опыты (ББО)** с задачей – выделить из направляющихся (и направляемых) к посеву потоков энергии и вещества те части, которые усваиваются растениями, и проследить за судьбой тех частей, которые растениями не освоены. Измерением этих потоков выявляются факторы, лимитирующие и стимулирующие продукционный процесс культурных растений, и закономерности, связывающие структуру балансов с характером и интенсивностью воздействий на почву и посев, а также с внешними условиями.

Следовательно, задача сводится к параметризации аксиоматики продукционного процесса и сопровождающих его почвенных преобразований.

К ББО привязываются суббалансовые и другие (микроболевые, вегетационные, лабораторные) опыты, помогающие уточнить детали, рассмотреть отдельные составляющие балансов или

соответствующих процессов в более строго контролируемых условиях.

Только балансовые опыты дают комплексную, охватывающую все стороны производственного процесса, информацию. Как пример, приведем опыты, заложенные И. С. Шатиловым (ТСХА), В. В. Агеевым (КБ НИИСХ, КЧ НИИСХ, СГАУ). Полученная в этих опытах разносторонняя, но внутренне связанная информация уникальна. Но именно уникальность и стала слабой стороной этих опытов. Ряд показателей, полученных в них, существенно отличается от общепринятых, а уникальные данные не были подкреплены независимыми наблюдениями, но и не отвергнуты. Хотя время упущено, но выводы нужно сделать. В концепции В. А. Семенова (2003) эти выводы нашли отражение в методологическом постулате обязательной серийности опытов, в том числе и ББО.

При серийной закладке таких экспериментов параметры балансовых отношений и производственного процесса зонированы по почвенно-климатическим условиям. Обработка материалов серии опытов позволяет понять и объяснить причины дифференциации параметров и установить закономерности, связывающие их с внешними условиями. Далее следует создать системы нормативов (квазиконстант) показателей производственного процесса и характеристик связей в агроценозах. Эта система составит информационный каркас всей экспериментальной работы.

Серия объединяет 12–15 опытов, «накрывающих» территорию России, федерального округа своеобразной сетью. Это исследование в высшей степени сложное, ответственное и дорогостоящее и под силу крупным НИУ, аграрным университетам, располагающим соответствующими кадрами и материальной базой.

Наиболее полное выражение постулат серийности находит в кооперативном опыте, прообразом которого может служить Географическая сеть опытов с удобрениями. В данном случае термин «кооперативный» предполагает не только участие в опыте нескольких НИУ, но и определяет, в отличие от Географической сети, равенство участников в отношении владения и пользования всей полученной информацией. Организация исследования осуществляется на основе централизации планирования, аналитического обеспечения и обработки материалов.

**Кооперативный опыт** – это опыт, специально предназначенный для выявления и объяснения взаимоотношений в

системе «почва – погода – технология – растение». В практическом плане его задача состоит в том, чтобы установить влияние внешних условий на эффективность отдельных приемов или их сочетаний и объяснить реальные причины этих различий, что является решающей предпосылкой адаптации технологий и развития точного земледелия.

В рассматриваемой методологии кооперативного эксперимента перечень наблюдений и анализов радикально расширяется. Углубляются характеристики почвы за счет включения физических свойств, более полных сведений о составе органических веществ, составе поглощенных и свободных ионов, наличии ксенобиотиков и т. п. Непременным становится учет болезней, вредителей, особенно погодных условий: необходимы не декадные, а ежедневные данные, фиксация стрессов: заморозки, ветры, сильные ливни, выпадения града, ледяная корка, гололед и т. п. Обязательное требование – получение метеоданных непосредственно в стационаре. Во всех опытах одной серии должны использоваться одни и те же районированные сорта. Целесообразно включать в опыт два сорта – стандарт (основной) и перспективный для региона на данный момент.

Следовательно, кооперативные опыты – это второй уровень после балансовых в иерархии общей системы экспериментов. В них детализируются основные соотношения факторов и динамики продукционного процесса, установленные в ББО. Кооперативные опыты – это зональный уровень системы экспериментов. Планируют и организуют их исполнение аграрные университеты и зональные НИИ. В этих институтах должно быть сосредоточено выполнение анализов и математическая обработка. После концентрации материалов в зональном НИУ, выполнения анализов и сводок наблюдений и учетов, все материалы представляются каждому из участников для содержательного анализа. Таким образом, вместо обычной ныне монополии координаторов, к осмыслению результатов привлекается большой интеллектуальный ресурс, а решение проблем авторства становится четким и понятным.

В случае признания и освоения кооперативных опытов возможно решение не очень популярной, но важной и крайне деликатной проблемы: «человеческого фактора» в эксперименте. Его значение и влияние на результат может быть очень большим, но всегда остается неустановленным, если не обнаружатся прямые нарушения методики и технологии. В кооперативных опытах после

детального осмысления их результатов «человеческий фактор» вполне объективно выделяется индуктивным путем.

Вторым типом опыта регионального уровня является **верификационный эксперимент**. Определение «региональный» в излагаемом понимании, скорее всего, имеет относительный характер. Опыты этого типа получают, по-видимому, распространение в аграрных университетах и НИУ, специализированных по растениеводству, земледелию, защите растений и т. п.

Освоение методологии верификационного опыта с полным основанием можно считать беспрецедентной акцией сближения аграрной науки с развитыми естественными науками. Это позитивный факт, но не цель. Целью является смыкание моделирования с экспериментом и получение качественно новой информации.

В такой форме эксперименты в аграрной науке пока ещё не проводились, но об априорных моделях и гипотезах научная общественность информирована, а использование компьютеров для разного рода расчетов является обычным делом (Галямин Е. Р. и др., 1976; Кан Н. А., Юшин И. Н., 1987; Налимов В. В., 1971; Полуэктов Р. А., 2000; Сиротенко О. Д., 1981; Шахмейстер А. И. и др., 1985).

Схема работы реализуется в следующей последовательности операций: формирование гипотезы – построение математической модели – серия машинных (расчетных) экспериментов – определение параметров модели – разработки схемы опыта (опытов) и перенос его в натуру – параллельное проведение натурального и машинного экспериментов — верификация модели и гипотезы – уточнение модели – практическое использование.

Как и в балансовых опытах, в них есть возможность увеличить исследовательский потенциал эксперимента: выделить в модели отдельные связки с целью подробного их рассмотрения, сформулировать субмодели, раскрывающие содержание внутренних подсистем изучаемого явления или процесса.

Такая углубленная интерпретация модели создает возможность заложить системно связанную серию полевых, вегетационных, лабораторных опытов, сопровождаемых машинными аналогами, что дает радикальное увеличение информативности исследования.

Схемы опытов могут очень серьезно отличаться от обычных. По характеру исследуемой модели может выявиться необходимость схемы с меняющимся шагом вариантов, что может быть связано,



например, с поиском максимума или вообще точек перегибов траекторий. Возможно, потребуется заложить опыт с очень большим числом вариантов, но без повторностей. Существуют схемы, кажущиеся сейчас необычными (расчетные методы установления норм удобрений и распределение их в севообороте, внутривольная пестрота плодородия почвы и т. п.) и даже неприемлемыми предложениями по формированию схем опытов.

Эта возможность проистекает из того, что принципиально меняется цель опыта. Смысл не в том, чтобы искать лучший вариант и доказывать различия между вариантами, а в том, что следует доказывать правильность гипотезы, то есть адекватность выбранных априори форм зависимостей и параметров модели, т. е. формально и по существу отрицается принцип единственного различия, краеугольного камня методики, который в строгом смысле никогда не выполнялся и не мог быть выполнен в силу тотальной взаимосвязи элементов в системе агроценоза – изменив один фактор, сразу изменяем все другие факторы. Это не было секретом для наших предшественников. Д. Н. Прянишников (Агрохимия, 1940. – С. 585) заметил: «Следует иметь в виду, что строгое проведение принципа единственной разницы между вариантами и в опыте, вообще говоря, является весьма трудно достижимым». Это не значит, что в современных сравнительных опытах этот принцип потерял свое значение.

Верификационный опыт – это серьезная новация, и ожидать её быстрого и повсеместного освоения нецелесообразно. На первом этапе этим займутся энтузиасты из числа научных сотрудников. Верификационная методология – дело ближайшего будущего. Освоив её, аграрная наука сделает самый широкий шаг в своем развитии.

Полностью не вписывается в традиционные методические построения ландшафтный эксперимент. Классическая методика предусматривает элиминирование направляемых факторов, в ландшафтном опыте влияние направляемых факторов становится главным предметом изучения. Конкретной **целью ландшафтного опыта** является установление производительности почвы и эффективности технологий на различных элементах ландшафта. Для подробного изучения проблемы рекомендуется работа З. А. Прохоровой, А. С. Фрида (1993), монография Д. А. Иванова (2001) и некоторые публикации ВНИИЗ и ЗПЭ.

Эти опыты не требуют серийной закладки. Они, как правило, должны помочь установить соотношения для какого-то определенного типа территории. По иерархии их относят к зональным, но они могут закладываться в любом научном учреждении.

**Сравнительные опыты** в нынешнее время практически целиком определяют научный постулат аграрной науки и почти весь объем экспериментальной работы НИУ. При развитии системы экспериментирования и новой конфигурации доля сравнительных опытов существенно уменьшится, но останется вполне заметной (испытание новых приемов, препаратов, рабочих органов машин и т. д.). Сравнительные опыты останутся базой сортоиспытания, начиная от изучения селекционного (исходного) материала до официального апробирования сортов. Крайне желательна, а скорее обязательна, серийная закладка в разных условиях всех таких опытов в контексте общей системы экспериментов. Адекватная обработка серийных данных даст дополнительный материал, связанный с опытами более высокой иерархии, позволит уточнить зависимости и более полно интерпретировать их в территориальном аспекте. Связка с общей системой может быть различной, и самая простая – наличие тождественных вариантов.

Подводя итоги, расставим акценты:

— сеть ББО даст опорные нормативы производственного процесса и окультуривания почв, дифференцированные по природным особенностям РФ;

— кооперативные опыты обеспечат возможность объяснить полученные факты и понять суть закономерностей, свойственных агроценозам;

— верификационные опыты дают расчетные системы и нормативы для прямой адаптации технологий к условиям возделывания культурных растений;

— ландшафтные опыты подводят информационную базу по решению структурных вопросов производства, установление интенсивности использования и определения пределов антропогенной нагрузки на землю.

## 2 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Лабораторный, вегетационный, лизиметрический, полевой методы

Главным объектом изучения в агрономических науках является, как правило, растение. Этот объект характеризуется большой сложностью и многообразием. Для его изучения агрономическая наука использует ряд методов исследования. Эти методы заимствованы из других наук и есть специфические методы.

К основным методам агрономических исследований относятся 4 типа эксперимента:

1. Лабораторный метод исследования (опыт).
2. Вегетационный метод
3. Лизиметрический метод.
4. Метод полевого опыта.

В чем сущность и различие между этими методами;

1. *Лабораторный метод* – это исследование, которое выполняется в лабораторной обстановке, в комнатных условиях. Его целью является установление действия и взаимодействия изучаемых факторов. Они могут проводиться в 2-х условиях а) в обычных условиях; б) в регулируемых условиях (в термостатах, климатических камерах, и т. д.).

Таким путём можно выяснить многие вопросы из семеноведения (всхожесть, энергия прорастания, сила роста), провести опыты с удобрениями, с химическими препаратами, регуляторами роста, различные анализы, химический состав растений, кормов, почвы, физические свойства почвы.

Лабораторный метод можно выполнить без растения и с растением (чаще без растения).

2. *Вегетационный метод* – это исследование, которое выполняется в строго контролируемых или регулируемых условиях (вегетационных домиках, оранжереях, теплицах, климатических камерах и других сооружениях) сроком от нескольких дней до нескольких месяцев с целью установления различий между вариантами опыта и количественной оценки действия и взаимодействия изучаемых факторов на урожай растений и его качество. Основная цель вегетационного метода – изучить влияние отдельных факторов жизни растений, сущность процессов, которые происходят в растении, в почве и в системе почва – растение.

Основоположником вегетационного метода считается французский физиолог Ж. Буссенго.

Особенность вегетационного метода в том, что растения выращиваются в вегетационных сосудах (цилиндрической формы различных размеров). В отдельности выясняется влияние каждого фактора на растение. В зависимости от среды, на которой выращивается растение в сосудах, различают несколько видов вегетационных опытов:

- а) опыт с почвой;
- б) с гравийной культурой;
- в) с песчаной культурой;
- г) с водными культурами;
- д) со стерильными культурами.

Каждый из этих опытов решает определенные задачи. В настоящее время техника вегетационного опыта очень усложнилась, стала более совершенной. Применяются автоматические станции искусственного климата (фитотроны). В этих условиях можно моделировать различные условия роста и развития растений. Это позволяет, например, ускорить работу по выведению сортов.

3. *Лизиметрический опыт.* Это исследование, которое выполняется в специальных сосудах. В них можно изучить условия жизни растений и различные почвенные процессы в динамике. Лизиметры могут быть цилиндрической формы от 10 до 50 см в диаметре объемом до 1-2 м<sup>3</sup>, квадратными (ящик, сбитый из досок), железобетонное кольцо, из жести, кирпича. В лизиметрических сосудах почва может иметь естественное строение или нарушенное. Мощность почвенного слоя может быть от 20-50 см до 1-2 м.

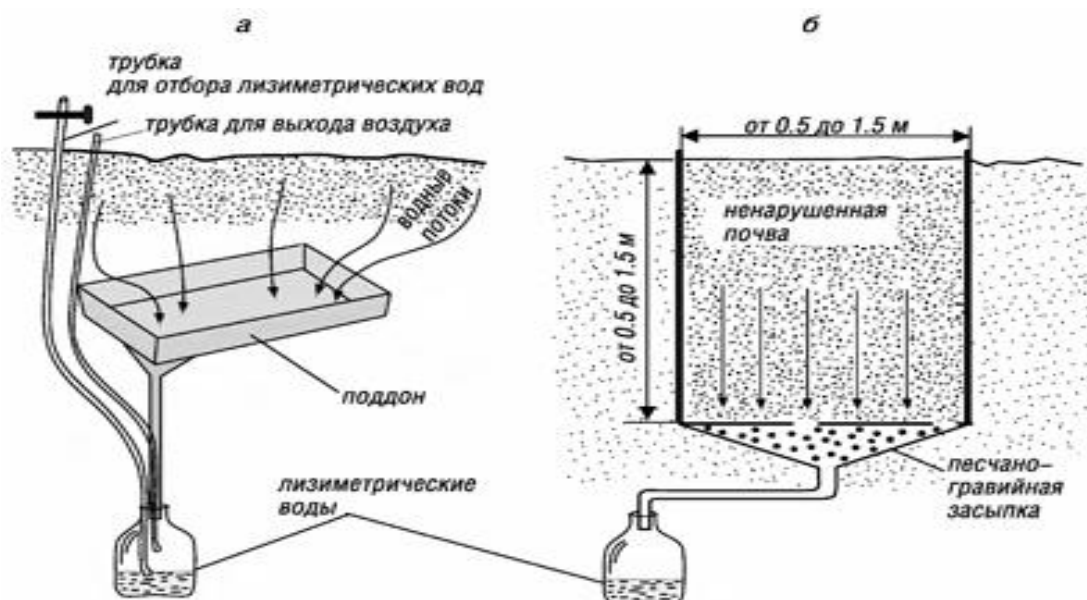


Рисунок – Лизиметрические установки:  
а) встроенные; б) закрытые (Шеин, 2005)

Лизиметрические сосуды можно ставить на определенных площадках в посевах с.-х. культур. Этот опыт можно назвать вегетационно – лизиметрическим.

4. *Полевой метод исследования.* Это метод, который выполняется в полевых условиях на специальных делянках. Основная задача – установить различия между изучаемыми вариантами, оценить влияние условий и приемов выращиваемых культур на урожайность и предложить производству рекомендации. Это широко применяется в полеводстве, овощеводстве, плодоводстве. Он является как бы венцом в опытной работе.

Ряд вопросов (обработка почвы, севообороты, предшественники, применение удобрений, гербицидов, их сочетание, уход за культурами) можно изучить только в полевом опыте.

В полевом опыте растения выращиваются в естественной обстановке в тесном комплексе с почвенно-климатическими и агротехническими условиями. По этой причине полевой опыт считается ведущим методом исследования в агрономической науке.

Все эти методы выполняются по определенным методикам. Всё это традиционные методы.

*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 агроприёмы, 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 сводной 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.

В последнее время наука использует методы генной инженерии. Это из области биотехнологий. Эти методы преследуют цель – выявить биологические возможности с.-х. культур. Для разработки методов современных технологий выращивания культур биотехнология является ведущей. С этой целью создан ряд биоцентров (Московский, Саратовский, Ставропольский, Новосибирский и др.).

*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 предпочвой. Такие цилиндры можно устанавливать не только на специально выделенных площадках, но и непосредственно на полях, где выращивают определённые 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, 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-х 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 ещё и передвижные климатические камеры из полиэтиленовой плёнки, 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.

*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, крае 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, определённых почвенно-климатических зон.

Этим методом целесообразно 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 её предотвращению в конкретных хозяйствах или районах.



### 3 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЫТОВ

#### Группы и виды опытов

Учитывая условия проведения, а также цель и задачи исследований существует большое разнообразие полевых опытов. Поэтому их подразделяют на группы и виды. В основу классификации полевых опытов положены признаки:

1. Назначение полевых опытов.
2. Длительность проведения опытов.
3. Место проведения.
4. Охват пунктов.
5. Количество изучаемых в опыте факторов.

**1. По назначению** все полевые опыты делятся на 2 группы:

- а) агротехнические;
- б) опыты по сортоиспытанию с.-х. культур.

К агротехническим опытам относятся опыты с обработкой почвы, севооборотами, предшественниками, удобрениями, регуляторами роста растений, по изучению приёмов борьбы с сорняками, болезнями растений, по изучению сроков сева, глубины и способов посева семян. Цель опытов – оценить влияние различных приемов возделывания с.-х. культур на урожайность и качество продукции.

Сортоиспытание проводят в ГСУ (государственных сортоиспытательных учреждениях). В каждой области располагается около 10 ГСУ. Цель этих опытов – дать объективную оценку вновь выведенным сортам и гибридам.

**2. По длительности проведения** полевые опыты делят на виды:

- а) краткосрочные (от 3-4 до 10 лет);
- б) долгосрочные (более 10 лет).

Краткосрочные также подразделяются:

**3. По месту проведения** опыты делят на 3 вида:

- а) не стационарные – их проводят ежегодно на разных участках по одинаковым схемам;
- б) стационарные – проводятся от 4 до 10 лет на специально выбранных опытных полях;
- в) производственные – выполняются в производственных условиях.

Долгосрочные опыты ставят только на стационарах. Их подразделяют на:

а) многолетние (от 10 до 50 лет) – опыты с севооборотами, предшественниками, сроками сева, опыты по изучению органических удобрений;

б) длительные (более 50 лет) – изучаются фундаментальные вопросы. Опыт Д.Н. Прянишникова, заложенный в ТСХА в 1912 году с озимыми культурами, длится до настоящего времени.

В зависимости от длительности периода наблюдения за действием удобрений различают однолетние и многолетние, или длительные, полевые опыты. В однолетних опытах учитывается действие удобрения только на ту культуру, под которую оно внесено.

В многолетних опытах действие удобрений прослеживается в течение ряда лет на нескольких следующих одна за другой культурах. В них может учитываться либо действие раз внесенных удобрений (чистое последствие), либо накапливающееся действие систематически повторяемого через определенные сроки внесения удобрений. Многолетние опыты, как правило, ведутся в определенном севообороте, имеющем в натуре несколько клиньев.



Рисунок – Стационар «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах»

Таблица – Схема стационарного опыта «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах»

Способы и приемы обработки почвы (для каждой системы удобрений)	Годы исследования / Срок наблюдений				
	1-я ротация (1978-1985 гг.)	2-я ротация (1986-1993 гг.)	Последствие систем удобрения (1994-1999 гг.)	3-я ротация (2000-2007 гг.)	4-я ротация (2008-2015 гг.)
	Система удобрений насыщенность севооборота NPK (кг/га) + навозом (т/га)				
1. Отвальный 2. Безотвальный 3. Роторный (Разноглубинный) 4. Поверхностный	Контроль (без удобрения)		Удобрения не применялись	Контроль (без удобрения)	
	Рекомендованная 60,0+2,5			Рекомендованная 115,0+5,0	
	Балансовая 120,0+5,0			Биологизированная 63,0+9,0	
	Расчетная 180,0+7,5			Расчетная 171,0+5,0	

Опыт, закладываемый в течение нескольких лет каждый год на новом участке, но учитываемый на каждом участке только один раз, нужно считать все же однолетним опытом. Опыт, учитываемый в течение ряда лет на одном участке, лишь при чередовании на нем культур, должен считаться многолетним, хотя и неудовлетворительно организованным с точки зрения методики.

В зависимости от размера делянки различаются *крупноделяночные и мелкоделяночные опыты*. Существенной для этого подразделения является не величина делянок, а возможность применения нормальной полевой агротехники. К мелкоделяночным относят опыты с таким малым размером делянок, который не позволяет поставить изучаемый фактор в условия нормальной сопутствующей агротехники и заставляет прибегать к искусственным приемам, могущим существенно изменить высоту урожая и эффективность изучаемого фактора. Все опыты, проводимые с соблюдением нормальных приемов полевой агротехники, относят к обычным, или нормальным, полевым опытам, независимо от абсолютных размеров делянки.

#### 4. По охвату пунктов полевые опыты делятся на 2 вида:

а) единичные опыты – закладывают в отдельных пунктах по различным схемам. 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.

б) массовые или географические опыты – это опыты одинакового содержания и их проводят по одинаковым схемам и методикам (сортоучастки, удобрения).

В зависимости от того, ставится полевой опыт в условиях специально приспособленного опытного поля или в условиях сельскохозяйственного производства возможно деление на виды

Первый вид опыта имеет целью углубленное изучение основных факторов и приемов культуры сельскохозяйственных растений и комбинаций этих факторов. Он строится с детальным расчленением отдельных факторов и обычно тесно увязывается с другими методами исследования. Выводы его предназначаются для значительного района или почвенной зоны. Обычной (но не обязательной) особенностью этого опыта является проведение его на делянках сравнительно небольшой величины.

Опыт в производственных условиях в большинстве случаев ставится по более упрощенным схемам, включающим лишь основные, наиболее важные варианты. Эти опыты особенно важны для экономической и организационно-хозяйственной оценки технически уже разработанных приемов или их комбинаций.

В особую категорию можно выделить так называемые географические и коллективные опыты. Они необходимы для решения вопросов, имеющих значение для ряда почвенных и климатических районов, но требующих дифференцированного решения применительно к условиям каждого отдельного района. Они могут охватывать как очень большие территории, иногда даже целые страны, так и отдельные, сравнительно небольшие, но разнообразные по своим условиям области.

По географическому принципу могут вестись опыты и в стационарных опытных учреждениях и в производственных условиях. Они ставятся в ряде пунктов, наиболее полно охватывающих все разнообразие изучаемой области, по одинаковой, заранее согласованной, схеме.

Под коллективными массовыми опытами понимают обычно опыты в производственных условиях, поставленные по одинаковой схеме в ряде хозяйств. Они дают возможность, во-первых, повысить относительно малую точность каждого отдельного опыта за счет их многочисленности и, во-вторых, установить влияние на

эффективность изучаемых приемов почвенных, климатических и организационно-хозяйственных особенностей отдельных хозяйств или их групп.

**5. По количеству изучаемых факторов** (фактор - это элемент агротехники, т. е. прием, которым исследователь воздействует на растения) полевые опыты разделяют на 2 вида:

а) простые (однофакторные) – в них изучают действие на урожай растений какого-либо одного фактора. В однофакторных опытах изучают лишь один фактор (только различные площади питания, дозы, виды удобрений, но на одном агротехническом фоне).

б) многофакторные – изучают действие многих факторов, их величину и взаимодействие этих факторов. Многофакторные опыты включают одновременно несколько факторов. Эти опыты более сложные, однако, они дают больше информации и поэтому имеют большую научную и практическую ценность.

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.

## 4 ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ОПЫТ

Вегетационный метод – это исследование, осуществляемое в строго контролируемых условиях внешней среды в вегетационных домиках, теплицах, оранжереях, климатических камерах и других сооружениях.

С помощью вегетационного опыта детально рассматривают и выявляют значение отдельных факторов роста в жизни растений. Он позволяет поддерживать постоянными и в более благоприятных границах различные внешние условия: обеспечение влагой растения, выровненное корневое питание и одинаковые для всех растений условия освещения и температуры.

Вегетационный метод для определения количества усвояемых питательных веществ в почве рекомендовался уже давно как в виде обычного вегетационного метода, так и в виде метода проростков. Однако вегетационный метод не может заменить собой полевые опыты, так как условия произрастания растений и использование ими питательных веществ в вегетационных опытах существенно отличаются от условий роста растений в поле.

При постановке вегетационного опыта берут пробы почвы с различных мест поля из пахотного слоя почвы. Взятые пробы перемешивают, просеивают через сито и обычно смешивают с кварцевым песком, чтобы усилить усвоение растением питательных веществ почвы.

При вегетационном опыте высевается обычно одна культура, а данные опыта используются для определения действия удобрений на урожай различных сельскохозяйственных культур, возделываемых в хозяйстве. Поэтому, используя результаты вегетационного опыта, необходимо учитывать особенности различных видов, а иногда даже и сортов растений в отношении использования ими питательных веществ.

В полевых условиях растения берут питательные вещества как из пахотного, так и из нижних горизонтов почвы, в вегетационном же опыте исследуется только пахотный слой почвы.

В сосудах в течение всего времени вегетации сохраняется оптимальная влажность почвы, следовательно, мобилизация питательных веществ протекает иначе, чем в полевых условиях. Почва сосудов находится в иных температурных условиях, чем в поле, что тоже не может не отразиться на динамике почвенных

процессов. Структура почвы, ее водо- и воздухопроницаемость, а, следовательно, и проницаемость почвы для корней растений в сосудах также иные, чем в полевых условиях.

Таким образом, расхождения между условиями использования питательных веществ в вегетационном опыте и в поле сводятся в основном к следующим трем моментам:

1) в вегетационном опыте обычно используются питательные вещества только одного слоя почвы;

2) в вегетационном опыте растения находятся в условиях (влаги, тепло), когда они могут использовать питательные вещества почвы во много раз интенсивнее, чем в поле;

3) мобилизация питательных веществ почвы в вегетационном опыте происходит иначе, чем в поле.

Различия в ходе мобилизации питательных веществ в вегетационном опыте и в поле отмечаются главным образом для азотных соединений. Поэтому общепринятый вегетационный метод применяется преимущественно для определения использования растениями фосфора и калия.

При помощи вегетационного опыта можно определить только то количество питательных веществ, которое может быть усвоено растениями из данного образца почвы при наличии благоприятных условий вегетации, искусственно создаваемых с целью наиболее полного извлечения из почвы питательных веществ.

Почва может быть бедной усвояемыми питательными веществами, но прибавки урожая от внесения удобрений в поле может и не быть вследствие, например, отсутствия нужного количества осадков. Поэтому расхождения между действием удобрений в условиях полевого и вегетационного опытов не говорят еще о непригодности того или другого опыта; они лишь указывают на необходимость учитывать, что может дать тот или иной метод.

Определение общего, потенциального запаса в почве усвояемых питательных веществ при помощи обычного полевого опыта вряд ли вообще возможно. Результаты полевого опыта часто определяются метеорологическими условиями данного года и особенностями принятой в опыте агротехники. Если в полевом опыте не наблюдается прибавки урожая от внесения удобрения, то можно предположить, что количество усвояемых питательных веществ в почве было достаточным для обеспечения урожая растений, возможного в метеорологических условиях данного года. В следующем году

условия вегетации могут быть иными, и эффективность удобрений будет иная.

Сопоставляя показания вегетационного опыта с результатами многолетних полевых опытов, можно установить степень использования в полевых условиях имеющегося в почве запаса усвояемых питательных веществ.

Вегетационный опыт может быть также широко использован для оценки быстрых методов определения потребности растений в удобрениях.

Химический анализ почвы дает сведения о количестве веществ, растворимых в определенном реактиве. Но так как до сих пор еще нет методов, позволяющих точно определить, в форме каких соединений находятся в почве питательные вещества, то все существующие химические методы являются в основном эмпирическими приемами, ценность которых определяется корреляцией их показаний с результатами вегетационного и полевого методов. Химические методы, так же как и вегетационный опыт, характеризуют только свойства анализируемого образца почвы.

Первой проверкой пригодности этих методов является сравнение их показаний с результатами вегетационных опытов. Если имеется корреляция между показаниями химического и вегетационного методов, то можно предположить, что в основе химического метода лежит растворение именно тех форм питательных соединений почвы, которые обеспечивают питание растений. Дальнейшей проверкой химического метода является установление предельных чисел (лимитов) на основе результатов анализа на делянках длительных полевых опытов.

Таким образом, комплексное использование вегетационного и полевого методов необходимо при разработке быстрых химических методов определения потребности в удобрениях.

В России в дореволюционное время стремились использовать вегетационный опыт для характеристики плодородия почв различных генетических типов. С этой целью были предложены соответствующие изменения в общепринятой методике вегетационного опыта. В основном они сводились к возможно большей имитации полевых условий. Рекомендовалось брать образцы почвы не средние, а типичные, с ненарушенной структурой и с глубины, по возможности соответствующей глубине слоя почвы, наиболее используемой корнями растений. Поливать почвы в сосудах



предлагалось до влажности, близкой к полевым условиям. Чтобы приблизиться к температурному режиму почвы в поле, принимались меры для устранения нагревания сосудов. Подобные вегетационные опыты мало чем дополняли показания полевых опытов. Применение их вызвало в свое время ряд критических замечаний. Ценность вегетационных опытов заключается не в том, что они заменяют полевой опыт, а в том, что полученные при помощи их данные позволяют понять причины тех явлений, которые наблюдаются в различных полевых опытах.

### **Сооружения для проведения вегетационных опытов**

*Вегетационный домик (теплица)* – здание (павильон) со стеклянными стенами и крышей, хорошо проветриваемое, в котором проводят вегетационные опыты. В вегетационном домике на вагонетках установлены сосуды с растениями. Днём в хорошую погоду вагонетки выкатывают на примыкающую к домику с южной стороны площадку или специально устраиваемый неподалёку от вегетационного домика сетчатый павильон (для защиты растений от птиц).

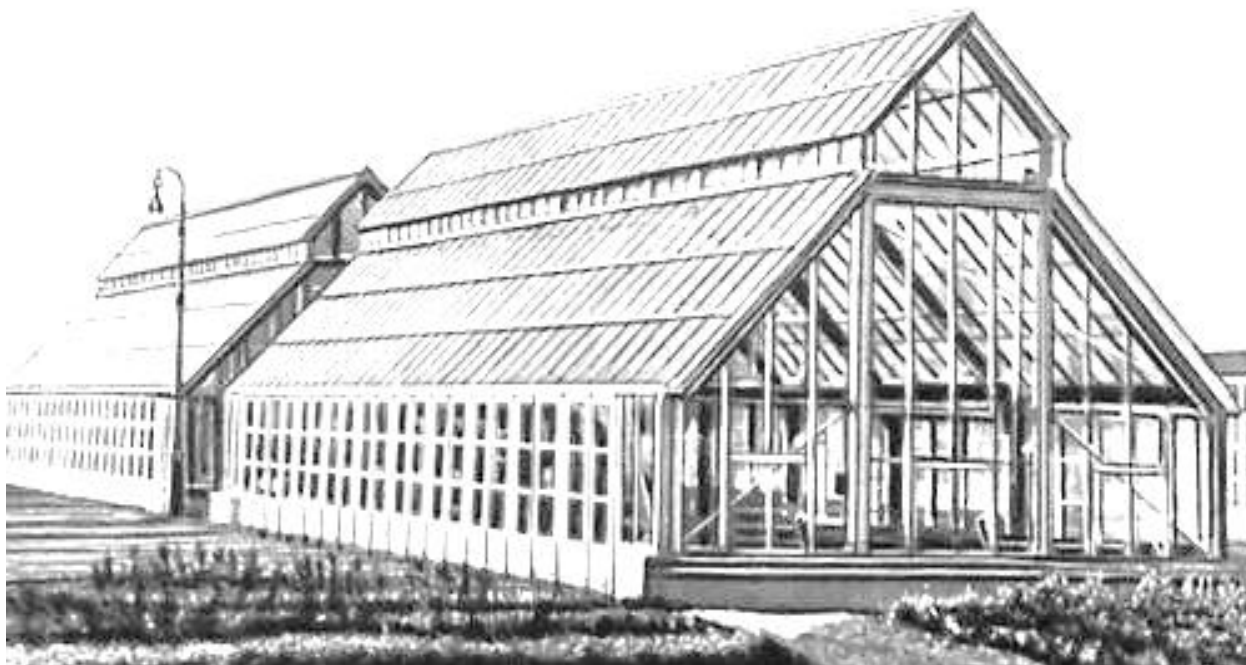


Рисунок – Вегетационный домик К. А. Тимирязева

В России первый вегетационный домик был построен по инициативе К. А. Тимирязева в 1872 году на территории

Петровской сельскохозяйственной академии (ныне РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева).

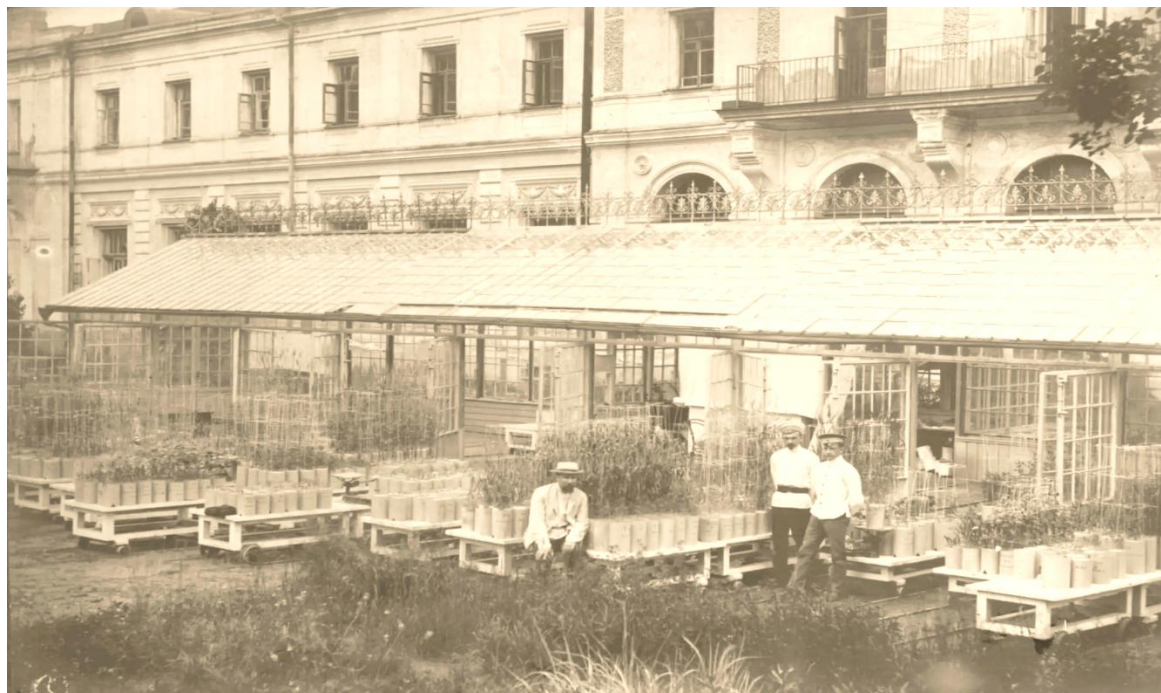


Рисунок – Экспонат вегетационного домика в Петровско-Разумовском

*Сетчатый павильон* защищает растения от птиц и повреждений. Для каркаса используют водопроводные и газопроводные трубы, железные угольники, на которые натягивают металлическую сетку с размером ячеек 1,5×1,5 или 2,0×2,0 см. Сетка с большим размером ячеек плохо защищает растения от птиц, а мелкоячеистая снижает освещенность растений.

Сетчатый павильон также оборудуют стеллажами. Условия выращивания растений под сеткой приближаются к естественным. Растения используют естественные осадки и не нуждаются в поливе. При сильных дождях и обилии воды в сосудах избыточная влага стекает в поддоны, в большинстве случаев не оказывая влияния на конечный результат опытов.



Рисунок – Сетчатые павильоны

*Терморегулируемые камеры* – достаточно большие помещения, в которых регулируется температура и влажность; интенсивность света в них относительно низкая. Для длительного выращивания растений они непригодны.

*Вегетационные камеры* – помещения, в которых отсутствует естественное освещение, но они обеспечены искусственным светом в количестве, достаточном для нормального роста зеленых растений в течение длительного периода.



Рисунок – Вегетационная камера

Вегетационные камеры могут быть с внутренним и внешним освещением.

Вегетационные опыты классифицируются по субстрату, на котором выращивается растение. Это может быть почвенная, песчаная или водная культура.

### **Модификации вегетационного опыта**

Выбор модификации метода, т.е. субстрат, определяется тем, в какой мере для исследования важен учёт условий корневого питания растений.

**Почвенные культуры** наиболее распространены в агрохимических исследованиях. Это самая простая модификация вегетационного метода, когда растения выращивают в сосудах с почвой, что приближает условия их питания к естественным.

Этот метод применяют для изучения взаимодействия удобрений и почвы, почвы и растений, а также для изучения свойств почв и удобрений. Сама почва в данном методе также может быть объектом исследования.

Существенный недостаток вегетационного метода с почвенной культурой – ограниченность объема почвы, в котором выращивают растения. Поэтому корневая система в сосудах располагается более скученно, чем в полевых условиях.

Небольшое количество почвы в вегетационных сосудах - причина того, что выращиваемые в них растения значительно сильнее отзываются на недостаток того или иного элемента, чем растения, выращиваемые в полевых условиях. Поэтому получаемые вегетационным методом данные о потребности в удобрении нередко оказываются преувеличенными.

Другой существенный недостаток вегетационного метода - разрушение почвенной структуры при высушивании и просеивании почвы перед набивкой в сосуды. Поэтому получаемые вегетационным методом результаты следует рассматривать как предварительные и очень осторожно переносить на полевые условия.

**Агрегатопоника** – выращивание растений на твердых сыпучих материалах, которые смачивают периодически питательным раствором. Сущность заключается в том, что растения выращивают на гранулированных корнеобитаемых средах, в которые периодически вводят питательный раствор.

**Гравийные культуры.** Метод гравийной культуры, помимо производственного использования, находит применение и в исследовательской работе. Большой вклад в разработку методики вложили П. А. Генкель и И. В. Цветкова (1960); Л. Н. Туманов с соавторами (1960); Е. Ф. Иваницкая (1961). Однако применение его ограничивается в основном однолетними растениями.

Метод заключается в выращивании и культивировании растений на крупнозернистом инертном материале.

Питание производится путем периодического подтопления раствором, содержащим питательные соли. Затем раствор сливают. В сосуде остается раствор, смачивающий субстрат, и некоторое его количество на дне сосуда.

Значительным достоинством метода гравийной культуры является возможность установления определенного и регулируемого режима питания растения.

Опыты проводят в вегетационных сосудах высотой и диаметром по 33 см. Полезный объем сосудов около 27 литров (полный объем - 30 литров). Внутри сосуды покрывают расплавленным битумом по горячему железу, снаружи их окрашивают тонким слоем серебрина. Сбоку, у дна сосуда, устроен патрубок для залива и слива питательного раствора. Сосуды одного варианта соединяют между собой металлическими тройниками и резиновыми шлангами и располагают на стеллаже, сделанном из реек  $5 \times 5$  см, прибитых к козелкам – подставкам. Рядом на высокой подставке ставят бак питательного раствора с краном и водомерным стеклом. Емкость бака 100 л.

В качестве среды (грунта) вначале была применена диоритовая крошка. Однако при проверке оказалось, что диорит довольно быстро поглощает из питательного раствора фосфор и калий. Многие другие материалы, как например, керамзит, вермикулит, гранит, также в значительной мере обладают поглотительной способностью в отношении питательных солей. В связи с этим указанные материалы оказались непригодными при изучении питания растений.

Вполне удовлетворительной средой оказалось белое бутылочное стекло, которое дробят на барабанной мельнице с отверстиями в 12 мм. Затем его пропускают через другой барабан для обкатки, после чего отсеивают от мелочи на перфорированном решете с отверстиями 2 мм, отмывают водой от стеклянной пыли и

высушивают.

Вегетационный сосуд емкостью 27 литров вмещает около 33 кг сухого дробленого стекла. На полив расходуется 8-9 литров раствора, и после слива в сосуде остается около 2 литров питательного раствора. Примерно половина этого количества задерживается на стекле, а половина - на дне сосуда.

Перед засыпкой дробленого стекла выходное отверстие сосуда закладывают более крупными кусками стекла в качестве дренажа или устанавливают желобок из инертного материала (например, из стеклопластика).

При проведении опытов с черенками или однолетними саженцами берут черенки или растения длиной 35 см, одинаковые по толщине и с равными по длине соответствующими междоузлиями. Перед посадкой их обычно замачивают в течение двух дней. Затем сажают в стекло по одному в центре сосуда. Сверху сосуд прикрывают деревянной крышкой, состоящей из двух половинок с полукруглыми вырезами посередине для черенка.

До укоренения растения поливают чистой водой один раз в день, после чего переходят к поливу питательными растворами и обязательно защищают от неблагоприятных внешних условий. На прямом солнечном свете сосуды нагреваются до температуры выше 40°C. Поэтому для их защиты применяют щиты жалюзийного типа, которые свободно пропускают воздух при ветре. Побеги растений в сосудах располагаются по натянутой над сосудами шпалере.

Число поливов в течение дня увеличивают по мере развития листовой поверхности, повышения температуры воздуха и уменьшения его влажности. В первый год развития растения поливают до трех раз в день, так как испарение только одним растением достигает 0,1-0,3 литра. В последующие годы испарение хорошо развитыми кустами может достигать нескольких литров в день, поэтому поливать приходится до 8-9 раз в сутки.

Смену питательного раствора на свежий производят, когда его объем уменьшится наполовину, обычно через 7-10 дней.

Отмечено, что если полив растений производить круглый год питательным раствором с обычной концентрацией солей, то весной при набухании почек наблюдаются повреждения молодых листочков и даже их усыхание. В связи с этим в конце вегетации концентрацию солей следует снизить примерно наполовину, а

зимой растения поливать только водой.

Рост растений в условиях гравийной культуры прекращается позже, чем на почве, и вызревание побегов происходит несколько слабее. Полного их вызревания на гравии не получают.

Для перезимовки растения предварительно обрезают, затем сосуды с растениями помещают в сарай или под навес вплотную один к другому. Промежутки между ними забивают опилками.

В зимнее время растения поливают водой примерно один раз в месяц. В таких условиях культуры обычно хорошо перезимовывают. По окончании морозного периода (в апреле) сосуды с растениями выставляют на вегетационную площадку.

В условиях гравийной культуры растения гораздо точнее реагируют на изменения в режиме питания, чем на почве. По анализу исходных и использованных питательных растворов и величине испарения могут быть рассчитаны количества элементов, потребленных растениями по вариантам опыта. Получение таких четких результатов на почве представляло бы значительные трудности.

Наблюдения за растущими растениями на гравии показали, что уже на третий год объемы сосудов, становятся недостаточными для развивающейся корневой системы.

**Песчаные культуры** – широко распространенный в агрохимических исследованиях по изучению питания метод выращивания растений. Разработка техники применения метода песчаных культур и широкое использование его в практике агрохимических исследований принадлежит Г. Гельригелю.

При постановке опытов с песчаными культурами изучают значение отдельных элементов и их форм в питании растений, действие корневых выделений культур на труднодоступные для растений соединения, способность бобовых культур усваивать азот воздуха и т. д.

Простейший метод песчаных культур – выращивание проростков по методу Нейбауэра в чашках Петри, Коха, в кристаллизаторах на 100-200 г песка.

**Водные культуры** – это метод выращивания растений на жидкой питательной среде. Водные культуры позволяют наиболее строго регулировать состав, концентрацию, осмотическое давление, реакцию (рН) и другие свойства питательного раствора. В водных культурах можно легко наблюдать за ростом корневой

системы растений и периодически менять питательный раствор.



Рисунок – Сосуды для водной культуры

Водные культуры широко используют для изучения корневого питания растений в контролируемых условиях; для установления элементов питания, необходимых для нормального роста и развития растений и их соотношения; для выявления роли отдельных элементов, влияния концентрации питательного раствора на рост и развитие растений в различные периоды; для изучения развития корневой системы растений при различных условиях питания, влияние реакции и буферности среды на рост и развитие растений, а также влияния различного уровня питания в разные периоды роста растений.

**Аэропоника** - процесс выращивания растений в воздушной среде без использования почвы, при котором питательные вещества к корням растений доставляются в виде аэрозоля.





Рисунок – Опыт по методу аэропоники

Для каждого растения состав раствора изменяется, как и количество поливов в сутки. При этом нельзя допускать, чтобы корни пересыхали. Благодаря тому, что такой способ занимает небольшую площадь, и отсутствуют проблемы, которые неизбежно возникают с почвой, а именно: сорняки, прополки, грязь, болезни растений; он стал очень популярен.

Метод изначально придумал советский ботаник Владимир Мартынович Арциховский в 1911 году. В дальнейшем его использовали, чтобы выращивать растения в космосе для обеспечения космонавтов витаминами при длительных перелетах.

**Метод стерильных культур.** Этот метод используется, когда требуется исключить влияние микроорганизмов на изменения питательного субстрата, например при изучении вопроса о возможности питания растений органическими соединениями.

Для таких опытов необходимо, чтобы в сосудах питательный субстрат и корневая система растений были стерильными, а надземная часть растений соприкасалась с обычной средой.

В разработку метода стерильных культур применительно к изучению питания растений большой вклад внесен трудами лабораторий П. С. Коссовича и Д. Н. Прянишникова. С помощью этого метода было изучено влияние корневых выделений различных

растений на усвоение  $P_2O_5$  из труднорастворимых фосфатов, изучена возможность использования растениями фосфора лецитина и азота аспарагина, доказана физиологическая кислотность азотнокислого аммония. Техника проведения опытов в стерильных условиях описана в специальных монографиях.

**Пластопоника** – выращивание растений с помощью гидрофильного, физиологически нейтрального пенопласта, содержащего необходимые для питания растений макро- и микроэлементы или способного впитывать их.

Устройство для гидропонного выращивания растений содержит вегетационный сосуд, закрытый сверху крышкой с одним или несколькими отверстиями для закрепления, по крайней мере, одного растения в каждом отверстии, и, по крайней мере, одну плавающую платформу, расположенную внутри вегетационного сосуда так, чтобы, по крайней мере, донная часть плавающей платформы располагалась ниже корневой системы растения. При этом донная часть плавающей платформы проницаема для питательного раствора, но непроницаема для корневой системы.



Рисунок – Выращивание зеленных культур методом пластопоники

Площадь поверхности питательного раствора внутри плавающей платформы, которая соприкасается с воздухом, составляет более 85% от площади, ограниченной наружным периметром плавающей платформы. Плавающая платформа может иметь дополнительный

поплавок с переменной грузоподъемностью, который расположен ниже дна плавающей платформы (Н. И. Туркин, А. А. Мурашов, П. В. Садовников, П. П. Потапов).

### **Техника вегетационного опыта**

Основные операции при постановке вегетационных опытов с почвенными культурами следующие: взятие почвы с поля, подготовка почвы, набивка сосудов, внесение удобрений, посев, уход за растениями, полив и учет урожая.

#### **Взятие и подготовка почвы.**

При выборе почвы для вегетационного опыта необходимо заранее установить, на какой почве должен быть поставлен опыт для разрешения стоящей перед экспериментатором задачи, установить точное наименование почвы, указать, откуда взят образец, культурное состояние и историю участка, с которого взят образец (унавоживался ли и в какой степени, вносились ли минеральные удобрения, когда, какие и в каком количестве, из-под каких культур взят образец).

Нередко вегетационные опыты не дают нужных результатов вследствие неудачного выбора почвы, когда может оказаться, что растение на этой почве не реагирует на изучаемое удобрение. При постановке опыта по изучению фосфатных или калийных солей необходимо брать почву с участка, для которого уже имеются данные полевых опытов об отзывчивости его почвы на фосфор или калий. В крайнем случае, зная историю поля и его урожайность, можно ограничиться контрольными анализами на количество усвояемого фосфора и калия.

На поле почву берут лопатами в чистые мешки. Надо следить, чтобы во взятых для почвы мешках не было остатков удобрений: один случайно попавший комочек удобрения может испортить весь опыт. Если почву берут в большом количестве, то ее можно погружать навалом на подстеленный брезент. Перевозить почву лучше всего в плотных деревянных ящиках или мешках. При большом количестве почву перевозят в вагоне навалом.

Количество необходимой для постановки опытов почвы определяют с учетом числа сосудов и их емкости. Так как при взятии, доставке и подготовке почвы для опытов происходят большие потери, то количество почвы, взятой в поле, должно быть не менее чем на 25% выше вычисленного на основании числа сосудов в

предстоящих опытах и их емкости. Если почва в поле была очень влажной, то ее приходится брать на 30-40% больше количества, необходимого для набивки сосудов.

Наиболее удобной считается такая влажность почвы, при которой почва не пылит, но и не мажется и легко распадается на комки. Доставку, хранение и разборку почвы надо организовать так, чтобы почва не успела высохнуть. Высыхание почвы приводит к повышению в ней количества усвояемых веществ, главным образом азотных, а затем и фосфорных соединений. Поэтому опыт, поставленный с влажной почвой, может дать другие результаты, чем опыт, поставленный с этой же почвой, но после ее высыхания.

**Время взятия почвы в поле** имеет существенное значение для ее свойств. В течение летнего периода в почве происходит нитрификация почвенного азота и иммобилизация растворимых фосфатов. Поэтому почва, взятая ранней весной, будет сильнее отзываться на азот и слабее на фосфор, чем почва, взятая с того же участка летом.

Такое же значение имеет предварительное парование почвы в лабораторной обстановке. При постановке опытов с формами фосфатов можно брать паровавшую почву и заготавливать ее летом для опытов будущего года. При постановке опытов с азотными удобрениями желательно брать почву ранней весной, но не летом с парующих участков.

Часто вегетационные опыты закладывают с почвами, которые берут с опытных делянок. Если в опыте делянки малого размера, почву приходится брать в небольшом количестве и опыт закладывать в малых сосудах. С опытных делянок почву берут по тем же правилам, как и среднюю пробу почвы для анализа, т. е. из разных мест делянки на глубину пахотного слоя.

Недопустимо брать почву с делянок, только что получивших минеральное или навозное удобрение. В этом случае свойства почвы будут целиком зависеть от того, попадут случайно во взятую почву комки удобрения или нет. Лишь после неоднократной обработки удобренного участка взятый с него образец почвы может характеризовать свойства почвенного покрова делянки.

**Подготовка почвы** для опытов заключается в приведении ее в однородную по своему составу и свойству массу и состоит из перемешивания почвы, пропускания ее через сита и удаления камней, корней и пожнивных остатков.

В практике опытного дела принято однократное пропускание почвы через сито с отверстиями в 3 мм. Лучше брать проволочное сито (производительность его больше), чем металлическое с круглыми отверстиями. Операция просева производится следующим образом. Почву высыпают из мешков на сита, стоящие на стойках над брезентом. Крупные комки почвы раздавливают руками, отбирают корни, пожнивные остатки, комки и т. п. Просеянную почву ссыпают в коробки для хранения.

В большинстве случаев такой однократной обработки достаточно, чтобы иметь удовлетворительное схождение параллельных опытов. В тех случаях, когда необходимо иметь большую однородность образца почвы, перед началом опыта берут необходимое количество уже разработанной почвы, высыпают на чистый брезент, тщательно перелопачивают, затем равномерно распределяют по брезенту и, беря лопатой почву из разных мест, насыпают в ящик, из которого потом ее берут при набивке сосудов. Подтверждением однородности почвы может служить наличие одинаковых расхождений между урожаями в параллельных сосудах при их набивке подряд и после набивки сосудов других вариантов.

**Набивка почвы в сосуды.** Сосуды для вегетационных опытов изготавливаются из стекла или оцинкованного железа.

Стеклянные сосуды имеют ряд преимуществ перед железными: они легко моются, стенки их не разъедаются почвенным раствором, сквозь стекло видно, как набит сосуд; подготовка к опыту стеклянных сосудов занимает меньше времени, чем железных.

Металлические сосуды имеют существенное преимущество перед стеклянными по прочности. Перед набивкой железные сосуды надо покрыть внутри сначала эмалевой краской, затем даммаровым лаком. Покраску лаком необходимо повторять перед каждой набивкой сосудов. Снаружи сосуды красят белой масляной краской.

Если опыт ставится не в вегетационном домике, а под сеткой, то применяют только железные сосуды Митчерлиха, имеющие отверстия внизу сосуда, и поддонники.

Наиболее удобны и практичны металлические сосуды, покрытые эмалевой краской, так называемые эмалированные сосуды, а также металлические сосуды Вагнера, Митчерлиха и Кирсанова.

Сосуды Митчерлиха, Кирсанова и др. состоят из собственно сосуда, дренажа и поддона, в который стекает избыток воды.

Сосуды Вагнера – это металлические цилиндры с несколько выпуклым дном на трех прочных ножках из полосового железа, верхний край их имеет поясок для увеличения прочности и крепления трех ушек, в которые в период вегетации вставляются тонкие железные прутья для подвязки растений. Растениям не дают падать натянутые на эти три прута шпагат или железные кольца, которые надеваются на них, образуя каркас. Сбоку к сосуду припаивают трубку диаметром 2 см, длиной 12 см, которая снизу сообщается при помощи круглого отверстия с дном сосуда и служит для наливания воды при поливе растений в сосудах. При набивке сосуда почвой или песком отверстие закрывается железным желобом с зазубренными краями или гребешком.

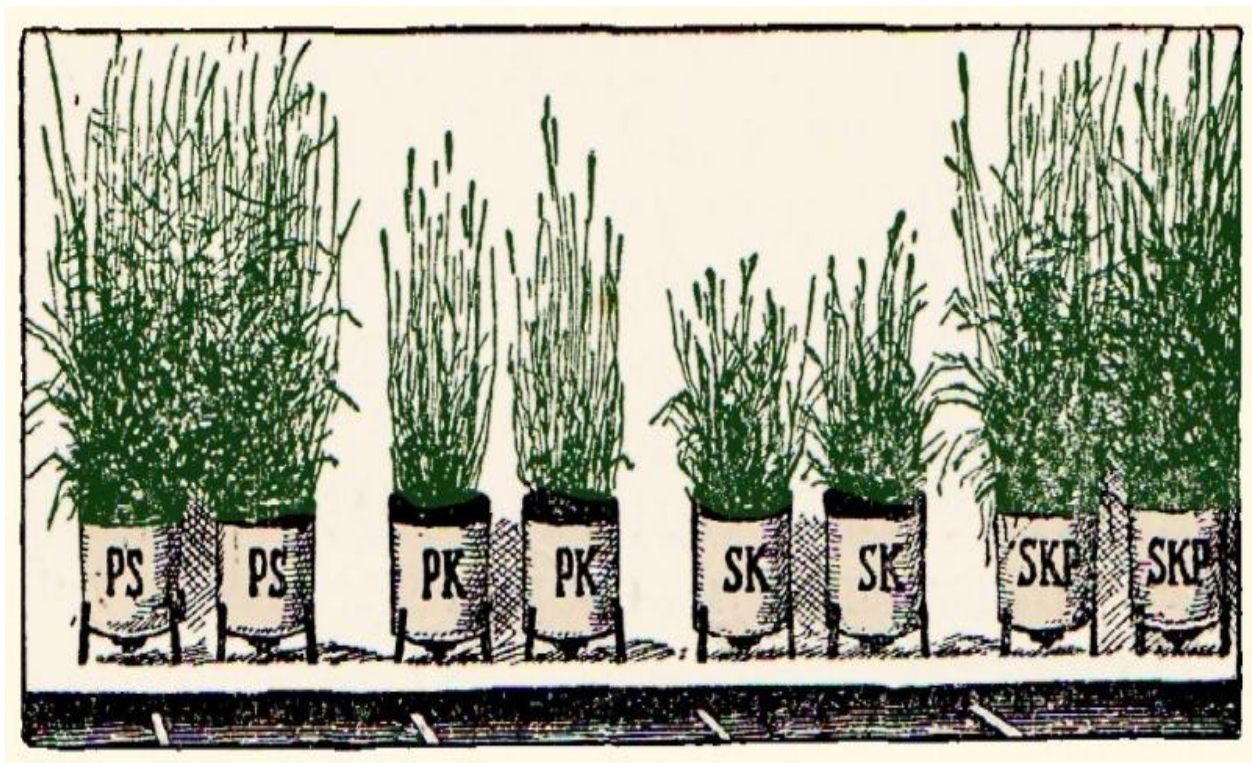


Рисунок – Вегетационный опыт в сосудах Вагнера

Сосуды Митчерлиха – эмалированные железные, дно имеет выпуклую форму. По всей поверхности дна проходят отверстия, поэтому вода в сосудах не застаивается и излишек ее стекает в поддон. Поддон имеет с одной стороны рукоятку, а с другой носик для сливания.

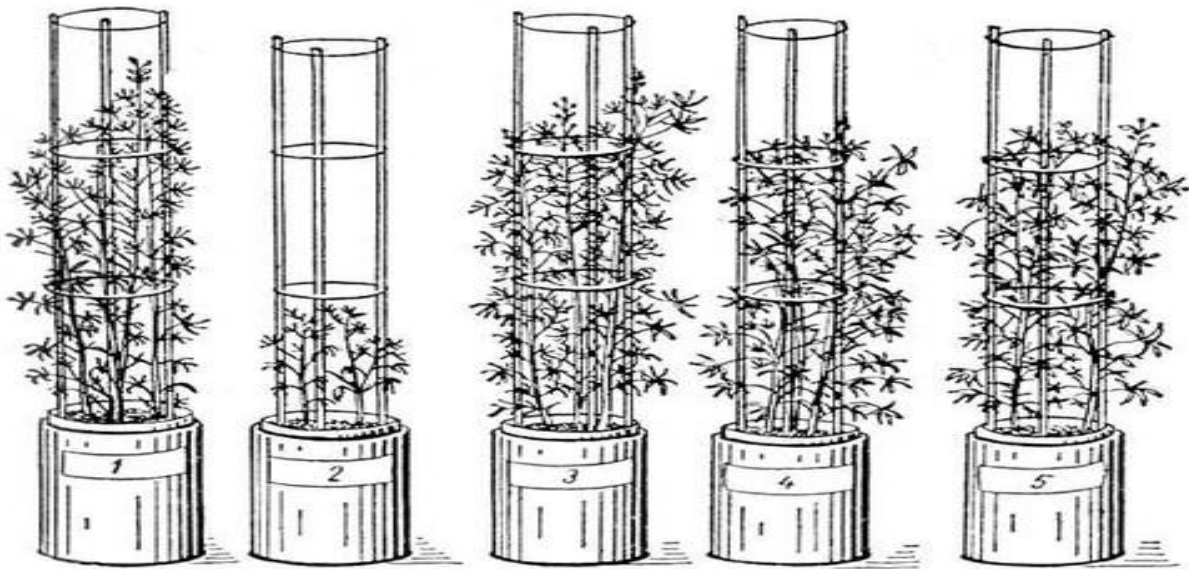


Рисунок – Вегетационный опыт в сосудах Митчерлиха

Сосуды Кирсанова отличаются от сосудов Митчерлиха тем, что в дне их сделана продольная щель шириной 1 см, длиной 8 – 10 см. Сосуд имеет три ножки высотой 9 – 10 см, под него ставят поддон.

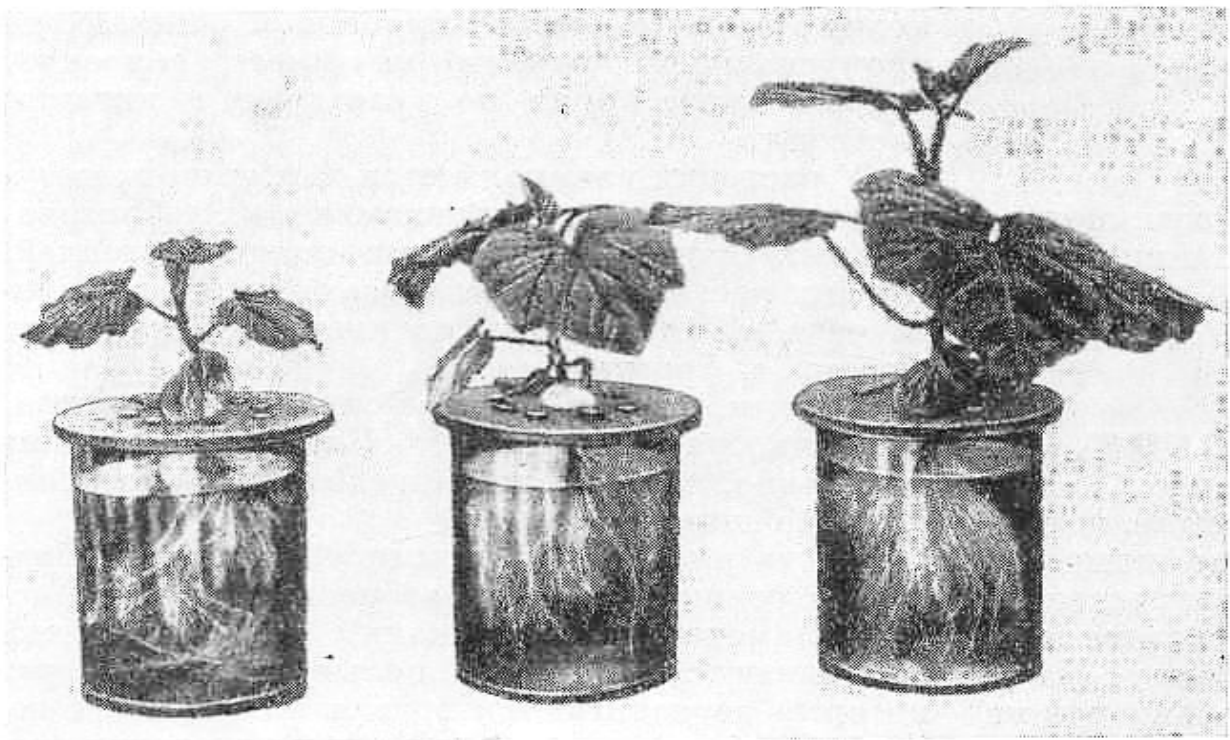


Рисунок – Сосуды для аквакультуры

Размер сосудов должен соответствовать опытному растению. Для большинства растений, кроме корнеплодов, картофеля и мощно развивающихся лубяных растений, наиболее пригодными размерами сосудов являются: 15×20, 20×20 и 15×30 см (здесь и далее: диаметр × высота). В сосудах этих размеров можно удачно проводить опыты со льном, овсом, ячменем, пшеницей, просом, горохом, гречихой, горчицей, люпином, большинством овощных растений.

Точность опыта зависит от числа растений в сосуде; поэтому для таких растений, как лен и большинство злаков, сосуды размером 20×20 см наиболее желательны.

Сосуды размером 15×30 см имеют некоторое преимущество; благодаря более глубокому слою почвы они лучше сохраняют влагу, и растения в них лучше развиваются. Но при надлежащем поливе даже такие глубоко укореняющиеся растения, как люцерна и клевер, дают большие урожаи и в сосудах 20×20 см. Стеклянные сосуды шире, чем 20 см в диаметре обычно не применяют, так как большие сосуды легко бьются.

Для корнеплодов и картофеля наиболее употребительные размеры сосудов 30×30 и 25×30 см. Сосуды размером 25×30 см удобнее в обращении, хотя в них растения развиваются несколько хуже, чем в сосудах 30×30 см, но все же они пригодны для постановки опытов с большинством корнеплодов (сахарной свеклой и др.).

Для каждого опыта необходимо подобрать партию одинаковых сосудов. Для этого все **сосуды предварительно взвешивают** с точностью до 10 г и вес отмечают на их стенках. Сосуды, отобранные для одного опыта, должны различаться по весу не более чем на 100 г. Отобранные по весу сосуды необходимо проверить по диаметру и высоте. Сосуды размером 15×30 и 20×20 см должны различаться по диаметру не более чем на 0,5 см. Опыт можно закладывать только в сосудах, одинаковых по объему.

Перед набивкой сосуды надо тщательно вымыть водопроводной водой, а затем дистиллированной, если полив будет производиться ею. Стеклянная трубочка, применяемая для проводки воды при поливе на дно сосуда, должна быть на 2-4 см выше краев сосуда и иметь диаметр в 1,2-1,7 см, в зависимости от размера сосудов. Узкие трубки неудобны, так как они задерживают полив растения. Перед употреблением трубки моют так же, как и сосуды.



Для дренажа на дно сосуда помещают инертный материал. Количество дренажа должно быть достаточно велико, чтобы при поливе сосудов через трубку не приходилось ждать полного впитывания воды в почву, а можно было бы сразу влить все нужное количество воды. Недостаточный дренаж на дне сосуда или узкая трубка приводят к большим потерям времени при поливе сосудов. Дренаж должен покрывать около  $2/3$  дна сосуда под углом примерно в  $30^\circ$ . Для улучшения развития растений и экономии времени лучше давать скорее излишнее, чем недостаточное, количество.

При диаметре сосудов 15 см достаточно взять 200-250 г стекла, при: диаметре 20 см - 300-350 г. Иногда для дренажа применяют железный эмалированный или крытый даммаровым лаком конус, помещаемый на дно сосуда.

Для отделения дренажа от почвы употребляют марлевые круги, диаметр которых на 5-8 см больше диаметра сосудов. Если вместо марли употребляют другую ткань, то ее необходимо прокипятить в воде. Марлю помещают на дренаж и сверху на нее насыпают небольшое количество песка, что обеспечивает равномерность увлажнения почвы около дна сосуда.

Кварцевый песок, употребляемый при постановке вегетационных опытов, предварительно отмучивают от глинистых частиц и органических примесей водопроводной водой в вегетационных или других сосудах. Затем песок высушивают или на солнце, или в сушилках. Промывку песка соляной кислотой при постановке опытов с почвенными культурами можно не делать. В некоторых случаях можно избежать и отмучивания песка, ограничившись отсеиванием его от глинистых частиц через сито с размером ячеек в 1 мм и однократной промывкой дистиллированной водой.

Для удобства проведения поливов сосуды необходимо тарировать, т. е. привести их к одинаковому весу. Тарирование производят песком и материалом, применяемым для дренажа.

Опыты К. К. Гедройца показали, что количество дренажа влияет на высоту урожая, поэтому при тарировании следует отбирать сосуды, близкие по весу, и само тарирование производить песком. В случае применения конуса тарировать можно и дренажем, который помещают под конус.

При тарировании и подготовке сосудов к набивке сначала насыпают в сосуд дренаж, покрывают его кружком марли и сбоку

через отверстие, сделанное в марле, вставляют в эту горку трубку для полива так, чтобы она отстояла от стенки сосуда не менее, чем на 2 см. Затем производят тарирование сосуда кварцевым песком, насыпаемым на марлю, с точностью до 5 г. После тарирования на сосуд наклеивают этикетку и, кроме того, на стенке сосуда обозначают его номер.

При набивке сосудов почву аккуратно насыпают на дно, в середину лежащей марли, осторожно расправив её руками и плотно примяв края почвой к стенкам сосуда. Почва не должна просыпаться между марлей и стенками сосуда. Нижний слой почвы, примерно в 3-4 см толщины, укладывают более плотно, чем остальную почву в сосуде. Такое уплотнение предохраняет от попадания почвы в дренаж и создает более равномерные условия впитывания влаги. Если сверху марли помещен кварцевый песок, почву насыпают непосредственно на песок. В дальнейшем почва равномерно уплотняется, и поверхность ее выравнивается; до верхнего края сосуда должно остаться около 1,5-2 см свободного пространства для размещения песка и полива сверху.

Как правило, следует применять равномерное уплотнение почвы во все время набивки, более сильно уплотнив лишь самый нижний ее слой. Недостаточно уплотненная почва сильно оседает за вегетационный период и при поливе сверху размывается; при поливе снизу в недостаточно уплотненной почве происходят разрывы почвы и корней, особенно в узких сосудах, размером 15×30 см.

Чтобы равномерно набить целую серию сосудов, надо иметь некоторый навык. Недопустимо, чтобы одни сосуды уплотнялись сильнее, а другие слабее. Если сосуды правильно подобраны для опыта (имеют одинаковые диаметр и высоту), то при одинаковом весе почвы и равномерном уплотнении ее во всех сосудах должно остаться одно и то же расстояние от поверхности почвы до края сосуда.

Количество почвы, вносимое в сосуд, устанавливается пробной набивкой; при неправильном установлении количества почвы на сосуд приходится набивать сосуды заново.

Наполненные почвой сосуды следует до посева или сразу после посева засыпать сверху слоем кварцевого песка, около 200 г на сосуд среднего размера. После появления всходов сосуды снова засыпают песком с таким расчетом, чтобы слой песка сверху был не более 1 см толщины. Слой кварцевого песка сверху сосуда предохраняет

почву от излишней потери влаги, уменьшая испарение воды с поверхности сосудов, и от размывания поверхности почвы при поливе сверху.

Перед набивкой сосудов берут из подготовленной почвы пробу с четырехкратной повторностью для определения влажности.

Во время набивки заготовленная почва должна быть предохранена от высыхания. Количество добавляемой воды должно обеспечить оптимальную для набивки влажность почвы.

Взятые для отдельных сосудов навески почвы помещают в большие эмалированные ёмкости, в которых почву перемешивают с удобрениями, которые могут вноситься в виде растворов или порошков. Почва не должна пылить и мазаться по стенкам ёмкости, а при сжимании должна образовывать комки, которые легко распадаются, если их выронить из руки.

Добавляемое при набивке количество воды должно быть одинаковым во всех сосудах; если часть удобрений вносится в растворах, количество воды, добавляемой в эти сосуды, должно быть соответственно уменьшено.

Чтобы не перепутать удобрения при набивке, схему опыта выписывают на листе с точным, но кратким указанием, что добавляется в каждый сосуд.

Например, сосуд № 11:

вода – 175 мл,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 0,5 г,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  – 0,25 г,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  – 50 мл.

При набивке все вносимое отмечают на листе карандашом. Число отвешенных пакетов с удобрениями должно соответствовать числу сосудов с удобряемой почвой; на каждом пакете должен быть номер сосуда. На ёмкости, после того как в неё высыпана навеска почвы, подписывают восковым карандашом номер сосуда.

Перемешивание почвы с удобрениями надо производить не менее 3-4 мин. после того, как почва получит абсолютно однородный вид. Продолжительность времени перемешивания почвы зависит от ее свойств: песчаные почвы перемешиваются быстрее, чем глинистые.

## **Порядок и техника вегетационного опыта с песчаной культурой**

Субстратом в песчаной культуре служит мелкий кварцевый или белый речной песок, отмытый от органических илистых примесей. Он должен обладать хорошими физическими свойствами, позволяющими корням растений расти, как в хорошей культурной почве. Для этого песок не должен быть ни грубо-, ни мелкозернистым, а иметь размер частиц от 0,2 до 0,4 мм в диаметре. Он должен быть свободным от посторонних примесей. Этим требованиям лучше всего удовлетворяет кварцевый песок, который. Кроме того, необходимо учитывать возможность быстро доставить песок в требуемом количестве.

**Подготовка песка.** При наличии значительных количеств примесей, особенно соединений азота, фосфора и калия, песок надо промыть. В сосуд или цилиндр наливают концентрированную HCl и в нее всыпают песок (не наоборот!). В этом случае вся масса песка будет смочена кислотой равномерно, а последующее помешивание толстой стеклянной палочкой способствует более полному растворению всех посторонних примесей. Песок в кислоте выдерживают в течение 3–5 дней. Излишек кислоты сливают сифоном, а песок в течение нескольких часов промывают водопроводной водой до слабокислой или нейтральной реакции промывных вод.

Песок высушивают вначале на открытом воздухе. При небольшом количестве песка можно воспользоваться сушильными шкафами лаборатории. Для удаления кремниевой кислоты, органического вещества, азотистых соединений и микроорганизмов песок прокаливают. Температура должна быть около 400 °C на поверхности слоя песка 15–20 см.

Сосуды для песчаных культур берут обычно менее высокие, чем для почвенных культур, так как капиллярное поднятие воды в песке слабее, чем в почве.

**Питательные смеси.** Состав смесей зависит от особенностей опытных растений и задач исследований. В большинстве случаев применяют так называемые нормальные питательные смеси.

Питательная смесь должна содержать все необходимые элементы питания в усвояемой форме и в количествах, достаточных для нормального развития растений. Кроме того, смесь должна обеспечивать физиологическую уравновешенность питательного

раствора и оптимальный рН в течение всего вегетационного периода и иметь по возможности нейтральную реакцию.

Для приготовления растворов применяют химически чистые соли и бидистиллированную или очищенную на ионообменных смолах воду. Используют питательные вещества в форме таких соединений, которые по своей физиологической реакции безвредны. Питательные растворы необходимо готовить более концентрированными, чем требуется для нормального роста и развития растений и потом добавлять соответствующие их количества в песок. Хранить исходные растворы нужно в темноте, чтобы не образовался нерастворимый гидрат оксида железа и не росли водоросли.

При выращивании растений в водных, а иногда и в песчаных культурах нередко появляется хлороз листьев. Чтобы устранить это явление, хлорное железо заменяют лимоннокислым или хелатным.



Рисунок – Сосуды обозначаются этикеткой с описанием варианта опыта

**Удобрения** можно вносить или в виде растворов, или в виде порошков и гранул. Если не имеется каких-либо специальных задач, удобрения вносят в растворе. Наиболее удобны растворы, в которых

на каждые 10 мл приходится 0,1 г питательного вещества (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, или K<sub>2</sub>O). Растворы, если их вносят менее чем по 50 мл, отмеривают пипеткой или бюреткой; при внесении 50 мл и более для дозировки растворов можно употреблять мерные цилиндры.

Величина доз удобрений зависит от темы опыта, размера сосудов и вида растения. Как правило, при постановке опытов в почвенных культурах для обеспечения нормального развития растений приходится заботиться лишь о добавке азота, фосфора и калия.

В опытах с почвенными культурами в качестве основного удобрения (фона) следует выбирать соли, не вызывающие сильных изменений свойств почвы. Удобрения, вносимые в почву в качестве фона, должны возможно меньше изменять реакцию почвы и концентрацию почвенного раствора, а также не содержать балластных веществ. Если требуется фон одного азота, можно остановиться на внесении азотнокислого аммония; который, правда, вызывает некоторое подкисление почвы, не имеющее практического значения. При постановке опытов на кислых песчаных почвах можно рекомендовать смесь, состоящую из двух третей азота в виде NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и одной трети азота в виде Ca(N<sub>3</sub>O)<sub>2</sub>.

Для создания фона НК можно брать смесь NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + KNO<sub>3</sub>, в которой количество KNO<sub>3</sub> устанавливается по требующейся дозе калия.

В качестве фона NP для почв черноземного типа можно применять смесь из NH<sub>4</sub>PO<sub>3</sub> и моно- и диаммонийфосфатов, являющуюся биологически кислой. Для подзолистых почв можно остановиться на смеси Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, т. е. физиологически кислого моноаммонийфосфата и физиологически щелочной кальциевой селитры.

Для фона РК наиболее подходит смесь моно- и дикалийфосфатов. Количество моно- и дикалийфосфатов в этой смеси подбирают такое, чтобы рН смеси была близка к рН почвы. Если это нельзя сочетать с желательными дозировками K<sub>2</sub>O и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, то добавку фосфатов можно делать в форме кальциевого фосфата, а калия – в виде КС1 или K<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.

Фон одного фосфата, который обычно создается в опытах с внесением натриевых фосфатов, во многих случаях рекомендовать нельзя, так как внесение в почву натрия оказывает сильное действие на эффективность калия.

Поэтому часто приходится останавливаться на кальциевых фосфатах: монокальцийфосфате, дикальцийфосфате или на их смеси. Внесение натриевых фосфатов может быть рекомендовано, когда добавка натрия не влияет на результаты опытов. В этом случае интересно применение не чистых одонатриевых и двунатриевых солей, а их смесей, дающих рН, близкую к рН почвы.

**При выборе форм основного удобрения и их дозировок** надо тщательно продумать, какое действие на изменение свойств почвы окажут вносимые удобрения. При неосторожном выборе форм удобрений легко получить результаты, определяющиеся не столько свойствами почвы, сколько свойствами фона.

При постановке опытов на известкованных почвах в состав фона для ряда растений – свеклы, льна, горчицы, гречихи, табака, бобовых – надо вводить бор в форме борной кислоты или буры в количестве 1 мг бора на 1 кг почвы. Без внесения бора на известкованных подзолистых почвах нельзя получить нормального развития этих растений. Под зерновые злаки вносить бор излишне.

Что касается **доз питательных веществ**, то для получения высоких урожаев растений в сосудах 20×20 см, К. К. Гедройц считал достаточным 0,75 г N, 0,5 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 0,5 г K<sub>2</sub>O; количества эти должны изменяться в зависимости от вида растения и темы опыта; применение удвоенных доз дает дальнейшее повышение урожаев.

При больших дозах вредное действие высокой концентрации солей можно уменьшить, применяя дробное внесение удобрений, которое практикуется также в опытах по изучению времени внесения удобрений.

Во время вегетации удобрения вносят при поливе в растворенном виде. Обычно половину вносимого количества удобрений вливают на дно сосуда через трубку, а другую вносят поливом сверху.

**Посев растений и уход за ними.** Зерновые злаки – овёс, ячмень, рожь, пшеница, а также зерновые бобовые: горох, люпин, фасоль, бобы и пр. высаживают пророщенными семенами. Проращивание семян производят на блюдцах, чашках Петри, в которые насыпают ровный слой кварцевого песка, кладут сверху него фильтровальную бумагу в два слоя и на нее укладывают отдельно одно от другого семена. Перед раскладкой семян бумагу и песок увлажняют дистиллированной водой до полного насыщения песка водой. После раскладки семена закрывают сверху двумя листами фильтровальной

бумаги. Блюдце сверху закрывают стеклом, чтобы уменьшить испарение и предохранить семена от повреждений.

Посев производят, когда семена «наклюнутся». Перед посевом поверхность почвы выравнивают, слегка поливают из промывалки, затем делают лунки, в которые раскладывают семена.

Лунки можно делать либо сажальной доской, имеющей соответствующее число равномерно распределенных зубьев, либо стеклянной палочкой; в этом случае на поверхность накладывают картонный шаблон с соответствующим числом отверстий, и лунки в почве выдавливают стеклянной палочкой с резиновым кольцом, надетым на нее на высоте, равной глубине посадки семян. Крупные семена при посадке заделывают на глубину 1,5-2,0 см, при посеве льна лунки делают глубиной в 1 см, при посеве мелкосеменных трав – еще мельче (0,5 см). Если почва мажется, то полезно посыпать ее тонким слоем кварцевого песка.

При посеве пророщенными семенами пинцетом отбирают одинаково проросшие семена, которые и укладывают в лунки по одной штуке корешком книзу. Когда семена положены во все лунки сосуда, посев проверяют и лунки заделывают надавливанием на их стенки, после чего почву засыпают сверху песком (200 г песка на сосуд 15 см в диаметре). Посадка по два семени в одну лунку недопустима, это приводит к порче посевов при последующей прорывке.

При посеве сухими семенами необходимо предварительно установить их всхожесть. Для посева годятся только семена, имеющие всхожесть, близкую к 100%, и тщательно отобранные по величине. Семенной материал должен быть однороден, одного сорта и одного урожая.

После окончания посева сосуды закрывают сверху листами бумаги во избежание высыхания почвы. Листы снимают при первом появлении всходов.

Если опыт ставится в стеклянных сосудах, необходимо до посева или сразу после появления всходов (не позднее!) обернуть сосуды белым картоном — «надеть чехлы». На чехол наклеивают этикетку с указанием особенностей варианта опыта и номера сосуда; последний надписывают и непосредственно на чехле. Чехол должен быть надет плотно, но так чтобы можно было его поднимать для наблюдений за увлажнением почвы и ростом корней.





Рисунок – В цилиндрических стеклянных сосудах, обернутых белой плотной бумагой (для затемнения корней), наполненных почвой с разными удобрениями, растет сахарная свекла:

1 – без удобрений; 2 – удобрений мало; 3 – удобрений достаточно;  
4 – избыток удобрений

**Количество семян**, высеваемых в сосуд, должно быть несколько больше желательного числа растений. Если посев производится пророщенными семенами, то высеваемых семян должно быть примерно на 5-10 шт. больше, чем желательное число растений. Для таких растений, как ячмень, посевы которого иногда сильно повреждаются шведской и гессенской мухой, количество высеваемых семян должно быть раза в полтора больше желательного числа растений. Зерновых злаков на сосуд 15 см в диаметре надо оставлять после прореживания 20-25 растений, гороха 10-15, гречихи 10-12, льна 35-40, клевера 6-12. При посеве растений, которые оставляют по одному на сосуд, например свеклы, в центре сосуда высевают около 10 семян.

Когда растения уже окрепнут, минует опасность гибели всходов от вредителей, производят прореживание. Все удаляемые растения помещают в пронумерованные пакеты, сушат и взвешивают. Если растения удаляют пинцетом вместе с семенами через 2-4 дня после появления всходов, то выдергиваемые растения выбрасывают.

Когда растения подрастут, для предохранения их от полегания и поломки во время полива на сосуды надевают каркасы или вставляют в сосуды палочки (по четыре на сосуд), между которыми натягивают нитки; палочки должны быть подобраны одного веса.

В течение всего времени вегетации необходимо удалять вредителей, собирать в пакеты опадающие листья и семена и делать записи наблюдений за развитием растений (измерение роста растений и фенологические наблюдения).

При уборке урожая измеряют высоту срезанных растений на линейке с точностью до 0,1 см, после чего у зерновых отрезают колосья, у клевера и льна - головки и помещают их в отдельный пакет, а стебли и листья - в другой. Обычно взвешивания для определения сырого веса не производят, а урожай взвешивают после сушки его в сушилке или в термостате при 60°. Сушку до абсолютно сухого веса обычно не производят. Высушенный урожай взвешивают с точностью до 0,01 г, обмолачивают и урожай семян взвешивают отдельно.

**Полив.** Правильный полив растений является весьма существенным условием удачного проведения опыта. Полив всех сосудов, участвующих в опыте, производят до одинаковой влажности почвы, за исключением тех случаев, когда изучается значение изменения влажности почвы. Установить желательную влажность почвы можно, лишь зная водные свойства почвы: ее максимальную гигроскопичность, наибольшую влагоемкость и влажность во время набивки.

Максимальную гигроскопичность необходимо знать для определения коэффициента завядания растений. Под **коэффициентом завядания** понимается количество влаги в почве, выраженное в процентах от ее сухого веса, при котором растения впервые обнаруживают признаки устойчивого завядания. Под **устойчивым, или длительным, завяданием** подразумевается степень увядания растений, при которой они уже не могут оправиться даже после перенесения их в атмосферу, насыщенную водяными парами. Понятие устойчивого завядания было введено, чтобы исключить при определении все случаи завядания, которые вызываются лишь временным превышением транспирации над поступлением влаги в растение и могут иметь место при относительно влажной почве, но сильном сухом ветре или сильной инсоляции.

Практически наиболее легко выполнимым способом определения коэффициента завядания (или влажности завядания) является определение его по максимальной гигроскопичности почвы

(Федоровский, 1960). В среднем коэффициент завядания равен полуторной максимальной гигроскопичности почвы.

С. М. Богданов предложил считать полезной влагоемкостью почвы ее наибольшую влагоемкость за вычетом коэффициента завядания, так как влажность почвы меньше коэффициента завядания если и не является абсолютно неусвояемой, то практически представляет мертвый запас влаги. Полив растений следует производить до 60% полезной влагоемкости почвы.

Иногда, в тех случаях, когда почва имеет большое количество глинистых частиц и потому сравнительно высокую максимальную гигроскопичность, полив до 60% от влагоемкости недостаточен. Поэтому для черноземных и глинистых почв часто считают оптимальной влажностью не 60, а 70% от полезной влагоемкости.

Устанавливаемая по формуле влажность, конечно, считается оптимальной весьма условно. Но, во всяком случае, влажность почвы, определяемая в размере 60% от полезной влагоемкости, для большинства почв и растений близка к оптимальной.

Многие растения для получения максимального урожая требуют различной влажности в разные периоды своего развития. Как правило, необходимо уменьшать влажность почвы во время созревания растений, так как иначе созревание задерживается.

Обычно полив растений производят, давая половину воды сверху и половину снизу. Во многих опытах можно поливать почвенные культуры не дистиллированной, а водопроводной водой. Обычно полив сосудов по весу производят 1 раз в день. В жаркие дни поливать сосуды приходится 2 и даже 3 раза в день; в этом случае 1 раз поливают сосуды по весу и другой – по объему, давая на каждый сосуд определенное количество воды.

**Вес, до которого надо поливать сосуд**, вычисляют следующим образом. Предположим, что полная влагоемкость почвы 55,0%, максимальная гигроскопичность 8,2%, полив намечен до 60% от полезной влагоемкости. Следовательно, влажность почвы должна быть равна  $(55,0 + 8,2) \cdot 0,6 = 37,9\%$ . Влажность почвы при набивке сосуда была равна 15,2%, в сосуд вошло 5 кг сырой почвы, или 4,340 кг абсолютно сухой почвы. Вес тары до набивки (общий вес пустого сосуда, дренажа, трубочки, марли и кварцевого песка, добавленного на дно сосуда) был равен 2100 г. Вес картонного чехла (если сосуд стеклянный) 60 г. Вес палочек 40 г плюс вес кварцевого песка, добавляемого сверху почвы, 200 г.

Таким образом, общий вес набитого сосуда без веса воды и почвы 2400 г, вес почвы – 4340 г, вес воды – 37,9% от 4340, или 1645 г. Следовательно, сосуд надо поливать до  $2400 + 4340 + 1645 = 8385$  г. Округляя, получаем 8400 г.

При поливе сосудов производят их перестановку для выравнивания условий освещения и нагревания солнечным светом. Если сосуды опыта стоят в два ряда, то при поливе их меняют местами. Необходимо перемещать сосуды и по длине ряда; для этого каждый раз два первых сосуда снимают и ставят вместо последней пары, а на их место ставят сосуды второй пары. Если в опыте много сосудов, то перестановку производят на две пары сосудов. Правильным следует считать такое размещение, когда сосуды стоят по повторностям, а не по вариантам опыта.

### **Опыты с почвенной изоляцией удобрений**

Распределение в почве удобрений имеет большое значение для их действия. В вегетационных опытах можно по-разному разместить в почве удобрения. Решение ряда вопросов – о равномерности распределения удобрений, о взаимоотношении различно удобренных растений, об удобрении смешанных посевов, использовании многосторонних и односторонних удобрений – требует постановки таких опытов, когда внутри сосуда с удобренной почвой часть ее остается неудобренной или удобренной иначе, чем остальная часть. Для решения этих вопросов разработана методика почвенной изоляции удобрений (А. В. Соколов, А. И. Ахромейко, В. Н. Панфилов, 1938).

Постановку опытов при изоляции удобрений почвой не следует путать с опытами в изолированных культурах. При методе изолированных культур корни растений делят на несколько прядей между разными сосудами; при методе почвенной изоляции механического деления корней растений при посадке не производят, и корни сами распределяются между различно удобренной почвой.

При набивке сосудов делят вертикальными перегородками на несколько секторов, в которые вносят различно удобренную почву. По окончании набивки перегородки вынимают, и все посаженные растения могут пользоваться всей почвой сосуда и распределять свою корневую систему по всему сосуду. При посеве растений на границе различно удобренных секторов каждое из растений находится в условиях, когда ему предоставлены равные возможности для

развития корней в обоих секторах. Если же посев растений сделать не на границе, а внутри площади секторов, то получим посев растений на различно удобренных микроучастках почвы.

В первом случае, когда растения посажены на границе секторов, все они находятся в одинаковых условиях снабжения питательными веществами, и задача исследователя сводится к изучению того, как распределяются корни одних и тех же растений между различно удобренной почвой и как неравномерное размещение питательных веществ отразится на урожае растений.

В том случае, когда растения посажены внутри различно удобренных секторов, они находятся в неодинаковых условиях снабжения питательными веществами, и эти различно питающиеся растения дают, как показали опыты, различные урожаи и вступают друг с другом в целый ряд закономерных взаимоотношений.

Техника постановки таких опытов несложна. В сосуд, после того как на дне его сделан дренаж из битого стекла и насыпан слой кварцевого песка, насыпают слой неудобренной почвы весом 500-1000 г. При набивке сосуда надо следить за тем, чтобы дренаж был равномерно устроен по всему дну сосуда, с тем, чтобы во время полива сосуда, который делается через трубку, идущую сверху до его дна, происходило быстрое и равномерное распределение влаги по дну сосуда.

Затем в сосуд вставляют тонкие жестяные перегородки, делящие его на несколько секторов. Обычно применяют деление на четыре сектора, из которых два противоположных получают одинаковое удобрение. В этом случае, если площадь сосуда равна  $314 \text{ см}^2$ , площадь одного сектора равна  $79 \text{ см}^2$ . После того как в секторы насыпана различно удобренная почва, в сосуд насыпают верхний защитный слой неудобренной почвы. Границы секторов отмечают на стенках сосудов, перегородки вынимают, насыпают тонкий слой кварцевого песка, и сосуд готов к посеву растений.

Обычно при посеве овса высевают на площади каждого сектора по 6 растений двумя рядами, на расстоянии 2-2,5 см от границы с соседним сектором. Таким образом, при посеве внутри секторов все растения имеют на расстоянии всего 2-2,5 см иначе удобренную почву и на расстоянии всего 4-5 см – соседние растения, растущие в другом секторе. В данном случае растения могут использовать почву соседних микроучастков и должны оказать влияние на развитие соседних растений.

Опыты ставят с адсорбируемыми почвой соединениями ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), с почвами тяжелого механического состава, при невысоких дозах удобрений и при умеренном поливе сосудов сверху и снизу. В этом случае боковое передвижение исключается. В сосудах под растениями накопления заметных количеств нитратов уловить не удается, что указывает на отсутствие передвижения азота, вносимого в форме аммонийных солей.

Дальнейшее развитие метод почвенной изоляции получил в опытах П. И. Ромашова. Изучая вопрос о смешанных посевах бобовых и злаковых трав и приемах удобрения чистых и смешанных посевов, П. И. Ромашов применил метод почвенной изоляции, дополненный введением половинных сосудов.

Если внутри одного сосуда одну половину его засевают бобовыми, а другую злаками, то развитие тех и других зависит не только от использования корнями питательных веществ, но и от взаимоотношения между растениями над поверхностью почвы. Если одни половинные сосуды засеять злаками, а другие бобовыми, то, объединяя эти половинные сосуды, мы сохраняем надземную конкуренцию растений, а разъединяя их, исключаем ее. Соединяя два половинных сосуда, мы должны приставить их плотно друг к другу и надеть на них общий чехол. Так как прогревание половинных сосудов может быть более сильное, чем круглых, необходимо тщательно обертывать сосуды несколькими слоями белого картона или помещать их внутри деревянного чехла.

Для изучения некоторых особенностей питания растений из неоднородной почвы использован предложенный Д. В. Федоровским (1964) тип сосудов для опытов с изолированным питанием растений и применена радиоактивная метка фосфатов для одного из двух объемов почвы, питающих растение. Эта методика позволяет фиксировать поступление воды и фосфатов из каждого объема почвы и учитывать влияние изменения почвенных условий в одном объеме на питание растений и поступление веществ из другого объема почвы. Применение сосудов такого типа позволяет не только размещать корни одного растения на изолированных участках почвы, но и ежедневно (а при желании еже часно) учитывать расход воды из каждого отсека сосуда, из каждого участка почвы. Этот сосуд позволяет также изменить во время опыта режим влажности одной части почвы, поддерживая неизменный режим влажности в другой ее части.

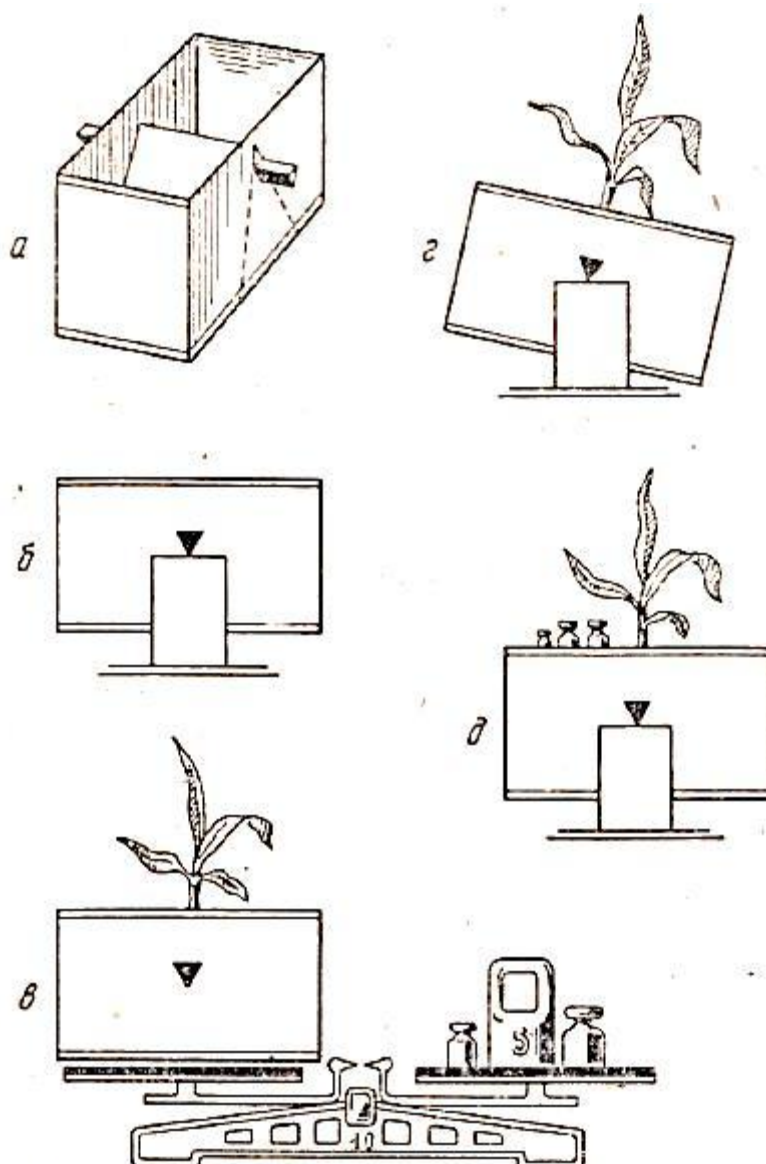


Рисунок – Приёмы работы с сосудами в опытах с изолированным питанием

Сосуд представляет собой железную коробку с плотно закрепленной пустотелой перегородкой посередине. Внутри перегородки вставлена трехгранная ось сосуда (Рисунок, а).

Перед набивкой при тарировке уравниваются части сосуда. Набивка одинаковых навесок почвы в отсеки сосуда не нарушает балансировки (Рисунок, б). Вдоль перегородки высаживают от 3 до 16 растений, корни каждого из них распределяются поровну между двумя участками почвы.

Во время опыта определяют общий расход воды  $A$  по убыли веса всего сосуда, так же как в обычных вегетационных опытах (Рисунок, в). Затем устанавливают сосуд на подставку и определяют расход

воды из почвы каждого изолированного отсека сосуда. В случае разного расхода воды из участков почвы нарушается балансировка сосуда. Уравновешивая сосуд, можно количественно учесть расход воды из каждой части сосуда (Рисунок,  $z$  и  $d$ ).

Расчёт: если, например, общий расход воды  $A = 150$  г, а для уравновешивания на правую часть сосуда потребовалось поставить разновес в  $100$  г ( $B$ ), то расход воды из почвы правого отсека будет равен:

$$(A + B) / 2 = (150 + 100) / 2 = 125 \text{ г,}$$

а левого отсека:

$$(A - B) / 2 = (150 - 100) / 2 = 25 \text{ г.}$$



## 5 ПОЛЕВОЙ ОПЫТ

Полевой опыт относится к методам биологическим: в основе метода лежит реакция живого организма на изменение тех или иных факторов его развития. Он в наибольшей степени отвечает тимирязевскому правилу – «спрашивать мнение самого растения». Реагирующим организмом – индикатором является в опыте то самое культурное растение, для которого предназначаются получаемые данные, а реакция опытного растения изучается в нем в естественных почвенных и метеорологических условиях.

Полевой метод дает количественную, приложимую к производственным условиям, характеристику эффективности действия удобрения. Поэтому он справедливо рассматривается как конечное звено в системе агрохимических исследований. Во многих случаях агрохимическое исследование, не доведенное до стадии полевого опыта, не может считаться законченным. Полевой опыт является не только завершающим этапом исследования, но и мостом, соединяющим сельскохозяйственную науку с сельскохозяйственной практикой.

Однако зависимость результатов полевого опыта от конкретных почвенных и метеорологических условий является в то же время моментом, ограничивающим его значение. Прежде всего, результаты полевого опыта без точной характеристики почвы, на которой он проведен, приложимы лишь к тому участку, на котором они получены. Другой ограничивающий момент в применении полевого опыта – трудность, а иногда и невозможность такого детального аналитического расчленения отдельных природных факторов и их искусственного регулирования, которые допускают другие методы, например, вегетационный.

Поэтому необходимо и целесообразно комбинировать полевой опыт с другими методами исследования: почвенными, химическими и биологическими. Применение почвенных исследований дает возможность устанавливать типичность участка полевого опыта для определённого района или зоны, а следовательно, и распространять на них полученные в полевом опыте результаты. Химические методы (анализы почвы и растения) позволяют судить не только о конечном результате изменения питательного режима почвы, отражаемом величиной урожая, но и о самих изменениях форм и количества отдельных элементов пищи растения в почве. Вегетационный метод,

благодаря детальному расчленению факторов и возможности их искусственного регулирования, позволяет быстрее отметить определенные закономерности, получающие затем количественное выражение в естественных условиях полевого опыта.

Комплексное применение полевого опыта в комбинации со всеми остальными методами лишает его узкоэмпирического характера и раздвигает границы применимости полученных результатов за пределы участка опыта.

Качество полевого опыта, возможность использования его результатов определяются следующими основными требованиями.

**Первое требование** – соответствие опыта тем условиям, в которых предполагается использовать его результаты, **типичность** его для определенного района, почвы и уровня агротехники (требование репрезентативности опыта). Результаты опыта, проведенного на случайной, не типичной для данной зоны или района почве, с необычной, экзотической культурой или в исключительных для обслуживаемого района и отрезка времени условиях агротехники (как при необычно низком, так и при необычно высоком ее уровне), не могут быть экстраполированы на обычные условия сельскохозяйственного производства.

При определении типичных условий проведения опыта на опытном поле не обязательно механически воспроизводить все условия сельскохозяйственного производства, а нужно лишь сознательно избегать изменения тех условий, которые могут в какой-то мере повлиять на эффективность изучаемого фактора или приема.

При определении типичного уровня агротехники и фона плодородия не всегда также следует исходить из условий сегодняшнего дня. При закладке опытов, особенно длительных, результаты которых могут быть получены и использованы лишь через несколько лет, необходимо считаться с вероятным изменением за этот период типичного уровня плодородия и агротехники. Особенно существенно это при исключительно быстрых темпах повышения агротехнического уровня сельского хозяйства. Поэтому часто будет правильнее применять в опытах не ту агротехнику, которая применяется в массовом хозяйстве сейчас, а ту, на массовое применение которой можно рассчитывать ко времени внедрения в практику изучаемого приема. Требование типичности опыта особенно важно для опыта в производственных условиях, тогда как при предварительном аналитическом изучении вопроса часто

приходится сознательно отходить от типичных условий и искусственно создавать обстановку для лучшего действия изучаемого фактора или для выявления взаимосвязи между факторами.

**Второе требование** к качеству полевого опыта — **точность**. Количественные результаты полевого опыта всегда представляют собой лишь приближенное выражение истинных результатов, которые получились бы, если бы никакие случайные влияния не искажали этих результатов. Чем меньше разница между истинным результатом и получаемым экспериментатором, тем меньше ошибки опыта, тем больше его точность.

Причины, искажающие истинные результаты опыта и обуславливающие его ошибку, могут зависеть:

1. *От неточности измерений*. Этого рода погрешности могут происходить: а) при измерении площади делянки; при ширине делянки в 4 м ошибка в ее измерении на 20 см дает уже 5% ошибки в площади, а следовательно, и в урожае на единицу площади; б) при развеске удобрений; в) при взвешивании урожая; чем меньше размер делянок, тем точнее должно производиться взвешивание, так как одинаковая абсолютная ошибка, сделанная при взвешивании урожая с делянки в  $10 \text{ м}^2$ , после пересчета на 1 га будет в 100 раз больше, чем для делянки в  $1000 \text{ м}^2$ .

2. *От невыровненности исходного плодородия почвы* опытных делянок. Невыровненность исходного плодородия опытных делянок – наиболее крупный и постоянный источник ошибок полевого опыта. Одной из важнейших и наиболее трудных задач методики полевого опыта является такое размещение опытных делянок, при котором ошибка, зависящая от пестроты почвы, была бы наименьшей.

3. *От случайных причин*: а) повреждений опытных делянок; б) потерь и хищения урожая; в) ошибок и погрешностей в обработке (просевы и т. п.).

Для устранения ошибок, обусловленных случайными причинами, чаще всего приходится прибегать к выбраковке отдельных делянок или выключению частей делянки.

Для определения величины ошибки опыта и оценки точности его результатов используются методы вариационной статистики. Эти методы применяются также при оценке пестроты исходного плодородия опытного участка и при выборе приемов методики

(повторность, величина, форма и расположение делянок), обеспечивающих достаточную точность опыта на данном участке.

Статистическая обработка результатов полевого опыта имеет чрезвычайно большое значение; однако нужно ясно представлять себе, что она дает лишь объективную оценку точности опыта, но не повышает сама по себе эту точность, всецело зависящую от методики постановки и тщательности проведения опыта.

**Третье требование** – соблюдение принципа единственного различия.

**Четвёртое требование** – специально выделенный участок.

**Пятое требование** – учёт урожая в опыте.

**Шестое требование** – достоверность опыта по существу:

- а) правильно составленная схема опыта;
- б) строгое соблюдение методики постановки опыта на всех его этапах;
- в) соответствие схемы опыта, методики постановки опыта, задачам и условиям проведения опыта;
- г) правильный подбор опытного участка.

## **МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ПОЛЕВОГО ОПЫТА**

В зависимости от места постановки, цели и длительности опыта, размера делянок различают несколько видов полевого опыта:

1) стационарные - закладывают на постоянных участках. В таких опытах изучают действие удобрений на плодородие почвы, урожайность и качество продукции, определение передвижения питательных веществ почвы и удобрений, нормы, сроки, способы внесения удобрений и т.д.

Границы полей фиксируют реперами.  $S_{опт}=100-250 \text{ м}^2$ ,  $S$  учетная 80-150  $\text{м}^2$ .

Основные опыты проводят научные учреждения по детально установленной на длительное время программе.

Предварительные опыты – носят ориентировочный характер, их закладывают на небольшой срок вне севооборота и они служат основой для разработки схем и программ основного опыта. В них исследования не проводят, а только делают учет урожая.

Производственные опыты - в таких опытах проверяются результаты стационарных опытов, определяет их хозяйственную пригодность в условиях производства.  $S_{делянок} = 500-5000 \text{ м}^2$ .

**Однофакторные опыты** - изучают действие одного приема, например, доза удобрений и т. д.

**Многофакторные опыты** - изучают действие двух и более факторов, нормы и действие удобрений.

Элементы методики полевого опыта: 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 – ответственная задача.

**Схема опыта** – это перечень логично подобранных вариантов с определёнными контролями (стандартами), объединённых конкретной темой, идеей.

Агротехнические приёмы, технологии и сорта изучают в пределах экспериментальных единиц, т.е. на опытных делянках.

**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.

**Повторность опыта** – число делянок в каждом опыте с одинаковым содержанием вариантов. 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, 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.

**Опытная делянка** в полевых опытах – это земельная площадь прямоугольной формы определённого размера, на которой изучают только один из вариантов опыта – агроприём, дозы, виды и соотношения удобрений, технологию, сорт и т. д. Для зерновых величина делянки 50-100 м<sup>2</sup>, 100-200 м<sup>2</sup> - для пропашных культур, в многолетних опытах – 200-300 м<sup>2</sup>, в лабораторно-полевых – 20-25 м<sup>2</sup>, а при ручной обработке – 2-10 м<sup>2</sup>.

Опытные делянки состоят из учётной части, которая находится внутри, и защитной, которая ограничивает её снаружи.

### **Выбор участка**

Требования, предъявляемые при выборе участка для опытного поля в целом и для постановки отдельного опыта, не вполне совпадают.

Площадь опытного поля в целом не обязательно должна быть однородна в отношении морфологической характеристики и культурного состояния почвы. Можно считать даже желательным, чтобы опытное поле располагало несколькими почвенными разностями и фонами различного культурного состояния, достаточно широко представленными в обслуживаемом районе. Однако эти отдельные, не сходные между собой, части земельного участка опытного поля должны быть достаточно велики для размещения на них целых опытов или групп опытов и внутри себя возможно более однородны. При выборе участка для отдельного опыта нужно стремиться к его возможно большей однородности.

Перечисляя требования, предъявляемые к участку, имеется в виду выбор участка для отдельного опыта, а не для опытного поля в целом.

**Рельеф.** Наличие ровной поверхности — одно из основных условий пригодности участка для опыта. При постановке опытов на склонах делянки, расположенные в различных частях склона, попадают в неодинаковые почвенные условия и условия увлажнения. При значительном склоне возможен, кроме того, смыв почвы и внесенных удобрений с верхних делянок на нижние. Особенно недопустима постановка многолетних опытов и опытов с озимыми на склонах, подвергающихся действию весенних вод. Однако выбор идеально плоского горизонтального участка сколько-нибудь значительной площади возможен лишь в условиях степи. В северной части России наличие той или иной степени склона типично для очень значительной части пахотных площадей. Поэтому не только трудность выбора участка, не имеющего склона, но и соображения типичности заставляют допускать наличие на опытном участке умеренного склона (2,5 м падения на 109 пог. м). Этот склон должен быть односторонним и равномерным. Недопустимо расположение в пределах участка опыта склонов, обращенных к различным странам

света, резких изменений крутизны склона и особенно наличие замкнутых понижений (западин, блюдце).

При расположении опытного участка на склоне делянки должны вытягиваться длинными сторонами вдоль склона, с тем чтобы каждая делянка по возможности полно и одинаково с другими охватывала разнообразие условий, существующих в разных частях склона. Эти требования к рельефу не относятся к тем случаям, когда влияние рельефа само собой является предметом изучения в опыте (опыты по изучению влияния склонов различной крутизны и экспозиции, опыты по изучению влияния эрозии и т.п.).

Для изучения рельефа участка в условиях опытного поля желательна подробная нивелировка с горизонталями через 0,2 м. При постановке опытов в условиях производства приходится обычно пользоваться значительно более грубыми планами, с горизонталями не чаще чем через 1 м, или даже определять направление и крутизну склона на глаз.

**Почва.** Почвенное обследование опытного участка может иметь двоякую задачу:

а) дать почвенную характеристику участка в целом для того, чтобы сделать возможным перенесение результатов опыта на сходные почвы;

б) помочь наилучшим образом расположить опыт, разместив его целиком в пределах одной почвенной разности или, при невозможности этого, в пределах комплекса наиболее близких разностей, при условии возможного однообразия этого комплекса для всех вариантов опыта.

Первая задача обязательна не только в условиях опытного поля, но и при постановке опытов в условиях производства. Результаты тщательнейшим образом проведенного опыта теряют ценность, если неизвестна почва, на которой он был поставлен.

Детализация почвенной карты, необходимая для разрешения второй задачи, зависит от пестроты почвенного покрова и размера делянок, но, в любом случае должна быть очень велика. Ошибки в нанесении почвенных разностей на такой карте не должны превышать наименьшего измерения (т. е. ширины) делянок, что требует почвенного обследования в масштабе 10-50 м в 1 см, осуществимого обычно лишь на опытных полях.

Насколько строго должно выполняться требование отсутствия почвенной пестроты в пределах участка опыта. К этому вопросу

относится все, что было уже сказано относительно рельефа. Идеальным будет, конечно, расположение всех делянок опыта строго в пределах одной почвенной разности. Это возможно при наличии сравнительно крупных массивов, занятых одной почвенной разностью, и при небольшой общей площади под опытом в целом. При комплексности почвенного покрова, как и при расчлененности рельефа, это оказывается часто невозможным.

В этом случае приходится ограничиваться лишь требованием отсутствия в пределах размещения опыта резко различных почвенных разностей.

При необходимости закладки опыта на комплексе хотя бы и близких почв следует так расположить делянки (вытянутой формы), чтобы каждая из них охватывала весь комплекс почвенных разностей, представленных в пределах размещения опыта.

**Предшествующая история.** Севооборот, система обработки и особенно степень предшествующей удобренности навозом и минеральными удобрениями определяют типичность опытного участка для обслуживаемого района не в меньшей степени, чем природные условия. Большое значение имеет предшествующая история также и в отношении однородности опытного участка.

Наибольшее значение имеет неоднородность предшествующей истории при постановке опытов в условиях производства, где выбор участка обычно непосредственно предшествует закладке опыта, и участок не подвергается никакой специальной подготовке. В этих условиях непременным требованием к участку является однородность обработки, удобрения и предшествующих культур по крайней мере за два-три года, а еще лучше – за последнюю ротацию севооборота.

Многие агротехнические приемы способны оказывать влияние на плодородие почвы в течение значительно более длительного периода. К таким приемам относятся:

*Известкование почвы.* Под известкованием почвы понимается в этом случае внесение значительных доз извести, рассчитанных на полную или частичную нейтрализацию всего пахотного горизонта, а не только на нейтрализацию вносимых удобрений или на создание временных местных очагов пониженной кислотности (местное внесение доз, соответствующих  $1/5$  –  $1/10$  гидролитической кислотности).



2. Применение фосфоритной муки в дозах свыше 45 кг/га  $P_2O_5$ .

3. Систематическое, в течение ряда лет, унавоживание обычными дозами (20-30 т/га) или однократное удобрение высокими дозами навоза (40 т/га и выше).

4. Внесение высоких доз торфа и других органических удобрений.

5. Систематическое, в течение ряда лет, углубление пахотного горизонта.

6. Посев многолетних трав, в особенности систематический посев в севообороте.

Последствие всех этих приемов рано или поздно затухает. Однако длительность этого последствия в любом случае превышает два-три года, а в некоторых случаях (например, при известковании) может растягиваться на десятилетия. Поэтому при наличии сведений о применении одного из этих приемов на какой-то части участка нельзя использовать его под закладку опыта без предварительного дробного учета, хотя бы со времени применения этого приема прошло и более двух лет.

В условиях опытного поля специальная подготовка участка (так называемые уравнивательные посевы) может значительно сгладить неоднородность, обусловленную предшествующей историей участка.

**Случайные факторы.** Из явлений случайного порядка, могущих нарушить однородность участка опыта, выделяются следующие:

б) близость леса или отдельных крупных деревьев нарушает равномерность как освещения, так и влажности почвы на участке; опытные участки не должны располагаться ближе 25-30 м от отдельных деревьев и ближе 40-50 м от сплошного леса;

б) плотные изгороди (плетни, частоколы, зелёные изгороди), задерживая снег, также оказывают влияние на краевые части участка и потому не должны находиться в непосредственной близости (ближе 10 м) от его границы;

в) опытные участки не должны располагаться близко к постройкам, особенно жилым (не ближе 40-50 м), во-первых, во избежание затенения и излишнего накопления снега и, во-вторых, ввиду возможности повреждения и засорения делянок;

г) следы грунтовых дорог, проходивших через участок, сглаживаются, даже при сплошной обработке, очень медленно, и

включение их в участок, отводимый под опыт, недопустимо; еще более недопустимо присутствие на опытном участке следов всяких земляных работ (закрытых канав, кирпичных ям, погребов и т. п.); необходимо также изолировать опытные участки от прилегающих проезжих дорог засеянной защитной полосой шириной 5-10 м.

**Засоренность участка.** Сильная и неравномерная засоренность участка может в значительной мере извратить результаты опыта, в частности опыта с удобрениями. Поэтому сильно засоренные участки, особенно с отдельными явно выраженными пятнами злостных сорняков (пырея, осотов и др.), могут быть использованы под опыты лишь при условии предварительной подготовки участка.

### **Подготовка участка**

Специальная подготовка участка для постановки опытов обычно проводится лишь в условиях стационарного опытного поля. Подготовка участка включает две самостоятельные задачи: выравнивание неодинакового плодородия участка при помощи одного или нескольких сплошных по всему участку так называемых уравнительных посевов и изучение распределения по площади участка исходной пестроты почвенного плодородия путем дробного учета рекогносцировочных, или разведочных, посевов.

**Уравнительные посе́вы.** Уравнительные посе́вы издавна применяются опытными станциями; тем не менее многие исследователи отрицают их значение, считая, что они ничего не дают в отношении выравнивания почвенной пестроты. Если это верно или почти верно по отношению к пестроте, обусловленной природными факторами (рельеф и почва), то по отношению к пестроте, обусловленной предшествующей истории участка, значение уравнительных посевов несомненно (за исключением особенно длительно действующих приемов вроде известкования).

Кроме выравнивания пестроты участка, уравнительные посе́вы могут иметь еще одну важную, но обычно забываемую задачу: доведение плодородия и окультуренности участка до заданного уровня. При исключительном значении, придаваемом в опытах с удобрениями фону, на котором они проводятся, очень часто возникает необходимость искусственного создания или изменения этого фона как в сторону повышения окультуренности, так иногда и в сторону некоторого понижения исходного плодородия.

Для достижения этих целей подготовительные посевы, являющиеся в то же время и уравнительными, могут продолжаться несколько лет и включать самые разнообразные культуры. Возможно создание специальных подготовительных севооборотов или звеньев севооборотов. В этих севооборотах могут вноситься, в зависимости от исходного и создаваемого уровня плодородия, навоз или минеральные удобрения или наоборот, севообороты могут проводиться в течение ряда лет без всякого удобрения.

Так, например, при ведении такого севооборота для участков, подготавливаемых под однолетние опыты с удобрениями:

- 1) чистый пар (вносится 20 т навоза);
- 2) озимь с подсевом трав;
- 3) травы (один год пользования);
- 4) картофель;
- 5) яровое (половина поля отводится под опыты).

Севооборот имеет в натуре все пять клиньев. В следующей ротации под опыты отводится другая половина поля.

Таким образом, наложение одного опыта на другой может произойти не раньше чем через 10 лет – срок, достаточный для погашения действия большинства однократно внесенных удобрений, даже в высоких дозах.

В промежутки между двумя опытами участок подвергается двукратному воздействию всех основных приемов агротехники: чистого пара, трав, внесения умеренных доз навоза. Это имеет целью создать несколько больший, чем средний, уровень плодородия почвы для однолетних опытов и широкую типичность участка для тяжелых почв.

**Специальная подготовка участка.** Помимо перечисленных общих приемов подготовки участка для опыта, возможны некоторые специальные приемы подготовки, связанные с задачами опыта или с особенностями самого участка. Так, в опытах с орошаемыми культурами необходимым приемом подготовки является планировка участка, обеспечивающая равномерность орошения делянок и возможность тщательной регулировки и учета распределения воды между делянками.

Так как планировка, т. е. снятие части пахотного слоя в одних местах и подсыпка в других, сама по себе служит источником пестроты плодородия, особенно в первые годы после ее осуществления, то дополнительным требованием при выборе участка

для опытов с орошаемыми культурами является рельеф, позволяющий ограничиться минимальной планировкой.

В районах избыточного увлажнения необходимым приемом подготовки некоторых участков под опыты будет их осушение при помощи открытых каналов или закрытого дренажа (гончарных труб и других типов дрен). В первую очередь это относится к опытам на болотах, но может требоваться и на участках с минеральными почвами, в частности на тяжелых глинах.

Устройство осушительной сети должно быть тесно увязано с предполагаемыми величиной, формой и направлением делянок, с тем чтобы избежать различного влияния дрен или канав на отдельных делянках. С этой целью делянки желательнее вытягивать поперек дрен, в случае расположения делянок вдоль дрен под каждой делянкой должно проходить по одной или по одинаковому числу дрен (или они должны проходить по границам делянок). При осушении открытыми канавами последние должны быть расположены так, чтобы все делянки одинаково примыкали к канавам своими узкими концами.

Один из особых случаев представляет подготовка под опыты участков, раскорчеванных из-под леса. В этом случае основной задачей подготовки является скорейшее выравнивание пестроты, создаваемой ямами от выкорчеванных деревьев. Для этого необходима тщательная засыпка ям сейчас же после раскорчевки и уборки пней.

В первые годы после корчевки участки должны получать возможно большее число глубоких обработок, что обеспечивает скорейшее выравнивание почвенной пестроты. Обработка должна производиться на достаточно мощной тракторной тяге, с тем чтобы не оставалось непропаханных мест, и сопровождаться каждый раз тщательной выборкой корней.

**Рекогносцировочные посевы и дробный учет.** Сущность дробного учета заключается в том, что участок засеивается сплошь какой-либо культурой, которая учитывается по отдельным, возможно более мелким площадкам. Так устанавливается пестрота плодородия внутри опытного участка.

Для рекогносцировочного посева чаще всего используют зерновые хлеба, иногда картофель или корнеплоды. Из зерновых удобнее для дробного учета яровые культуры (овёс), так как на

пестроту стояния озимых накладываются, помимо плодородия почвы, условия перезимовки.

Величина элементарных делянок дробного учета зависит от культуры, метода учета и технических возможностей опытного учреждения. Чем меньше делянки дробного учета, тем детальнее охватывают они пестроту участка и тем более гибко и разнообразно их можно комбинировать при проектировании величины, формы и расположения опытных делянок. При небольших площадях, подлежащих учету, и значительной пестроте участка можно рекомендовать размер элементарной делянки в 10 м<sup>2</sup>. При более крупных и более однородных площадях и при возможности постановки опытов на больших делянках (несколько сотен квадратных метров) можно допустить и более крупные делянки дробного учета.

Техника дробного учета сводится к следующему.

Отведенный для дробного учета участок засевают или засаживают с весны возможно равномернее. Необходимо обратить особое внимание на правильную работу сеялки, отсутствие просевов и огрехов для зерновых и на правильное размещение растений для пропашных.

Для пропашных культур учетные делянки можно выделить осенью простым отсчетом борозд и растений в рядах, при условии, конечно, правильного размещения растений. Каждую делянку убирают отдельно и тут же на поле взвешивают урожай. Для зерновых при ручной уборке желательно выделение элементарных делянок заранее, пока растения еще малы (до выхода в трубку), так как разбивка по шнуру спелых хлебов очень затруднительна и неточна.

Учетные делянки разбивают колышками и ограничивают бороздками шириной 10-20 см, проведенными ручным инструментом. Еще лучше отделять делянки натянутой между колышками проволокой или шпагатом. По бороздкам или натянутой проволоке делянки восстанавливаются осенью легко и с полной точностью. Урожай каждой делянки сжинают серпом, связывают в один или несколько снопов, которые сейчас же взвешивают.

Чрезвычайно желательно конечно, обмолачивать урожай каждой делянки отдельно и определять урожай зерна. Однако при значительной площади дробного учета это настолько усложняет работу, что приходится ограничиваться учетом общей массы. Нужно

только, чтобы дробный учет производился в сухую погоду, когда нет росы.

Значительно упрощал и ускорял работу дробный учет жнейкой, техника которого разработана опытным полем Сельскохозяйственной академии им. Тимирязева (Дояренко А. Г., 1912). Каждый сноп, сбрасываемый жнейкой, немедленно связывают и взвешивают. В настоящее время используют более совершенную технику.

Использование данных дробного учета может идти по нескольким путями.

Прежде всего непосредственные результаты взвешивания наносят на план. Для этого весь цифровой материал разбивают на группы с интервалами 0,5-1,0 кг и для каждой группы подбирают определенную интенсивность окраски (обычно более темную с повышением урожая), которой и закрашивают на плане каждую ячейку, соответствующую элементарной делянке.

Такой план позволяет довольно хорошо ориентироваться в характере пестроты участка и выделить в его пределах более однородные площадки и, наоборот, исключить резко отличающиеся пятна.

Для правильного анализа характера и степени пестроты участка желательно вычертить для каждого участка кривую Гаусса. Чем больше кривая, построенная на основании данных дробного учета, отклоняется от нормальной кривой Гаусса, тем более необходима выбраковка отдельных пятен участка или разделение его на несколько самостоятельных частей. В частности, двухвершинная форма кривой может служить указанием на целесообразность разделения участка на две самостоятельные, более выровненные внутри себя части.

На основании данных дробного учета для одного из участков опытного поля была вычислена процентная ошибка элементарных делянок (по 10 м<sup>2</sup>) при четырехкратной повторности ( $m_4, \%$ ). Она оказалась равной 18%, т. е. была очень высока. После того как участок на основании нанесенных на план данных дробного учета был разделен на две самостоятельные части, ошибки, вычисленные для каждой из этих частей в отдельности, составили 8,3 и 11,3%, т.е. были уже более или менее приемлемыми.

Следующая стадия работы заключается в чисто эмпирическом комбинировании элементарных делянок по две, три и т. д. и суммировании их урожаев с тем, чтобы подобрать размер и форму

опытной делянки, при которых в наибольшей степени погасалась бы пестрота элементарных делянок.

Одновременно производят математическую обработку материала, устанавливающую среднюю квадратическую ошибку для элементарной делянки и для комбинированных делянок разной величины.

Наиболее существенным возражением против дробного учета является утверждение, что пестрота поля не остается неизменной в различные годы и для разных культур. Например, делянки, расположенные в понижениях, наименее урожайные в сырые годы, могут оказаться наиболее урожайными в засушливые годы и наоборот.

Опыт показывает, что хотя некоторые изменения пестроты по годам и культурам и наблюдаются, однако общий характер ее сохраняется, и выбор наиболее однородных площадок, по данным дробного учета, достаточно надежен. Хотя абсолютная величина ошибки уже заложенного опыта далеко не всегда совпадает с предварительно вычисленной на основании данных дробного учета, относительная величина ошибки для различных участков определяется этим способом безошибочно.

Указанный путь изучения пестроты участка учетом элементарных делянок теоретически обоснован. Однако большая трудоемкость не позволяет осуществлять его на крупных площадях. Более прост предварительный учет в масштабе будущих делянок. В этом случае размер и форму делянок заранее устанавливают на основании общеметодических соображений. Производят поделяночный учет урожая.

Такой предварительный учет является обязательным минимумом подготовки и изучения участка в условиях стационарного опытного поля. Предварительный поделяночный учет дает ясное представление о степени расхождения урожаев по намеченным делянкам и, следовательно, о точности будущего опыта. Но он не дает возможности, комбинируя элементарные делянки, подсчитать точность опыта для любой комбинации величины и формы делянок и выбрать лучшую комбинацию.

Наилучшей будет такая система подготовки участка, при которой сначала производится дробный учет элементарными делянками минимального размера и на основании данных этого учета устанавливаются размер, форма и повторность делянок. На

следующий год по нарезанным уже делянкам, но до закладки опыта, производится вторичный поделяночный учет, который дает возможность проверить правильность предварительных расчетов и, если нужно, выбраковать наиболее отклоняющиеся делянки. Такая система требует как минимум, двух лет рекогносцировочного посева.

### **Размещение опыта на участке**

Основной задачей рационального размещения опыта на участке является возможное уменьшение различий в исходном плодородии сравниваемых делянок, вызванных пестротой участка.

Обычное представление о постепенности изменения почвенного плодородия в определенном направлении приложимо лишь к очень ограниченным площадям. Более общей чертой почвенной пестроты является наличие чередующихся пятен более высокого и более низкого плодородия, связанных переходами, характеризующимися постепенно изменяющимся плодородием. Для таких отдельных элементов площади (пятен) со сравнительно выровненным внутри них плодородием некоторыми исследователями предложен термин «связная площадка».

Существует пестрота сравнительно мелкого масштаба, обусловленная микрорельефом, мелкими изъянами агротехники, неравномерностью предшествующего распределения удобрений и т. п. Эта пестрота, которую можно назвать пестротой первого порядка, может быть перекрыта и обезврежена величиной отдельной делянки. Кроме пестроты первого порядка, может существовать пестрота второго порядка, обусловленная расчлененностью микрорельефа, старым делением на клинья севооборота и тому подобными причинами, создающими пятна более крупного масштаба. В пределах этих более крупных сравнительно однородных пятен, но включающих пестроту первого порядка, располагаются уже целые опыты, самостоятельные звенья или, по крайней мере, целые повторения опытов.

Точность опыта определяется не только правильным соотношением: площади делянки (и повторности) с пестротой первого порядка, но и правильным соотношением площади размещения всего опыта с пестротой второго порядка. Недооценка второго положения часто служит источником неправильных представлений о желательной величине делянки.



**Величина делянки.** Повышение точности опыта (уменьшение ошибки) с увеличением площади делянки идет не пропорционально этому увеличению, а постепенно затухая.

За известным пределом увеличение площади делянки может привести даже к понижению точности.

Дело в том, что увеличение площади каждой делянки означает и увеличение площади, занимаемой опытом в целом. До тех пор, пока весь опыт остается в пределах однородной площадки, одного пятна пестроты второго порядка, точность опыта с увеличением площади делянки повышается. Но как только общая площадь опыта выходит за пределы однородной площадки, точность его резко падает. Таким образом, максимальный размер делянки ограничивается необходимостью уложить весь опыт в пределах однородной площадки второго порядка.

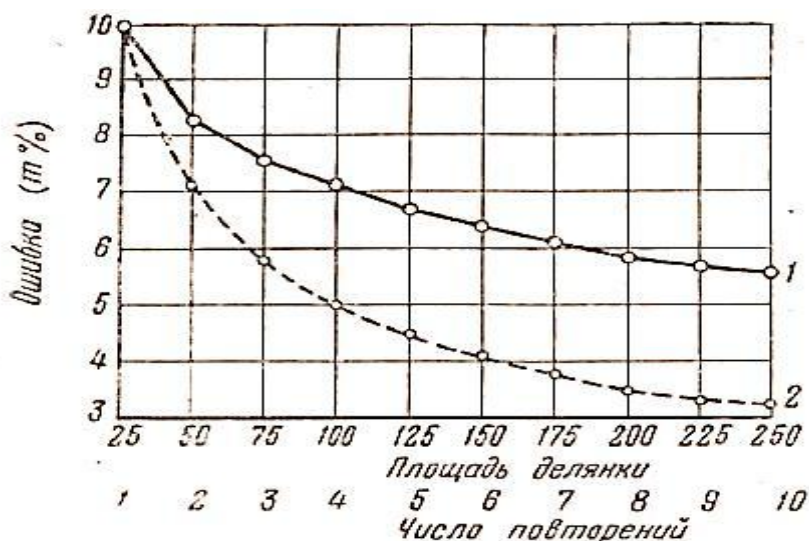


Рисунок – Уменьшение ошибки опыта:

- 1 – при увеличении площади делянки (при неизменной повторности);
- 2 – при увеличении числа повторений (при неизменной площади)

Поскольку масштаб пестроты и первого и второго порядка может быть совершенно различным на разных почвах, абсолютный размер делянок, обеспечивающих достаточную точность опыта, также будет различен для разных почв. Так, в нечерноземной полосе и в условиях Предкавказья с сильно расчлененным рельефом и малыми размерами однородных площадок второго порядка увеличение площади делянки очень скоро из фактора положительного может превратиться в отрицательный. Наоборот, в

степных районах можно идти очень далеко в сторону увеличения площади делянки.

Кроме приведенных соображений, связанных с пестротой участка, установление площади делянки связано еще с возможностью и удобством проведения на ней необходимых сельскохозяйственных работ, прежде всего обработки почвы. С этой точки зрения минимальной величиной делянки при сплошной обработке для однолетних опытов с удобрениями следует считать 20-25 м<sup>2</sup> и для многолетних – 50-100 м<sup>2</sup>.

В условиях стационарного опытного поля чрезмерное увеличение площади делянки, а следовательно, и всего опыта, ограничивается в большинстве случаев, помимо трудности выделения однородной площадки, еще и общей ограниченностью площади опытного поля. Наконец, чем больше площадь опыта, тем дороже обходится его проведение. Поэтому в конечном итоге желательная площадь делянки может быть определена как минимальная площадь, обеспечивающая в данных условиях необходимую точность опыта и допускающая работу сельскохозяйственных орудий, требующихся в опыте.

**Форма делянки.** Точность опыта может быть также повышена правильным выбором формы делянки. Наилучшую для данного участка форму делянки можно определить непосредственно, комбинируя данные дробного учета. В случае отсутствия данных дробного учета приходится исходить из следующих общих соображений.

Вытянутая форма делянки обеспечивает обычно большую точность опыта, так как чем длиннее делянка, тем полнее она охватывает пестроту участка. Особенно необходимы вытянутые делянки при наличии явно выраженного изменения плодородия участка в каком-либо одном направлении. Делянки должны быть вытянуты в том направлении, в котором изменяются свойства участка. Так, например, при закладке опыта на склоне делянки обязательно должны быть вытянуты поперек склона, равномерно захватывая все его части. При наличии на участке каких-либо полос различного плодородия делянки должны располагаться поперек этих полос. Однако это правило приложимо лишь к делянкам достаточно крупного размера. Небольшие делянки при вытянутой форме получаются настолько узкими, что не допускают выделения достаточных защитных полос. Поэтому вытянутую форму следует

применять лишь при величине делянки не менее 50 м<sup>2</sup>. Более мелким делянкам выгоднее придавать форму, приближающуюся к квадрату, добиваясь необходимой точности опыта за счет увеличения повторностей.

В условиях производства, безусловно, следует предпочесть вытянутую форму делянки. Форма самого опытного участка или севооборотного клина не имеет особенного значения и определяется формой имеющейся однородной площадки для опыта и удобством обработки.

**Повторность.** Наиболее действенным способом повышения точности опыта является введение нескольких повторных делянок для каждого варианта схемы. Повторные делянки можно рассматривать как части одной более крупной делянки, но размещенные в различных местах опытного участка. Такое размещение дает возможность более полно охватить каждым вариантом всю пестроту участка. Поэтому при одинаковом увеличении суммарной площади, нужной для одного варианта, введение повторных делянок или увеличение их числа дает повышение точности большее, чем соответствующее увеличение площади одной делянки.

Наличие нескольких параллельных делянок для каждого варианта опыта не только повышает его точность, но и дает возможность количественно определить эту точность (вычислить величину ошибки). Повторность одноименных делянок нужно считать обязательной для любого полевого опыта, как в условиях опытного поля, так и в условиях производства.

Увеличение повторности, а следовательно, и общего числа делянок в опыте, конечно, усложняет работы по закладке опыта и учету урожая. В условиях производства приходится обычно ограничиваться минимальной двух-, трехкратной повторностью, добиваясь необходимой точности опыта за счет увеличения размера делянки.

В условиях стационарного опытного поля, как минимум, рекомендуется обычно четырехкратная повторность. Для делянок меньше 50 м<sup>2</sup> ее приходится увеличивать до шести-, восьмикратной. Эти примерные цифры могут сильно изменяться в зависимости от пестроты поля. Поэтому необходимая повторность должна устанавливаться для каждого конкретного участка в зависимости от его пестроты. Лучше всего руководствоваться при этом данными

дробного учета, а при их отсутствии – опытом работы на сходных площадях.

Необходимое число повторений в опыте (при данной площади делянки) зависит от пестроты участка и требуемой точности опыта. Требуемая в опыте точность (допустимая величина ошибки) определяется масштабом тех различий между вариантами, которые предполагается получить в опыте. При общей оценке таких резко действующих приемов, как действие навоза или минеральных удобрений на бедных почвах или влияние чистого пара в засушливых районах, когда прибавки выражаются в десятках процентов, можно получить достаточно отчетливые и показательные результаты при сравнительно большой ошибке опыта.

Для оценки тонкой разницы, которая бывает при сравнительной оценке близких между собой приемов, например при сравнении форм удобрений, необходима очень высокая точность опыта. При разнице между вариантами порядка 10% ошибка опыта не должна превышать 3%. Соответственно и необходимая повторность, при прочих равных условиях, будет в этих случаях различной. При установлении желательной точности опыта, в котором могут быть получены расхождения различного масштаба, необходимо ориентироваться на наименьшие расхождения.

В практике опытного дела нередки случаи, когда методически безукоризненно проведенный опыт не дает отчетливых результатов только потому, что точность его не рассчитана на те тонкие расхождения, которые в нем получаются. Нужно считать, что разница меньше 5% уже не улавливается обычным полевым опытом, и использование полевого опыта для оценки таких величин расхождения оказывается часто непроизводительной тратой сил и средств. Наиболее объективно необходимая повторность может быть установлена на основании данных дробного учета.

Кроме пестроты участка и желательной точности опыта, при установлении повторности приходится считаться с рядом технических условий. Уже указывалось, что увеличение повторности, а следовательно, и общего числа делянок в опыте чрезвычайно усложняет работы по закладке опыта и учету урожая: оно требует увеличения числа тары для пробных снопов, дополнительной площади сноповых сараев и сушилок, дополнительных анализов и т. п. Поэтому применение большой повторности целесообразно в условиях хорошо оборудованного стационарного опытного поля, где

чаще всего имеются свободные площади, пригодные для опыта. Однако даже в этих условиях чрезмерное увеличение повторности нецелесообразно. В практике опытных учреждений редко применяется повторность выше восьми-, двенадцатикратной. В условиях производства приходится ограничиваться минимальной повторностью, добиваясь необходимой точности опыта за счет увеличения размера делянки и большого числа опытов.

Следует отметить, что двукратная повторность, давая общую оценку расхождения параллельных значений, не дает еще возможности судить, которая из параллельных цифр лежит ближе к истинной средней, так как оба отклонения арифметически равноценны (при двукратной повторности мы располагаем лишь одной степенью свободы). Только при более чем двукратной повторности можно отличить повторения, нормально колеблющиеся около средней, от резких случайных отклонений. Поэтому увеличение повторности сверх двукратной безусловно желательно.

**Общее размещение опыта.** Основной задачей рационального размещения опыта является наибольший охват каждым вариантом опыта всей пестроты опытного участка.

Делянки опыта могут располагаться в один или несколько рядов. Однорядное расположение применяется обычно при вытянутой форме делянок и сравнительно небольшой повторности. Делянки нарезаются при этом перпендикулярно повторений к длинной стороне участка опыта или севооборотного клина.

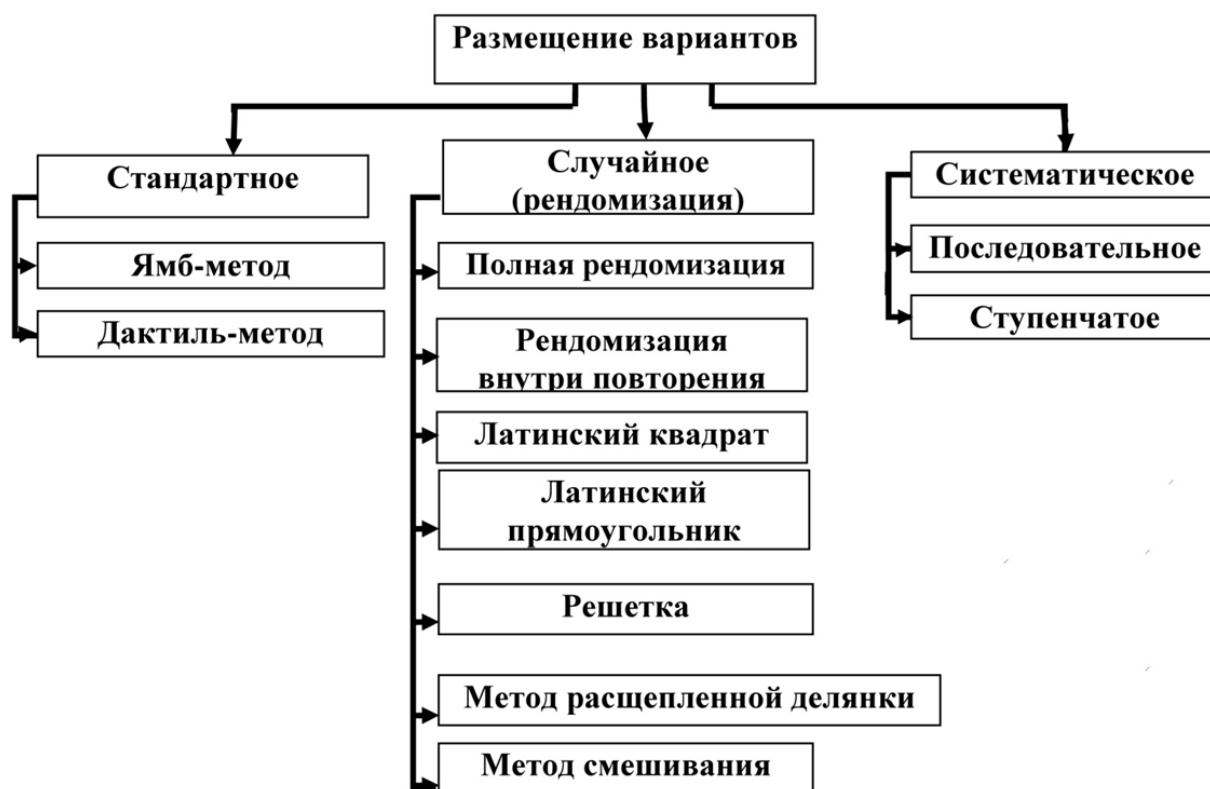


Рисунок – Классификация методов размещения вариантов по делянкам опыта

Часто применяется также двухрядное расположение делянок. Многорядное расположение делянок применяется большей частью при форме делянок, близкой к квадрату, и при большой повторности.

При двух- и многорядном расположении делянок стремятся к тому, чтобы в каждом ряду помещалось целое число повторностей; например, при двухрядном расположении и четырехкратной повторности опыта в каждом ряду помещается по две повторности.

При двух- и многорядном расположении делянки смежных рядов могут располагаться встречно (в противоположном направлении) или ступенчато – делянки идут в одном направлении, но начало схемы сдвигается в каждом следующем ряду в одну сторону на одну, две или больше делянок, а конец схемы переносится в начало ряда. При многорядном расположении можно комбинировать несколько методов размещения.

Помимо перечисленных способов расположения опытов, предусматривающих систему в размещении делянок, используется случайное *рендомизированное* размещение делянок. Этот способ размещения мотивируется тем, что законы вариационной статистики приложимы лишь к случайным явлениям, и мы можем применять

математическую обработку лишь при случайном расположении вариантов в пространстве.

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

А

I				II			
1	2	3	4	1	2	3	4
1	2	3	4	1	2	3	4

III

IV

Б

1	2	3	4	5	6	I
5	6	1	2	3	4	II
3	4	5	6	1	2	III
6	1	2	3	4	5	IV
4	5	6	1	2	3	V
2	3	4	5	6	1	VI

В

Рисунок – Различные способы расположения делянок и повторений в опыте:

А – однорядное последовательное расположение; Б – двухрядное встречное; В – многорядное ступенчатое; 1, 2, 3 и т. д. – номера вариантов; I, II и т. д. – номера повторений

В этом случае размещать делянки рекомендуется по жребью. Этот метод применим лишь при большой повторности опыта. При небольшом числе повторений сознательное размещение делянок по какому-то определенному принципу в большей мере обеспечивает охват пестроты участка каждым вариантом, что является основной задачей размещения опыта.

Случайное размещение делянок применяется обычно с рядом ограничений (случайное расположение лишь в пределах отдельных рядов, каждый из которых включает все варианты опыта). Его основной недостаток – возможность смежного расположения повторных делянок одного и того же варианта, чего как раз позволяют избежать все системы расположения.

Кроме того, и исходная предпосылка о лучшем охвате пестроты участка при случайном размещении делянок не всегда правильна. Если она может быть правильной по отношению к случайной и неизвестной пестроте участка, то при наличии заведомой, выявленной дробным учетом неоднородности его частей, с которой приходится очень часто иметь дело на практике, сознательное расположение опыта, с тем, чтобы, по крайней мере, целые повторения разместились в пределах более однородных частей участка, имеет несомненные преимущества. По всем этим причинам принцип рендомизированного размещения делянок в его чистом виде не получил широкого применения в опытном деле.

Рендомизация применяется обычно с ограничениями, заключающимися либо в том, что одноименные делянки не повторяются в рядах многорядного опыта в одном направлении (рендомизация с одним ограничением), либо в том, что они не повторяются в пределах как горизонтальных, так и вертикальных рядов (рендомизация с двумя ограничениями).

Рендомизированное размещение вариантов комбинируется часто с расположением повторений опыта по системе *латинского квадрата*. При таком расположении число делянок в горизонтальных и вертикальных рядах одинаково и соответствует числу вариантов схемы. Каждый ряд, как вертикальный, так и горизонтальный, включает все варианты схемы и является самостоятельным повторением опыта.

Для расположения опыта в порядке латинского квадрата сначала выбирают (по жребию) один из так называемых стандартных квадратов, в котором первый горизонтальный и первый вертикальный ряды расположены систематически, в порядке алфавита или номеров. Многочисленные образцы таких стандартных квадратов для разного числа вариантов даны в таблицах Фишера и Етса. Из стандартного квадрата, переставляя, опять-таки по жребию, горизонтальные и вертикальные ряды, получают уже латинский квадрат с рендомизированным (случайным) расположением вариантов. Хотя случайность расположения ограничена основным условием латинского квадрата – нахождением каждого варианта в каждом горизонтальном и вертикальном ряду (рендомизация с двумя ограничениями), она допускает множество комбинаций.

Латинский квадрат является удачной системой в отношении размещения отдельных повторений, так как позволяет подобрать



выровненные по исходному плодородию повторения при систематическом изменении почвенного плодородия участка в любом направлении. Эта система расположения возможна, однако, лишь при небольшом числе вариантов, так как при сложной схеме для нее потребовалась бы слишком большая повторность. Но в этом случае возможно расположение по системе латинского квадрата не всего опыта, а отдельных его частей (звеньев).

К латинскому квадрату можно прийти также от систематического расположения при любом числе вариантов, сдвигая деланки в каждом последующем ряду на одну при четном числе вариантов и на две – при нечетном. При сложной схеме часто оказывается целесообразной система звеньев.

**Число и расположение контролей.** Под контролем подразумевается обычно деланка, абсолютно не получившая удобрений (чистый контроль).

Однако основным масштабom сравнения вовсе не обязательно должна быть совершенно неудобренная деланка. В опытах с удобрениями мерилom эффективности чаще всего служит прибавка от испытуемого питательного вещества по сравнению с парной комбинацией двух других питательных веществ (фоном), и фоновая деланка является в этом случае основным контролем в опыте. Говоря о числе и расположении контролей, подразумевается под контролем именно такая основная деланка, с которой сравниваются все остальные варианты опыта.

В каждое повторение схемы опыта может быть включена либо одна контрольная деланка, либо несколько. В первом случае общее число контролей в опыте равно числу деланок с любым другим вариантом, во втором – повторность контрольных деланок превышает повторность, принятую для всех остальных вариантов.

Введение в опыт повышенного, по сравнению с остальными вариантами, числа контролей имеет целью более полно охватить ими пестроту участка и дать более надежный масштаб для сравнения всех остальных вариантов.

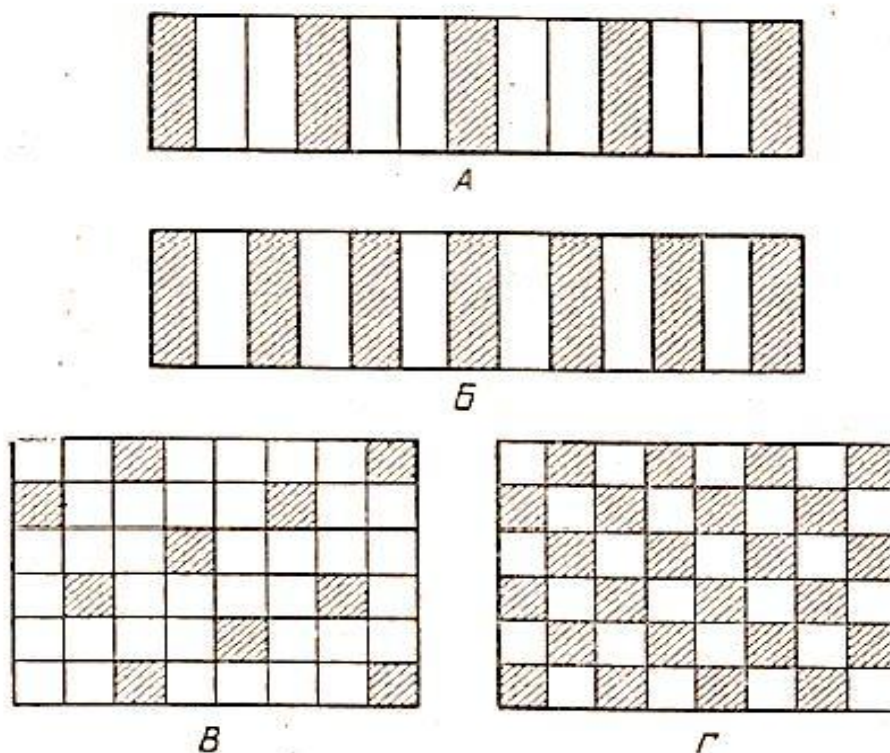


Рисунок – Способы расположения увеличенного числа контролей (заштрихованные клетки)

А – через две делянки; Б – через одну делянку; В – по ходу шахматного коня; Г – шахматное расположение контролей

Увеличение числа контролей часто связывается с так называемым стандартным методом расположения делянок, при котором контрольные (стандартные) делянки повторяются через одну, две и более удобренных. Этот метод основан на предположении, что плодородие участка изменяется в пределах опыта более или менее постепенно. Некоторые исследователи называют его также датским квадратом, и урожаи близлежащих делянок более сравнимы между собой, чем урожаи удаленных делянок.

Очевидно, что чем в большей степени характер пестроты данного участка соответствует этому предположению, чем в большей степени выражено на нем постепенное изменение плодородия в известном направлении (или направлениях), тем большее преимущество будут представлять при закладке на нем опыта стандартные методы.

Наоборот, при выровненности плодородия участка или при наличии на нем лишь мелкой пестроты стандартные методы, лишь усложняя методику опытной работы, не имеют никакого

преимущества. Даже при наличии постепенного изменения плодородия участка, но при возможности такого расположения длинных делянок, чтобы каждая из них в равной мере захватывала все разноплодородные участки, преимущество стандартных методов в значительной мере ослабляется.

Прибавка урожая для каждой удобренной делянки вычисляется при этом методе по сравнению со своим контролем, который определяется либо как простое среднее двух соседних контролей (при расположении стандартных делянок через одну удобренную), либо по интерполяции между соседними контролями (при расположении стандартных делянок через две удобренные и больше). При многорядном расположении увеличенное число контролей может располагаться в шахматном порядке или по ходу шахматного коня. В этих случаях каждая удобренная делянка сравнивается со средним из четырех или трех контролей.

Одной из разновидностей стандартного метода является так называемый парный метод. При этом методе делянки вытянутой формы располагают таким образом, чтобы через каждые две удобренные делянки шла одна контрольная. Каждая удобренная делянка сравнивается с одним соседним (парным к ней), параллельно вытянутым контролем.

Независимо от той или иной оценки стандартных методов контроль должен приходиться на сравнительно небольшое число вариантов (5-6, максимум 8). При большем числе вариантов в схеме (10-12 и больше) необходимо вводить в нее дополнительные контроли.

**Значение числа вариантов в схеме.** Точность опыта зависит еще и от числа вариантов в схеме. Совершенно очевидно, что чем больше число вариантов в схеме (при одинаковой величине делянок и повторности), тем больше общая площадь, занимаемая как всем опытом, так и каждым его повторением в отдельности, и тем труднее уложить опыт или его повторение в пределах однородной площадки. Кроме того, с увеличением числа вариантов будут возрастать расстояния между сравниваемыми вариантами. Все это должно вести к увеличению ошибки, т. е. к понижению точности опыта. Попытки избежать увеличения общей площади опыта при увеличении числа вариантов за счет сокращения площади делянки или уменьшения повторности тоже должны вести к увеличению ошибки. Таким

образом, многообразность опыта за известным пределом неизбежно ведет к понижению точности опыта и потому нежелательна.

В ряде случаев, особенно в многофакторных комплексных опытах, большое число вариантов все же неизбежно. В этих случаях желательна разбивка опыта на звенья, охватывающие отдельные логически самостоятельные части схемы. Все повторения в пределах звена размещаются в одном месте, и звено является, по существу, отдельным самостоятельным опытом с повышенной точностью в пределах общей схемы.

Для того чтобы сохранить сравнимость звеньев между собой, желательно в каждое звено вводить некоторые одинаковые стандартные варианты.

**Повторение опыта во времени.** Результаты всякого опыта, в частности опыта с удобрениями, в очень сильной степени зависят от метеорологических особенностей года. Поэтому наряду с повторностью в пространстве нужно иметь еще повторность во времени.

В отличие от повторения в пространстве повторение опыта во времени имеет целью, кроме повышения точности средних выводов, также и получение достаточно точных результатов за каждый год опыта в отдельности. Помимо характеристики средней эффективности удобрения за ряд лет, важно знать и эффективность его в отдельные годы – сухие, влажные и т. д. Необходимое число лет зависит от того, как сложатся метеорологические условия, но при составлении плана нельзя рассчитывать на получение исчерпывающего ответа менее чем в 3-4 года. Продолжение и повторение опыта во времени вызывается необходимостью не только охватить различные метеорологические условия, но и изучить последствие удобрений и их повторного наложения.

Для того чтобы культуры на каждом участке чередовались в одинаковой последовательности, опыт вводится в определенный севооборот. Существуют две системы проведения многолетнего опыта в севообороте. При первом способе все ведущиеся опыты могут закладываться в полях общего большого севооборота. При втором способе для каждого опыта выделяется специальный севооборот, все клинья которого расположены в одном месте.

Основным недостатком первого способа является удаленность друг от друга отдельных клиньев каждого опыта, что понижает сравнимость его данных за разные годы. Этот способ обычен при

постановке опытов в условиях производства, но сравнительно редко применяется опытными учреждениями. На большинстве стационарных опытных полей применяют второй способ, выделяя для каждого опыта специальный севооборот. Помимо большей однородности клиньев севооборота, этот способ позволяет более гибко приспособливать опытный севооборот к особенностям каждого опыта, в то время как при первом все опыты оказываются втиснутыми в рамки одного, в лучшем случае двух-трех стандартных севооборотов.

Число клиньев, отводимых под опытный севооборот, в натуре должно соответствовать числу культур севооборота. В целях экономии площади ограничиваются иногда выделением в натуре меньшего числа клиньев. В этом случае каждый год имеется в натуре лишь часть культур севооборота. Такая постановка опыта нежелательна, так как различные культуры учитываются в разные годы, и не возможно в ряде случаев установить, чем объясняется их различная реакция на удобрения – особенностями самих культур или различными метеорологическими условиями учетных лет. Во любом случае желательно иметь в натуре не менее трех клиньев севооборота.

В целях экономии площади следует подбирать для опытов по возможности короткие севообороты, а там, где это возможно, ограничиваться отдельными звеньями севооборота, включающими наиболее важные для данного опыта культуры. Клинья опытного севооборота, если они имеют вытянутую форму, располагают обычно параллельно друг другу. Однако в этом отношении не может быть определенных рецептов, так как приходится приспособляться к форме участка и характеру его пестроты (пятнам второго порядка). При невозможности уложить все клинья севооборота в пределах достаточно однородной площадки нужно стремиться к возможно большей однородности каждого клина в отдельности.

Развертывание опытного севооборота во времени также может идти двумя способами. Наиболее общепринято ежегодное введение в опыт одного клина, начиная каждый раз с определенной культуры или звена севооборота (например, с пара). Весь опыт развертывается при этом в течение стольких лет, сколько клиньев в севообороте. Возможно и открытие опыта сразу во всех клиньях одновременным посевом всех культур севооборота.

Первый способ методически более правилен, но несколько затягивает развертывание опыта, особенно при длинном севообороте.

Второй способ дает значительный выигрыш во времени, но имеет ряд других недостатков. Прежде всего, в первый год большинство культур идет не по тем предшественникам, которые им полагаются по севообороту, а некоторые культуры (озимые, клевер) вообще нельзя ввести с первого года. Этот способ наиболее удобен при ежегодном равномерном внесении удобрений под все культуры (например, при сравнении форм удобрений) и непригоден при изучении системы удобрения в севообороте, когда различные удобрения должны накладываться на те же делянки в определенной последовательности.

**Постепенное развертывание схемы в севообороте.** Во многих случаях схема опыта не закладывается сразу, а постепенно развертывается и усложняется в ходе севооборота. Так, при сравнительном изучении удобрений, различно влияющих на реакцию почвы, может быть предусмотрено в дальнейшем восстановление исходной реакции при помощи известкования. При этом желательно оставить и такие варианты, в которых реакция не подверглась бы исправлению. Следовательно, число вариантов опыта после такого наложения должно увеличиться. Часто представляется интересным наряду с продолжением систематического применения какого-либо приема учесть его последствие. Это также ведет к раздвоению первоначального варианта.

Возможность такого развертывания (и усложнения) схемы должна быть предусмотрена при закладке опыта. Развертывание схемы может осуществляться несколькими способами. Простейший из них – дробление первоначальных делянок. Этим путем шли очень многие опытные учреждения. Однако в этом случае исходные делянки и по площади, и по форме должны допускать такое деление без ущерба для точности опыта и удобства работы. Нельзя дробить делянки, которые по своему размеру и без того минимальные.

Вторым способом является наложение дополнительного приема не на все повторения. Для того чтобы такое наложение не вело к понижению точности опыта, при закладке обязательно должна быть предусмотрена увеличенная повторность.

В некоторых случаях в ходе многолетнего опыта может оказаться желательным введение дополнительных вариантов, не

предусмотренных при закладке опыта. На этот случай хорошо бы оставлять при закладке опыта запасные делянки.

Чаще всего запасные делянки используются сначала как дополнительные контроли. Во многих случаях будет, по-видимому, более правильным занимать их каким-то среднеоптимальным вариантом, что допускает переход к дополнительному варианту с меньшей ошибкой. Например, в многолетних опытах с систематическим внесением форм фосфатов желательно оставлять запасные делянки, которые допускали бы введение в дальнейшем новых форм. Но если держать несколько лет эти делянки как контроли или фоновые делянки (N + K), то введенная позднее новая форма заведомо не сможет конкурировать со старыми ввиду более слабой предыдущей заправки делянок фосфором. Поэтому в данном случае лучше оставлять не запасные контроли, а запасные делянки с какой-то нейтральной и среднеусвояемой формой (например, преципитатом), которая в случае надобности может быть заменена новой формой с меньшей погрешностью, чем контроль.

Введение в ходе опыта новых вариантов, не предусмотренных при закладке опыта, почти всегда связано с погрешностями и допущениями.

### **Закладка опыта**

**Разбивка опыта.** Прежде чем приступить к разбивке опыта в натуре, необходимо нанести намеченное размещение клиньев и делянок опыта на схематический план участка и уже по нему вести разбивку. Разбивку основных линий в натуре лучше производить стальной землемерной лентой (длиной 10 или 20 м) или цепью. Клеенчатые рулетки менее точны и в условиях полевой работы быстро портятся.

Отбивка прямых углов чаще всего производится эккером, причем, восьмигранный эккер удобнее в работе и точнее, чем зеркальный. Существуют способы отбивки прямых углов и без угломерного инструмента, но рекомендовать их не следует, во всяком случае, в условиях опытного поля. Вешки должны быть совершенно прямыми; очень желательна окраска их в красный цвет или полосами для лучшей видимости. Наиболее простой является отбивка участка под однолетний опыт, не имеющий севооборотных клиньев.

Первая разбивка участка производится с возможно большей точностью, так как установленные при ней точки будут служить

исходными при всех последующих разбивках. Допустимая неувязка при разбивке общего контура не должна превышать 5-10 см, в зависимости от общей длины периметра.

После отбивки общего контура приступают к разбивке участка опыта на делянки. Эта работа проводится уже без эскера – лентой или рулеткой. При однорядном расположении достаточно отложить ширину делянок по обеим сторонам участка и отметить их границы кольшками. Ширина последней делянки должна оказаться одинаковой с остальными, в противном случае работу нужно проделать заново. При многорядном расположении сначала отмериваются ряды делянок. Если между рядами намечены дорожки, одновременно выделяют и их. Последней операцией является разбивка на делянки. Можно производить ее для каждого ряда в отдельности или же отложить делянки только по краевым линиям, а на промежуточных границах или дорожках расставить кольшки, провешивая прямые линии с одной стороны на другую.

При закладке стационарного опыта в севообороте сущность работы остается той же, но сначала отбивают общий контур всего севооборота, затем его разбивают на клинья с выделением дорожек между ними и, наконец, каждый севооборотный клин разбивают на делянки так же, как это описано для однолетнего опыта. Если опыт не закладывают сразу на всех клиньях севооборота, то на делянки разбивается только тот клин, на котором опыт закладывается в данном году.

В стационарных опытных учреждениях часто все поля, подготовленные под опыты, заранее разбивают на клинья или ярусы, рассчитанные на размещение в дальнейшем отдельных опытов. Эта предварительная разбивка производится обычно землемером при помощи более точных инструментов (теодолита), и границы ярусов и дорожки между ними тщательно закрепляются постоянными знаками. При закладке отдельных опытов они укладываются уже в готовые границы, что значительно упрощает технику разбивки. Однако это значительно ограничивает возможность выбора размера и формы делянок, которые приходится приспособлять к готовой ширине и длине ярусов или клиньев. При этом чаще всего размер делянок устанавливается стандартный для всего поля или его части. Такая предварительная разбивка опытного поля, в значительной мере определяющая дальнейшее размещение и внутреннее расположение опытов, должна делаться с учетом всех особенностей почвенной



карты и данных дробного учета. Поэтому она может производиться только после окончания всех работ по предварительному изучению участка. Дальнейшие уравнильные посеы могут производиться уже в рамках разбитых ярусов и севооборотных клиньев.

**Закрепление границ опыта.** Сделанную разбивку необходимо закрепить, так как угловые (временные) колья могут быть выпажаны или сдвинуты при обработке. Существует много систем закрепления границ опытов, но в основном все они сводятся к тому, что по крайней мере две основные линии участка опыта продолжают по прямой в обе стороны на пределы обрабатываемой площади (на края канав, обочины дорог и т. п.) и на этих продолжениях устанавливают уже постоянные колья (реперы, фиксировочные колья). Расстояния от постоянных (фиксировочных) до угловых временных колеьев тщательно измеряют и записывают, чтобы в случае утери угловых колеьев их всегда можно было восстановить промером от постоянных.

Постоянные колья могут быть сделаны из самого разнообразного материала. Чаще всего для них употребляются толстые деревянные колья с перекладиной или крестовиной внизу, зарываемые до 50-75 см в землю. Могут быть использованы отрезки железных труб, рельсов и т. п. Употребляются и каменные, бетонные столбики. Непосредственно на углах севооборотного клина или участка однолетнего опыта также забиваются колья, но уже не такие капитальные. Они всегда рано или поздно повреждаются при пахоте. Поэтому необходимо тщательно проверять их после каждой обработки.

На опытном поле РГАУ-МСХА имени Тимирязева применялись в качестве угловых колеьев двойные железные трубы. Внешнюю трубу, большого диаметра, зарывают в землю на такую глубину, чтобы ее верхний конец не захватывался при пахоте (25—30 см). Вторую, более узкую трубу, имеющую на верхнем конце кольцо, подвижно вставляют в первую. Во время вспашки ее опускают в первую до одного уровня с ней, а после окончания пахоты за привязанную к кольцу проволоку вытягивают из почвы, так, чтобы ее верхний конец был выше уровня земли. Углы делянок отмечают в этом случае только так называемыми рабочими колышками толщиной 3-4 см и длиной 25-30 см. Некоторые опытные учреждения выносят их на дороги и делают постоянными, но в большинстве случаев эти колышки снимаются перед каждой обработкой и вновь

восстанавливаются после нее. При сплошной обработке многорядных опытов это неизбежно.

**Внесение удобрений.** Внесение удобрений представляет один из ответственных моментов полевого опыта – как в опытах, в которых удобрение само является изучаемым фактором, так и в тех, в которых оно служит лишь общим фоном для других сравниваемых приемов. Сделанная при внесении удобрений ошибка впоследствии никак не может быть исправлена, а большей частью и не бывает обнаружена.

Минеральные удобрения рассчитываются по содержанию в них основного питательного вещества (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O). Необходимое количество каждого удобрения (в килограммах на делянку) определяется следующей формулой:

$$x = a \cdot 100 \cdot c / b \cdot 10000 = ac / 100b,$$

где  $x$  – количество удобрения на делянку, кг;

$a$  – доза питательного вещества, кг/га;

$b$  – содержание питательного вещества в удобрении, %;

$c$  – площадь делянки, м<sup>2</sup>.

При небольших делянках (меньше 50 м<sup>2</sup>) удобнее иметь эту величину в граммах, для чего приведенную формулу нужно умножить на 1000 и она примет вид:

$$x = 10ac / b$$

Навеску менее 1 кг отвешивают с точностью до 1 г, от 1 до 10 кг – с точностью до 10 г и свыше 10 кг – с точностью до 100 г. В зависимости от величины навески взвешивание производят на технo-химических весах, на столовых чашечных или на десятичных весах.

Навески подготавливают в лаборатории или в сарае заблаговременно, но гигроскопичные удобрения (нитрат аммония и др.) не должны храниться в развешенном виде больше двух-трех дней. Все удобрения должны быть перед развеской тщательно измельчены и просеяны. Развешивают удобрения в бумажные пакеты, матерчатые мешочки или мешки. Бумажные пакеты выбрасывают после однократного употребления, мешки и мешочки из материи каждый раз стирают. На пакетах должны быть написаны вид удобрения и величина навески, в мешки вложена или привязана к ним соответствующая этикетка. Очень удобно иметь пакеты или мешочки

различного цвета для отдельных видов удобрений – азотных, фосфатных и калийных.

В поле пакеты или мешки раскладывают по всем делянкам опыта (или клина севооборота), и еще раз проверяется правильность раскладки. Число навесок должно точно соответствовать потребности; при этом условии ошибка в раскладке обнаруживается недостатком или, наоборот, излишком пакета с каким-то удобрением.

Техника рассева удобрений должна обеспечивать равномерное распределение их по делянкам. Ручной рассев удобрений производится из ведер или из круглых или продолговатых железных тазов. При небольших дозировках рекомендуется предварительно смешивать удобрения с землей, взятой с той делянки, для которой предназначается удобрение. Желательно доведение всех удобрений до одинакового объема, что позволяет лучше приспособиться к равномерному высеву на делянку.

При малом навыке исследователя рекомендуется рассеивать отведенное количество на делянку в два приема, проходя ее вдоль и поперек; рассеивать надо так, чтобы иметь остаток удобрений, который всегда можно разбросать по всей делянке; ведь в случае нехватки удобрений на какую-то часть делянка должна считаться испорченной. При расसेве удобрений вручную на большой делянке желательно деление ее на несколько равных частей и внесение соответствующей доли удобрения на каждую часть в отдельности.

При внесении на делянку нескольких удобрений следует строго соблюдать все правила смешения удобрений. В тех случаях, когда смешение удобрений допустимо, их лучше объединить в смеси, особенно при ручном внесении, так как при этом лучше обеспечивается одинаковое соотношение питательных веществ по всей площади делянки.

Равномерный высеv удобрений вручную – работа, требующая аккуратности. Поэтому желательно внесение удобрений на опытные делянки сеялкой. Помимо более равномерного распределения, сеялка устраняет необходимость в предварительной развеске удобрений для каждой делянки, так как нужно лишь точно установить ее на определенный высеv.

Однако механизированное внесение возможно лишь на делянках достаточно крупного размера (не менее 100 м<sup>2</sup>) и требует вытянутой формы и однорядного расположения делянок. Кроме того, отсутствие небольших и достаточно точно регулируемых сеялок для удобрений

часто заставляет прибегать к ручному внесению удобрений даже на делянках, площадь которых достаточна для механизированного внесения.

При механизированном внесении удобрений, так же как и при высеве разных сортов, засевают сразу все повторные делянки одним удобрением (или одной комбинацией удобрений), после чего сеялку тщательно очищают от остатков этого удобрения, производят установку на новую норму и после этого приступают к высеву следующего удобрения.

При внесении удобрений комбинированными сеялками, в которых высев регулируется изменением быстроты поднятия подвижного дна тукового ящика и которые высевают определенный объем удобрений, рекомендуется доводить все удобрения при помощи какого-либо балласта (земли, песка и т. п.) до одинакового для всех вариантов опыта объема на единицу площади. В этом случае отпадает необходимость изменения нормы посева сеялки каждый раз при переходе от одного удобрения к другому.

При ручном внесении минеральных удобрений необходимо раздельно вносить их на каждую делянку, даже в тех случаях, когда они не являются изучаемым фактором и вносятся одинаково во всех вариантах, так как ручное внесение на больших площадях не обеспечивает равномерного распределения. Наоборот, при применении сеялки в этих случаях вполне возможно сплошное внесение через все делянки.

Навоз и другие органические удобрения (торф, компосты) обычно вносят по общему весу на единицу площади (в тоннах на 1 га), но правильнее вносить их по расчету на сухое вещество.

Расчеты по сухому веществу делаются так же, как и по содержанию питательных веществ для минеральных удобрений. В некоторых случаях, при изучении эффективности отдельных питательных веществ навоза, его можно вносить по расчету на содержание соответствующего питательного вещества. Если навоз в навозохранилище или в куче недостаточно однороден, то перед вывозкой его необходимо тщательно перемешать в таком количестве, которое достаточно для всего опыта.

Для больших делянок допускается взвешивание навоза на весах и вывозка непосредственно на делянку. В этом случае необходимо тщательно следить за тем, чтобы не было никаких потерь при перевозке навоза от весов до делянки. Для небольших делянок навоз

вывозится в одну или несколько куч на дорожки, окружающие участок опыта. Здесь производится тщательное перемешивание, после чего навоз отвешивается и разносится по делянкам. Взвешивание удобнее производить непосредственно на носилках, приспособленных для установки на десятичные весы.

Пробы на влажность или на содержание питательных веществ берутся по возможности незадолго до внесения навоза, так как и то, и другое может довольно быстро меняться. Правила взятия средних проб излагаются в руководствах по сельскохозяйственному анализу. Если анализ нужен не для расчета навески навоза на делянку, а для каких-либо последующих расчетов, пробы лучше брать в момент самого взвешивания из каждой тележки или носилок, соединяя затем эти отдельные пробы и отбирая из них среднюю.

Для навоза не в меньшей степени, чем для минеральных удобрений, имеет значение равномерность распределения по делянке. Распределяют навоз вилами, а иногда, при мелком навозе и малых делянках, руками.

Необходимо обращать особое внимание на то, чтобы не оставалось излишнего количества навоза на тех местах, где лежали кучки. На малых делянках лучше разбрасывать навоз непосредственно с носилок, не сбрасывая его предварительно на делянку. На больших делянках, так же как и при внесении минеральных удобрений, рекомендуется деление делянки на части для внесения на каждую часть делянки соответствующей отдельно взвешенной части навоза. Это строго необходимо при больших делянках (200 м<sup>2</sup> и больше).

Внесение навоза и других органических удобрений при помощи навозоразбрасывателей возможно только в производственных опытах на больших площадях. Навоз обязательно нужно вносить поделяночно, даже тогда, когда он вносится одинаково во всех вариантах опыта.

При закладке опытов по подкормкам, по химическим способам борьбы с сорняками и вредителями на больших участках в производственных условиях допускается применение авиации. Участки в этом случае должны быть доступны для самолетов; вблизи участков необходимо оборудовать посадочную площадку для загрузки самолета, а в случае применения препаратов в растворах – иметь источник водоснабжения неподалеку. Предварительно необходимо установить секундный расход удобрений или

препаратов, провести инструктаж сигнальщиков и организовать механизированную загрузку самолета во избежание длительных его простоев. Перед началом, работы должен быть составлен план, предусматривающий последовательность работ на разных участках, число полетов над каждой опытной делянкой, количество заходов самолета, а также направление полета и движение сигнальщиков. Предельная скорость ветра при авиаопрыскивании: устанавливается 4 м/сек, причем если скорость ветра до 2 м/сек, то полеты производятся в любом направлении; если же скорость ветра больше 3-4 м/сек, то полеты допустимы только с попутно-встречным ветром. Направление полета определяется с помощью сигнальщиков с флажками. Ширина перехода сигнальщиков от 10 до 15 м, в зависимости от рабочего захвата самолета.

**Обработка опытных делянок.** Обработка опытных делянок, помимо обычных требований, предъявляемых к ее качеству в хозяйственных условиях, должна отвечать требованию полной однородности на всех делянках опыта.

При небольших размерах делянок необходимо, чтобы на них не было развальных борозд и свальных бугров, создающих неоднородность внутри делянки.

В опытах с удобрениями, в которых обработка сама не является изучаемым фактором, применяется обычно сплошная обработка всего участка опыта или севооборотного клина (в многолетнем опыте). Для того чтобы огрехи, разница в глубине отдельных борозд и другие дефекты не нарушили сравнимости между делянками, направление обработки ориентируют таким образом, чтобы каждая борозда проходила через все делянки одного повторения или серии опыта.

При вытянутой форме делянок обработка производится, как правило, поперек делянок (по длине участка). Нужно лишь, чтобы пласт отваливался при первой обработке в одну, а при следующей – в обратную сторону. При квадратной форме делянок и многорядном расположении их обработку можно производить в обоих взаимно перпендикулярных направлениях.

Разумеется, что на опытном участке фигурная пахота недопустима, а применима только загонная. Повороты любых орудий должны производиться за пределами участка опыта. Для этого по коротким концам участков или клиньев должны оставаться свободные дорожки не менее 10-12 м. Для продольных дорожек, если

поперечная обработка не производится, достаточна ширина от 3 до 5 м.

Для того чтобы свалы и развалы не попадали на учетные делянки, производят одновременно вспашку двух рядов делянок (или двух половин многорядного участка опыта), пригоняя свал или развал на их границу. При достаточной ширине защитных полос (не менее 2 м) и аккуратной работе свал или развал не захватывают учетную часть делянок. Лучше иметь для этой цели специальную дорожку шириной 1-2 м посередине опытного участка. Вспашки участка в свал и в развал должны чередоваться между собой. При однорядном расположении делянок или при многорядном, но при малой величине делянок и отсутствии средней дорожки на участке опыта, приходится прибегать к вспашке в одну сторону.

**Посев и посадка в опытах.** Посев на опытных участках требует большой тщательности. Так же как и пахоту, посев производят через все делянки повторности, перпендикулярно их длинным сторонам, с тем, чтобы случайные дефекты, например забившийся сошник, влияли одинаково на все варианты опыта.

Исключение представляет посев комбинированной сеялкой, когда на отдельные делянки вносят при посеве разные удобрения. В этом случае каждую делянку засевают отдельно, и посев производят вдоль делянки и поперек участка. Такого рода опыты требуют вытянутой формы делянок и их однорядного расположения.

Включение и выключение сеялки производят за пределами опыта, не ближе 1 м от границы (линии угловых кольев). Обсев краев (поперечный) не производят или производят за границей участка опыта.

Первый ход сеялки делают либо по шнуру, натянутому с кола на кол по длинной стороне участка, либо по предварительно сделанной по шнуру бороздке; последнее удобнее. Недопустимы остановки сеялки во время хода: при небольших делянках остановка сеялки на делянке и связанные с нею просев или двойной высев могут чувствительно повлиять на урожай этой делянки.

При посадке пропашных культур нужно, чтобы число растений на всех делянках было строго одинаково. Для этого ширина междурядий и расстояния между растениями в рядках должны быть рассчитаны таким образом, чтобы на делянку приходилось целое число борозд и кустов (или, наоборот, длину и ширину делянки нужно брать кратными стандартным расстояниям между растениями

в том или другом направлении). Борозды, так же как и рядки при посеве, лучше располагать вдоль участка и поперек делянок, но при достаточно больших и вытянутых делянках возможно и обратное расположение, т. е. нарезка борозд по длине делянки.

Ко всем работам, производимым на опытных участках, относится требование одновременного выполнения их на всех делянках опыта. Желательно, чтобы каждая операция – внесение удобрений, вспашка, посев – выполнялась в опыте в течение одного дня.

**Защитные полосы.** При сплошной обработке участков на границах различно удобренных делянок постоянно происходит некоторый перенос почвы, а с ней и внесенных удобрений с одной делянки на другую.

Растения, расположенные по краю делянки, могут использовать своими корнями питательные вещества не только со своей, но и с соседней делянки, более богатой питательными веществами. Поэтому по краям неудобренных (или менее удобренных) делянок, граничащих с удобренными, всегда наблюдается некоторая полоса растений, развитых лучше, чем во внутренней части делянки.

Краевые растения, соприкасающиеся с незасеянными дорожками по краю поля, также развиваются сильнее остальных растений, так как они дополнительно используют влагу и питательные вещества с этих дорожек и, кроме того, находятся в лучших условиях освещения. Влияние такого усиленного развития краевых растений на общий урожай с делянки тем сильнее, чем меньше ее площадь.



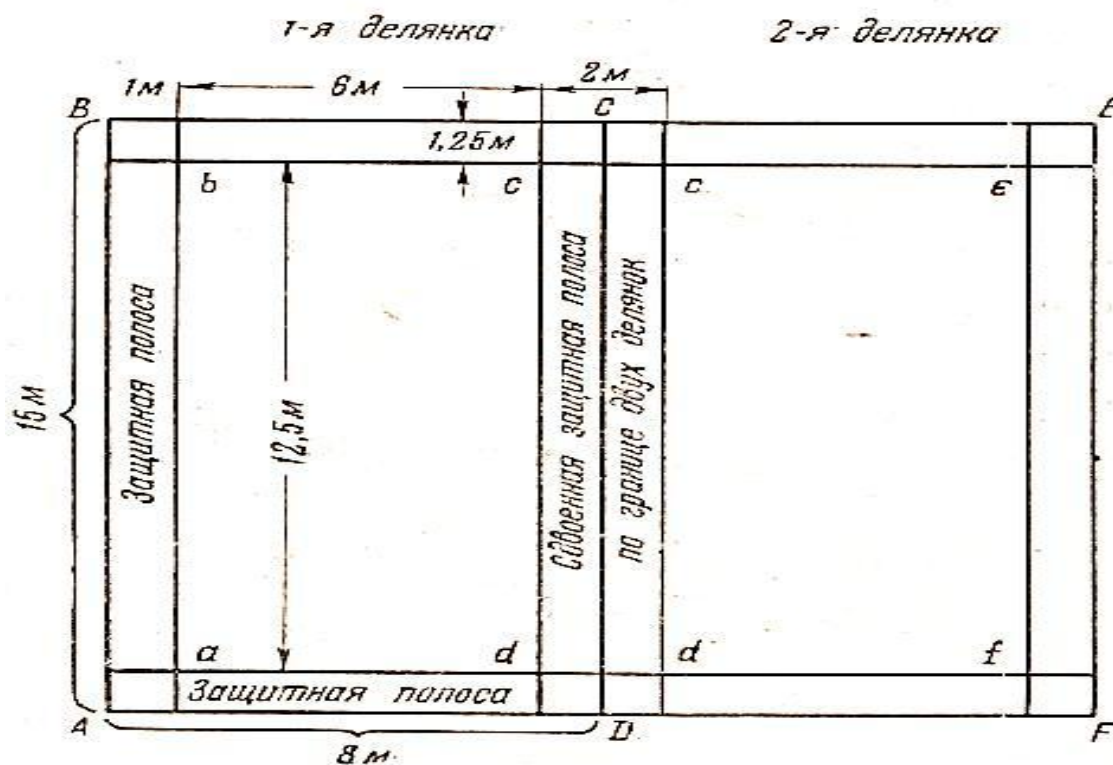


Рисунок – Опытная и учетная площади и защитные полосы  
 ABCD и DCEF — опытные делянки (по 120 м<sup>2</sup>);  
 abcd и dcef – учетные делянки (по 75 м<sup>2</sup>)

Чтобы избежать ошибки в урожае за счет переноса удобрений и более сильного развития краевых растений, учитывают обычно не всю засеянную площадь делянки, а лишь ее центральную часть, обрезав более или менее широкие полосы по краям делянки. Это *защитные полосы*.

Первоначальная площадь, включающая защитные полосы, называется *опытной делянкой*, а площадь, остающаяся после обрезки защитных полос и служащая для учета урожая, – *учетной делянкой*. Так как на границе двух делянок защитные полосы отрезаются по обе стороны границы, то общая ширина неучитываемой полосы, разделяющей учетные делянки, равна удвоенной ширине защитной полосы.

Необходимая ширина защитных полос определяется тем, насколько далеко в глубь делянки может простираться влияние дополнительной площади питания и дополнительного освещения от обнаженного края делянки и насколько далеко могут переноситься удобрения с соседней делянки. Как показывают многие исследования, влияние дополнительного питания и освещения на обнаженном краю делянки не простирается в сколько-нибудь значительной степени

дальше двух-трех крайних рядков для зерновых и одного рядка для пропашных культур. Перенос удобрений на границе двух делянок может захватывать более широкую полосу, особенно в многолетних опытах.

Уже после 15 лет сплошной обработки поперек делянок наблюдается явное «наплывание» удобренных делянок на неудобренные. Поэтому нужно считать минимальной ширину защитных полос в многолетних опытах по 1 м от каждой делянки, или 2 м в сумме от обеих соседних делянок. Для однолетних опытов допустимы более узкие защитные полосы, но желательно иметь их не меньше 75 см (1,5 м в сумме). Иногда защитные полосы по узким сторонам делянок, совпадающим с краями участка, делают шире остальных с тем, чтобы они могли служить также защитой от потрав, хищений и других случайных повреждений.

Защитные полосы обрабатывают, удобряют и засевают вместе со всей делянкой. Растения убирают на них непосредственно перед уборкой учетных делянок.

Для того чтобы можно было точно выделить защитные полосы перед уборкой, необходимо заранее зафиксировать их границы. Чаще всего для этого пробивают по шнуру узкую полосу (15-20 см) по границе между учетной делянкой и защитной полосой (в сторону защитной полосы). Такую отбивку производят для яровых культур через 2-3 недели после появления всходов (обычно после полного окончания посевной). Для озимых отбивку защитных полос производят поздно осенью или весной до выхода растений в трубку. Существует ряд других способов выделения защитных полос.

Для пропашных культур необязательно предварительно фиксировать границы защитных полос. Нужно только, чтобы как на всей делянке, так и отдельно на защитной полосе и учетной делянке умещалось целое число рядов (борозд). Чаще всего на защитную полосу (от каждой делянки) приходится две борозды, на сдвоенную защитную полосу (от двух смежных делянок) – четыре борозды. При нечетном числе борозд, приходящихся на сдвоенную защитную полосу (три или пять), одну борозду помещают как раз на границе опытных делянок, посередине сдвоенной защитной полосы.

При аккуратной посадке выделить защитные полосы перед уборкой можно простым отсчетом борозд или рядов. Нужно стремиться к тому, чтобы площадь как опытной, так и учетной делянки составляла какую-то целую часть гектара (0,01; 0,02

и т. д.). Это упрощает расчеты удобрений на делянку и пересчет урожая на 1 га.

Кроме защитной полосы делянки, можно выделить еще защитную полосу вокруг всего участка опыта или севооборотного клина – *защитная полоса опыта*. Эта полоса уже не входит в площади опытных делянок. Ее можно засеять как одновременно с опытом (при сплошном посеве всех делянок), так и отдельно. Ширина ее может варьировать в широких пределах, от одного до двух десятков метров. Убирают ее перед уборкой деляночных защитных полос или одновременно с ними.

### **Уход за растениями**

**Уход за растениями.** Уход за растениями на опытных делянках не отличается, по существу, от ухода за соответствующими культурами в хозяйственных условиях. Нужно лишь, чтобы все работы по уходу (прополка, опрыскивание и т. п.) выполнялись совершенно одинаково по всем делянкам и не растягивались во времени. Желательно, чтобы эти работы, по крайней мере, в пределах каждого повторения, производились в течение одного дня.

Существуют разногласия во взглядах на допустимость и необходимость прополки опытных делянок. Засоренность, часто очень неравномерная по участку, вносит значительную пестроту в условия развития растений на отдельных делянках; для устранения засоренности необходима прополка. С другой стороны, степень засоренности часто зависит от изучаемого приема, в частности от удобрения, и должна учитываться.

В этом случае прополка недопустима. Большинство опытных учреждений все же применяет прополку, и лишь в специальных опытах по изучению влияния тех или иных приемов на засоренность, сорняки оставляют для учета.

В опытах могут и должны применяться все существующие способы борьбы с вредителями и болезнями растений, не влияющие на питательный режим почвы. Конечно же, нельзя применять в опытах с фосфатами суперфосфат для борьбы с полевым слизнем или томасшлак для борьбы с блошкой.

К специальным работам по уходу на опытном поле относятся: поддержание в чистоте дорожек и запольных участков, обрезка по шнуру концов полей после появления всходов и т. п.

Дорожки и дороги на опытном поле, как между отдельными участками опыта, так и между клиньями севооборотов, либо поддерживаются в черном пару, либо засеваются после окончания весенних работ какой-нибудь культурой, чаще всего бобово-злаковой смесью. Некоторыми опытными учреждениями практикуется содержание дорожек под дерниной. Это удобно для передвижения, но задернелые дорожки могут служить рассадником вредителей, в частности проволочника.

При проведении опытов в условиях производства опытные деланки не отделяются обычно до момента уборки от общего массива.

К специальным работам на опытном поле относится также расстановка этикеток по деланкам. Наличие этикеток не только облегчает демонстрацию опытов и наблюдение над ними, но и уменьшает возможность ошибок при таких работах, как внесение удобрений, высев различных сортов, учет урожая. Поэтому желательно, чтобы этикетками снабжались все деланки с самого начала вегетационного периода.

Ограничение расстановки этикеток одним-двумя повторениями имеет значение лишь для демонстрации опыта. Этикетки можно делать из различного материала (металла или дерева) и различного размера. Минимальным размером полевых этикеток нужно считать 20×10 см. Надписи должны в самой краткой форме, понятной не только для самого исследователя, но и для компетентного посетителя, указывать на основные отличия каждого варианта опыта. Для обозначения удобрений часто применяют их химические формулы или сокращенные буквенные обозначения (агрохимические символы). Желательно, кроме варианта, указывать на этикетках номер деланки.

## **Сопутствующие наблюдения в течение вегетационного периода**

На постоянных опытных участках организуются *инструментальные наблюдения за погодой*. Объем этих наблюдений определяется их задачами и близостью метеорологической станции, откуда можно получать необходимые сведения, например в виде декадных сводок. Ведутся также наблюдения за такими условиями погоды, могущими вызвать повреждения посевов, как засуха, суховеи, градобитие, ледяная корка и т. п. При необходимости организуются и наблюдения за температурой и влажностью воздуха, температурой почвы, ее промерзанием и т. д. В отдельных случаях ведутся также микроклиматические наблюдения в посевах.

*При характеристике засоренности* применяются как глазомерные, так и количественные приемы учета. При более детализированных системах учета засоренности различают учет сорной растительности по надземным вегетативным частям и учет засоренности (вегетативные зачатки, семена и плоды) в пахотной почве.

Учет вегетативных надземных частей в основном включает глазомерное определение распределения сорняков на учетной площади и количественный учет сорняков. При глазомерной характеристике засоренности может определяться видовой состав сорняков, степень покрытия ими площади (определение процента площади, занятой тем или иным видом или их группами), обилие (количество экземпляров), определение массы сорных растений, встречаемость (характер распределения сорняков по площади), ярусности (расположение сорных растений по отношению к культурным) и т. д.

*Фитопатологический учет* в полевых опытах требует специальных знаний и навыков, но имеет существенное значение, так как болезни являются важным фактором урожая и влияние их на рост и развитие растений и величину урожая может сильно изменяться в зависимости от условий опыта.

Распространенность болезней может учитываться по двум показателям: 1) по проценту поражения растений, колосьев, метелок, початков

Степень поражения болезнями может учитываться также по двум показателям: 1) по степени охвата поверхности органов

растений (например, ржавчина); 2) по доле пораженной листовой поверхности (например, мучнистая роса).

Процент пораженных растений или их частей определяется:  
а) при удалении с делянки пораженных растений или частей их;  
б) при определении процента поврежденных колосьев в сноповом образце; в) при подсчете больных растений, стеблей, соцветий на корню в пробах определенного размера.

*Проведение энтомологических учетов* связано как с многообразием сельскохозяйственных вредителей, так и с различным характером повреждений растений. Вредители могут повреждать подземные части растений (проволочники) или надземные вегетативные части (уничтожение растений саранчевыми, повреждение стеблей злаковыми мухами), цветы и плоды (клеверный семяед и др.). Растения могут повреждаться сосущими насекомыми (тли, клопы). В связи с этим необходимость учета вызывается как наличием явных повреждений, так и угнетенным состоянием растений.

Наиболее распространенными приемами *наблюдений за состоянием зимующих культур* являются: периодические взятия проб на отрастание в течение зимы, подсчет живых и погибших за зиму растений и визуальные оценки травостоя перед уходом в зиму и в начале весенней вегетации.

*Процент погибших за зиму растений* определяют весной после того, как живые растения тронутся в рост и процесс отмирания поврежденных растений в основном закончится. Чаще рекомендуется не сопоставление числа растений, имевшихся осенью на закрепленных для учета площадках, с числом растений, зарегистрированных на тех же площадках при весеннем подсчете, а весенний подсчет живых и погибших растений на выделенных весной площадках.

Наиболее часто учитывают следующие виды повреждений посевов в зимний период:

- а) вымерзание вследствие низких температур;
- б) выпревание при большом снеговом покрове, сравнительно мягкой зиме и талой почве, когда растения ослабляются в результате усиления дыхательных процессов и расхода накопленных с осени веществ и подвергаются весной поражению снежной плесенью;
- в) повреждения от ледяной корки (главным образом притертой);
- г) вымокание посевов от застоя дождевых или талых вод;

- д) выпирание посевов в результате смены оттепелей и морозов и образования ледяной прослойки, вызывающей разрыв корней;
- е) высыхание посевов, в частности при вегетации надземной части растений весной, когда корни растений находятся еще в замерзшей почве;
- ж) выдувание посевов с обнажением узлов кущения и повреждением их морозами.

*Фенологические наблюдения* могут дать ценный материал для объяснения причин характера действия изучаемых приемов или удобрений. Отсутствие увеличения окончательного урожая не всегда доказывает неэффективность примененного приема. Часто оно обусловлено тем, что благоприятное действие того или иного приема, проявлявшееся в начальный период развития, в дальнейшем было подавлено или ограничено неблагоприятными условиями или внешними воздействиями.

В зависимости от программы, схемы опытов и культуры можно регистрировать начало фазы и массовое наступление ее (полная фаза). За начало фазы принимают первый день, в который она зарегистрирована не менее чем у 10% растений, а за массовое наступление – день, в который фаза отмечена не менее чем у 50% (или 75%) растений.

У зерновых злаков отмечают всходы, третий лист, кущение, выход в трубку (стеблевание), колошение, цветение, молочная спелость, восковая спелость, полная спелость; кроме того, отмечается укоренение, а у озимых культур и начало вегетации.

У гречихи, подсолнечника, конопли отмечают всходы, начало роста стебля (кроме гречихи), образование соцветий, цветение, созревание.

У льна: всходы, начало роста стебля, образование соцветий, цветение, конец цветения, зеленая и полная спелость семян.

У картофеля: всходы, образование соцветий, конец цветения, увядание ботвы.

У сои: всходы, появление первых настоящих листьев, появление третьего настоящего листа, образование боковых побегов, цветение, созревание.

У гороха, фасоли, бобов, чечевицы, вики: всходы, начало образования боковых побегов, образование соцветий, цветение, созревание.

У хлопчатника: всходы, образование третьего листа, образование бутонов, цветение, раскрытие первых коробочек, прекращение вегетации.

У табака: всходы, первый настоящий лист, третий настоящий лист, образование соцветий, цветение.

У сахарной свеклы и других корнеплодов: всходы, первая пара настоящих листьев, третий настоящий лист, начало утолщения подсемядольного колена, увядание наружных листьев (в сортоиспытании сахарной свеклы регистрируются фазы: 1 – вилочка, 2 – 1-я пара настоящих листьев, 3 – 3-я пара листьев, 4 – смыкание листьев в рядках, 5 – смыкание листьев в междурядьях, 6 – отмирание 5-й пары листьев, 7 – размыкание листьев в междурядьях).

У клещевины: всходы, первый лист, третий лист, образование соцветий, цветение, созревание.

У злаковых трав: всходы, кущение (начало кущения в год посева), выход в трубку, колошение (выметывание), цветение, хозяйственная спелость, отмирание (конец вегетации).

У бобовых трав: всходы, образование боковых побегов, образование соцветий, цветение, хозяйственная спелость, отмирание (конец вегетации). У трав отмечается также возобновление вегетации весной.

Важно не столько установление самих сроков наступления тех или иных фаз, сколько констатация смещения этих сроков на удобренных делянках по сравнению с контролем. Этими фазами удобно также пользоваться как определенными этапами для записи любых видимых различий в характере развития растений (окраска, рост, полегание и т. п.). Важно немедленно отмечать появление этих различий, а также их исчезновение, не дожидаясь определенных сроков.

Все различия в развитии делянок должны быть охарактеризованы совершенно конкретно и по возможности количественно. Из количественных показателей развития можно отметить прежде всего число растений на  $1 \text{ м}^2$  (густоту всходов) и энергию кущения (число стеблей на одно растение). Первое определение делают после появления полных всходов, второе для озимых – поздно осенью, для яровых – весной, по окончании кущения или при начале выхода в трубку. Так как озимая пшеница



продолжает куститься и весной, то в этом случае интересно не только осеннее, но и весеннее определение кущения.

Из количественных определений наиболее общими являются высота растений и густота стояния (колосоносных побегов). Высота определяется как среднее из промеров значительного числа растений (20-50). Особое значение имеет определение высоты для прядильных культур (лен, конопля). Густота стояния определяется по пробным рядкам или площадкам (на 1м<sup>2</sup>).

В течение всего вегетационного периода представляют интерес наблюдения за приростом сухого вещества. Нарастание массы сухого вещества определяется либо по фазам развития, либо по календарным срокам.

Наиболее важными показателями структуры урожая для хлебных злаков являются: 1) число растений на единицу площади; 2) число побегов колосоносных и пустых; 3) число колосьев на растении; 4) число колосков в колосе; 5) число зерен в колосе; 6) масса 1000 зерен. Структура урожая, устанавливаемая обычно уже для зрелых растений, так же как фенологические наблюдения за ходом развития растений в течение вегетационного периода, имеет целью выяснить, за счет каких именно изменений в развитии растений происходит то или иное изменение конечного урожая.

Окончательным критерием для оценки агрономического приема является все же конечный урожай продуктивной (используемой) части растения. Не обязательно во всех опытах проводить все возможные фенологические наблюдения. Они должны вытекать из задач опыта или из необходимости расшифровки ранее полученных урожайных данных, обуславливаясь влиянием изучаемого в опыте фактора.

### **Учет результатов полевого опыта**

**Подготовка к учету.** Прежде чем приступить к учету урожая, надо удалить растения с тех частей делянки, которые не поступают в учет. Прежде всего, убирают защитные полосы. Для культур сплошного посева защитные полосы выжинают или выкашивают по заранее пробитым бороздам. Для пропашных культур отсчитывают число борозд или рядков, приходившихся на защитные полосы; их выкапывают и урожай увозят с поля.

После этого производят последний осмотр учетных делянок, при котором отмечают выключки или производят полную выбраковку

отдельных делянок. Выключку и выбраковку целых делянок делают с учетом всех предыдущих записей и наблюдений и лишь в том случае, если есть объективные данные, говорящие о вымокании, повреждении, ошибке в работе или какой-либо другой причине, заведомо изменившей урожайность делянки или ее части. Делать выключки и браковать делянки на основании чисто субъективного впечатления о неоднородности повторений или частей делянки не следует.

Выключки следует делать прямоугольными или выключать определенную часть делянки: половину, треть, четверть и т. д. При небольших делянках (10-20 м<sup>2</sup>) и достаточной повторности лучше вообще не делать выключек, а выбраковывать делянки целиком. Для пропашных делают одновременно подсчет наличных кустов или корней на каждой учетной делянке для внесения в дальнейшем поправок на недостающие растения.

**Прямой и косвенный методы учета урожая.** Для учета опыта может быть использована либо вся масса урожая, полученного с учетной делянки, либо ее часть, представляющая среднюю пробу из урожая всей делянки. Первый метод учета урожая может быть назван *прямым*, второй – *косвенным*. В применении к зерновым культурам прямой метод учета называется учетом по обмолоту всей делянки. Наиболее распространенным косвенным методом учета зерновых является учет по пробному снопу.

*При учете по обмолоту всей делянки* урожай с каждой учетной делянки целиком увозят и хранят до момента обмолота. Взвешивание на поле в этом случае необязательно, хотя и желательно; основная задача состоит в том, чтобы избежать потерь и перемешивания поделяночных урожаев до обмолота.

Уборку учетных делянок можно производить как вручную - серпами или косой с грабельками (крюком), так и уборочными машинами.

Теоретически убирать машиной можно делянки любой величины, но практически имеет смысл при величине делянки не меньше 200-300 м<sup>2</sup>. При очень большой площади делянок (0,1 га и больше) убирают каждую делянку в отдельности. При меньшем размере делянок удобнее убирать подряд (одним проходом) несколько делянок, например одно повторение.

При отправке с поля к урожаю прикладывают этикетку с номером опыта, клина и делянки; такая этикетка следует за урожаем до последнего взвешивания зерна.

Общий урожай взвешивают перед самым обмолотом. Особое внимание должно быть обращено на хорошее отделение зерна от соломы. Взвешивают все зерно, как крупное, так и мелкое.

Обязательно взятие проб на влажность для приведения урожая зерна к стандартной влажности (14-15%). Солому (и мякину) обычно не взвешивают, а ее количество определяют по разности между общим весом урожая перед: обмолотом и весом зерна.

Уборка урожаев опытных участков комбайном дает возможность обойтись без специальных помещений для хранения поделяночных урожаев до обмолота, избежать перевозки и, главное, устранить ряд промежуточных операций при учете.

Для учета урожая комбайном необходимо, чтобы ширина учетной делянки была равна рабочему захвату комбайна (3,8 м). Чтобы создать больше удобства для разворотов комбайна, в опытах с небольшим числом вариантов уборку целесообразно проводить на одноименных делянках по повторениям, а при более широких схемах – в пределах одного повторения.

При уборке урожая самоходным комбайном имеется полная возможность организовать сортирование и взвешивание зерна в поле. Учет урожая соломы и мякины также следует производить в поле и, таким образом, сразу же получать результаты опыта.

*Сущность учета по пробному снопу* заключается в том, что в сушку и на учетный обмолот поступает не весь урожай учетной делянки, а лишь средняя проба из него – пробный сноп. Определив урожай зерна и соломы в пробном снопе и зная соотношение весов урожая всей делянки и пробного снопа, высчитывают тот урожай зерна и соломы, который получился со всей делянки.

Пробный сноп взвешивают с точностью до 10 г и укладывают в мешок. После этого остальная масса урожая уже не нужна для дальнейшего учета и поступает в хозяйственное использование. Желательно брать с каждой делянки не один, а два параллельных снопа, что гарантирует учет урожая в случае утери или порчи одного из них и позволяет контролировать точность самого определения урожая по пробному снопу.

Пробные снопы должны составлять не меньше 1-2% от общей массы урожая, так как иначе они представляют недостаточно характерную среднюю пробу.

Обмолот и отвеивание, выполняемые не при помощи специально приспособленных молотилок и веялок, являются наибольшим источником погрешностей при этом методе. Тем не менее учет по пробному снопу не только не уступает по точности учету по обмолоту всей делянки, но дает обычно несколько более высокие абсолютные цифры, что свидетельствует о меньших суммарных потерях.

Основное преимущество учета по пробному снопу заключается в возможности обходиться без больших помещений для хранения поделяночных урожаев до обмолота. Разумеется, что при очень малых делянках (10-20 м<sup>2</sup>), весь урожай с которых составляет два-три снопа, учет по пробному снопу теряет смысл и должен заменяться учетом всей делянки.

Другие косвенные методы учета урожая основаны на взятии в пределах опытной делянки пробных площадок, полос, борозд, характеризующих урожай всей делянки. Принципиальное отличие их от метода пробного снопа заключается в том, что в них отсутствует не только обмолот, но и взвешивание общей массы урожая с делянки.

По существу, эти методы сводятся к уменьшению размера делянки. Все они менее точны, чем учет по обмолоту всей делянки или по пробному снопу.

**Особенности учета незерновых культур.** Учет трав (клевера, вики и луговых трав), так же как и зерновых, можно производить как по всей делянке, так и по пробному снопу.

Учет картофеля и корнеплодов производят путем взвешивания всей массы урожая. Взвешивать урожай можно и на делянке, и на месте, куда весь урожай привозят с этикетками. Более удобным следует считать взвешивание урожая непосредственно на делянке. При большой влажности почвы клубни или корнеплоды раскладывают до взвешивания на несколько часов нетолстым слоем на делянке для подсушки, а затем протряхивают на ручном грохоте. Во многих случаях определяют и урожай ботвы, которую также взвешивают на месте. При различной степени подсыхания ботвы по делянкам из нее берут средние пробы для определения влажности.

Пробы из урожая корней и клубней (для определения крахмала в картофеле, сахара в сахарной свекле, сухого вещества в кормовой

свекле и т. д.) собирают в количестве 10-15 кг картофеля и нескольких десятков корней корнеплодов и хранят в мешках с этикетками. Эти пробы составляют таким образом, чтобы соотношение крупных, средних и мелких экземпляров в пробе соответствовало их соотношению во всем урожае делянки.

Учет урожая прядильных культур (льна, конопли) сходен с учетом зерновых культур. Однако если в средней пробе предполагается определять выход волокна, она должна быть не меньше 30 кг (в сыром состоянии) и связываться не в один, а в несколько снопов. Поэтому учет по пробному снопу (вернее, по пробным снопам) имеет смысл для этих культур лишь при сравнительно больших делянках – 100 м<sup>2</sup> и больше. Соломку взвешивают непосредственно после обмолота, а не определяют по разности.

### *Обработка цифрового материала*

Обработка цифрового материала полевого опыта состоит из следующих основных операций:

- 1) пересчет урожаев каждой делянки, непосредственно или по пробному снопу на 1 га;
- 2) вывод средних из всех повторений для каждого варианта опыта;
- 3) вычисление прибавок по сравнению с контролем или разницы между вариантами опыта;
- 4) оценка достоверности полученных средних и прибавок методами вариационной статистики.

Необходимым условием правильности всех этих операций является наличие доброкачественных исходных данных, полученных непосредственно при взвешивании.

Формы и способы первичных записей можно свести к двум принципиально различным системам. При первой все записи данных, относящихся к одному опыту, группе опытов или даже ко всем опытам, заносят в течение года в одну рабочую тетрадь или книгу, которая и служит в конце года исходным документом для всей дальнейшей обработки. При второй системе записей результаты каждой работы по каждому опыту (взвешивание в поле, взвешивание зерна при обмолоте и т. п.) заносят на отдельную карточку или ведомость. Для опытов в производственных условиях приемлема лишь первая.

**Первичные записи и техника пересчета урожая на 1 га при учете по обмолоту всей делянки.** Форма записей при учете зерновых должна включать минимально необходимые графы (№ делянки, Удобрение, Учётная площадь ( $m^2$ ), Коэффициент пересчёта на 1 га (100), Урожай на делянку общей массы, зерна, соломы (кг), Урожай (ц/га). Первичными данными в этой ведомости являются вес общей массы и вес зерна на делянку. Все остальные цифры производные.

Урожай на делянку выражаются обычно в килограммах (с одним десятичным знаком), а на 1 га – в центнерах (также с одним десятичным знаком). Для простоты пересчетов важно, чтобы коэффициент пересчета был простым и круглым числом. При площади учетной делянки в  $100 m^2$  число килограммов на делянку равно числу центнеров на 1 га и пересчета фактически не требуется.

**Первичные записи и техника пересчета на 1 га при учете по пробному снопу.** Ведомость для первичных записей и пересчета урожая на 1 га должна включать более обширные графы. Сырой вес урожая со всей делянки и пробного снопа получают при первом взвешивании в поле. Сухой вес всего пробного снопа определяют перед обмолотом, а зерна – после обмолота пробного снопа.

Отношение веса урожая делянки к пробному снопу, которое служит коэффициентом пересчета сухого урожая с пробного снопа на делянку, вычисляют делением сырого веса урожая с делянки на сырой вес снопа. Сухой вес урожая с делянки получают умножением веса соответствующих составных частей пробного снопа на отношение делянки к снопу. Дальнейший пересчет с делянки на 1 га производят так же, как и при учете по обмолоту всей делянки.

Таблица – Образец записи и пересчета при учете по обмолоту пробного снопа

№ делянки	Удобрение	Учётная площадь (за вычетом выключек), м <sup>2</sup>	Сырой вес в поле, кг		Отношение веса урожая всей делянки к весу пробного снопа (коэффициент пересчёта с пробного снопа на делянку)	Сухой вес пробного снопа при обмолоте, кг			Сухой вес урожая делянки, кг			Урожай, ц/га			
			урожай всей делянки Включая пробный сноп	пробного снопа		общей массы	зерна	соломы	общей массы	зерна	соломы	общей массы	зерна	соломы	
1	Фон НК	50	200	24,2	3,85	6,3	3,100	1,215	1,885	19,5	7,6	11,9	39,0	15,2	23,8

**Поправки на недостающие растения.** Учет картофеля и корнеплодов производят по взвешиванию урожая со всей делянки, и пересчеты на 1 га не отличаются от описанных для зерновых. Особенностью является лишь введение поправок на недостающие кусты или корни. Для этого фактический урожай с делянки делится на фактическое число кустов (корней), полученный средний вес куста умножается на число недостающих растений и вычисленный таким образом предполагаемый вес всех недостающих растений прибавляют к фактическому урожаю с делянки. Исправленную цифру урожая делянки пересчитывают обычным способом на 1 га.

Однако уменьшение урожая из-за выпадения отдельных растений компенсируется усиленным развитием соседних растений, получающих при этом дополнительную площадь питания. Описанный метод поправок правилен по отношению к растениям, выпавшим в самом конце вегетационного периода.

**Вывод средних и выбраковка цифрового материала.** Средний урожай для каждого варианта опыта определяется как среднее арифметическое из урожаев по повторениям, т. е. урожаи со всех параллельных делянок складывают и делят на число повторений. Остановимся на вопросе о выбраковке отдельных данных при значительном расхождении их по параллельным делянкам.

Многие, помимо выбраковки делянок при учете урожая, применяют также выбраковку резко отклоняющихся данных при выводе средних. Такая выбраковка дает широкий простор для субъективных «исправлений» фактически полученных результатов и должна быть недопустимой.

При наличии резких и необъяснимых отклонений по отдельным делянкам необходимо прежде всего тщательно проверить исходный материал учета и наблюдений. Очень часто при этом обнаруживается какая-нибудь ошибка или особенность в развитии растений на делянке, которой не придавалось значения. Если ошибка не обнаруживается, необходимо проверить, не является ли данная делянка частью какого-либо пятна повышенной или пониженной урожайности, захватывающего целую группу смежных делянок. В последнем случае эти делянки могут быть выбракованы, но обязательно все вместе.

Если не удастся обнаружить никаких данных о наличии ошибки, повреждения или другой объективной причины отклонения, выбраковка, как правило, не должна производиться. Недопустима выбраковка при двукратной повторности.

**Вычисление прибавок или разницы между вариантами.** Прибавку урожая для варианта опыта определяют вычитанием из среднего урожая по данному варианту среднего урожая по другому варианту, принятому за контроль. Все прибавки в опыте вычисляют по сравнению с одним контролем (неудобренной или фоновой делянки), но возможны случаи, когда, кроме сравнения с основным контролем, вычисляют и другие расхождения между вариантами. Например, в опытах с дозами удобрений, кроме сравнения каждой дозировки с контролем, может быть вычисление прибавок от каждой последующей дозировки по сравнению с предыдущей. Каждую прибавку, кроме абсолютной величины (ц/га), выражают и в процентах от контроля.

Описанный порядок вычисления средних прибавок значительно видоизменяется при всех стандартных методах расположения контролей (через делянку, через две и т. д.). В этом случае после пересчета всех урожаев на 1 га для каждой удобренной делянки вычисляют собственный урожай контроля. В простейшем случае расположения контролей (стандартов) через одну делянку он определяется как среднее арифметическое из урожая двух контролей, расположенных по обеим сторонам данной делянки. В случае



расположения контролей через две удобренные делянки контроль для каждой удобренной делянки определяют интерполяцией между урожаями двух ближайших контрольных делянок.

Вычисленный таким образом урожай контроля для удобренной делянки В будет равен  $(2a + d) / 3$ ,

где  $a$  и  $d$  – урожаи контрольных делянок А и D.

Для делянки С урожай контроля будет равен  $(a + 2d) / 3$ .

Сравнением с вычисленным таким путем для каждой удобренной делянки контролем определяется для каждой удобренной делянки своя прибавка. Из вычисленных прибавок выводят среднюю прибавку для данного варианта опыта. Относительную, или процентную, прибавку можно и здесь относить к среднему урожаю контролей. При парном методе урожай каждой удобренной делянки сначала выражают в процентах от соседней (парной ей) контрольной делянки, а затем по этому проценту приводят к среднему контролю для всего опыта.

На подобном же принципе построен «метод выравнивания» Митчерлиха. Вычислением прибавок урожая и заканчивается основная обработка цифрового материала опыта.

### **Особенности проведения опытов в условиях производства**

**Метод длинных полос.** Сущность его заключается в том, что на хозяйственном поле намечают несколько параллельных полос, проходящих через весь массив и захватывающих по возможности все разнообразие его рельефа и почвы. Ширина полос соответствует одному-двум захватам туковой сеялки. Перед обработкой поля на полосы вносят необходимые удобрения. Для того чтобы полосы были строго прямыми, направление ходов сеялки предварительно провешивают. Концы полос отмечают кольями на краю поля. Контрольную полосу или оставляют между двумя удобренными полосами, или совсем не выделяют заранее, а берут при уборке с любой стороны параллельно удобренной полосе. Обработку, посев и прочие работы производят сплошь по всему полю. При уборке посередине каждой полосы делают один проход уборочной машиной; урожай с этого хода собирается отдельно, обмолачивается и взвешивается. Учетная площадь определяется произведением длины полосы на ширину захвата уборочной машины.

Схема опыта должна быть простой и может даже состоять лишь из двух делянок – удобренной и контрольной. Не исключается возможность введения повторности.

Подобный прием может применяться для учета хозяйственного эффекта от удобрений. На сплошь удобренном поле оставляют контрольную полосу (пропускается один-два хода туковой сеялки). Как и в предыдущем случае, производят учет одного прохода уборочной машины на контрольной полосе и одного параллельного прохода на удобренном массиве. Необходимым условием является только прямизна контрольной полосы.

**Учет пробными площадками.** При проведении опытов в условиях производства, в случае больших размеров делянок и трудности их сплошного учета, прибегают иногда к выборочному учету метровыми площадками, линейными метрами и т. п.

Метровые площадки выделяют наложением специальных рамок размером  $1 \text{ м}^2$ , имеющих три стороны, неподвижно укрепленные, и четвертую откидывающуюся или отодвигающуюся. Линейные метры выделяют так же, как и при взятии проб, наложением метровой линейки на отдельные рядки. Учетные площадки или рядки располагают через определенные промежутки в шахматном порядке, по диагоналям или иными способами, обеспечивающими полный и равномерный охват учитываемой площади. Число проб должно быть весьма значительно.

**Учет урожая, убранного комбайном и другими уборочными машинами.** Учет урожая при помощи комбайна имеет то преимущество, что дает возможность сразу получать конечный результат учета – урожай зерна, и устраняет все промежуточные операции, а также необходимость специальных помещений для хранения поделяночных урожаев до обмолота. Для учета комбайном учетные делянки должны иметь вытянутую форму и ширину, кратную ширине захвата комбайна. Перед началом и по окончании уборки каждой делянки должна производиться очистка бункера комбайна. Намолоченное с делянки зерно снабжается этикетками и взвешивается. Необходимо взятие проб на влажность зерна.

## **Особенности методики мелкоделяночных опытов**

К мелкоделяночным опытам относят опыты с таким малым размером делянок, который не допускает применения обычных приемов полевой агротехники. Для опыта с удобрениями это будут делянки меньше 20 и даже 10 м<sup>2</sup> (3-5 м<sup>2</sup>). При такой площади делянок неизбежен отказ от защитных полос, так как даже при ширине в 50-75 см вся площадь делянки уходит на защитные полосы. Отсутствие защитных полос не позволяет применять сплошную обработку и заставляет переходить к ручной обработке делянок. С другой стороны, отсутствие защитных полос вызывает усиленное развитие краевых растений и тем самым изменяет нормальную высоту урожая.

Особенность этой методики позволяет применять рамы, по которым делается разбивка на делянки и в которых производятся все работы: обработка, внесение удобрений и посев.

Посев производят вручную. Необходимое количество семян отвешивают на каждую делянку и делят (по объему) по числу бороздок. Эту операцию удобно производить пробиркой с рисккой. В течение вегетационного периода все промежутки между делянками поддерживают в чистоте.

Урожай зерновых культур убирают обычно серпом. Весь урожай с делянки укладывают в мешок с этикеткой или в большой бумажный пакет с надписью и отправляют в сушилку. Техника обмолота та же, что и для пробных снопов.

Засеваемая площадь (2 м<sup>2</sup>) получается при этом методе меньше, чем площадь, обработанная и удобренная (3 м<sup>2</sup>). При соответствии по ширине захвата длине делянки, возможен сплошной посев малых делянок сеялкой. Он производится вдоль всего ряда и поперек делянок. Промежутки между рядами делянок (их короткими сторонами) удобнее оставлять незасеянными. Промежутки между делянками (их длинными сторонами) при этом засеваются. Растения на этих промежутках можно убрать сразу после появления всходов или оставить до уборки.

В первом случае все дальнейшие работы ведутся так же, как и на малых делянках с ручным посевом. Во втором случае получают своего рода защитные полосы между делянками, но зато усложняются уход за ними и учет урожая, так как требуются выделение и предварительная уборка этих промежуточных полос.

Малые делянки пригодны для качественной оценки удобрений и сравнения их между собой. Оказалось вполне возможным проведение на малых делянках даже многолетних опытов (до 6 лет) как с учетом чистого последствия, так и с систематическим наложением удобрений.

Урожаи на малых делянках (на единицу площади) всегда получаются несколько выше, чем в обычных полевых опытах. Так как пересчеты на 1 га производятся тщательно, причину этого расхождения находят либо в ручной обработке малых делянок, либо в повышенной урожайности краевых растений за счет используемой ими дополнительной площади питания.

Основной причиной повышенных урожаев на малых делянках является отсутствие защитных полос и связанное с этим усиленное развитие краевых растений. Попытки установить поправочный коэффициент для пересчета урожаев, полученных на малых делянках, на большие площади не дали удовлетворительных результатов, так как соотношение урожаев в полевых и мелкоделяночных опытах изменяется в зависимости от культуры и плодородия участка.

Кроме повышенных абсолютных урожаев, на малых делянках наблюдалась еще и повышенная эффективность применявшихся удобрений – как абсолютная, так и относительная.

Что касается точности опыта и необходимой повторности, то незначительная площадь, занимаемая мелкоделяночным опытом в целом, облегчает выбор для него выровненной площади, и в конечном итоге точность его оказывается не ниже, чем обычного опыта на делянках в 20 м<sup>2</sup>.

Мелкоделяночные опыты непригодны в тех случаях, когда нужно характеризовать абсолютную величину урожаев и количественный эффект от удобрений. Пересчет урожаев с малых делянок на 1 га условный и во многих случаях просто ненужный.

Но мелкоделяночный метод вполне пригоден для качественной и относительной характеристики действия удобрения. Сравнительная эффективность форм удобрений, расположение их в порядке возрастающей или убывающей эффективности совершенно одинаковы на больших и малых делянках. Кривые дозирования и оптимальные дозы удобрений, установленные на основании мелкоделяночных и обычных полевых опытов, также очень близки между собой.

Вполне возможно на основании мелкоделяночных опытов установление порядка минимумов основных питательных веществ. Выявление потребности растений в дополнительных элементах питания (микроэлементах), оценка значения и допустимости примесей в удобрениях – все эти вопросы могут предварительно прорабатываться на малых делянках.

Мелкоделяночный метод совершенно незаменим для предварительной оценки новых удобрений, часто получаемых в лабораторных условиях в большом числе образцов, но в малых количествах, недостаточных для полевых опытов. Многие из этих образцов отпадают уже при первых испытаниях, и потому пускать их все сразу в большие полевые опыты нецелесообразно.

Кроме описанной выше методики мелкоделяночного опыта, многие опытные учреждения применяли малые делянки с одновременным сохранением защитных полос. Подобная методика имеет то преимущество, что, устраняя основную причину повышенных урожаев на малых делянках – усиленное развитие краевых растений, приближает получаемые на них абсолютные урожаи к таковым в обычных полевых условиях. Но сплошной массив с большим числом делянок, расположенных в несколько рядов, очень затрудняет наблюдение и уход за делянками. Кроме того, выделение защитных полос при малой площади делянок требует большой тщательности и при недостаточной точности может служить источником погрешностей.

При применении мелкоделяночного опыта нужно заботиться не только о близости получаемых урожаев к таковым в обычных полевых условиях, но и об удобстве работы и точности полученных данных, независимо от их абсолютного значения. Окончательная же, строго количественная оценка каждого удобрения должна даваться в настоящем полевом опыте.

### **Особенности постановки опытов на орошаемых землях**

При постановке опытов на поливных землях особое внимание должно быть уделено равномерности снабжения всей площади опыта водой и возможности точного регулирования количества воды, попадающей на каждую делянку. Этими требованиями и определяются особенности методики полевого опыта в условиях орошения.

**Выбор и планировка участка.** К рельефу поливных земель, выбираемых для опытов, должны предъявляться более строгие требования, чем к рельефу неполивных участков. Ничтожная разница в уровне поверхности, порядка 10-15 см, едва улавливаемая при обычной нивелировке, может быть причиной резкой разницы в урожае, так как поливная вода стекает с повышенных и накапливается в пониженных частях участка опыта. Разница в увлажнении способна иногда перекрыть эффект от всех испытываемых приемов и удобрений.

Если нельзя выбрать для опыта заранее спланированный участок, необходимо до закладки опыта произвести его планировку.

При поливе по бороздам (что рекомендуется и обычно применяется в опытах) поливная площадка должна иметь небольшой уклон, но уклон этот должен быть равномерным и очень незначительным. Он не должен превышать 0,01-0,02 (1-2 м падения на 100 м погонных). В противном случае вода не будет равномерно впитываться при прохождении по поливным бороздам. При большом уклоне возможен и размыв поливных борозд.

**Особенности расположения опыта в условиях орошения.** Опыт должен располагаться таким образом, чтобы вода могла быть подведена независимо и в любом количестве к каждой делянке. Пропуск воды через одну делянку на другую недопустим, особенно в опытах с удобрениями, так как может повлечь за собой вымывание и перенос питательных веществ. По этой же причине в опытах с удобрениями нежелателен вообще «полив со сбросом», при котором избыток поливных вод выпускается (сбрасывается) за пределы поливной площадки. Желательно, чтобы вся вода, попадающая на делянки, впитывалась в ее пределах. Этим условиям в наибольшей степени удовлетворяют однорядное расположение делянок и их вытянутая форма. Поливные борозды должны нарезаться при этом вдоль делянки. Между рядами делянок (вдоль их коротких сторон) должны проходить непосредственно временные оросители, из которых вода поступает на любую делянку.

**Регулирование полива и измерение поливных норм в опытах.** Следующее условие постановки опытов при орошении – возможность регулирования и достаточно точного измерения количества воды, попадающей на каждую делянку. Измерение производят специальными водомерными приборами, водосливами и др. Правильной считается такая система, при которой измеряется

количество всей воды, попадающей на участок опыта, и количество воды, даваемой на каждую делянку.

К комплексу необходимых наблюдений в течение вегетационного периода в поливных условиях обязательно добавляются учет и запись поливного режима для каждой делянки и наблюдения над влажностью почвы в межполивные периоды. Помимо важности этих наблюдений для понимания результатов опытов и, в частности, действия удобрений, поливы ведут с расчетом поддержать определенную влажность почвы и дают их при падении ее до минимума (70-80% полевой влагоемкости).

### **Агрохимические и агрофизические исследования в полевых опытах с удобрениями**

Почвенные исследования в полевых опытах производятся как при закладке опыта, так и во время его проведения.

Описание почвенного разреза и анализа почвы по горизонтам позволяют отнести почвы опыта к определенному типу и виду почв. Классификация и названия почв меняются со временем. Например, черноземы ранее делили на деградированные, мощные, обыкновенные и прикавказские, позднее – на оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные и т. д.

Все это приводит к тому, что одно название почвы без описания разреза и почвенных анализов не позволяет установить, на какой именно почве, по современной классификации, был поставлен опыт. Аналогичные перемены происходят и в названии почв по их механическому составу. Поэтому в отчетах об опытах, особенно в отчетах о многолетних опытах, следует приводить данные по анализу почв и по морфологическому описанию почвенных разрезов.

Почвенные разрезы нельзя закладывать на территории опытных делянок, поэтому для больших опытов желательно иметь несколько почвенных разрезов, расположенных вокруг опыта. Дополнительно закладывают малые разрезы («прикопки»), которые захватывают обычно только два верхних горизонта почвы; эти прикопки можно делать и на территории опыта, на защитных полосах и дорогах. Данные «прикопок» позволяют установить, насколько удачно был сделан разрез для характеристики почвы опыта.

Точное установление почвенной разновидности требует проведения не только морфологического обследования почв, но и

аналитического изучения состава почвы и ее свойств. Для анализа почвы берут как индивидуальные образцы, взятые из различных горизонтов почвенного профиля, так и средние пробы пахотного слоя опытного участка.

Задачи опытов требуют проведения определенных анализов почвы, без которых результаты опытов неполноценны.

Опыты с минеральными удобрениями требуют проведения определенных анализов почвы, например, при постановке опытов с фосфатами необходимо определение в почве количества легкорастворимых форм  $P_2O_5$  по одному из принятых методов (Мачигин, Кирсанов, Труог). То же относится и к опытам по мелиорации засоленных почв; в этом случае необходим учет состава и количества солей в почве, а также степени солонцеватости – содержания в почвах поглощенного натрия.

Такие агрохимические свойства, как кислотность почвы и содержание в ней усвояемых фосфатов, могут сильно варьировать на территории опыта. В этом случае без данных поделяночного анализа трудно судить о пригодности участка для постановки опыта и о достоверности выводов. Средние данные об агрохимических свойствах почвы опытного участка желательно приводить с указанием интервала колебаний, вариационного коэффициента или стандартного отклонения для показаний поделяночных анализов почвы.

Перечень анализов следует изменять применительно к условиям проведения и задачам отдельных опытов. При наличии оборудования для определений радиоактивного фосфора следует определить общий запас в почве растворимых фосфатов. Желательно также проведение вегетационных опытов для определения величины влажности завядания и запаса усвояемых питательных веществ. Для многолетних опытов с удобрениями важно обеспечить регулярное взятие по ротациям образцов почвы, которые в дальнейшем могли бы быть использованы для анализов теми методами, которые будут считаться наиболее точными в момент производства анализов.

Если хранение образцов почвы не обеспечено, то следующие новые образцы надо анализировать не только новыми, но и старыми методами, чтобы обеспечить сравнимость результатов прежних анализов, проведенных при закладке опыта, с данными анализа новых образцов почвы с тех же делянок.



Внесение удобрений приводит к изменению свойств почвы. Общеизвестно влияние физиологически кислых удобрений на подкисление почвы, навоза на уменьшение кислотности почвы, фосфатов на увеличение содержания в них усвояемого фосфора («зафосфачивания почв») и т.д. Если удобрения применялись систематически в течение ряда лет или в больших дозах, то заметить их влияние на свойства почвы сравнительно легко, так как различия между свойствами почв опытных и контрольных делянок станут существенными.

Легко заметить действие извести на кислую почву или внесение навоза в многолетнем опыте. Но если необходимо дать не только качественную, но и количественную характеристику действия удобрений на свойства почвы, то требуется уже проведение многочисленных анализов почвы опытных делянок.

Правильная постановка исследований требует анализа почв всех делянок опыта до его постановки. Но часто сравнение приходится вести не с исходными данными для почв различных вариантов опыта, а с данными для почв делянок контрольных вариантов. Это, конечно, снижает точность работы, так как почва контрольных вариантов тоже меняется за время опыта. Поэтому при постановке многолетних опытов с удобрениями необходимо особое внимание обратить на агрохимический анализ всех делянок до закладки опыта.

Точность полевых опытов в среднем считается около 10%, т. е. при урожаях в 20 ц достоверными считаются прибавки более 2 ц. Результаты многочисленных обработок данных полевых опытов показали, что заслуживают внимания величины разниц между вариантами порядка 10,5-18,9% для однолетних и 8,2-10,5% для многолетних опытов. Вариационные коэффициенты агрохимических показателей в опытах МСХА имени К. А. Тимирязева были равны: для гумуса, по Тюрину 13%, для обменного Са по Гедройцу 13%, для  $P_2O_5$  по Кирсанову 21%, для гидролитической кислотности по Каппену 10%, для обменной кислотности по Каппену 24 % и для активного А1 по Соколову 29%. Это варьирование агрохимических показателей наблюдается для почв параллельных делянок многолетних опытов. Следовательно, в опыте с четырехкратной повторностью, при содержании в почве гумуса около 2%, различия между почвами вариантов опыта порядка 0,3% недостоверны; для  $P_2O_5$ , по Кирсанову, при 5 мг на 100 г почвы заслуживают внимания разницы для вариантов более 2,5 мг  $P_2O_5$ .

Основным правилом изучения влияния удобрений на свойства почвы является анализ образцов почв для делянок всех без исключения повторений опыта и обязательная обработка данных анализов, полученных для параллельных делянок методами вариационной статистики.

Во многих случаях в опытах делаются попытки установить (при помощи анализов почвы делянок различных вариантов опыта) величины, которые не могут быть достоверно определены, так как они заведомо находятся за пределами точности полевого опыта.

Например, пытаются на основе анализа почвы заметить влияние однолетнего или двухлетнего посева трав на накопление в почве азота или гумуса. Простые расчеты показывают, что даже при высоком урожае трав (порядка 100 ц/га сена) и накоплении большого количества корней (50-75 ц/га) количества гумуса и азота могли измениться на величины порядка не более 5% для гумуса и 2% для азота от их среднего содержания в пахотном слое почвы, т. е. на величины, лежащие в пределах возможной ошибки исследований.

При составлении программы анализов в полевых опытах следует произвести теоретические подсчеты, в какой мере изучаемый прием может отразиться на изменении различных свойств почвы.

Например, в опыте на дерново подзолистой почве вносится ежегодно по 45 кг азота на 1 га в форме минерального удобрения. Примерно 2/3 азота удобрения используется урожаем растений и уносится с ним с поля, следовательно, ежегодно в почве может оставаться 15 кг азота. В течение 10 лет это составит всего только 150 кг азота на 1 га. Предположим, что в почве опыта содержится общего азота всего 0,1%. Если объемный вес пахотного слоя был равен 1,34, а глубина пахотного слоя 18 см, то вес пахотного слоя был равен 2 412 000 кг, следовательно, в пахотном слое содержалось 2 412 кг азота.

Математическая обработка данных анализов многолетних полевых опытов показывает, что доказуемые разности в содержании азота в почве различных вариантов должны быть не менее 13% от его количества в почве. В данном примере возможное изменение общего азота равно 6,2% (150:2412), т. е. определение общего азота даже через 10 лет опыта не может показать доказуемого изменения содержания общего азота в почве удобренных вариантов.

В приведенном выше примере нарочно была взята почва, бедная азотом, с неглубоким пахотным слоем; на черноземных почвах при глубине пахотного слоя в 20-25 см количество азота в почве может быть в 4-5 раз больше. В этом случае средние дозы азота могут изменить количество в почве азота в результате многолетнего систематического применения удобрений всего только на 1-2% от общего количества азота в почве.

Аналогичные грубые подсчеты легко можно сделать для учета возможного влияния различных доз органических и минеральных удобрений на количество в почве гумуса, валовых азота, фосфора и калия. Эти подсчеты, а также прямые опыты приводят к выводу, что в большинстве полевых опытов при внесении обычных средних доз удобрений нельзя обнаружить математически доказуемого влияния удобрений на количество в почве гумуса, валовых азота, фосфора и калия. Но можно достоверно установить влияние удобрений на содержание в почве усвояемых форм азота, фосфора и калия.

Во многих опытах важно учитывать не только урожай надземной массы, но и количество корней. Такие темы, как влияние многолетних трав на повышение плодородия почвы, накопление в почве биологического азота, роль растений в накоплении почвенного гумуса, или в борьбе с эрозией, техника внесения удобрений требуют учета содержания корней в почве и определения надземных пожнивных остатков на поверхности почвы после снятия урожая. Если надземные пожнивные остатки можно собрать с большой площади делянки и довольно точно количественно определить их массу, то учесть количество корней в почве очень трудно.

Урожай надземной массы определяется со всей площади делянки, а количество корней – выборочным методом, примерно с 1/100 – 1/1000 части делянки. Если с одной делянки взято по 4-10 монолитов размером 25×25 см, то точность такого определения весьма невелика. Основная ошибка при определении количества корней состоит в неправильном размещении на площади делянок мест для взятия монолитов. Чаще всего берут пробы на участках с большим количеством растений, в результате чего приведенные данные зачастую в 2-3 раза и более превосходят возможное содержание корней в почве. Минимальное требование, которое должно быть соблюдено, это соответствие урожая надземной массы над монолитами, взятыми для определения количества корней, урожаю надземной массы со всей делянки.

Наиболее точно количество корней устанавливается для пропашных растений, когда для выделения корней берется все количество почвы, соответствующее одному растению. При достаточном количестве таких проб получают достоверные данные о накоплении корней.

В полевых опытах внесение средних доз удобрений приводит к сильному и вполне математически доказуемому изменению содержания в почве подвижных усвояемых питательных веществ.

В полевых опытах органические и минеральные удобрения производят вполне определенное существенное изменение кислотности почвы, причем наиболее достоверные изменения отмечаются для обменной кислотности и содержания в почве активного алюминия, несмотря на большое варьирование этих показателей. В частности, небольшие дозы навоза, не влияя в пределах точности опыта на содержание в почве гумуса, существенно изменяют обменную кислотность почвы. Поэтому во всех многолетних опытах с удобрениями, проводимых на малобуферных почвах, необходим постоянный контроль за ре-акцией и кислотностью почвы, без чего результатам опыта может быть дано неверное объяснение.

Кроме наблюдений, которые проводятся через несколько лет опыта и подытоживают результаты действия на почву исследуемых приемов, в полевых опытах изучают «динамику» свойств почвы, изменения некоторых ее свойств в течение вегетационного сезона. Эти наблюдения проводят несколько раз в течение вегетационного сезона. Взятие проб производится либо регулярно через определенное число дней, либо приурочивается ко времени различных обработок почвы, к посеву растений и фазам их развития.

Влажность, аэрация и скважность почвы существенно меняются в течение вегетационного сезона; каждая обработка изменяет ее состояние: после обработки происходит слёживание и уменьшается скважность почвы. Влажность непрерывно меняется вследствие испарения и передвижения воды в почве. Следовательно, все время происходит и изменение свойств почвенного раствора, исследование которого тоже относится к изучению почвенной динамики. Трудности выделения почвенного раствора заставляют в ряде случаев заменить его анализом водных вытяжек, что вполне допустимо при определении содержания в почве нитратов, нитритов, хлоридов и сульфатов.

Агрохимические анализы в течение вегетационного сезона имеют большое значение для понимания результатов опыта. Результативность агрохимических исследований в полевых опытах в значительной мере зависит от правильности взятия проб почвы с опытных делянок.

При изучении динамики свойств почвы методику взятия средней пробы устанавливают при помощи математической статистики. На делянке опыта почвенным буром берут большое число (50-100) проб, равномерно распределенных по площади делянки. Пробы анализируются по отдельности, и результаты анализов обрабатывают математически для установления точности работы при различном числе проб.

В дальнейшем при изучении динамики свойств почвы с каждой делянки берут установленное количество проб, которые смешивают в одну среднюю пробу. Для каждой делянки правильнее составлять две средние пробы. Количество скважин (отдельных проб), необходимых для составления средней пробы, зависит от размера опытной делянки, пестроты почвенного покрова, определяемого элемента почвенной динамики, желательной степени точности опытной работы.

Обычно на небольшой делянке для составления средней пробы берут не менее пяти индивидуальных проб. Наблюдения над динамикой почвы весьма трудоемки, поэтому часто пробы берут не со всех повторений опыта, а только с некоторых. Это, всё же, приводит к соответствующему уменьшению точности исследования.

Результаты агрохимических исследований сравниваются с данными урожайности растений в опыте. Если агрохимические исследования проводились только для некоторых повторений опыта, то для сравнения с ними должны браться и данные урожайности этих повторений.

Точность агрохимических исследований не превышает точности учета урожаев, поэтому сокращение числа повторений, в которых проводятся наблюдения, нежелательно.

Выполнение наблюдений над динамикой почвы во время вегетации растений связано с некоторым повреждением посевов, для уменьшения которого могут применяться различные приемы; например, переносные мостики, перекидываемые через учетную площадь делянки, чтобы не топтать посевы на делянке. Опасение повреждения посевов приводит к сокращению числа наблюдений и

перенесению изучения динамики почвы в специальные лабораторные опыты.

При изучении свойств почвы в динамике следует учитывать возможные изменения ее свойств во время взятия среднего образца в поле, его доставки и хранения в лаборатории до анализа. Поэтому разработан ряд приборов для непосредственного определения в поле влажности, аэрации, рН и других свойств почвы.

Такие свойства, как влажность, быстро меняются, и образцы для определения влажности берут немедленно после выемки индивидуального образца почвы, до приготовления средней пробы. И ряд других элементов почвы, изучаемых в динамике, меняется во время высушивания образца, поэтому наиболее правильно анализировать почвы при сохранении ее полевой влажности. Если это требование технически невыполнимо, то должно быть установлено, какие элементы почвенной динамики допускают определение в сухих образцах. Указания по этому вопросу имеются в руководствах и специальных методиках, но они меняются в зависимости от условий работы.

Структура почвы при взятии средней пробы разрушается, многие же свойства почвы зависят от структуры. Поэтому разработана методика взятия проб без нарушения естественного строения почвы, ее структуры. С этой целью разработаны различные конструкции почвенных буров, позволяющих брать образцы с ненарушенным строением. В этих образцах изучают влагоемкость почвы, ее воздухо- и водопроницаемость. Но такие свойства почвы, как влагоемкость, воздухо- и водопроницаемость, испарение воды почвой, газообмен почвы и атмосферы наиболее правильно изучать непосредственно в полевой обстановке.

Почва не является однородной средой. На поверхности почвенных агрегатов протекают одни процессы, внутри их – другие. В почве вблизи корней растений идут одни процессы, а в отдалении от них – другие; при внесении удобрений они распределяются в почве неравномерно, образуя очаги накопления питательных веществ. Работа со средними величинами не позволяет выявить всего этого разнообразия почвенных условий. Средние показатели для целого горизонта дают только сумму накопления и уменьшения в почве того или иного соединения.

Изучение реальной динамики почвы требует знания распределения в почве изучаемого соединения, пунктов его накопления и исчезновения.



Рисунок – Буры для отбора почвенных проб

Размещение в почве веществ и интенсивность процессов в различных пунктах почвы является предметом изучения микродинамики почвы. С этой целью исследуются ризосфера растений, очаги удобрений и агрегаты почвы. Методика зависит от объекта исследования. В основном она состоит из отбора отдельных типичных участков почвы, их разделения и дробного анализа. При изучении микродинамики почвы могут быть использованы и статистические методы определения неравномерности распределения в толще почвы отдельных свойств или веществ.

Например, для изучения влияния удобрений на свойства почвы можно на удобренной делянке взять большое количество индивидуальных проб. Эти пробы вследствие неизбежной в полевых условиях неравномерности распределения удобрений дадут различные показания для накопления в почве  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , pH, активного Al и других элементов динамики почвы. Между ними можно установить сопряженность путем вычисления коэффициентов корреляции. В результате будет установлена зависимость изменения одного элемента динамики почвы от другого.

Работа при помощи средней пробы иногда может дать и неверное представление о среднем содержании в почве различных веществ вследствие их неравномерного распределения. Например, фосфорная кислота, извлекаемая водной вытяжкой из одних богатых фосфором частиц почвы, поглощается из раствора другими частицами почвы, бедными фосфором. В результате водная вытяжка дает уменьшенные показания о содержании водорастворимой фосфорной кислоты в почве. Все это подтверждает большое значение изучения в полевых опытах микродинамики почвы, т. е. реального распределения в почве различных элементов почвенной динамики.

#### *Перечень рекомендуемых анализов почв в полевых опытах*

1. Механический состав почвы определяют по горизонтам почвенного профиля. Знание механического состава только пахотного горизонта почвы недостаточно. Механический состав глубже лежащих горизонтов в значительной мере определяет водный режим почвы и глубину проникновения в почву корней растений.
2. Гумус. Определение гумуса производят по методу И. В. Тюрина для всех горизонтов почвенного профиля. Знание содержания гумуса по горизонтам необходимо для точного наименования почв, одновременно оно дает представление о плодородии почв и о распространении в глубину почвы корней растений.
3. Общий азот. Обычно достаточно иметь его определение для пахотного слоя почвы. Соотношение в почве C : N имеет значение для характеристики вида почвы и азотного питания растений. В многолетних опытах желательно определение азота по горизонтам почвенного профиля. Определение производят по одному из вариантов макро- или микрометода Кьельдаля или по микрометоду И. В. Тюрина.
4. Общий фосфор. Определение обязательно только в опытах с фосфатами для пахотного слоя. В многолетних опытах с фосфатами общий фосфор определяют и по горизонтам. Определение  $P_2O_5$  производят колориметрически.
5. Общий калий. Общий калий определяют редко. Это необходимо в многолетних опытах с калийными удобрениями. Определяют калий на пламенном фотометре.
6. Поглощенные основания. Обычно определяют кальций и магний, но желательно определять и калий, а на кислых почвах – алюминий. В некарбонатных почвах определение ведут путем



вытеснения обменных оснований уксуснокислым аммонием или хлористым аммонием. В карбонатных почвах определяют емкость обмена универсальным методом К. Г. Гедройца или поглощенные основания по А. А. Шмука. Натрий в карбонатных почвах определяют в углекислой вытяжке.

7. Сумма поглощенных оснований по Каппену. Этот анализ используют при известковании почв. Определение неточное, но вполне применимое при массовых анализах с производственными целями.

8. Определение рН производят в КСl-вытяжке, а также в водной суспензии потенциометрически.

9. Гидролитическая кислотность по Каппену. Определение гидролитической кислотности широко применялось и применяется для установления доз извести и эффективности действия фосфорита.

10. Обменная кислотность. Определение, необходимое при постановке опытов на всех кислых почвах, является наиболее надежным (вместе с рН и активным А1) показателем наличия в почве вредной для растений кислотности. Устранение обменной кислотности – основная задача известкования почв.

11. Активный алюминий по А. В. Соколову. Желательное дополнение при определении обменной кислотности, так как наличие активного А1 в большинстве случаев служит главной причиной токсического действия кислотности почв на растения.

12. Объемный вес почвы. Определение объемного веса необходимо для характеристики водного и воздушного режима почвы и для вычисления абсолютных запасов в почве гумуса, азота, фосфора, калия и других веществ. Определяется при помощи любого бура, позволяющего взять точный объем почвы без нарушения ее структуры.

13. Максимальная гигроскопичность. Определение необходимо, так как позволяет вычислить недоступную для растений влагу почвы, т. е. влажность почвы, при которой происходит устойчивое завядание растений. При изучении водного режима необходимо иметь данные для всех горизонтов почвы. Определение производят в эксикаторе с относительной влажностью воздуха 96% над 10%-ной серной кислотой.

14. Полевая влагоемкость почвы. Определение в поле методом заливания площадок. Необходимо для оценки состояния влажности почвы в поле, так как указывает, какое количество воды может

устойчиво сохраняться в почве, не опускаясь вниз под влиянием силы тяжести.

15.  $\text{CO}_2$  карбонатов. Определение производят при наличии карбонатов в почве по всем горизонтам почвенного профиля, так как наличие карбонатов в различных горизонтах почвы является важным показателем для правильного наименования почвы и необходимо для вычисления данных механического состава почвы; ведется путем определения  $\text{CO}_2$  объемным или весовым методом при анализах почвы, содержащих более 10%  $\text{CO}_2$ ; допустимо ацидиметрическое определение.

16. Водная вытяжка из почвы. Производят для засоленных и солонцеватых почв. Определяются рН, щелочность общая и нормальных карбонатов, сухой остаток, хлор, сульфаты, кальций, магний, натрий.

17. Усвояемые формы фосфора, калия и азота. Анализы производят в зависимости от типа почвы. Желательно определение не одним, а двумя методами, наиболее распространенными в районе постановки опытов. Методики анализов должны соответствовать ГОСТ для данных почв.

## 6 ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Математическая статистика** – это один из разделов математики, который позволяет сделать заключение обо всей совокупности наблюдений и в отдельности о каждом явлении. Этот метод основан на теории вероятности, которая изучает общие закономерности в массовых случайных явлениях и применяется всегда при проведении экспериментов. Результаты опытов всегда подвержены случайным влияниям, помимо изучаемых, которые измеряются величиной экспериментальной ошибки (невыровненность поверхности поля, неоднородность почвенного плодородия, неравномерность внесения удобрений и семян при посеве).

**Метод статистики** необходим для оценки влияния агротехнических приемов, химических и биологических препаратов, удобрений и других способов повышения урожая. Но никакая статистика не заставит плохо поставленный опыт дать хорошие результаты.

**Задача исследователя** – поставить качественный опыт, отвечающий всем требованиям опытного дела, а математическая статистика даст объективную количественную оценку экспериментальным данным.

Результаты исследований систематизируют, обрабатывают и делают на этой основе выводы и предложения производству. При этом оперируют определенными понятиями, терминами и символами.

**Объекты исследований в агрохимии** – это отдельные растения, их группы, средства повышения плодородия почвы и среда произрастания растений.

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 всё равно всегда будут различаться по росту, массе, внешнему виду, урожаю, его качеству и т. д. Число таких растений или других объектов исследования представляет собой **генеральную совокупность**.

Для того, чтобы точно определить среднюю высоту растения или среднее число клубней на растении, 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 теории вероятностей** 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.

Например, в ящике 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 –  $70 / 100 = 0,7$ .

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 описанном 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  $P = n / N \sim 0$ . 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.**

Для анализа результатов полевых опытов пользуются уровнем доверительной вероятности, равным 0,95, и записывают его символом  $F_{05}$ , а для более ответственных анализов – уровнем 0,99 ( $F_{01}$ ). На уровне доверительной вероятности  $F_{05}$  исследователь, утверждая или отрицая какое-либо явление, положение, рискует ошибиться в 5 случаях из 100, на уровне  $F_{0,01}$  – в 1 случае из 100.

Иногда пользуются не уровнем доверительной вероятности, а **уровнем значимости**  $P_i$ , который рассчитывают по формуле

$$P_i = 1 - P.$$

### **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:  $84,450 = 84,4$ .

### **Обобщенный метод статистической обработки**

Позволяет находить одну общую ошибку средних урожаев или для двух средних урожаев любой пары сравниваемых вариантов. Этот метод применяется для обработки аналитических, биометрических измерений и данных вегетационного метода.

## Дисперсионный анализ

Предположим, что полевой опыт был размещен методом рендомизации. Основной его показатель – урожайность – 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 –  $S_y$ , повторений –  $S_p$ , ошибки –  $S_z$ . Их суммирование дает сумму квадратов общего рассеивания:

$$S_y = S_v + S_p + S_z$$

Для каждого рассеивания вычисляют **число степеней свободы**  $\nu$  по формулам:

$$\nu_y = N - 1; \nu_v = 1 - 1; \nu_p = n - l; \nu_z = (1 - 1)(n - 1).$$

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.

Дисперсионный анализ – наиболее совершенный метод статистической обработки данных, но он применим только к опытам, размещенным методом рендомизации.

Преимущества дисперсионного анализа заключаются в вычлениении 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.

## Оценка точности опыта

Статистическую обработку результатов опыта производят для установления точности опыта. Ошибка среднего арифметического показывает, с какой степенью точности мы можем судить по величине найденного в опыте среднего о величине того истинного

среднего, которое было бы получено в результате суммирования бесконечно большого числа параллельных определений.

Согласно кривой нормального распределения всех возможных случаев, можно утверждать, что истинное среднее будет находиться в промежутке между  $M + m$  и  $M - m$  в 68,3% всех возможных случаев, в промежутке между  $M + 3m$  и  $M - 3m$  в 99,73% всех возможных случаев, или, говоря другими словами, мы имеем 9973 шанса из 10 000 за то, что наше среднее не отклоняется от истинного больше чем на  $\pm 3 m$ .

Закон нормального распределения сформулировал немецкий математик Фридрих Гаусс еще в начале XIX века. Суть его состоит в том, что заметные отклонения встречаются значительно реже, чем средние величины. Закон Гаусса начинает действовать в группе: чем больше элементов, тем нагляднее проявляется «нормальность» распределения (шире разброс крайних значений и более выражен «горб» средних).

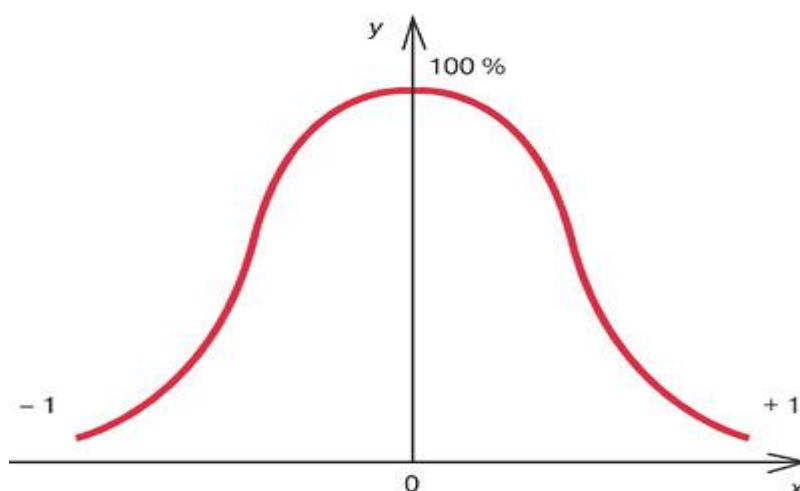


Рисунок – Кривая нормального распределения Гаусса

На рисунке изображена кривая нормального распределения – гауссиана. Вся живая и неживая природа подчиняется этому закону. Например, в каждой делянке любого полевого опыта подавляющее большинство растений составляют «среднячки», часть растений имеет параметры немного лучше и немного хуже, и несколько процентов – выделяются очень крупными размерами и столько же – плохо развиты и имеют небольшие размеры.

Например, если для урожая озимой пшеницы по НРК мы получили средний урожай в 45,7 ц, а ошибка среднего была 0,6 ц, то истинный урожай по НРК с достоверностью в 99,73% не разнится от

45,7 больше чем на  $\pm 3 m = \pm 1,8$  ц. Следовательно, наш вывод, что истинный урожай по НРК, который мы получили бы при большом числе повторений, находится в пределах  $M \pm 3m = 45,7 \pm 1,8$ , или, что то же, в промежутке между 43,9-47,5 ц, имеет большую достоверность.

Наоборот, если бы мы стали считать, что истинное значение находится в пределах  $M \pm t = 45,7 \pm 0,6$ , или между 45,1 и 46,3 ц, то в 31,7% всех случаев наше суждение было бы ошибочно. Следовательно, чем больше будет допускаемый нами возможный размер отклонения от среднего, тем достовернее будет наше суждение. Степень же точности нашего определения среднего будет зависеть от величины ошибки среднего.

Если бы в нашем опыте ошибка среднего была равна  $\pm 0,1$  ц, то в пределах 45,4-46,0 ц находилось бы 9973 из 10 000 возможных случаев. Таким образом, степень точности нашего опыта зависит от величины ошибки среднего, а достоверность наших суждений – от того, во сколько принятый нами размер возможного отклонения истинного результата от среднего будет превышать ошибку последнего.

Обычно считают, что истинный результат достаточно точно характеризуется промежутком  $M \pm 3m$  (тройная ошибка называется иногда предельной ошибкой среднего). Число, показывающее, во сколько раз установленный предел отклонения от среднего больше его ошибки, обозначается буквой  $t$ ; чем больше  $t$ , тем достовернее наше суждение.

В таблице 6.1 показана зависимость достоверности суждений от принятого при анализе результатов предельного отклонения от среднего, выраженного в частях  $t$ .

В большинстве опытов приходится не столько устанавливать абсолютные размеры урожая по тому или другому варианту опыта, сколько определять достоверность разности между средними для различных вариантов. Достоверность разности между двумя средними определяется величиной  $t$ , которая показывает, во сколько раз разность больше своей ошибки. Обозначая разность через  $D$ , имеем:

$$t = D/mD.$$



Таблица 6.1 – Вероятность нахождения истинного результата за пределами  $M \pm tm$  (в % от возможного числа случаев) при числе наблюдений больше 30

Предел отклонения от среднего в долях $m, t$	Вероятность нахождения за указанными пределами, %	Предел отклонения от среднего в долях $m, t$	Вероятность нахождения за указанными пределами, %
0,50	61,7	2,33	2,00
0,67	50,1	2,50	1,20
0,75	45,3	2,58	1,00
1,00	31,7	2,75	0,56
1,25	21,1	3,00	0,10
1,50	13,4	3,29	0,10
1,75	8,0	3,89	0,01
2,00	4,5	4,42	0,001
2,25	2,4	4,89	0,0001

Когда ошибка разности равна самой разности, истинное значение разности между двумя средними, согласно кривой нормального распределения показаний, выйдет за пределы  $D \pm mD$  в 31,7% всех возможных случаев, так как ошибка разности так же характеризует ее, как обычная ошибка среднего – свое среднее арифметическое. Однако в одной половине возможных случаев истинное значение будет больше нашей эмпирической разности, а в другой половине – меньше.

Если речь идет о достоверности разности между средними, т. е. ставится вопрос только о том, действительно ли урожаи по обоим сравниваемым вариантам отличаются друг от друга, то для характеристики достоверности разности имеют значение отклонения только в одном направлении – уменьшения разности между средними.

Предположим, что  $M1 - M2 = mD$ , т. е. разность равна ошибке разности,  $t = D/mD - 1$ ; тогда согласно данным таблицы 6.2 в 31,7% всех случаев будет находиться за пределами  $D \pm mD$ , но только в половине из них (15,9%) разность между средними исчезнет или станет обратной.

Следовательно, достоверность разности можно характеризовать не 68,3%, а 84,1%, так как в 84,1% всех возможных случаев  $M1$  будет больше, чем  $M2$ .

Таблица 6.2 – Достоверность разности двух средних (в % от общего числа возможных признаков) при числе наблюдений больше 30

<i>D/mD</i>	%	<i>D/mD</i>	%	<i>D/mD</i>	%	<i>D/mD</i>	%
0,2	57,9	0,8	78,8	1,4	91,32	2,0	97,73
0,3	61,8	0,9	81,3	1,5	93,77	2,1	98,21
0,4	65,5	1,0	84,1	1,6	94,52	2,2	98,61
0,5	69,2	1,1	86,4	1,7	95,54	2,4	99,18
0,6	72,6	1,2	88,99	1,8	96,41	2,6	99,53
0,7	75,8	1,3	90,32	1,9	97,13	3,0	99,87

В таблице 6.2 приведены соответствующие данные достоверности разности средних; их легко можно вывести из таблицы 6.1, если учесть, что в данном случае имеет значение только одностороннее отклонение от среднего. Из таблицы 6.1 видно, что если разность более чем вдвое превосходит свою ошибку, то по своей достоверности она уже заслуживает внимания, поэтому в полевых и вегетационных опытах обычно довольствуются двойной ошибкой разности средних в качестве показателя достоверности суждений, имея 95% вероятности, которая получается при  $t = 1,64 mD$ .

### Таблицы Стюдента и Фишера

Для оценки достоверности результатов опыта мы можем пользоваться таблицами 6.1 и 6.2 только в тех случаях, когда ошибка опыта, или среднего арифметического, вычислена на основе обработки сравнительно большого числа данных, т. е. когда в опыте было более 30 делянок или сосудов и применялся обобщенный метод обработки результатов опыта.

Если в опыте было небольшое число делянок или производилось вычисление ошибки среднего для каждого варианта опыта в отдельности, то следует пользоваться таблицей 6.3, составленной Стюдентом и несколько видоизмененной Фишером.

В этой таблице вероятность нахождения истинного результата в пределах  $M \pm t$  поставлена в зависимость от числа наблюдений.

В первом вертикальном столбце приведено число так называемых степеней свободы, равное для среднего арифметического  $n - 1$ , т. е. числу показаний урожаев делянок или сосудов, из которого выведено среднее, уменьшенному на единицу (так как, зная  $n - 1$  показаний, последнее показание можно установить по разности, если известно среднее).

Таблица 6.3 – Таблица величин  $t$ . Определение вероятности ( $P$ ) нахождения среднего значения вне предела  $M \pm tm$  при малом числе наблюдений ( $n$ )

n-1	P, %						
	50	20	10	5	2	1	0,25
1	1,00	3,08	6,31	12,70	31,82	63,66	318,54
2	0,82	1,37	2,92	4,30	6,96	6,92	22,38
3	0,76	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	10,24
4	0,74	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60	7,58
5	0,73	1,48	2,02	2,57	3,36	4,03	5,90
6	0,72	1,44	1,94	2,45	3,14	3,70	5,20
7	0,71	1,42	1,90	2,36	3,00	3,50	4,80
8	0,71	1,40	1,86	2,31	2,80	3,35	4,50
9	0,70	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	4,30
10	0,70	1,37	1,81	2,22	2,76	3,17	4,15
11	0,70	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	4,00
12	0,69	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	3,75
20	0,69	1,32	1,73	2,09	2,53	2,84	3,55
25	0,68	1,31	1,71	2,06	2,48	2,80	3,30
30	0,68	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,05
$\infty$	0,67	1,28	1,64	1,96	2,33	2,58	3,00

В верхнем горизонтальном ряду указана вероятность (в процентах) нахождения истинного результата за пределами  $M \pm tm$ .

В средней части таблицы 6.3 приведены величины  $t$  – коэффициенты, показывающие, во сколько раз принятое при анализе результатов опыта отклонение от среднего больше его ошибки.

Например, если средний урожай для четырех делянок ( $n = 4$ ), равен 34,5 ц, и ошибка среднего  $\pm 1,1$  ц, то вероятность нахождения истинного результата за пределами  $M \pm 3m$  (что соответствует значению  $t = 3$ ), т. е. иначе в промежутке от 31,2 до 37,8 ц, будет, как показывает таблица 6.3, около 5% (в таблице для  $n - 1 = 3$  значение  $t$ , близкое к 3, именно 3,18).

Если бы ошибка среднего была установлена на основе большого числа определений, то вероятность отклонения истинного результата за пределы  $M \pm 3m$  была бы равна только 0,27%. Чтобы иметь подобную достоверность суждений при  $n = 4$ , надо размах возможных колебаний среднего принять в  $M \pm 10,24 m$ , или  $34,5 \pm 11,3$  ц, так как вероятности в 0,27% при  $n - 1 = 3$  соответствует  $t =$

10,24. Таким образом, при четырехкратной повторности так называемая предельная ошибка среднего (т. е. ошибка при  $t = 3$ ) должна быть принята равной не тройной ошибке, а десятикратной.

Этой же таблицей можно пользоваться и для установления достоверности разности между средними  $M_1-M_2$ , т. е. для определения того, во скольких случаях из всех возможных  $M_1$  будет больше  $M_2$ .

В данном случае имеют значение отклонения только в одну сторону, направленные к уменьшению разности между  $M_1$  и  $M_2$ . При отклонении только в одну сторону, положительную или отрицательную,  $P$  в 2 раза меньше.

Пример. Разность между средними равна 6,6 г, повторность семикратная, ошибка разности 2,1 г, следовательно,  $t = 6,6/2,1 = 3,14$ .

При  $n = 7$  по таблице 6.3 имеем  $P = 2\%$ , т. е. в 2% всех случаев разность выходит за пределы  $\pm 6,6$  г. Исчезновение положительной разности между средними, т. е. отклонение за пределы разности 6,6 г, равно  $P/2 = 2\% / 2 = 1\%$ , или одному случаю из 100 возможных.

В практике оценки результатов опытов установилась традиция брать для оценки достоверности разности двойную или тройную ошибку, не учитывая числа наблюдений, на основе которых выведена ошибка опыта. Из рассмотренных примеров видно, насколько последнее может иногда привести к неверным суждениям о достоверности результатов опыта.

**Метод А. А. Сапегина.** В практике сельскохозяйственного опытного дела широкое применение при обработке результатов полевого опыта имел у нас метод приведения А. А. Сапегина. Особенностью этого метода является то, что обрабатываются процентные отклонения от средних арифметических по вариантам. В основе его лежит предположение, что величина ошибки опыта пропорциональна величине урожаев. Экспериментальные данные не подтвердили этого предположения, но метод А. А. Сапегина дает в конце обработки очень удобную для оценки точности опыта процентную ошибку среднего (т. е.  $m$ ), выраженную в процентах от среднего урожая для опыта:  $P = 100 m/M$ . Этот показатель относительной точности исследования весьма удобен для сравнения различных опытов по степени их точности. С этой целью может быть применено вычисление ошибки среднего, выраженной в процентах от среднего урожая для всего опыта в целом:  $m \times 100/M$  опыта.

**Метод анализа вариации Р. А. Фишера.** Статистическая обработка результатов полевых опытов при наличии в опытах систематической ошибки, вызываемой неравенством исходного плодородия почвы, весьма сложна. Для устранения систематической ошибки полеводы применяют не только различные приемы статистической обработки результатов полевого опыта, но и различные приемы размещения в поле опытных делянок, что, в свою очередь, накладывает свой отпечаток на приемы статистической обработки результатов.

Постановка полевых опытов с большим числом вариантов в условиях изменчивого плодородия почвы – весьма сложная методическая задача, различно решаемая в многочисленных работах полеводов-опытников и математиков.

Здесь дается анализ точности простого полевого опыта, имеющего небольшое число вариантов и поставленного на достаточно выровненном по плодородию участке.

Кроме установления точности опыта и степени достоверности суждений, обработка результатов опыта помогает определить пригодность его для решения поставленной задачи. Пригодность опыта определяется, прежде всего, правильностью составления схемы опыта и выбором надлежащих условий для его проведения. Достоверность разности между контрольными вариантами и служит одним из показателей пригодности опыта для решения данной задачи.

Например, если опыт ставится с целью определения эффективности различных новых форм азота, то контрольными вариантами в опыте являются варианты без азота и с внесением стандартного азотного удобрения. Если между этими вариантами имеется достоверная разность, опыт пригоден для решения поставленной задачи, если нет, то результаты опыта не могут быть использованы. Если в условиях опыта растения вообще не нуждались в азоте, то изучать в этих условиях эффективность новых азотных удобрений не следует. Таким образом, **пригодность опыта (его репрезентативность)** определяется путем вычисления  $D/mD$  для контрольных вариантов схемы опыта.

В практике Ротамстедской сельскохозяйственной опытной станции в Англии и отчасти на опытных станциях США получил распространение метод, разработанный Р. А. Фишером и названный им анализом вариации (рассеяния, дисперсии).

В практике сельскохозяйственного опытного дела России этот метод, несмотря на проявленный к нему в свое время большой интерес, не получил большого распространения.

При обработке результатов опыта по методу анализа вариации (рассеяния) сначала находят средний урожай в опыте, затем вычисляют отклонения от него всех урожаев отдельных делянок. Эти отклонения возводят в квадрат и находят их сумму, которая соответствует общей вариации (рассеянию) опыта. Далее вычисляют средние урожаи для вариантов, их отклонения от среднего урожая, квадраты отклонений и их сумму. Последнюю умножают на число повторений. Полученная величина характеризует изменение урожаев в зависимости от вариантов. Затем определяют средние урожаи по повторениям, их отклонения от среднего урожая для опыта, квадраты этих отклонений и их сумму, которая после умножения на число вариантов дает величину, характеризующую варьирование урожаев, вызываемое различным плодородием повторений. Вычитая из суммы квадратов, характеризующей общее рассеяние в опыте, величины, найденные для рассеяния вариантов и повторений, находят величину суммы квадратов, соответствующую случайным отклонениям, или остаточное рассеяние (вариацию) в опыте.

Вычисление величин, характеризующих рассеяние общее, вариантов повторений и случайное, может идти с использованием квадратов не отклонений, а квадратов величин урожаев по делянкам, по повторениям и по вариантам, но это целесообразно только при наличии вычислительных машин.

Полученные суммы квадратов следует соответственно разделить на число степеней свободы для вариантов на  $(l - 1)$  и для повторений на  $(n - 1)$  и для случайного рассеяния на  $(n - 1) \times (l - 1)$ . После деления сумм квадратов на число степеней свободы получаем средние квадраты.

Отношение среднего квадрата вариантов к среднему квадрату случайного рассеяния и является критерием точности опыта и его пригодности для решения поставленного вопроса. При этом используются таблицы Снедекора, в которых указывается, при каком отношении средних квадратов изменение урожаев, вызываемое вариантами, имеет вероятность в 95 или 99% (приложение 1 и 2).

Пример использования анализа вариации приведен далее при обработке результатов полевого опыта.

При работе методом анализа вариации данные для всего опыта обрабатывают совместно, так как этот метод такой же обобщенный, как и описанный выше. Далее, и в том и в другом методе при анализе вариации все вычисления производят с абсолютными величинами отклонений. В результате вычислений оба метода дают одну и ту же величину суммы квадратов случайных отклонений; только в одном случае они определяются непосредственно, а при анализе вариации – по разности. Исключение влияния изменения плодородия почвы по повторениям опыта в том и другом случае производится на основе одного и того же принципа.

Существенное различие между обоими методами заключается в том, что в одном случае устанавливается ошибка опыта, т. е. ошибка разности между двумя средними, а в другом – критерий Фишера, характеризующий, во сколько раз отклонения между вариантами больше случайных.

В основе этого метода лежит предположение, что опыт в том случае пригоден, когда различие между вариантами опыта больше, чем между урожаями параллельных делянок или сосудов. Если изменения в урожаях по делянкам, вызываемые случайными, неучитываемыми причинами, больше, чем изменения, вызываемые изучаемыми факторами, опыт считается непригодным для установления действия последних на урожай растений.

При обычной оценке достоверности опыта устанавливают, во сколько раз разность между средними для двух вариантов опыта превышает ее ошибку. Но, в одном и том же опыте разности между различными парами средних обладают различной степенью достоверности в зависимости от величины разности. Критерий, предложенный Фишером, является попыткой однозначно характеризовать достоверность действия изучаемых факторов для всего опыта в целом.

Средние арифметические для вариантов опыта образуют ряд цифр, который характеризует действие изучаемых в опыте факторов. Установив для этого ряда цифр его квадратическое отклонение, мы можем сравнить его с квадратическим отклонением, характеризующим действие в опыте случайных причин. Так как на изменении ряда средних по вариантам сказываются и случайные причины, то, если изучаемые факторы существенно сказались на высоте урожаев, квадратическое отклонение для средних по вариантам должно быть достоверно больше, чем квадратическое

отклонение, характеризующее действие случайных, неучтенных причин.

Однако в некоторых случаях применение критерия Фишера не дает правильных результатов, так как он учитывает изменчивость между всеми вариантами опыта, тогда как для определения пригодности опыта необходимо учитывать различие только между определенными контрольными вариантами опыта.

При постановке опыта все варианты схемы опыта можно разбить на два вида: контрольные, которые показывают чувствительность в опыте растений к изучаемому фактору, и испытуемые. Между последними может и не быть никакого расхождения, в результате чего уменьшится основное отклонение изменчивости по вариантам при наличии в опыте сильного действия изучаемого фактора. Например, изучая различные формы новых растворимых фосфатов, мы, имея опыт с громадной чувствительностью растений к количеству усвояемой  $P_2O_5$ , можем получить малую изменчивость между вариантами опыта, если число одинаково усвояемых форм будет велико.

Для анализа достоверности опыта и его пригодности предлагается определять достоверность разницы между контрольными вариантами опыта. Под последними следует при этом понимать не только делянки без удобрений, но и все делянки опыта, при помощи которых устанавливается чувствительность опытных растений к изучаемому фактору. В зависимости от задач опыта эти контрольные варианты будут различными.

В практике опытного дела в России анализ вариации (рассеяния, дисперсии) используют как способ вычисления ошибки опыта, без применения критерия Фишера. Этот способ вычисления сложнее и менее удобен, чем вычисления ошибки опыта с исправлением отклонений по повторениям, хотя и дает те же результаты.

### **Пример обработки результатов полевого опыта**

В целях освоения наиболее простых практических приемов обработки результатов полевого опыта рассмотрим детально обработку результатов классического опыта Центральной станции удобрений и агропочвоведения СоюзНИХИ с внесением фосфорных удобрений в подкормку под хлопчатник.

Опыт был поставлен на общем для всех делянок опыта фоне удобрений, который состоял из 40 кг  $P_2O_5$ , внесенных в виде



суперфосфата до посева, и 110 кг азота, внесенного в подкормку в виде аммиачной селитры. В схеме опыта всего было 8 вариантов (I=8):

1. Одно фоновое удобрение («фон»).
2. Фон + суперфосфат из апатита.
3. Фон + суперфосфат из каратауского фосфорита.
4. Фон + аммонизированный суперфосфат.
5. Фон + аммофос из каратауского фосфорита.
6. Фон + аммофос из апатита.
7. Фон + плавленный магниевый фосфат.
8. Фон + обесфторенный фосфат.

Фосфорные удобрения вносились в подкормку в дозе 40 кг  $P_2O_5$ ; при внесении аммофоса количество азота в фоновом удобрении соответственно уменьшалось на содержание азота в аммофосе. Опыт был поставлен в четырехкратной повторности ( $n = 4$ ). Задача математической обработки результатов этого опыта установить: было ли в опыте вообще достоверное положительное действие фосфатов и если оно было, то были ли в опыте достоверные различия между эффективностью различных форм фосфорных удобрений, внесенных в подкормку.

Прежде всего, необходимо составить таблицу данных опыта, по которой можно удобно подсчитать средние урожаи по вариантам и по повторениям опыта (таблица 6.4).

Составив эту таблицу и подсчитав сумму урожаев для каждого варианта и каждого повторения, находим затем общую массу урожаев, полученных со всех 32 делянок опыта (1191,8). Складывая урожаи по вариантам или складывая урожаи по повторениям, получаем ту же величину, что свидетельствует о правильности подсчетов.

Затем вычисляем средние урожаи для каждого варианта и для каждого повторения. При этом средние урожаи по вариантам записываем с точностью до 0,1 ц/га.

Таблица 6.4 – Вычисление средних показателей  
для вариантов и повторений полевого опыта

Вариант	Урожай делянок по повторениям, ц/га				Сумма урожаев по вариантам, ц/га	Средний урожай по вариантам, ц/га	Отклонение вариантов от среднего урожая опыта, ц/га	Прибавка урожая от фосфорной подкормки, ц/га
	1	2	3	4				
1	31,0	33,33	37,1	35,5	136,9	34,2	-3,0	-
2	34,8	336,5	41,7	39,8	152,8	38,2	+1,0	+4,0
3	34,55	36,2	40,7	38,4	149,8	37,4	+0,2	+3,2
4	35,6	35,7	37,4	44,6	153,3	38,3	+1,1	+4,1
5	36,4	36,3	39,5	37,2	149,4	37,4	+0,2	+3,2
6	36,7	40,9	40,6	41,3	159,5	39,9	+2,7	+5,7
7	34,6	37,4	37,4	34,6	144,0	36,0	-1,2	+1,8
8	34,2	34,7	39,9	37,3	146,1	36,5	-0,7	+2,3
Сумма урожаев по повторениям	277,8	291,0	314,3	308,7	1191,8	-	-	-
Средний урожай по повторениям	34,72	36,37	39,29	38,58	-	37,24	-	-
Отклонение повторений	-2,52	+2,05	+2,05	+1,34	-	-	-	-

*Цель опыта – установить прибавки урожаев культуры от внесения в подкормку фосфорных удобрений, а задача математической обработки результатов опыта – установить степень их достоверности.*

Вычитая из величин средних урожаев по вариантам опыта (со 2-го по 7-й) величину среднего урожая по первому варианту (фон), получим прибавки урожаев хлопка-сырца (в ц/га) от внесения фосфатов. Эти прибавки колеблются в зависимости от формы фосфорного удобрения от 1,8 до 5,7 ц/га хлопка сырца.

Разделив общую сумму урожаев на число делянок в опыте, получим средний урожай в опыте:  $1191,8 : 32 = 37,24$ . Разделив суммы урожаев по повторениям на число вариантов, находим средние урожаи по повторениям. Вычитая из них величину среднего урожая для опыта, получаем отклонения для урожаев по повторениям; они равны: -2,52; -0,87; +2,05 и +1,34. Как видим, первое повторение дает более низкие урожаи, а третье – более высокие, чем остальные повторения.

Видимо, в опыте имело место изменение плодородия почвы при переходе от одного повторения к другому. Следовательно, при обработке результатов опыта надо исключить влияние варьирования

величин урожаев по повторениям. Это достигается двумя способами: во-первых, путем получения исправленных отклонений для каждой делянки и, во-вторых, путем вычитания суммы квадратов отклонений по повторениям, умноженной на число вариантов из суммы квадратов неисправленных отклонений.

Остановимся сначала на первом способе с использованием исправленных отклонений. С этой целью устанавливаем поправки по повторениям, они будут равны отклонениям повторений, взятым с обратным знаком, +2,5, +0,9, -2,1 и -1,3.

Вычисление ошибок опыта производим на основе отклонений величин урожаев отдельных делянок от среднего по варианту. Эти отклонения приведены в графе 2 таблицы 6.5. Например, для 1-го варианта имеем урожай: 31,0; 33,3; 37,1; 35,5; средний урожай по варианту равен 34,2. Тогда отклонения равны: 31,0-34,2 = -3,2; 33,3-34,2 = -0,9 и т.д. (см. табл. 6.5).

Эти отклонения исправлены во всех вариантах на величину поправок по повторениям, указанным в графе 4, в графе 5 приведены исправленные отклонения, а в графе 6 – квадраты этих отклонений. Сумма всех этих квадратов равна 71,02, ее мы должны разделить на число степеней свободы. Общее число делянок в опыте 32, следовательно, общее число степеней свободы в опыте равно  $32 - 1 = 31$ , число степеней свободы для вариантов равно  $8 - 1 = 7$  и для повторений  $4 - 1 = 3$ .

При вычислении исправленных отклонений мы уже исключили влияние повторений, а вычисляя отклонения внутри вариантов, исключили влияние вариантов. Таким образом, на долю случайного (остаточного) варьирования осталась  $31 - 7 - 3 = 21$  степень свободы. Эту же величину средней свободы находим, умножив число степеней свободы вариантов на число степеней свободы повторений ( $1 - 1 = 8 - 1 = 7$  и  $n - 1 = 4 - 1 = 3$ ). Вычисление квадратичного отклонения производим по формуле

$$\sigma \pm \sqrt{\frac{71,02}{21}} = \pm \sqrt{3,3818} = \pm 1,84 \text{ ц/га.}$$

Таблица 6.5 – Вычисление суммы квадратов случайных отклонений

Вариант опыта	Отклонение от среднего для варианта	Квадрат отклонения	Поправка по повторениям	Исправленное отклонение	Квадрат исправленного отклонения
1	2	3	4	5	6
1	-3,2	10,24	+2,5	-0,7	0,49
	-0,9	0,81	+0,9	0,0	0,00
	+2,9	8,41	-2,1	+0,8	0,64
	+1,3	1,69	-1,3	0,0	0,00
2	-3,4	11,56	+2,5	-0,9	0,81
	-1,7	2,80	+0,9	-0,8	0,64
	+3,5	12,25	-2,1	+1,4	1,96
	+1,6	2,56	-1,3	+0,3	0,09
3	-2,9	8,41	+2,5	-0,4	0,16
	-1,2	1,44	+0,9	-0,3	0,09
	+3,3	10,89	-2,1	+1,2	1,44
	+1,0	1,00	-1,3	-0,3	0,09
4	-2,7	7,29	+2,5	-0,2	0,04
	-2,6	6,76	+0,9	-1,7	2,89
	-0,9	0,81	-2,1	-3,0	9,00
	+6,3	39,69	-1,3	+5,0	25,00
5	-1,0	1,00	+2,5	+1,5	2,25
	-1,1	1,21	+0,9	-0,2	0,04
	+2,1	4,41	-2,1	0,0	0,00
	-0,2	0,04	-1,3	-1,5	2,25
6	-3,2	10,24	+2,5	-0,7	0,49
	+1,0	1,00	+0,9	+1,9	3,61
	+0,7	0,49	-2,1	-1,4	1,96
	+1,4	1,96	-1,3	+0,1	0,01
7	-1,4	1,96	+2,5	+1,1	1,21
	+1,4	1,96	+0,9	+2,3	5,92
	+1,4	1,96	-2,1	-0,7	0,49
	-1,4	1,96	-1,3	-2,7	7,29
8	-2,3	5,29	+2,5	+0,2	0,04
	-1,8	3,24	+0,9	-0,9	0,81
	+3,4	11,56	-2,1	+1,3	1,69
	+0,8	0,64	-1,3	-0,5	0,25
Сумма квадратов	-	175,62	-	-	71,02

Следовательно, ошибка среднего по вариантам равна:

$$m = \pm \frac{1,84}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,84}{2} = \pm 0,92 \text{ ц.}$$

Ошибка разности двух средних равна:

$$m_D = \pm \sqrt{(0,92)^2 + (0,92)^2} = \pm 1,41 \cdot 0,92 = \pm 1,30 \text{ ц.}$$

Рассмотрим второй способ вычисления ошибки опыта.

Возведем в квадрат неисправленные отклонения урожаев участков от средних по вариантам (графа 3, табл. 6.5) и найдем их сумму 175,62.

Возведем в квадрат отклонения по повторениям и найдем их сумму (табл. 6.6), которая будет равна 13,11. Эта сумма квадратов характеризует варьирование в зависимости от повторений в пределах одного варианта. Общее число вариантов равно 8; умножив на него сумму квадратов отклонений ( $\sum v^2$ ) 13,11, получим  $\sum (\sum v^2) = 13,11 \times 8 = 104,88$ , т. е. величину, характеризующую влияние различного плодородия повторений на варьирование урожаев в опыте.

Таблица 6.6 - Вычисление варьирования по повторениям

Повторение	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения
1	-2,52	6,35
2	-0,87	0,76
3	-2,05	4,20
4	+1,34	1,80
Сумма квадратов		13,11

Вычитая из суммы квадратов неисправленных отклонений  $\sum(\sum v^2) = 175,62$  варьирование повторений 104,88, получаем величину варьирования исправленных отклонений 70,74. Она только на 0,28 меньше, чем найденная первым способом (71,02); расхождение вполне понятное, так как при вычислении прибегали к округлению цифр до 0,1 или 0,01. Вычисление по второму способу дает те же величины, что и по первому:

$$\sigma = \pm 1,84, m = \pm 0,92 \text{ и } mD = \pm 1,30.$$

Если бы не учли изменения плодородия почвы по повторениям и в основу вычислений положили бы сумму квадратов неисправленных отклонений, то величина квадратичного отклонения была бы равна + 2,70 и  $t = +1,35$ , так как

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{175,62}{24}} = \pm 2,70.$$

В результате получили бы неправильное представление о малой точности опыта. Достоверность прибавок урожаев в опыте определяется тем, во сколько раз они превосходят свою ошибку. Вычисление ошибки разности ( $mD$ ) производим при использовании 21 степени свободы; по таблице 6.3 находим, что для 20 степеней

свободы 5% показаний будет находиться за пределами  $\pm 2,09 \text{ mD}$ , 1% показаний – за пределами  $\pm 2,84 \text{ mD}$ .

Следовательно, прибавки урожаев, полученные в опыте, в 95% случаев будут отклоняться от найденных средних не более как на  $\pm 2,09 \text{ mD} = \pm 2,09 \times 1,30 = \pm 2,7 \text{ ц}$ , а в 99% случаев не более как на  $\pm 2,84 \times 1,30 = 3,7 \text{ ц}$ .

Но в данном случае нас интересует не столько возможность получения прибавок определенного размера, сколько достоверность наличия разности между вариантами. В этом случае важно учесть возможный процент вероятных отклонений за пределы не  $\pm \text{mD}$ , а только за пределы –  $\text{mD}$ . Последний будет вдвое меньше указанного в таблице 6.3 для  $\pm \text{mD}$ , поэтому берем для характеристики вероятной ошибки в размере 5% случаев –  $1,73 \text{ mD}$ , а для 1% –  $2,53 \text{ mD}$ , т. е. для данного опыта имеем соответственно 2,3 и 3,3 ц.

Большинство прибавок урожая от внесения фосфорных удобрений, кроме прибавок, полученных в 7-м и 8-м вариантах, больше 2,3 ц, следовательно, заслуживают внимания; более достоверными следует считать те прибавки, которые больше 3,3 ц.

Рассматривая внимательно данные таблицы 6.4, видим, что урожай по одной из делянок, именно в четвертом варианте четвертого повторения, исключительно высок и равен 44,6 ц. Этот урожай превышает урожай среднего для этого варианта на 6,3 ц/га.

Основное отклонение в опыте было равно  $+ 1,84^{3/4}$ , следовательно, отклонение этой делянки от среднего превышает основное отклонение в 3,4 раза. Среднее для трех других повторений этого варианта равно 36,2 ц, т. е. на 8,4 ц меньше, чем урожай в четвертом повторении. Такое отклонение от средних бывает весьма редко, меньше чем 1 раз в 1000 случаев, и наличие его дает неправильное представление об эффективности четвертого варианта. Целесообразно поэтому провести обработку данных опыта, исключив эту делянку.

Обработка опыта при отсутствии одной делянки может быть сделана для оставшихся вариантов, имеющих нормальное число повторений; обработка может быть сделана и для всех повторений, за исключением повторения с забракованной делянкой. Можно также сохранить обработку данных опыта в целом.

Исключив делянку с урожаем в 44,6 ц, мы уменьшаем общий урожай всех делянок до 1147,2 ц, средний урожай в опыте становится

равным 37,0 ц, поправки на плодородие повторений опыта тоже меняются. Они становятся равными + 2,3, + 0,6, - 2,3 и - 0,7. При вычислении их можно исходить из среднего урожая для 8 вариантов первых трех повторений и 7 вариантов четвертого повторения, так как урожаи последнего варианта несущественно отличаются от урожаев других вариантов. В противном случае пришлось бы вычислять поправку по повторениям и средний урожай в опыте, исключив все деланки дефектного варианта.

Произведя заново вычисления исправленных отклонений и их квадратов, находим сумму квадратов отклонений  $\sum v^2 = 34,11$  при 20 степенях свободы. Квадратическое отклонение  $\delta$  уменьшилось до 1,32 ц, ошибка среднего  $m$  для варианта стала 0,66 ц и ошибка разности  $m_D$  средних вариантов  $\pm 0,93$  ц. Но эта ошибка разности средних не применима в тех случаях, когда в сравнении участвует четвертый вариант, в котором только три повторения. Ошибка разности в этом случае будет равна 1,01 ц. Так как для четвертого 1,32 варианта  $m = \pm 1,32/\sqrt{3} = \pm 0,76$ , то, следовательно,

$$m_D = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2} = \pm \sqrt{0,76^2 + 0,66^2} = \pm 1,01.$$

Считая, что существенное различие (вероятное в 95% всех случаев) между разностями равно  $1,73 \times m_D$ , имеем  $1,73 \times 0,93 = 1,6$  ц и  $1,73 \times 1,01 = 1,75$ , т. е. все прибавки урожаев в нашем опыте заслуживают внимания, а действие подкормки аммофосом сильнее, чем другими фосфорными удобрениями.

В большинстве опытов особое значение имеют фоновые, или контрольные, деланки, с которыми сравниваются урожаи прочих вариантов опыта. Если хотя бы одна из этих деланок окажется почему-либо поврежденной, то точность наших выводов существенно уменьшится. Поэтому весьма важно иметь в опыте удвоенное количество фоновых (контрольных) деланок, т. е. иметь для фона два тождественных варианта. При вычислении ошибки опыта они участвуют как отдельные самостоятельные варианты.

Но при вычислении прибавки урожаев против фона (контроля) используется уже средний урожай для всех фоновых деланок. В этом случае ошибка фонового варианта меньше, чем ошибка прочих вариантов. Ошибка прибавок урожая против фона равна:

$$m_D = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2} \pm \sqrt{\left(\frac{m}{\sqrt{2}}\right)^2 + m^2} = + \sqrt{\frac{3m^2}{2}} = \pm 1,22 m,$$

вместо  $mD = \pm 1,41 m$ , когда сравниваются другие варианты. Увеличение числа контрольных (или фоновых) делянок не только гарантирует сохранность опыта, но и повышает точность основных выводов.

Приведенный способ обработки при помощи вычисления отклонений имеет преимущество большой наглядности: исследователь видит, что именно определяет точность его работы и какие отдельные урожайные данные сомнительны и какие средние величины заслуживают поэтому меньшего доверия. Так, средние для вариантов, в основе которых лежат сильно расходящиеся показания, должны быть оговорены, для таких вариантов приводятся средние как из всех повторений, так и из меньшего числа повторений, не вызывающих сомнений. Браковка делянок, дающих сильно отклоняющиеся показания ( $> 3 \delta$ ), специально оговаривается при опубликовании данных опыта.

Приведенный способ обработки результатов опыта позволяет использовать и метод анализа вариации Фишера. Для этого необходимо вычислить средний квадрат рассеяния (вариации) вариантов опыта. Вычисляем отклонения урожаев по вариантам от среднего урожая в опыте, возводим их в квадрат, определяем сумму квадратов и умножаем ее на число повторений (таблица 6.7).

Таблица 6.7 – Вычисление варьирования по вариантам

Вариант	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения	Вариант	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения
1	-3,0	9,00	5	+0,2	0,04
2	+1,0	1,00	6	+2,7	7,29
3	+0,2	0,04	7	-1,2	1,44
4	+1,1	1,21	8	-0,7	0,49
			Сумма квадратов	-	20,51

Получаем, что  $\sum (\sum v^2)$  для вариантов равна  $20,51 \times 4 = 82,04$ . Теперь легко можно составить таблицу анализа вариации в опыте по Фишеру (таблица 6.8), так как остальные необходимые величины уже были вычислены ранее. Чтобы установить пригодность опыта для решения поставленного вопроса, мы должны установить отношение среднего квадрата вариантов к среднему квадрату случайного отклонения; оно равно  $11,72 : 3,37 = 3,48$ .



Таблица 6.8 – Анализ варьирования  
в полевом опыте по Фишеру

Варьирование	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Отношение средних квадратов
Общее	31	257,66	-	-
Вариантов	7	82,04	11,72	3,48
Повторений	3	104,88	34,96	11,68
Случайное (остаточное)	21	70,74	3,37	-

Обратимся к данным приложения 1, учтя поправочную таблицу Снедекора. При наличии 21 степени свободы (7 – для вариантов и 3 – для повторений) для вероятности в 95% отношение между средними квадратами по таблице Снедекора должно быть не меньше 2,50; наше отношение равно 3,48. Для вероятности в 99% (приложение 2) находим, что соотношение между средними квадратами при указанных степенях свободы, по Снедекору, должно быть не меньше 3,65; наше же отношение только немного меньше его – 3,48. Следовательно, можно считать опыт вполне пригодным для решения вопроса, который в нем изучался.

Повторения опыта тоже существенно различались по своему плодородию. Отношение среднего квадрата для повторений к среднему квадрату случайного рассеяния при вероятности в 95% равно  $39,96 : 3,37 = 11,68$ . По таблице Снедекора для большей вероятности (в 99%) отношение должно быть в этом случае не менее 5,78; в данном опыте оно много больше – 11,68.

В практике опытного дела обработку результатов опыта часто ведут специальные отделы статистики. Это обеспечивает качество обработки. Но исследователь должен сам хорошо понимать, в силу каких особенностей опыта получилась та или иная степень его точности, что собственно характеризует полученные показатели и как их следует применять с различными целями. Это возможно только тогда, когда ему ясен весь ход обработки данных его опыта.

## Корреляционный и регрессионный анализы

В агрономических исследованиях редко приходится иметь дело с точными и определенными функциональными связями, когда каждому значению одной величины соответствует строго определенное значение другой величины. Чаще встречаются такие соотношения между переменными, когда каждому значению признака  $X$  соответствует не одно, а множество возможных значений признака  $Y$ , т. е. их распределение. Такие связи, обнаруживаемые лишь при массовом изучении признаков, в отличие от функциональных называются стохастическими или корреляционными.

При изучении корреляционных связей возникают два основных вопроса: о тесноте связи и о форме связи. Для измерения тесноты и формы связи используют специальные статистические методы, называемые корреляцией и регрессией.

**Корреляционная зависимость** – это согласованные изменения двух (парная корреляционная связь) или большего количества признаков (множественная корреляционная связь). Суть ее заключается в том, что при изменении значения одной переменной происходит закономерное изменение (уменьшение или увеличение) другой(-их) переменной(-ых).

**Корреляционный анализ** – статистический метод, позволяющий с использованием коэффициентов корреляции определить, существует ли зависимость между переменными и насколько она сильна.

**Коэффициент корреляции** – двумерная описательная статистика, количественная мера взаимосвязи (совместной изменчивости) двух переменных.

По форме корреляция может быть линейной и криволинейной, по направлению прямой и 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 числу связей корреляция может быть: простой, если исследуется связь между двумя признаками, и множественной, когда изучается зависимость между тремя и более признаками. 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.

Регрессионный и ковариационный анализы приобретают все больше значения в современных исследованиях в биологии и агрономии. Под регрессией понимается изменение резульативного признака  $Y$  при определенном изменении одного или нескольких факториальных.

**Значение корреляций и регрессий.** Если корреляционный анализ показал наличие сильной и достоверной связи, т. е. такой, которая установлена на уровнях вероятности  $P_{095}$  и  $P_{099}$ , проводят регрессионные анализы, вычисляя коэффициент регрессии  $b_{yx}$  или  $R_{yx}$ .

**Регрессия** – это характер и степень изменения одного из признаков  $X$  на единицу изменения другого признака  $Y$ . Например, с изменением длины листа на 1 см его площадь изменяется на 4,6 см.

После корреляционных и регрессионных анализов составляют уравнение 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.

Связь между функцией и аргументом выражается уравнением регрессии или корреляционным уравнением. При простой регрессии уравнение кратко обозначается  $Y = f(x)$ , а при множественной  $Y = f(X, Z, V \dots)$ .

Если степень связи между признаками велика, то по уравнению регрессии можно предсказать значение резульативного признака для определенных значений факториальных признаков. Для оценки

тесноты связи используют коэффициенты корреляции и корреляционное отношение.

Совместное применение методов корреляции, регрессии и дисперсионного анализа для уточнения эксперимента получило название ковариационного анализа.

**Суть ковариационного анализа** сводится к следующему. Если между результативным признаком  $Y$  и сопутствующим эксперименту не изучаемым признаком  $X$  имеет место значимая линейная связь, то методом ковариации можно статистически выровнять условия проведения опыта в отношении признака  $X$  и тем заметно снизить ошибку эксперимента и получить больше информации об изучаемом явлении.

В качестве числового показателя простой линейной корреляции, указывающего на тесноту и направление связи  $X$  с  $Y$ , используют коэффициент корреляции, обозначаемой буквой  $r$ . Он является безразмерной величиной, изменяющейся в области  $-1 < r < +1$ . Коэффициент корреляции рассчитывают по формуле:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

или, минуя вычисления отклонений и квадратов отклонений, по формуле:

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

Если каждой величине  $X$  соответствует только определенная величина  $Y$ , то корреляционная связь переходит в функциональную, которую можно считать частным случаем корреляционной.

При полных связях, когда корреляционная связь превращается в функциональную, значение коэффициента корреляции равно для положительных, или прямых, связей  $+1,0$ , для отрицательных, или обратных, связей  $-1,0$ . Чем ближе  $r$  к  $+1$  или к  $-1$ , тем теснее прямолинейная корреляционная связь; она ослабевает с приближением  $r$  к  $0$ . Когда  $r = 0$ , между  $X$  и  $Y$  нет линейной связи, но криволинейная зависимость может существовать.

Квадрат коэффициента корреляции ( $r^2$ ) называется **коэффициентом детерминации** и обозначается  $d_{yx}$ . Он показывает долю (%) тех изменений, которые в данном явлении зависят от изучаемого фактора. Коэффициент детерминации является более непосредственным и прямым способом выражения зависимости

одной величины от другой, и в этом отношении он предпочтительнее коэффициента корреляции. В случае, где известно, что зависимая переменная  $Y$  находится в причинной связи с независимой переменной  $X$ , значение  $r^2$  показывает ту долю элементов в вариации  $Y$ , которая определена влиянием  $X$ . Поэтому когда употребляют, например, выражение «50% колебаний в урожае вызывается колебаниями в выпадении осадков», то здесь 50 % – коэффициент детерминации.

Считается, что при  $r < 0,3$  корреляционная зависимость между признаками слабая,  $r = 0,3 - 0,7$  – средняя, а при  $r > 0,7$  – сильная.

$$s_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}$$

Коэффициент корреляции указывает на направление и степень сопряженности в изменчивости признаков, но не позволяет судить о том, как количественно меняется результатный признак при изменении факториального на единицу измерения, что важно в познавательных и практических целях.

В подобных случаях на помощь приходит регрессионный анализ. Его основная задача – определить формулу корреляционной зависимости, т. е. составить уравнение прямой линии.

Уравнение линейной регрессии  $Y$  по  $X$  имеет вид:

$$Y = \bar{y} - b_{xy}(X - \bar{x})$$

где  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – средние арифметические для ряда  $X$  и  $Y$ ;

$b_{xy}$  – коэффициент регрессии  $Y$  по  $X$ .

Коэффициент регрессии вычисляют по формулам:

$$b_{yx} = \frac{\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sum(X - \bar{x})^2} \quad \text{и} \quad b_{xy} = \frac{\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sum(Y - \bar{y})^2}$$

Коэффициент регрессии  $b_{xy}$  показывает, как изменяется  $Y$  при изменении  $X$  на единицу измерения, и выражается в единицах  $Y$ , а  $b_{yx}$  указывает регрессию  $X$  на  $Y$  и выражается в единицах  $X$ . При исследовании односторонней зависимости, например, корреляции между урожаями  $Y$  и количеством выпавших осадков  $X$  вычисляют только один коэффициент регрессии результативного признака  $Y$  на

факториальный  $X$ , т. е. значение  $b_{xy}$ , так как регрессия  $X$  по  $Y$  лишена в подобных случаях логического смысла.

### Ковариационный анализ

Ковариационный анализ – одновременный анализ сумм квадратов и сумм произведений отклонение двух или более переменных от их средних. Он используется при планировании и статистической обработке результатов опыта как способ уменьшения ошибки эксперимента, не поддающейся непосредственному контролю (выравниванию).

Ковариационный анализ позволяет установить соотношение между вариацией зависимой переменной, например урожая  $Y$ , и вариацией, сопутствующей эксперименту переменной  $X$ , например исходным состоянием многолетних деревьев, густотой стояния растений, содержанием в почве питательных веществ и т. д. На основе соотношения проводится статистическое выравнивание условий эксперимента.

Статистический контроль над сопутствующей опыту переменной при условии, что ее вариация не связана с изучаемым фактором, дает возможность получить такой конечный результат, который был бы получен при сохранении величины  $X$  на постоянном уровне.

Это заметно уточняет результаты опыта, снижает его ошибку. В узком смысле под ковариацией, обозначаемой  $cov$  или  $s_{xy}$  в математической статистике понимается среднее произведение отклонений двух переменных от их средних:

$$cov = \frac{\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{n - 1}$$

Ковариация может быть как положительной, так и отрицательной.

В более широком смысле ковариацией называют совокупность трех статистических показателей: средних арифметических  $x$  и  $y$ , сумм квадратов отклонений  $\sum(X - \bar{x})^2$  и  $\sum(Y - \bar{y})^2$ . суммы произведений отклонений  $\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})$ . Параллельное разложение этих величин по факторам варьирования и составляет суть ковариационного анализа.

Ковариационный анализ включает три основных этапа:

1) дисперсионный анализ ряда X, Y и произведений XY;

2) разложение остаточной дисперсии  $C_z$  по ряду Y (остаток I) на сумму квадратов отклонений, обусловленную регрессией Y по X, обозначаемую  $C_b$ , и сумму квадратов отклонений от регрессии  $C_{d_{y \times x}}$  (остаток II);

$$C_z \text{ (остаток I)} = C_b + C_{d_{y \times x}} \text{ (остаток II)};$$

3) приведение фактических средних по ряду Y к полной выравненности условий эксперимента по ряду сопутствующей переменной X.

Таким образом, ковариационный анализ - это распространение методов дисперсионного анализа на случай нескольких переменных, а так же корреляционного и регрессионного анализов на общие схемы полевых, вегетационных и лабораторных экспериментов.

Когда между переменной Y, подлежащей изучению, и сопутствующей переменной X можно предполагать линейную связь, то целесообразно запланировать измерение величины X. Это дает возможность получить дополнительную информацию об изучаемом явлении и использовать регрессию в целях уточнения эксперимента.

Сумму квадратов отклонений, обусловленную регрессией Y по X, определяют по формуле:

$$c_b = \frac{[\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})]^2}{\sum(X - \bar{x})^2}$$

Сумму квадратов случайного варьирования, т. е. сумму квадратов отклонения от регрессии, находят по разности как остаток:  
 $C_{d_{y \times x}}$  (остаток II) =  $C_z$  (остаток I) -  $C_b$

Коэффициент регрессии Y по X определяют по формуле:

$$b_{yx} = \frac{\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sum(X - \bar{x})^2}$$

Результативный признак Y выравнивают по соотношению

$$Y_1 = Y + b_{yx}(\bar{x} - X),$$

где  $Y_1$  - скорректированное значение даты,

Y - фактическое значение даты;

$b_{yx}$  - коэффициент регрессии Y по X;

$\bar{x} - X$  - разность между средним значением независимой переменной по опыту  $\bar{x}$  и фактическим ее значением  $X$ .

Выравнивают обычно только итоговые данные, т.е. средние, поэтому в уравнении регрессии  $Y$  и  $X$  будут соответствовать средним по вариантам опыта.

В агрономических исследованиях ковариационный анализ целесообразно использовать для уточнения опыта в двух основных случаях:

1) если на результативный признак может оказать заметное влияние разное исходное состояние условий эксперимента – плодородие почвы, мощность многолетних растений и т. п., которые могут быть измерены в начале опыта;

2) если на изучаемый признак в процессе эксперимента оказывают влияние не зависящие от вариантов опыта причины – выпадение растений и повреждение их болезнями, вредителями, птицами и т. д.

Правильное применение ковариационного анализа предполагает независимое от вариантов опыта распределение случайной величины  $X$ . Если сопутствующая  $X$  имеет отношение к изучаемым вариантам, то исключение части эффекта неправомерно, так как это ведет к исключению части эффекта варианта.



## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Агрегатопоника** – выращивание растений на твердых сыпучих материалах, которые смачивают периодически питательным раствором. Сущность его в том, что растения выращивают на гранулированных корнеобитаемых средах, в которые периодически вводят питательный раствор.

**Вариантами** называют те различные условия, при которых выращивают растения в опытах. Вариантами могут быть отдельные агроприёмы, 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.

**Водные культуры** - выращивание растений в сосудах на водном растворе питательных веществ. Водная культура - в производстве имеет ряд преимуществ: не нужен субстрат и его дезинфекция, резервуары наполняют один раз в 2-3 недели. Данный тип используется тогда, когда выращиваются растения, потребляющие большое количество питательных веществ, которые не могут получить в достаточном количестве, питаясь через фитили.

**Воздушная культура (аэропоника)** – выращивание растений без почвы или ее заменителя во влажном воздухе при периодическом опрыскивании корней питательным раствором.

**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.

**Гидропоника** - выращивание растений на искусственных питательных растворах без почвы в специальных сооружениях. Выращивание в гидропонной установке может рассматриваться как первое приближение к жизни растения на почве.

**Документация:** 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.

**Достоверность опыта методическая** – это чёткое 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 ( $r$ ), регрессией ( $R_{xy}$ ) и др. с помощью статистических критериев ( $t$ ,  $F$ ) и наименьших существенных разностей НСР.

**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.

**Корреляционная зависимость** – это согласованные изменения двух (парная корреляционная связь) или большего количества признаков (множественная корреляционная связь). Суть ее заключается в том, что при изменении значения одной переменной происходит закономерное изменение (уменьшение или увеличение) другой(-их) переменной(-ых).

**Корреляционный анализ** – статистический метод, позволяющий с использованием коэффициентов корреляции определить,

существует ли зависимость между переменными и насколько она сильна.

**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 обозначаются символом  $r$ .

**Коэффициент корреляции** – двумерная описательная статистика, количественная мера взаимосвязи (совместной изменчивости) двух переменных.

**Культура на твердых субстратах.** Важным является выбор инертного твердого субстрата, способного не изменять концентрацию элементов и рН раствора и не выделять вредных примесей. Используют графит, щебенку, вулканические туфы, керамзит, кирпич.

**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.

**Опыт, эксперимент** – это искусственное создание различных условий для исследуемых растений с целью выявления наиболее эффективных вариантов в процессе учётов и наблюдений.

**Опытная делянка в полевых опытах** – это земельная площадь прямоугольной формы определённого размера, на которой изучают только один из вариантов опыта – агроприём, технологию, сорт и т. д. Опытные делянки состоят из учётной

части, которая находится внутри, и защитной, которая ограничивает её снаружи. Все учёты и наблюдения проводят на учётной части делянок, которая является элементарной 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. Ещё более широкими делают защитки вокруг всего опыта (для защиты от наездов транспорта, дорожной пыли, потрав животными, хищений и т. п.).

**Опытное дело в агрохимии** – 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.

**Опыты географические** 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.

**Опыты демонстрационные (показательные)** призваны пропагандировать достижения науки и передового опыта непосредственно на производстве. Их закладывают в передовых показательных хозяйствах для наглядной демонстрации преимуществ новых технологий в конкретных условиях района, а также в научных учреждениях и вузах.

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

**Опыты единичные** проводят также в разных географических пунктах, но не по единой программе учреждения-координатора, а

по схеме, созданной отдельными исследователями или их группами. Более ценными являются географические опыты, которые позволяют обобщать результаты в пределах района, области, края и в отдельных почвенно-климатических зонах.

**Опыты краткосрочные** 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. 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.

**Опыты мелкоделяночные** используют для изучения глубины заделки семян, площадей питания, 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.

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

**Опыты по учету эффективности новых агроприемов** используют как для проверки агроприемов, уже рекомендованных научными учреждениями, так и для их усовершенствования в конкретных условиях хозяйства.

**Опыты производственные** – это комплексные научные исследования, целью которых является изучение не отдельных элементов агротехники, а технологий в целом, организационно-хозяйственных мероприятий. Их закладывают, как правило, в передовых хозяйствах с определенной специализацией.

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

2 лет для выявления тех агроприемов, которые необходимо изучать в последующих опытах. К разведывательным опытам относятся и рекогносцировочные посевы для выявления степени изменения плодородия почвы на месте будущего опыта.

**Опыты точные сравнительные** 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.

**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.

**Относительная ошибка опыта (наблюдения)** – это ошибка опыта, выраженная в процентах по отношению к среднему арифметическому значению, обозначается  $s_{\bar{x}}\%$ .

**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  $s_{\bar{x}}$ .

**Ошибки грубые** — 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 обрабатывают почву и т. д. Из-за грубых ошибок приходится браковать отдельные делянки, повторения или даже весь опыт.

**Ошибки систематические** — 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.

**Ошибки случайные** 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.

**Песчаные культуры** - это вегетационный опыт, в котором растения выращивают в сосудах с чистым кварцевым песком, обогащенных питательными солями.

**Повторение** – это часть площади опыта с полным набором вариантов согласно схеме опыта. Повторность опыта необходимо соблюдать не только в пространстве, но и во времени.

**Повторность опыта** – число делянок в каждом опыте с одинаковым содержанием вариантов. 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, 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.

**Посевы рекогносцировочные** - это сплошной посев какой-либо культуры на участке, предназначенном для опыта с целью выявления пестроты почвенного плодородия дробным учетом урожая.

**Посевы уравнивательные** – это сплошной посев какой-либо культуры с целью выравнивания плодородия почвы, обработку почвы, внесение удобрений, приемы по уходу за растениями проводят на высоком агротехническом уровне. Уравнивательные посевы хорошо устраняют почвенную пестроту.

**Регрессия** – степень и характер изменения одного из показателей в опыте на единицу измерения другого. Например, увеличение или уменьшение массы урожая на 100 кг внесённых удобрений; колебание сахаристости корней сахарной свёклы в процентах при изменении урожая на 1 т. Регрессия обозначается  $R_{xy}$ . С увеличением одного из показателей второй также может увеличиваться, тогда это *прямолинейная* корреляция. 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*.

**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.

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

**Случайный метод размещения делянок** имеет несколько разновидностей: рендомизированные повторения, полная рендомизация, латинский квадрат, латинский прямоугольник, расщепленные делянки, метод смешивания.

**Стандартный метод** - возле каждого варианта (сорта) размещается контрольный (стандартный) вариант. Если стандарт размещается через одну делянку, то это ямб-метод, если через две - дактиль-метод. Если опытные делянки делят поперек на маленькие деляночки (парцеллы), то это парный метод П. Н. Константинова.

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

**Схема опыта** – это перечень логично подобранных вариантов с определёнными контролями (стандартами), объединённых конкретной темой, идеей. Агротехнические приёмы, технологии и сорта изучают в пределах экспериментальных единиц, т.е. на опытных делянках.

**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.

**Точность опыта** – величина, обратная его ошибке. Чем ниже относительная ошибка опыта, тем выше его точность. При значении  $s_{\bar{x}}\%$  более 7 % точность опыта считается неудовлетворительной.

**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.



**Фактор** - это элемент агротехники, 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, дозы, виды удобрений, но на одном агротехническом фоне). *Многофакторные опыты* включают одновременно несколько факторов. Эти опыты более сложные, но они дают больше информации и поэтому имеют большую научную и практическую ценность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В. В. Планирование, методология, методика, модификации длительных опытов с удобрениями и математико-статистические методы обработки экспериментальных данных: метод.указ. / В. В. Агеев, А. И. Подколзин, С. В. Динякова. – Ставрополь : СтГау, 2007 – 384 с.
2. Агеев, В. В. Системы удобрения в севооборотах Юга России / В. В. Агеев, А. И. Подколзин. — Ставрополь. 2001. – 352 с.; ил.
3. Ащи, Д. Сельскохозяйственная экология. – М. : Сельхозгиз, 1932. - 334 с.
4. Баранов, П. Ф. Основные задачи наших сельскохозяйственных учреждений : Труды ВЭО, 1910.
5. Буря, В. Ю. Метод гравийной культуры при изучении вопросов питания / В. Ю. Буря, С. И. Краснохина. – [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vinograd.info/knigi/metodiki-pofiziologo-biohimicheskim-issledovaniyam/metod-graviynoy-kultury-pri-izuchenii-voprosov-pitaniya.html> Дата обращения 08.01.2021 г.
6. Винер, В. В. О реорганизации опытного дела в России в связи с порайонным изучением сельского хозяйства : Труды ВЭО, 1908.
7. Всё об агрохимии : Оценка точности опыта – [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://agrohimija24.ru/agrohimicheskie-metody/1991-ocenka-tochnosti-opyta.html> Дата обращения 10.12.2020 г.
8. Герц, Г. Соотношение между экспериментом, моделью и теорией в процессе естественнонаучного познания // Эксперимент. Модель. Теория. – М. : Берлин : Наука, 1982. – С. 5-22.
9. Гсьямин, Е. Р. и др. Модель формирования урожая агробиоценоза и её идентификация // Принципы управления продукционными процессами в агроэкосистемах. – М. : Наука, 1976.

10. Докучаев, В. В. К вопросу об организации опытных полевых станций в России. : Избр. соч. – Т. II. – М., 1949. – С. 336-339.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). -5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : «Колос», 1985. – 416 с.
13. Дояренко А.Г. Краткое руководство к постановке вегетационных опытов. – М., 1912.
14. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. – М.: Наука, 1968. – 265 с.
15. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. – Москва, 1968.
16. Иванов Д. А. Ландшафтно-адаптивные системы земледелия (Агроэкологические аспекты). – Тверь, 2001. – 304 с.
17. Имитационная система поддержки и обобщения результатов многолетних полевых опытов в земледелии / О. Д. Сиротенко, В. А. Романенков, Л. К. Шевцова // «Совершенствование методики проведения длительных полевых опытов и математические методы разработки экспериментальных данных». – М. : Агроконсалт, 2003. – 276 с. (С. 84-89)
18. Использование статистических методов при исследовании информационных баз данных длительных опытов по органическому веществу почвы / В. А. Романенков, С. О. Канзываа, Л. К. Шевцова // «Совершенствование методики проведения длительных полевых опытов и математические методы разработки экспериментальных данных». – М. : Агроконсалт, 2003. – 276 с. (С. 105-116)
19. Кап, Н. А. Методические вопросы экспериментального обеспечения имитационного моделирования агроценозов / Н. А. Кан, И. Н. Юшин // Методы и средства автоматизации внутрихозяйственных гидромелиоративных систем. – М, 1987.

20. Кирюшин Б. Д. Основы научных исследований в агрономии. – М. : КолосС, 2009.
21. Константинов, П. И. Основы сельскохозяйственного дела. – М. : Сельхозгиз, 1952.
22. Литл, Т. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ / Т. Литл, Ф. Хилз. – Пер. с англ. – М. : Колос, 1989. – 320 с.
23. Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ / пер. с англ. — М. : Колос, 1981. – 320 с.
24. Менделеев, Д. И. Об организации сельскохозяйственных опытов при ВЭО. – Труды ВЭО, 1866.
25. Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами. – М. : Издательство «Наука», 1967. – 179 с.
26. Минеев В. Г. Агрохимия. – М. : Изд-во МГУ. – 2003. – 384 с.
27. Минеев В. Г., Лебедева Л. А. История агрохимии и методологии агрохимических исследований. – М. : Изд-во МГУ.. – 1999. – С. 261-271.
28. Моисейченко В. Ф., Заверюха А. Х., Трифонова М. Ф. Основы научных исследований в плодоводстве, овощеводстве и виноградарстве. – М.: Колос, 1994. – 384 с.
29. Моисейченко В. Ф., Заверюха А. Х., Трифонова М. Ф. Основы научных исследований в плодоводстве, овощеводстве и виноградарстве. – М. : Колос, 1994 – 384 с.
30. Моисейченко В. Ф., Трифонова М. Ф., Заверюха А. Х., Ещенко В. Е. Основы научных исследований в агрономии. – М. : Колос, 1996. – 336 с.
31. Молостов, А. С. Методика полевого опыта. – М. : Колос, 1965. – 239 с.
32. Налимов, В. В. Теория эксперимента. – М. : Наука, 1971.
33. Никитин, Е. П. Объяснение – функция науки. – М. : Наука, 1970. – 280 с.

34. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха, В.Е. Ещенко. – М. : Колос, 1996. – 336 с.
35. Особенности методики полевых исследований и статистической обработки их результатов при изучении эффективности дифференцированного применения удобрений / Р. А. Афанасьев // «Совершенствование методики проведения длительных полевых опытов и математические методы разработки экспериментальных данных». – М. : Агроконсалт, 2003. – 276 с. (С. 258-271)
36. Перегудов, В. Н. Проведение многофакторных опытов с удобрениями и математический анализ их результатов / под ред. В. Н. Перегудова. – М. : ВИУА, 1976. – 112 с.
37. Перегудов, В. Н. Совместное действие нескольких факторов, теория Митчерлиха и правила Риппела : тр. НИУИФ. – Вып. 43, 1933.
38. Планирование экспериментов в биологии и сельском хозяйстве. – М. : МГУ, 1991. – 221 с.
39. Полуэктов, Р. А. Автоматизация имитационного эксперимента при моделировании агроэкосистем // Науч.-техн. бюл. по агрономической физике. – СПб., 1980. – № 42.
40. Полуэктов, Р. А. Полевой опыт и математические модели продукционного процесса // Современные проблемы опытного дела : м-лы Междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2000. – Т. I. – С. 29-35.
41. Прохорова, З. А. Изучение и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта / З. А. Прохорова, А. Фрид. – М. : Наука, 1993. – 189 с.
42. Семенов, В. А. Потепление климата и стратегия научных исследований в сельском хозяйстве / Материалы Российско-Финского симпозиума «Разработка экологически безопасных методов ведения сельского хозяйства». – СПб., 1993. – С. 22-31.
43. Семенов, В. А. Потепление климата и стратегия научных исследований в сельском хозяйстве: материалы Российско-

- Финского симпозиума «Разработка экологически безопасных методов ведения сельского хозяйства». – СПб., 1993. – С. 22-31.
44. Семенов, В. А. О необходимости и возможностях интенсификации экспериментальной работы // Современные проблемы опытного дела : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2000. – Т. 1. – С. 35-43.
45. Семенов, В. А. О необходимости и возможностях интенсификации экспериментальной работы // Современные проблемы опытного дела : м-лы Междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2000. – Т. 1. – С. 35-43.
46. Семенов, В. А. Полевой опыт. Новая концепция. Совершенствование методики проведения длительных полевых опытов и математические методы обработки экспериментальных данных. – М. : Агроконсалт, 2003. – С. 8-31.
47. Семенов, В. А. Полевой опыт. Новая концепция. Совершенствование методики проведения длительных полевых опытов и математические методы обработки экспериментальных данных. – М. : Агроконсалт, 2003. – С. 8-31.
48. Семенов, В. А. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / В. А. Семенов, Л. К. Шевцова, В. А. Романенков. – М. : Агроконсалт, 2003. – 276 с.
49. Симакин, А. И. Удобрения, плодородие почв и урожай. – С. 249-256.
50. Сиротенко, О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – М. : Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.
51. Соколов, А. В. Вегетационный метод / А. В. Соколов, А. И. Ахромейко, В. Н. Панфилов – М. : Сельхозгиз 1938.
52. Способ гидропонного выращивания растений, устройство для осуществления способа и плавающая платформа этого устройства / Н. И. Туркин, А. А. Мурашов, П. В. Садовников, П. П. Потапов // [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://plastoponica.ru/> Дата обращения 11.01.2021 г.

53. Федоровский, Д. В. Поступление воды и питательных веществ в растения из неоднородной почвы // *Агрохимия*. – 1964. – № 2.
54. Харвей, Д. Научное объяснение в географии. – М. : Прогресс, 1974. – 502 с.
55. Шахмейстер, А. И. и др. К методике комплексных полевых опытов по идентификации динамических моделей агроценозов // *Параметры и модели плодородия почв и продуктивности агроценозов*. – Пушкино, 1985.
56. Шеуджен А. Х., Бондарева Т. Н. Методика агрохимических исследований : учеб.пособ. / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева. - Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.
57. Шеуджен А. Х., Куркаев В. Т., Котляров Н. С. *Агрохимия*. – Майкоп., 2006. – 1075 с.
58. Шеуджен, А. Х. Курс лекций по Экспериментальной агрохимии. – Краснодар : КубГАУ, 2014.
59. Юдин, Ф. А. Методика агрохимических исследований. – М.: Колос, 1972. – 270 с.
60. Vox G., Wilson K. On the experimental of optimum conditions. — *J. Roy Stat*, 1951, 1313. – P. 4-15.
61. Vox, G. Robust design / G. Vox, N. Draper // *Biometrika*, 1975. – Vol. 62 – P. 347-352.
62. Braithwaite, R. B. *Scientific Explanation*. – N. Y., 1960. – 480 p.
63. Cure, B. The Process of Implementing “Good Experimental Practice” in a research institute: Proc. of the Tenth Intern. Conf. of Mechanic of Field Experiments. – Paris : Versailles, 1996. – P. 91-99.
64. Ficher, R. A. *The Design Experiments*. – London : O. and – B., 135.
65. McKinion J. M., Baker D. M. ModeUng, Experimentation Verification: Closing the Feedback Loop / J. M. McKinion, D. M. Baker – *ASAF. Paper.*, 1979. – P. 79.

66. Nagel, E. The Structure of Science: Problems in the Logic and Scientific Explanations. – N. Y., 1961. – 618 p.
67. Popper, K. R. The Logic Scientific Discovery. — N. Y., 1959.
68. Start, J. J. Can Biology be on Exact Science // Syntheses – 1959. – № 1.
69. Yates, F. Complex Experiments // J. Roy. Stat. Sos. – 1935. – № 2. – P. 181-247.



Приложение 1 – Таблица величин  
для вероятности в 95% по Снедекору

Число степеней свободы меньшего среднего квадрата ( $n_1$ )	Число степеней свободы большего среднего квадрата ( $n_2$ )											
	1	2	3	4	5	6	7	8	12	20	40	∞
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,00	3,87	3,77	3,67
7	5,99	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,57	3,44	3,34	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,28	3,15	3,05	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,27	3,29	3,22	3,06	2,93	2,82	2,71
10	4,97	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	2,91	2,77	2,67	2,54
11	4,84	3,99	3,59	3,36	3,21	3,10	3,01	2,95	2,79	2,65	2,53	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,69	2,54	2,42	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,84	2,77	2,61	2,46	2,34	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,54	2,39	2,27	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,05	2,90	2,79	2,70	2,64	2,48	2,33	2,21	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,42	2,28	2,16	2,01
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,34	2,19	2,07	1,92
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,28	2,12	1,99	1,84
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,47	2,40	2,23	2,07	1,93	1,78
24	4,26	3,40	3,01	2,79	2,62	2,51	2,43	2,36	2,19	2,02	1,89	1,73
26	4,22	3,37	2,97	2,74	2,58	2,47	2,39	2,32	2,15	1,99	1,85	1,69
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,08	1,93	1,79	1,62
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	2,01	1,94	1,75	1,57	1,40	1,00

Приложение 2 – Таблица величин  
F для вероятности в 99% по Снедекору

Число степеней свободы меньшего среднего квадрата ( $n_2$ )	Число степеней свободы большего среднего квадрата ( $n_1$ )											
	1	2	3	4	5	6	7	8	12	20	40	∞
6	13,7	10,9	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,72	7,39	7,14	6,88
7	12,3	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,47	6,15	5,90	5,65
8	11,3	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,67	5,36	5,11	4,86
9	10,6	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,11	4,80	4,56	4,31
10	10,0	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,71	4,41	4,17	3,91
11	9,65	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,40	4,10	3,86	3,60
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,16	3,86	3,61	3,30
13	9,07	6,70	5,74	5,20	4,86	4,62	4,44	4,30	3,96	3,67	3,42	3,16
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,28	4,14	3,80	3,51	3,26	3,00
15	8,68	6,46	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,67	3,36	3,12	2,87
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,55	3,25	3,01	2,75
18	8,28	6,01	5,09	4,57	4,25	4,01	3,85	3,71	3,37	3,07	2,83	2,57
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,23	2,94	2,69	2,42
22	7,94	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,12	2,83	2,58	2,31
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,03	2,74	2,49	2,21
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	2,96	2,66	2,41	2,13
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	2,84	2,55	2,29	2,01
∞	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,18	1,87	1,59	1,00