

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# КУРС ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

**Б1.В.ДВ.1.2 Экспериментальная агрохимия**

---

Код и направление  
подготовки

**35.06.01**  
**Сельское хозяйство**

---

Наименование профиля  
программы подготовки научно-  
педагогических кадров в аспирантуре/

**Агрохимия**

---

Квалификация  
(степень) выпускника

**Преподаватель.**  
**Преподаватель-**  
**исследователь**

---

Факультет

***Агрохимия и почвоведение***

---

Кафедра – разработчик

***Агрохимия***

---

Ведущий преподаватель

***Шеуджен А.Х.***

---

**Краснодар 2014**

# 1 Содержание дисциплины

## 1.1 Содержание лекций

Таблица 1

| № темы лекции | Наименование темы и план лекции                              |
|---------------|--|
| 1             | Методологические основы, виды и уровни научных исследований. |
| 2             | Методы исследований.   |
| 3             | Классификация и характеристика опытов.                       |
| 4             | Вегетационный опыт.  |
| 5             | Полевой опыт.  |
| 6             | Основы статистической обработки данных.                      |

### **Методологические основы, виды и уровни научных исследований – 2 часа.**

Зарождение опытного дела и его совершенствование в России.

Вклад учёных в опытное дело: В. В. Докучаев, П. А. Костычев, А. А. Измаильский, А. И. Душечкин, А. Г. Дояренко, Д. Н. Прянишников и др.

Структура и задачи научных учреждений. Лаборатории, опорные пункты, опытные поля, научные отделы, опытные станции, институты, академии наук.

Методологические основы научного познания. Научные исследования. Этапы научных исследований.

Уровни и виды исследований – эмпирический и теоретический. Суждение, умозаключение. Фундаментальные и прикладные исследования. Системный подход в науке. Основные понятия и термины – эксперимент, контрольный вариант, схема опыта, повторность опыта, опытная делянка, достоверность опыта, ошибка опыта, точность опыта, корреляция, регрессия.

**1.1.** Опытное дело в агрономии зародилось одновременно с возникновением земледелия.

Опытное дело совершенствовалось одновременно с возникновением и совершенствованием учебных заведений, особенно высших. Первым высшим учебным заведением в России была Киево-Могилянская академия, основанная в 1615 г., а её первым учёным-естествоиспытателем, ботаником,

метеорологом был Ионикий Галятовский. В стенах академии учились многие выдающиеся русские учёные, в том числе М. В. Ломоносов.

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

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

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

В 1922 г. был создан Центральный научно-исследовательский институт по сельскому хозяйству, в 1924 г. – Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур, а в 1929 г. организована Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук во главе с выдающимся учёным Н. И. Вавиловым. Академия располагала большой сетью научно-исследовательских институтов и новых опытных станций как отраслевого, так и зонального значения.

В системе Министерства сельского хозяйства в 1973 г. функционировало 671 научное учреждение, в которых работало около 60 тыс. сотрудников.

Огромный вклад в опытное дело внесли учёные В. В. Докучаев, П. А. Костычев, А. А. Измаильский, А. И. Душечкин, А. Г. Дояренко, Д. Н. Прянишников и многие другие.

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

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

Повторность опыта необходимо соблюдать не только в пространстве, но и во времени.

**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.

**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  $s_{\bar{x}}$ .

**Относительная ошибка опыта (наблюдения)** – это ошибка опыта, выраженная в процентах по отношению к среднему арифметическому значению, обозначается  $s_{\bar{x}}\%$ .

**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.

**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 буквой  $r$ .

**Регрессия** – степень и характер изменения одного из показателей в опыте на единицу измерения другого. Например, увеличение или уменьшение массы урожая на 100 кг 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 мы встречаемся с прямолинейной корреляцией. Но бывают и такие явления, когда с постоянным увеличением доз удобрений урожайность сначала увеличивается, затем стабилизируется на одном уровне, а потом снижается. Такая зависимость называется криволинейной.

Методы размещения вариантов в опытах подразделяются на случайные (рэндомизированные), т. е. выбранные по жребью; систематические –

варианты размещаются в последовательности, которая указана в схеме опыта; стандартные, когда контрольный вариант размещается возле опытного.

## **1.2 СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

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

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

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

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

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

станций или непосредственно институтов и проводят работу под их методическим руководством.

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

Опытные станции осуществляют научную разработку агротехнических мероприятий в конкретных естественно-экономических условиях и дают рекомендации производству. Они ведут пропаганду достижений науки и передовой практики. Станции подразделяются на отраслевые, которые подчинены отраслевым научно-исследовательским институтам; самостоятельные отраслевые, которые подчинены непосредственно Министерству сельского хозяйства и продовольствия; государственные комплексные опытные станции, подчиняющиеся областным (краевым) управлениям сельского хозяйства.

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

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

Академия сельскохозяйственных наук – высшее научное учреждение России. Её членами являются выдающиеся учёные, которые руководят институтами и отделениями академии в различных краях и зонах. Академия

разрабатывает важнейшие проблемы во всех отраслях сельскохозяйственной науки.

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

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

### **1.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ**

**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.

**Опыт, эксперимент** – это искусственное создание различных условий для исследуемых растений с целью выявления наиболее эффективных вариантов в процессе учётов и наблюдений. 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.

**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 пятивариантов (30, 60, 90, 120, 150кг/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.

**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.

**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 (рис. 1).

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.).

**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

**Научное исследование** – это изучение конкретного объекта, явления или предмета для раскрытия закономерностей его возникновения и развития.

Характерные черты научных исследований: объективность, возможность воспроизведения, доказательность и точность результатов.

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

#### **1.4 УРОВНИ И ВИДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

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

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

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

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

Все эксперименты служат источником теоретических представлений.

На теоретическом уровне исследований синтезируются новые знания, формулируются общие закономерности в определённой области. Теория – это система обобщённых знаний, объяснение определённых явлений действительности. Результаты экспериментов в обобщённом виде становятся частью определённой теории. Теория также помогает интерпретировать результаты эмпирических исследований. Критерием правильности теории является эксперимент.

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

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

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

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

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

Фундаментальные исследования направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы. Их результатом является законченная система научных знаний и ориентация на использование этих знаний в определённой отрасли практической деятельности человека. Примеры таких исследований – изучение процессов фотосинтеза, биологической фиксации азота из воздуха, тайн наследственности, расшифровка молекул ДНК, РНК и т. п. Такие исследования ведутся на грани известного и неизвестного. Из-за некоторой неопределённости фундаментальных исследований повышается роль случая и приобретает особое значение интуиция исследователя.

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

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

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

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

## **1.5 СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В НАУКЕ**

Системный подход начал занимать одно из ведущих мест в научном познании, особенно во второй половине XX в. Его сущность состоит в

исследовании объектов как систем (например, исследование живого организма с его составными частями, внутренними и внешними связями, сведение главной информации об организме в единую теорию, раскрытие сущности организма, его целостности). Яркий пример системного подхода в науке – развитие академиком В. И. Вернадским учения о биосфере и ноосфере, основу которого составляет новый тип сложных объектов глобального масштаба – биогеоценозе. Идеи системного подхода используют также в систематике растений, экологии, при изучении фотосинтеза и т. д. В частности, одним из объектов экологического исследования является экосистема.

Значение системного подхода заключается в следующем: понятия и принципы системного подхода имеют более широкую познавательную реальность по сравнению с прежними подходами; в основе системного подхода лежат поиск конкретных механизмов целостности объекта и выявление достаточно полной технологии его связей (такая связь была установлена в экологии благодаря представлению о пищевых цепях сообществ); сложный объект нуждается не в одном, а в нескольких расчленениях, одно из которых является наиболее обоснованным и лучше всего фиксирует свойства объекта исследований, его структуру (пример такого подхода – определители болезней, вредителей, сортов растений и т. п.).

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

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

Системный подход широко используют в странах с развитой рыночной экономикой.

## **Тема №2 Методы исследований – 2 часа.**

Общенаучные методы – гипотеза, эксперимент, наблюдения, анализ, синтез, индукция, дедукция, абстрагирование, конкретизация, аналогия, моделирование, формализация, инверсия, обобщение.

Специальные методы – лабораторный, вегетационный, лизиметрический, вегетационно-полевой, полевой, экспедиционный.

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

Вегетационный метод – как метод исследования растений, выращиваемых в сосудах в стеклянных домиках при строго контролируемых условиях внешней среды сроком от нескольких дней до нескольких месяцев

Лизиметрический метод – исследование растений и свойств почвы в поле для изучения баланса влаги и элементов питания.

Полевой метод – как метод проведения полевых опытов и основной метод научной агрономии.

Экспедиционный метод – как метод изучения и обобщения агрохимических вопросов непосредственно на производстве с помощью обследования посевов культур.

Роль ученых в разработке методов исследования.

Для решения задач агрохимии используют различные **методы исследования**.

В переводе с греческого **«метод»** - «путь исследования или путь познания». **Метод** – это упорядоченная деятельность исследователя, направленная на получение новых знаний.

**Методика** – это совокупность методов практического обучения. Это наука о методах исследования. *Метод и методика понятия разные.*

Агрохимические методы исследования рассматривают теоретические основы и технику методов исследования, используемых агрохимиками в научной и производственной работе.

Используемые в агрохимии методы подразделяют на общенаучные и конкретно-научные (специальные).

## 1.1. Общенаучные методы.

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

**Гипотеза** – научное предположение, истинное значение которого является неопределённым. Различают гипотезы как метод развития научных знаний и как составную часть научной теории. Если гипотезы выдвигают для развития знаний, то сначала высказывают определённые предположения, которые потом проверяют экспериментально.

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

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

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

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

**Эксперимент** – метод познания, с помощью которого в искусственно созданных и контролируемых условиях изучают объекты и происходящие в них процессы. С помощью экспериментов проверяют гипотезы.

В эксперименте то или иное явление создают искусственно, не ожидая, пока оно появится в природе (орошают, удобряют, высевают семена разными нормами, на различную глубину, используют фунгициды, инсектициды, гербициды и т. п.). В одном и том же эксперименте можно изучать несколько явлений, при этом опыт становится многофакторным. В процессе исследования факторы можно расчленять для более детального изучения каждого.

Экспериментально можно изучать не только отдельные элементы агротехники, но и целые технологии (например, новые технологии выращивания сельскохозяйственных культур в сравнении со старой).

**Эксперимент (опыт)** – ведущий метод агрономических исследований вместе с выдвижением гипотез и наблюдениями.

**Наблюдения** – целенаправленное сосредоточение внимания исследователя на явлениях, происходящих в эксперименте, или на явлениях природы, их количественная и качественная регистрация. Цель наблюдений в научной агрохимии – выявление оптимальных норм удобрений - видов, форм, способствующих повышению урожайности и качества продукции, а также сохранению почвенного плодородия. Основные требования к наблюдениям: получение однозначных результатов исследований; объективность и возможность контроля с помощью повторного наблюдения; использование для наблюдений точных приборов; правильная интерпретация результатов.

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

Учёты и наблюдения необходимо проводить по специальным апробированным методикам в соответствии с государственными стандартами. Все приборы для учётов и наблюдений должны проходить

проверку не менее одного раза в год в Государственной инспекции по стандартам, результаты проверки оформляют актом.

**Анализ** – метод исследований, с помощью которого исследуемый объект мысленно или физически расчленяют на составные части для детального изучения. Например, опыт сначала анализируют по каждой делянке, затем по повторностям, вариантам. Растения анализируют в динамике их роста через определённый интервал времени или же по фазам роста. Для определения химического состава растений их сначала расчленяют на отдельные органы (листья, стебли, корни, плоды), которые потом анализируют специальными методами. В корнеплодах сахарной свеклы путём химического анализа определяют содержание сахара, в зерне злаковых культур – белка, в клубнях картофеля – крахмала и т. д.

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

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

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

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

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

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

**Абстрагирование** – мысленное выделение основного в объекте исследований, его наиболее существенных связей. Используют два типа абстрагирования: отождествление (для создания понятий о системах, классах) и изолирование (для выделения основного среди второстепенного, что наиболее важно в абстракции). Так, среди десятков вариантов агротехнического опыта исследователь выбирает самые эффективные, существенно отличающиеся от других. Селекционер выделяет среди сотен гибридов лучшие по наиболее важным показателям (не только по урожайности, но и по качеству продукции, стойкости к неблагоприятным условиям среды).

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

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

**Конкретизация** – метод исследований, с помощью которого от абстрактного переходят к конкретному. Например, выделив в создании органического вещества основной процесс – фотосинтез – и поняв его сущность, исследователь мысленно возвращается к растению, его среде, к системе среда – растение, рассматривает взаимодействие растения со всеми факторами его жизни. Таким образом, методы абстракции и конкретизации взаимосвязаны, дополняют друг друга.

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

Поскольку изолированно взятая аналогия не имеет доказательной силы, её используют вместе с другими методами познания, придерживаясь следующих требований: аналогия должна основываться на существенных свойствах и большом числе общих качеств; связи между сравниваемыми показателями должны быть тесными; аналогия как метод должна выявлять не только схожесть объектов, но и разницу между ними. Метод аналогий, основанный на подобии показателей, предметов и явлений, является основой моделирования.

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

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

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

**Формализация** – метод изучения объектов с помощью отдельных элементов их форм, которые отображают содержание объекта исследования. Чаще всего формализацию применяют с использованием математики, приводя доказательства в виде последовательных формул. Например, урожайность культуры зависит от типа почвы ( $X_1$ ), содержания в ней азота ( $X_2$ ), фосфора ( $X_3$ ), калия ( $X_4$ ), влажности ( $X_5$ ), аэрации почвы ( $X_6$ ) и других

факторов ( $X_n$ ). Величину урожая последовательно вычисляют сначала через зависимость от каждого из них, после чего выводят общую формулу:  $Y = f(X_1 X_2 X_3 X_4 \dots X_n)$ . Использование подобных формул с определёнными коэффициентами – сущность метода формализации.

**Инверсия** – метод необычного изучения объектов, явлений (под определённым углом и даже с противоположной стороны); соединение несовместимого, деление неделимого. Основное в методе инверсии это отказ от общепринятых взглядов и приёмов. Например, перед химическим анализом образцы растений сначала высушивают, затем берут навески и анализируют определёнными методами. Но при высушивании образцов высокими температурами в них происходят превращения, в результате которых может существенно измениться биохимический состав, результаты анализа будут искажены. Следовательно, для биохимических анализов растения необходимо обезводить противоположным способом, т. е. отрицательными температурами, путём вымораживания. При этом биохимические изменения в растениях прекращаются, анализ покажет фактическое содержание органических веществ в растениях.

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

## **1.2. Специальные методы.**

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

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

С помощью химического анализа почвы в лаборатории определяют обеспеченность различных почв питательными элементами в зависимости от

предшественника, обработки почвы, системы удобрений. Определяя содержание макро- и микроэлементов в растениях, массу растений и проводя расчёты, получают информацию о выносе из почвы питательных элементов теми или иными культурами.

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

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

Известно, что в годы с чрезмерными атмосферными осадками содержание сахара в корнях сахарной свёклы может значительно снижаться, о чём свидетельствуют результаты лабораторных анализов. Но это не означает, что увеличение количества осадков обязательно приводит к ухудшению качества сахарной свёклы. Необходимо всесторонне проанализировать другие факторы жизни растений (питательный, воздушный и температурный режимы почвы), оптимизация которых при увеличении количества атмосферных осадков предотвратит ухудшение качества урожая.

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

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

Вегетационный метод позволяет поддерживать в соответствии с программой исследований различные условия – влажность, обеспеченность питательными элементами, рН раствора, освещение, температуру и т. д. Однако результаты вегетационного метода нельзя непосредственно переносить на производственные условия. Влияние отдельных факторов жизни на продуктивность растений можно детально изучать лишь в

природных условиях, т. е. в поле. Поскольку в вегетационных опытах условия среды чётко регулируются, то количество вегетационных периодов, т. е. повторностей по времени, можно сократить до минимума.

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

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

Вегетационный метод имеет и недостатки. В вегетационных сосудах нет всех горизонтов почвы, которые свойственны полю, нет подпочвы и тех особенностей водного режима, которые складываются на полях под открытым небом. Часто в сосудах питательным субстратом служат песок, гравий, вода и т. п. Из-за этого вегетационный опыт не позволяет ответить на вопрос, как будет влиять изучаемый фактор на урожайность растений в полевых условиях. Ещё один из недостатков – значительные материальные затраты на сооружение вегетационных домиков и их оборудование.

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

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

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

Лизиметры делают из бетона (на 1 – 2 м<sup>3</sup> почвы) или из металла (диаметром 20 – 100 см), иногда используют металлические лейки диаметром до 50 см. Для периодического взвешивания в верхней части делают отверстия или ушки, за которые их поднимают.

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

С использованием лизиметрического метода изучают следующие основные вопросы: динамика влажности почвы; передвижение атмосферных осадков и увлекаемых ими питательных веществ сквозь почву; состав воды, которая фильтруется через почву; вымывание минеральных солей из почвы и удобрений; потери питательных элементов в процессе многолетнего удобрения; транспирация и испарение влаги почвой; водопроницаемость различных почв и др.

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

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

Почва в цилиндрах отделена от почвы поля лишь сбоку, а снизу она контактирует с почвой в естественном состоянии или 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 высева и на разную глубину с применением подкормок или без них.

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

Вегетационно-полевой метод применяют также в селекционной работе, агрометеорологии, земледелии и растениеводстве, где моделируют необходимые условия почвенной среды. А если использовать 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.

**Полевой метод** – это проведение полевых опытов (экспериментов). Основным методом научной агрономии, ибо сего 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.

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

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

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

### **1.3. Роль ученых в разработке методов исследования**

В России в XIX веке были достигнуты определенные успехи в разработке методов исследования учеными: Д.И. Менделеевым, А.Н. Энгельгардтом, К.А. Тимирязевым, П.А. Коссовичем, К.К. Гедройцем и др. Был создан ряд опытных станций и агрохимических лабораторий. Однако результаты исследований мало находили применение из-за отсталости земледелия и отсутствия в стране химической промышленности, производящей минеральные удобрения.

Созданная в нашей стране мощная химическая промышленность стала поставлять минеральные удобрения и средства защиты растений с.-х. Производству, что потребовало организации агрохимических исследований для согласования свойств удобрений с почвами и потребностями культуры.

Крупный вклад в разработку методов агрохимических исследований внес русский ученый Д.И. Менделеев, который первый организовал проведение полевых опытов с удобрениями в географической сети в 1867-1869 гг. Опыты выполнялись в 4 губерниях (Московской, Петербургской, Симбирской (Ульяновской), и Смоленской) по единой программе. В этих исследованиях участвовал ученик Менделеева - К. А. Тимирязев. Опыты сопровождались анализами удобрений, почв и урожая. Впервые в мировой практике применялись математическая обработка полученных данных для суждения о достоверности результатов опытов. По результатам опытов оказалось, что навоз всюду эффективен, фосфор лучше действовал на черноземе, азот и известь - на дерново-подзолистых почвах, калий положительно влиял на бобовые травы и корнеплоды.

*К. А. Тимирязев* ввел в России вегетационный метод искусственных культур (водная, песчаная) для изучения питания растений, указывая на необходимость сочетания вегетационного и полевого методов в научной работе. По инициативе Тимирязева были построены первые в России вегетационные домики в 1872 году и 1896 году и до сих пор служит своему назначению в с.-х. Академии, носящей его имя.

Самостоятельное направление в отечественной агрохимии развил профессор Петербургского землевладельческого института *А. Н. Энгельгардт*, высланный в Смоленскую губернию за участие в движении народников. Еще в 1860 году Энгельгардт со своим учеником П. А. Костычевым обследовал залежи русских фосфоритов. В 1871г. провел серию опытов по действию фосфоритов на урожай. Он положил начало применения фосфоритной муки. В своих опытах Энгельгардт утроил урожай благодаря применению удобрений и введению многопольного правильного севооборота взамен трехпольного.

*П. С. Коссович*, ученик Тимирязева, методист и аналитик, провел много работ по усовершенствованию методики вегетационного опыта и методов по анализу почв и удобрений. В 1900 году вышло его первое пособие по методике вегетационного опыта.

Большой вклад в развитие методики агрохимических исследований внесли *Д.Н. Прянишников и его сотрудники* (Шумов, Петров, Бобко, Голубев, Чириков). Прянишниковым была создана питательная смесь для песчаных культур, много внимания уделял методам химического анализа

почв и удобрений, внес вклад в разработку методики полевых опытов с удобрениями. С 1926-1930 гг. под руководством *Д. Н. Прянишникова* и *А. Н. Лебеяднцева* была проведена сеть географических опытов НИИ удобрений, а в 1941 г. была создана географическая сеть опытов с удобрениями СССР. Велики заслуги в развитии методики агрохимических исследований *К.К. Гедройца*, который работал над методикой вегетационного опыта в почвенных культурах, провел методические исследования в области изучения почвенного поглощающего комплекса, разработал методы химического анализа почвы - определение поглощенных оснований и поглощенного водорода, степени насыщенности почв основаниями, емкости поглощения, методику гипсования солонцов *К. К. Гедройц* создал классическое руководство по химическому анализу почвы, - настольная книга для каждого агрохимика-почвовода.

### **Тема №3 Классификация и характеристика опытов – 2 часа.**

Подразделение опытов по длительности: разведывательные, краткосрочные, многолетние и длительные.

Подразделение опытов по месту проведения: проводимые в научно-исследовательских учреждениях или вузах – мелкоделяночные, лабораторно-полевые и полевые; проводимые на производстве – опыты-пробы, точные сравнительные, по учету эффективности новых агроприемов, демонстрационные, производственные.

По числу изучаемых факторов: однофакторные и многофакторные.

По географическому охвату объектов исследований: географические и единичные.

Использование опытов для решения конкретных задач. Вегетационные опыты, опыты в фитотронах, лизиметрические опыты. Требования, предъявляемые к опытам – принцип единственного логического различия; правило целесообразности соблюдением их типичности; пригодность условий для проведения определенных опытов; соблюдать условие воспроизводимости результатов опыта в идентичных условиях; проведение исследований на перспективных культурах и сортах; тщательное ведение документации опыта; проведение в опытах основных и сопутствующих им учетов и наблюдений, необходимых для выполнения программы исследований.

Пути повышения точности и достоверности. Снижение ошибок. Виды ошибок – систематические, грубые, случайные.

**1.1.** Полевые опыты делятся на две большие группы:

- агротехнические

- опыты по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур.

Полевые опыты подразделяют на - проводимые в *естественных условиях*, и на проводимые в *искусственных условиях* (в теплицах, вегетационных домиках, фитотронах и даже в космосе). *Промежуточное положение занимают опыты в лизиметрах.*

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

Классификация полевых опытов:

1) По длительности

- Разведывательные (до 2-х лет)

- Краткосрочные (3-10 лет)

- Многолетние (11-50 лет)

- Длительные (более 50 лет)

2) Проводимые в научно-исследовательских учреждениях или вузах

- Мелкоделяночные (до 10 м<sup>2</sup>)

- Лабораторно-полевые (11-50 м<sup>2</sup>)

- Полевые (51-200 м<sup>2</sup>)

3) Проводимые на производстве:

- Опыты-пробы

- Точные сравнительные

4) По учету эффективности новых агроприемов (3 га)

- Демонстрационные (200-400 м<sup>2</sup>)

- Производственные

5) По числу изучаемых факторов

- Однофакторные

- Многофакторные

6) По географическому охвату объектов исследований

- Географические (массовые)

- Единичные

***Подразделение опытов по месту проведения.***

Выделяют опыты, проводимые в научных учреждениях или учебных заведениях, и те, которые проводят в условиях производства.

*Опыты в научных учреждениях или учебных заведениях* подразделяют на мелкоделяночные, лабораторно-полевые и полевые. Мелкоделяночные

опыты проводят на опытных делянках площадью до 10 м<sup>2</sup>, лабораторно-полевые-11—50 и полевые — 51—200 м<sup>2</sup> и более.

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

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

В точных сравнительных опытах ширина делянки с культурами сплошного способа посева составляет 8-16, а с пропашными — 5-10 м, общая площадь таких делянок 500-2000 м<sup>2</sup>. Как правило, ширина делянки должна быть кратной ширине прохода почвообрабатывающих, посевных и уборочных агрегатов, чтобы полнее механизировать наиболее трудоемкие процессы.

В демонстрационных опытах площадь опытных делянок обычно в два раза больше, чем в полевых опытах научных учреждений, и составляет 200-400 м<sup>2</sup>. Это необходимо для максимальной механизации производственных процессов.

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

#### **Подразделение опытов по длительности их проведения.**

Различают разведывательные, краткосрочные, многолетние и длительные опыты.

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

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

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

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

#### **Подразделение опытом по числу факторов, которые изучают.**

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, однако они дают больше информации и поэтому имеют большую научную и практическую ценность.

**Подразделение опытов по географическому охвату объектов исследований.**

По этому показателю различают географические (или массовые) и единичные опыты.

**Географические опыты** проводят в различных почвенно-климатических зонах по единой методике, разработанной научным координационным центром. Эти центры координируют исследования, принимают отчеты, обобщают результаты исследований и дают рекомендации.

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

**Мелкоделяночные опыты** 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.

• Соотношение сторон таких делянок может быть 1x2, 1x4, 2x2, 2x4, 2x5 м. Так как размеры делянок небольшие, то защитные полосы здесь не выделяют, а делают лишь узкие дорожки. Для полевых опытов выбирают несколько лучших вариантов из лабораторно-полевых, поэтому число вариантов в схеме уменьшают примерно до 10. Лучшие из них рекомендуют для применения на производстве.

• **Опыты-пробы** проводят в производственных условиях, основная их цель — выявить агроприемы, которые можно использовать для совершенствования технологии выращивания определенных культур,

улучшения их роста, повышения урожайности и качества продукции непосредственно на производственных посевах.

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

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

- Точные сравнительные опыты ставят с небольшим числом вариантов (порядка четырех) и в 3-4-кратной повторности. Если плодородие почвы варьирует в пространстве, повторность опытов увеличивают.

#### **Опыты по учету эффективности новых агроприемов**

- используют как для проверки агроприемов, уже рекомендованных научными учреждениями, так и для их усовершенствования в конкретных условиях хозяйства. Для этого в поле севооборота, где внедряется новый агроприем, в различных местах выделяют 3-4 контрольные полосы шириной, равной ширине захвата агрегата каждая. Эти полосы выделяют так, чтобы они охватили все разнообразие почвенного плодородия, где проводится опыт. Возле каждой контрольной полосы выделяют опытные, на которых применяют и изучают новый агроприем. Границы всех полос фиксируют колышками. Урожай начинают фиксировать сначала на опытных полосах, а затем переходят на контрольные и только после этого убирают урожай на остальной части поля. Экономическую эффективность внедрения нового агроприема определяют путем сопоставления затрат труда и средств со стоимостью дополнительного урожая

- **Демонстрационные (показательные) опыты** призваны пропагандировать достижения науки и передового опыта непосредственно на

производстве. Их закладывают в передовых показательных хозяйствах для наглядной демонстрации преимуществ новых технологий в конкретных условиях района, а также в научных учреждениях и вузах.

• **Производственные опыты** – 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.

### **1.2. При проведении опытов необходимо:**

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

#### ***Принцип единственного логического различия.***

Согласно этому принципу (правилу) исследователь может изменять лишь изучаемый фактор при строгом постоянстве всех остальных условий опыта. *Например, в полевом опыте с дозами азотных удобрений единственным различием по вариантам являются дозы. Все остальные условия опыта (обработка почвы, предшественник, сорт, посев, уход) во всех вариантах должны быть одинаковыми (также разные формы удобрений должны применяться в одинаковых дозах и сроках внесения и т.д.).*

#### ***Правило целесообразности.***

Иногда в одном и том же хозяйстве, где имеются легкие и тяжелые по гранулометрическому составу почвы, необходимо изучить их влияние на

продуктивность определенной культуры. В соответствии с правилом целесообразности глубина посева на этих почвах не должна быть одинаковой. Так, на легких почвах озимую пшеницу высевают на глубину 6-8, на тяжелых – 2-3 см (несмотря на то, что согласно принципу единственного различия глубина посева как будто бы должна быть одинаковой).

#### ***Типичность опыта.***

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

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

В процессе исследований необходимо также учитывать типичность погоды. Это значит, что в большинство лет исследований количество атмосферных осадков и равномерность их распределения, температура и влажность воздуха, их колебания должны быть близкими к многолетним нормам. Лишь при таких условиях можно сделать объективные выводы для конкретных условий земледелия.

Системы обработки почвы, удобрения, нормы высева, сроки посева и глубина заделки семян также должны быть типичными для определенной зоны и соответствовать особенностям почвы, подпочвы, склонов и т. п.

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

#### ***Пригодность условий для опыта***

Для проведения опыта на надежном методическом уровне необходимо соблюдать требование пригодности условий для опыта. *Например, запланирован опыт по изучению доз минеральных удобрений от 30 до 150 кг д. в. на 1 га. Участок имеет типичные почву, склон, уровень грунтовых вод. В предшествующий опыту год на всей площади были внесены минеральные удобрения в дозе 180 кг д. в. на 1 га. Пригодна ли эта земельная площадь для опыта, где планируется изучать действие минеральных удобрений в дозах,*

*значительно меньших, чем было внесено в предшествующий исследованиям год? Нет, непригодна, ибо на фоне высоких доз ранее внесенных удобрений нельзя изучать действие меньших доз без искажения результатов исследований.*

### ***Воспроизводимость результатов.***

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

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

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

### ***Введение дополнительных вариантов и контролей.***

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

### **Полевой опыт должен отвечать требованиям достоверности.**

Различают достоверность полевого опыта по существу, т. е. соответствие опыта поставленным задачам исследования. Кроме того, различают понятие достоверности, или существенности, результатов полевого опыта.

### ***Тщательное ведение документации.***

Всю научную документацию ведут с соблюдением определенных правил: своевременность записей, полнота сведений об опыте, однотипность записей в динамике вегетационного периода и по годам, достоверность и точность.

Документацию можно подразделить на основную и дополнительную.

К основной относятся: *полевой журнал* (дневник научного работника), *главная книга опыта, рабочая программа и отчет о научно-исследовательской работе*;

к дополнительной — *лабораторный журнал, рабочая тетрадь, таблицы разных форм для всесторонних анализов, ленты самописцев* и т. п.

Если опыт проводят в поле, то дневник научного работника называют *полевым журналом*.

В полевой журнал записывают место проведения опыта; схему опыта; представляют схематический план опыта с выделением повторений, указанием места каждого варианта; дают чертеж опытной делянки с указанием ширины и длины учетной площади делянки, ширины продольных и поперечных защитных полос, площадей делянки и ее учетной части. Здесь же описывают условия проведения опыта: почву, рельеф, предшественники, сроки внесения и дозы удобрений, нормы высева семян и их качество, сроки посева, состояние всходов. Приводят результаты математической обработки методами вариационной статистики.

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

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

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

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

### **1.3. Пути повышения точности и достоверности.**

*Точность опыта* — это степень близости его результатов к истинному значению.

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

О точности опытов судят по статистическим ошибкам, которые обозначаются символами  $s\%$  (ошибка средней арифметической) и  $Sx\%$  (относительная ошибка средней или опыта). Чем ниже числовое значение ошибок, тем выше точность опыта.

Различают три основных вида ошибок:

- систематические,
- грубые,
- случайные.

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

Уменьшить систематические ошибки можно путем правильного планирования, закладки и проведения опытов.

**Грубые ошибки** — это просчеты, промахи в работе. *Например, можно ошибиться при снятии показаний прибора, при записи. Иногда на опытных участках путают этикетки, дважды вносят удобрения на какой-то деланке, не на ту глубину обрабатывают почву и т. д.*

Из-за грубых ошибок приходится браковать отдельные деланки, повторения или даже весь опыт.

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

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

#### **Тема №4 Вегетационный опыт – 2 часа.**

Сущность и задачи вегетационного опыта.

Вегетационные сооружения.

Построение схемы опыта, расчет физической массы удобрений на сосуд. Набивка сосудов.

Основные элементы методики вегетационного опыта.

Почвенная культура. Песчаная культура. Водная культура. Гидропоника. Аэропоника. Достоинства и недостатки различных видов культур.

1. Агрохимия исследует процессы взаимного влияния трех систем: почва, растение, удобрение, условия взаимодействия которых определяют величину урожая и его качества.

Агрохимическая наука при разработке новых приемов повышения урожая сельскохозяйственных культур пользуется приемами исследования - наблюдением и экспериментом или опытом.

Наблюдения -это количественная или качественная регистрация данных опыта, например, регулярно ведутся наблюдения за температурой, влажностью, количеством осадков, за наличием питательных веществ в почве, влаги, появлением фаз и т. д., но это только часть эксперимента.

Эксперимент-опыт, это изменение искусственных условий так, чтобы лучше выявить сущность явления. Главная особенность опыта, его воспроизводимость и повторяемость.

Основы методики вегетационных опытов заложены в 19 веке Ж. Буссеного, Гельригелем, Кнопом, Вагнером, Митчерлихом, которыми были разработаны разновидности вегетационного метода. Большой вклад в методику вегетационного опыта был сделан Гедройцем, Прянишниковым. В России использовали методику вегетационного опыта и совершенствовали ее К.А. Тимирязев и Д.И. Менделеев. По инициативе Тимирязева впервые в 1872 г. в Петровской (ныне Тимирязевской) академии был построен вегетационный домик.

Однако следует помнить в искусственной обстановке и с его помощью нельзя изучить явления, протекающие в полевых опытах. Выращивая растения в искусственных условиях, мы имеем возможность строго контролировать условия питания, что дает возможность глубже исследовать роль отдельных элементов, и их сочетаний в жизни растений.

Вегетационный метод является необходимым звеном в изучении и теоретическом обосновании приемов повышения урожая и его качества.

*Задачи вегетационного метода:*

- Уяснение значений отдельных факторов и роль растения, почвы и удобрений.

- Изучение закономерностей питания, роста и развития растений в условиях, позволяющих выделить действия отдельных факторов или различных сочетаний.

Наиболее широко вегетационным методом пользуется в агрохимии и физиологии растений при изучении минерального и воздушного питания, водного и светового режимов, холодостойкости, засухоустойчивости, закономерностей роста и развития, в изучении плодородия почв, эффективности удобрений.

Вегетационный метод в опытах с удобрениями дает возможность лучше изучить требования растений к различным формам удобрений.

В вегетационном опыте растениям создаются оптимальные условия, в результате эффект от удобрений проявляется резче, заметнее, чем в полевых условиях. Вегетационные опыты представляют большую ценность, они позволяют установить не только доступность растениям тех или иных питательных веществ на данной почве, но и как сами растения используют различные формы удобрений.

Однако не все можно изучить в вегетационном опыте, к ним относятся например изучение сочетания удобрения с агротехническими приемами, с

системой обработки почвы, уходом за растениями, которые можно изучить только в полевых опытах, в природных условиях.

Существует 3 отличия вегетационного опыта от полевого.

- В вегетационном опыте используются элементы питания только одного генетического слоя профиля почвы.

- Во-вторых, выращивание растений в искусственных условиях (в теплицах, в домиках) способствует более интенсивной мобилизации элементов питания особенно азота из почвы, чем в полевых опытах.

Поэтому, вегетационный метод не может заменить полевой, т.к. условия произрастания, уход, использование элементов питания в вегетационных опытах существенно отличается от почвенно-климатических условий роста и развития растений в поле.

**2.** Прежде чем приступить к закладке вегетационного опыта, необходимо разработать программу исследования, которая должна хорошо обдумана: намечены схемы опыта и перечислены соответствующие наблюдения, число вариантов.

Для проведения опытов используют вегетационные домики, теплицы, сетчатые павильоны и другие сооружения.

Вегетационные домики имеют стеклянную крышу, которая предохраняет растения от дождя, ветра, обеспечивает нормальным освещением. В домиках есть стеллажи для размещения сосудов, весы, инвентарь. Сетчатый павильон защищает растения от птиц и повреждений. Условия выращивания над сеткой, приближаются к естественным.

**3.** Для опытов используют металлические, пластмассовые, стеклянные сосуды. Они бывают двух видов:

- сосуды Вагнера
- сосуды Митчерлиха

В сосудах Вагнера в доньшке нет отверстий и они поливаются по весу до 60 % от полной влагоемкости почвы через стеклянную трубку, вставленную в сосуд.

Сосуды Митчерлиха с отверстием и поддоном, куда и собирается поливная вода, которую возвращают в сосуд, их поливают по объему.

Сосуды готовят заранее, отбирают одинаковые по массе и они не должны отличаться не более чем на 100 г и по диаметру – на 0,5 см. Их моют и высушивают.

На дно сосуда помещают битое стекло или кварцевый песок на 2/3 площади дна покрываю марлей, вставляют трубку (диаметром 1,5-2 см), длиной выше сосуда на 3-4 см, покрывают марлей и взвешивают до постоянного веса.

4. Построение схем опыта такое же, как и в полевом опыте - по принципу единственного различия.

Существует классическая восьмимерная и пятимерная схемы:

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

В зависимости от среды, в которой выращивают растение, вегетационный метод бывает в следующих модификациях:

- - почвенная культура,
- - песчаная культура,
- - водная культура,
- - гидропоника,
- - аэропоника.

#### 5. Почвенная культура

Наиболее распространенной является почвенная культура. Этот метод используют для изучения взаимодействия удобрения и почвы, почвы и растения, свойства почвы и удобрения.

Недостаток: ограниченность объема почвы, в которой выращиваются растения.

Для определения веса почвы в сосуде, которая нужна для взятия навесок удобрений производится пробная набивка сосуда. Отвешивают большее количество почвы, чем нужно для набивки, ее хорошо перемешивают и набивают сосуд, уплотняя тыльной стороной руки. Нижние слои должны быть больше уплотнены, а верхние - не так сильно. Уровень почвы должен быть на 2 см ниже верхнего края сосуда. Если почва не будет достаточно уплотнена снизу, то при поливе она может осесть и при этом повредить корни.

Взвешивают остаток почвы и узнают точную навеску почвы в сосуде. Затем берут навески удобрений и готовят растворы отдельных солей для внесения их в почву.

Дренажом служит битое стекло, которое помещают на дно сосуда, покрыв им примерно 2/3 дна под углом 30 градусов (200-350 г). Для отделения битого стекла от почвы употребляют марлевые круги диаметром

5-8 см больше диаметра сосудов. На марлю, помещенную на дренаж сверху, там, где нет стекла, насыпают небольшое количество песка, который обеспечивает равномерное увлажнение почвы около дна сосуда. Стеклопластиковая трубка, применяемая для полива растений снизу, должна иметь диаметр 1,2-1,7 см в зависимости от размера сосудов и длину на 2-4 см больше высоты сосуда.

В опытах чрезвычайно важно поддержание влажности субстрата на оптимальном уровне, который поддерживается поливом. В опытах с рисом применяют метод затопления, для сухолюбивых - рассчитывают поливную норму воды.

**6. Песчаные культуры** - это вегетационный опыт, в котором растения выращивают в сосудах с чистым кварцевым песком, обогащенных питательными солями.

В песчаных культурах изучают роль отдельных элементов, их концентрации в питании растений, явления антагонизма и синергизма между разными элементами.

При закладке и постановке опытов в песчаных культурах проводят те же операции, что и с почвенными культурами.

*Подготовка песка* - используют чистый кварцевый песок с диаметром частиц менее 0,5 мм. Песок просеивают, промывают водопроводной водой, затем дистиллированной, просушивают и используют для набивки сосудов.

Сосуды готовят также как и почвенную культуру, в них смесь должна содержать необходимые питательные элементы.

В песчаных и почвенных культурах применяют классические питательные смеси Гельригеля, Кнопа, Прянишникова, в состав которых входят соли макро-и микроэлементов.

Растворы солей готовят и вносят по объему из расчета на сосуд.

Смесь Прянишникова, г/кг песка -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{KCl}$ . pH раствора = 6,5.

## **7. Водные культуры**

Выращивание растений в сосудах на водном растворе питательных веществ - водная культура. Это наиболее трудоемкий вид вегетационного опыта, применяют в тех случаях, когда в течении вегетации растений необходима полная смена питательного раствора. Впервые применен в 1699 английским ученым Д. Вудвордом. Детальная разработка его началась с середины 19 в.

Водные культуры используют для изучения периодичности питания растений, т.е. определение оптимальных условий питания в разные фазы вегетации.

Водные культуры обеспечивают однородность распределения питательных веществ и рН.

Для изучения труднорастворимых удобрений лучше использовать песчаные культуры.

*Для постановки опытов* водных культур необходимы следующие материалы: стеклянные и пластмассовые сосуды Вагнера без отверстий с деревянными пробками имеющие отверстия для растений, стеклянные трубки, шланги для продувания растворов, каркасы для поддержания растений, мерные цилиндры, пипетки, термостат для протравливания семян, кристаллизаторы для выравнивания проростков рН-метр для контроля за реакцией питательной смеси.

*Посадка и уход за растениями* - для пересаживания обрабатывают одинаковые растения по длине корней, стебля и листьев. По 2 растения обертывают ватой вокруг семян, погружают корни в  $H_2O$  для смачивания и они легко проходят в отверстие пробки. Через 10-15 дней оставляют в отверстиях по 1 растению. Очень важный момент - это продувание растворов воздухом по 3 часа в течении суток, для обеспечения корней  $O_2$ . рН проверяют 2-3 раза в неделю.

За вегетационный период 2-3 раза меняют питательные растворы в сосудах. Уборку и учет урожая проводят так же, как и с почвенными культурами.

Существенный недостаток — изменение реакции питательного раствора, резкие сдвиги её в сторону кислотности или щёлочности вследствие физиологической кислотности или щёлочности внесённых питательных солей. Это ведёт часто к развитию болезней (хлороз и др.) растений. В этих случаях необходимо прибавлять едкий натр или серную кислоту (до установленной реакции), иногда лимоннокислое железо. Рекомендуются также периодическая смена питательного раствора.

По характеру субстрата методы выращивания растений без почвы различают: водная культура (собственно гидропоника), песчаная и гравийная культура; торфяная (или моховая) культура; воздушная культура (или аэропоника); агрегатопоника; плаstopоника.

**8. 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. Этот прием используется в исследовательской работе и в производстве при выращивании зерновых, технических, овощных культур и лекарственных растений.

Различают 3 типа гидропоники:

- 1) на твердых инертных субстратах, периодически смачиваемых питательным раствором;
- 2) собственно гидропоника, т.е. водная культура;
- 3) аэропоника или воздушная культура, когда корни находятся во влажном воздухе периодически опрыскиваются раствором.
- 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. Пригодность субстрата определяют, проращивая на нем семена в течении 9-10 дней, учитывая энергию прорастания и всхожесть семян. Субстрат промывают, укладывают в лотки с наклонным дном, для быстрого стекания в резервуар. Питательные растворы готовят на водопроводной воде с содержанием С1- не более 200 мг/л и СаО – 300 мг/л. Общая концентрация солей не должна превышать 0,2%, рН=5-6. Подкисление производят азотной или фосфорной кислотами.

Соотношение элементов в питательном растворе отвечает потребности растения как в период развития, так и в период плодоношения.

Каждый 1-1,5 месяца растения растут на воде. Субстрат дезинфицируют.

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. При этом способе выращивания растения лучше и быстрее растут, чем при других. Растения выращивают на небольшом объеме гранулированного субстрата, размещенного в стакане с перфорированными стенками, а корни растений проходят через отверстия и свободно свисают в светозащищенном резервуаре. Периодически сверху и снизу субстрат и корни увлажняют. Все приемы выращивания автоматизированы. Питание осуществляется за счет капель задержавшихся на корнях, поэтому концентрация его в 10 раз выше, чем в водной культуре.

Частота опрыскивания зависит от потребности растения, фазы развития и концентрации питательного раствора. В начальный период, когда корневая система мала, опрыскивают чаще, каждые 5 мин. но кратковременно 5-10 секунд. При развитой корневой системе через 10-15 мин., но по 10 секунд,

чтобы смыть остатки предыдущего опрыскивания и заменить их новой порцией питательного раствора.

Контроль за рН и концентрацией раствора осуществляется также, как и в водной культуре, а для поддержания влажности, CO<sub>2</sub>, пользуются тем же оборудованием, что и в культурах на твердых субстратах.

Этот метод используют в основном при изучении газового режима корней.

**9.** Агрегатопоника – выращивание растений на твердых сыпучих материалах, которые смачивают периодически питательным раствором.

Сущность – растения выращивают на гранулированных корнеобитаемых средах, в которые периодически вводят питательный раствор.

Агрегатопоника включает способы:

-органокультуры- выращивание растений на естественных органических субстратах (торф, мох, опилки);

- литокультуры - выращивание растений на твердых минеральных или пластмассовых субстратах, и аэрогидролитовые культуры, сочетающие положительные свойства всех трех методов культуры растений без почвы.

- фитильные культуры - выращивание растений на тонких гидрофильных пленках.

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

### **Тема №5 Полевой опыт – 2 часа.**

Число вариантов опыта, размер опытных делянок, защитные полосы, форма делянок и их ориентация на местности. Виды полевых опытов в зависимости от места постановки, цели и длительности опыта, размера делянок – стационарные, производственные, однофакторные, многофакторные, короткосрочные или однолетние, длительные или многолетние опыты, единичные и массовые. В зависимости от размера делянки: мелкоделяночные и крупноделяночные.

Требования к проведению полевого опыта. Методика и техника проведения полевого опыта.

Выбор и подготовка участка под опыт.

Распространение опыта, размещение опытного участка.

Уборка и учет урожая.

**1. Полевой опыт** - это исследования, проводимые в полевых условиях на специально выделенном участке, с целью установления воздействия условий или приемов на урожайность и качество продукции.

Объектами изучения являются почва, растение и факторы, влияющие на рост, развитие, урожайность и качество продукции в конкретных почвенно-климатических условиях.

В агрохимических полевых опытах изучают эффективность удобрений и химических мелиорантов на определенной почвенной разности и на участке выровненном по плодородию. Это метод изучения жизни растений.

Результаты полевого опыта зависят от конкретных почвенных и метеорологических условий и применимы на участке, на котором он проведен. Именно поэтому полевые опыты сопровождаются сопутствующими исследованиями почв и растений.

Эти исследования дают возможность установить типичность участка полевого опыта для определения района или почвенной зоны, а следовательно, и распространить на них полученные результаты.

В зависимости от места постановки, цели и длит. 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.  $S_{опт}=100-250м^2$ ,  
 $S$  учетная 80-150м.<sup>2</sup>

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

**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.  $S_{делянок}=500-5000м^2$

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

**Многофакторные опыты** - изучают действие 2 и более факторов, нормы и действие удобрений.

**Короткосрочные или однолетние опыты** - относятся опыты, с которых действие одного приема изучается в течение одного вегетационного периода.

Для получения объективных данных опыт проводят в течение 3-4 лет, чтобы оценить эффективность изучаемых приемов в разных погодных условиях – их называют *однолетними в пространстве, но длительными во времени*.

**Длительные или многолетние опыты** – изучают в севообороте на нескольких следующих одна за другой культурах эффективность однажды внесенных удобрений. В таких опытах изучают последствия органических удобрений, известкование и гипсование почв; продолжительность 10-50 лет и более.

**Единичные опыты** - проводят в отдельных хозяйствах независимо друг от друга по отдельным схемам и программам.

**Массовые опыты** - проводят в нескольких местах и по отдельной схеме, их называют *географическими опытами*, т.к. действие удобрений изучают в различных почвенно-климатических условиях. Основная их цель – влияние природных условий на эффективность удобрений.

В зависимости от размера делянки различают:

Мелкоделяночные –  $S=1-20\text{м}^2$ , нельзя использовать технику (учет урожая вручную или малогабаритной техникой).

Все опыты, в которых агротехнические работы проводят обычной техникой, относятся к *крупноделяночным*.

2. В полевом опыте культурное растение изучается вместе со всей совокупностью почвенных, климатических и агротехнических факторов.

Независимо от вида полевого опыта предъявляется ряд требований от выполнения которых зависит ценность полученных результатов, к ним относятся:

- 1) типичность;
- 2) соблюдение принципа единственного различия;
- 3) точность количественных результатов;
- 4) достоверность опыта по существу.

**Точность количественных результатов** – это обязательное требование к качеству опыта. Результат опыта выражается количественно и служит объективным показателем эффективности изучаемого в опыте приема или фактора. Это урожай и его качество.

Степень соответствия полученных результатов истинным результатам действия изучаемого приема определяет **точность опыта**, чем меньше

разница между повторностями опыта, тем выше точность опыта и тем меньше его ошибка (случайные, систематические и грубые).

Причины расхождения полученных данных связаны с неизбежными погрешностями и имеют место в любом опыте.

Требования к точности полевого опыта зависят от задач и темы опыта, а также от величины ожидаемого эксперимента. Полевой опыт должен отвечать *требованиям достоверности*.

**Достоверность** различают по существу или сущности результатов полевого опыта.

Под **достоверностью полевого опыта по существу** понимают его соответствие поставленным задачам.

**Рабочая программа или программа исследования** – это намеченный путь эксперимента. В ней формулируется цель и задачи исследований, схемы опытов, в которых показывают число вариантов, с помощью которых решается поставленная задача. Описывают условия и методику проведения исследований, приводят перечень всех наблюдений, учетов, анализов с указанием методики и сроков их выполнения. Из агротехнических мероприятий включены: подготовка участка под опыт, уравнивательные посевы, обработка почвы с указанием сроков и орудий, внесение удобрений, их заделка. Для каждого опыта программа исследований обязательна, указываются и сопутствующие наблюдения: учет засоренности, фенологические наблюдения, отбор почвенных и растительных проб и их сроки. Опыт считается достоверным, если он проведен в соответствии с программой.

**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 — весьма 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 повторяют 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

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.).

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

вариантами могут быть наибольшие дозы удобрений или нормы полива, более глубокая обработка почвы и т. п.

В опытах с удобрениями ширина продольных защитных полос зависит от техники внесения минеральных удобрений: при их высеве через сошники сеялки - 50 см, при рассеве вручную - 1 м. При запахивании органических удобрений, которые могут передвигаться орудиями обработки на соседние делянки, ширина продольных защитных полос должна быть не менее 1,5 м.

С. В. Щерба рекомендует для краткосрочных опытов с удобрениями ширину защитки 0,75 м, а для многолетних - не менее 1 м.

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

Минимальная ширина поперечных защиток в большинстве опытов составляет **2 м**.

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

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

#### **Число вариантов в опыте.**

Варианты опыта могут быть количественными (дозы удобрений, нормы орошения, площади питания растений, глубина вспашки и т. п.) и качественными (сорта культур, типы почв, формы удобрений и др.).

В схеме число вариантов зависит от темы опыта и определяется задачами, которые в нем решают. В схеме опыта вариантов может быть не менее 2-3 (однофакторные опыты) и не более 10-15 (многофакторные опыты).

С увеличением числа вариантов возрастает количество делянок, следовательно, и общая площадь опытного участка. Это ведет к усилению пестроты почвенного плодородия. Если площадь участка ограничена, при увеличении числа вариантов и соответственно числа делянок в опыте приходится уменьшать размер делянки, что увеличит ошибку опыта.

#### **Форма опытных делянок и их ориентация на местности.**

Опытные делянки имеют прямоугольную форму с разным соотношением сторон. Делянки условно считают короткими, если их длина в

2-10 раз больше ширины, и длинными, когда длина делянки превышает ее ширину более чем в 10 раз.

Точность исследований при удлинённых делянках значительно выше, поэтому удлинённые делянки более эффективны.

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

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

Оптимальное соотношение длины и ширины делянки зависит и от размера самой делянки: для делянок площадью 20-200 м<sup>2</sup> лучшим соотношением является 5-10, а для делянок большего размера — 10-20.

### 3. Подготовка опытного участка:

- выравнивание неоднородного плодородия участка при помощи одного или нескольких сплошных по всему участку с помощью уравнительных посевов.

- **Уравнительные посе́вы** – 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. Уравнительные посе́вы хорошо устраняют почвенную пестроту.
- **Рекогносцировочные посе́вы** - это сплошной посев какой-либо культуры на участке, предназначенном для опыта с целью выявления пестроты почвенного плодородия дробным учетом урожая.

**4. Расположение опыта.** Преследуем цель охватить более полно всю пестроту плодородия опытного участка, создать условия наилучшей сравнимости между вариантами, что повышает точность опыта и достоверность его результатов.

Различают расположение опыта:

**сплошное**                      и                      **разбросное**

• При сплошном размещении все повторения размещают компактно на одном участке в один или несколько рядов.

• Разбросное распределение может диктоваться не только изменением почвенного плодородия но и при влиянии предшественников на эффективность удобрений.

• **Случайный метод** размещения имеет несколько разновидностей: рендомизированные повторения, полная рендомизация, латинский квадрат, латинский прямоугольник, расщепленные делянки, метод смешивания.

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

При **стандартном методе** 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.

**Рендомизированные повторения** - случайное размещение всех вариантов опыта в пределах отдельных повторений. Метод используется, если в пределах повторения (блока) варьирование плодородия почвы минимальное, а между повторениями (блоками) оно колеблется в большей мере. Если различия между блоками отсутствуют, данный метод малоэффективен. Незначительное варьирование внутри блоков может быть при небольшом числе вариантов и небольшой площади опытных делянок. На рисунке 2 и 3 показано размещение шести вариантов (1-6) в четырех повторениях ( $n - 4$ ) по таблице случайных чисел.

#### **Стандартный метод.**

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

#### **Систематический (последовательный) метод.**

При систематическом методе варианты размещаются в последовательности, указанной в схеме опыта, или же по другой системе, но во всех повторениях одинаково (рис.). Этот метод может быть эффективным,

если нет закономерного (систематического) изменения плодородия почвы. Однако, как показал Б. А. Доспехов (1985), виды варьирования изменяются во времени и в пространстве, случайное варьирование в один год может смениться закономерным в последующий год. Для предотвращения ошибок опыта, связанных с размещением вариантов, и обеспечения надлежащей точности необходимо пользоваться методами, которые позволяют провести опыт без нарушения основных требований методики опытного дела. Систематические методы предусматривают неизменный порядок расположения вариантов в каждом повторении.

5. Разбивку опытного участка начинают с выделения общего контура опыта и контуров отдельных повторений.

Прямые углы отбивают с помощью экеров, шпагата, пользуясь законом Пифагора (квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов).

Для разбивки необходимо иметь следующее оборудование:

- 1 - стальная мерная лента или шпагат длиной 20 м;
- 2 - деревянные колышки;
- 3- молоток, шпагат.
- Реперы - это ориентиры на стационарных опытах, они вбиты в начале опытов на поле.

Перед внесением удобрений отбирают смешанные образцы почвы с каждого горизонта для агрохимического анализа. Для внесения удобрений необходимо иметь:

- 1- измельченные удобрения с известным содержанием в них питательных элементов;
- 2- весы, совки, мешочки для навески удобрений;
- 3- для ручного внесения ведра или спец. машины для разбрасывания.

Количество удобрений в кг/делянку рассчитывают по формуле:

$$Y = \frac{D \text{ (доза удобрений)} \times S \text{ (площадь)}}{\% \text{ д.в} \times 100}$$

Уход за растениями в опытах такой же, как и в хозяйственных условиях. Все работы по уходу: прополка, рыхление и т.д. проводятся одновременно по всем делянкам опыта.

Размеры делянки зависят от размеров сеялки и уборочной техники.

Пример: озимая пшеница - ширина захвата сеялки – 3,7 м. Уборочный комбайн Дон -500 с шириной захвата- 4 м (Сампо–2 м).

За два дня до уборки подсчитывают густоту стояния в штуках/м<sup>2</sup> у зерновых по 2-м смежным рядкам в 3-х местах делянки, длина рядов 111см.

(2 рядка по 3 повторности)\*0,15 м, т.е. ширину междурядий =0,999 м<sup>2</sup>=1м<sup>2</sup>, отмеряют палочкой, которую кладут вдоль рядов.

При перекрестном посеве с площадью четвертинок (рамки 50х50м) набрасывают на растения в 3-х местах деланки.

При уборке отбирают пробные скопы с четвертинок (50\*50см=0,25 м<sup>2</sup>), в которых определяют структуру урожая (число растений, побегов, колосков, зерен и масса 1000 зерен, соотношение зерна и соломы). Все количественные учеты проводят на 2-й и 4-й повторностях или на 1 и 3. Зерно с пробных снопов смешивают и приплюсовывают к учетному зерну с деланки.

Урожайность культуры, ц/га пересчитывают на базисную или стандартную влажность:

$$Y = M (100 - B_1) / (100 - B_2),$$

где  $M$  – масса зерна с деланки, ц/га,

- $B_1$  – влажность зерна при уборке, %
- $B_2$  - влажность стандартная, %

#### Виды анализа растений.

Для качественной оценки урожая проводят анализы во всех видах проб и определяют показатели:

- овес, рис, кукуруза, соя- белок и масса 1000 зерен;
- пшеница, рис- общая стекловидность в зерне %;
- пшеница- сырая клейковина, влажность, белок, крахмал, клетчатка, зола, жир;
- ячмень пивоваренный - крахмал, содержание экстр. веществ;
- сахарная свекла- сахар %, нитраты;
- картофель- крахмал, нитраты;
- подсолнечник-сырой жир, %, кислотное число масла;
- лен- выход волокна, сырой жир;
- капуста, лук- аскорбиновая кислота, сахар;
- морковь- каротин и нитраты.

#### **Тема №6. Основы статистической обработки результатов исследований – 2 часа.**

Математическая статистика (совокупность и выборка). Краткая история. Работы Аристотеля, Леонардо да Винчи, Я. Бернулли, Ф. Гальтона, К. Пирсона. О роли вклада в математическую статистику английского математика Р. Фишера. Вклад русских ученых в методы статистической обработки, научные работы: Менделеева Д. И., Леонтовича А. В.,

Деревицкого Н. Ф., Перегудова В. Н., Любищева А. А., Плохинского Н. А., Рокецкого П. Ф., Урбаха В. Ю., Молостова А. С., Доспехова Б. А., Лакина Г. Ф.

Основные понятия и задачи в математической статистике. Подготовка данных к статистической обработке.

Обобщенный метод обработки экспериментальных данных.

Дисперсионный и обобщенный анализ. Обработка данных на примере полевого и вегетационного опыта.

Корреляционный, регрессионный анализы. Сущность, задачи, преимущества и недостатки

Ковариационный анализ. Сущность, задачи, преимущества и недостатки.

1. Еще в Древней Греции высоко чтили математику, считая, что в природе все упорядочивается в соответствии с числами. *В работах Аристотеля впервые появляются рассуждения о корреляциях. Более конкретно об использовании математики в исследованиях высказался в XV в. Леонардо да Винчи, который считал, что без применения математики недостоверна ни одна наука. В XVII в. Я. Бернулли показал, что при большом числе измерений средняя арифметическая становится постоянной. Кривая вероятности впервые была приведена в литературе Лапласом в 1783 г., а в 1795 г. К. Гаусс исследовал кривую распределения и ввел способ наименьших квадратов.*

Дальнейшая история математической статистики связана с трудами **Ф. Гальтона**, который в 1889 г. разработал методику корреляционного и регрессионного анализов. Его работы продолжил **К. Пирсон**, развивший учение о кривых распределения в биологии.

Теорию «малой выборки» обосновал в 1908 г. **В. Госсет** (псевдоним *Стьюдент*).

Особый вклад в математическую статистику внес английский математик **Р. Фишер**. В 1935 г. он опубликовал методику математического планирования экспериментов, а в 1938 г. — теорию статистической проверки гипотез — дисперсионный анализ. Продолжателями работ Р. Фишера стали **Ф. Йейтс**, много сделавший для разработки схем дисперсионного анализа, а также **Дж. У. Снедекор**, **Т. Литтл**, **Ф. Хиллз** и др.

В России методы статистической обработки в агрономических исследованиях впервые использовал в **1867-1869 гг. Д. И. Менделеев**. Полную сводку методов математической статистики в 1909-1911 гг. составил **А. В. Леонтович**. С 1929 г. эти методы пропагандировал **Н. Ф. Деревницкий**, он же был первым, кто изложил идеи и методы Р. Фишера. С 1931 г. распространение методов математической статистики в

агрономии связано с именем **В. Н. Перегудова**. Работа А. А. Любищева «Руководство по применению в биологии дисперсионного анализа Р. Фишера» — это превосходный анализ использования методов математической статистики в шестидесятых годах. Затем появляются солидные работы **Н. А. Плохинского** (1970), **П. Ф. Рокецкого** (1967), **В. Ю. Урбаха** (1964), **А. С. Молостова** (1965) и др. Особым событием был выход книги **Б. А. Доспехова** «Методика полевого опыта» (1965). Ценное пособие - работа **Г. Ф. Лакина** «Биометрия» (1980).

**Математическая статистика** – это один из разделов математики, который позволяет делать заключение о всей совокупности наблюдений и в отдельности о каждом.

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 агротехнических приемов, препаратов, удобрений и других способов повышения урожая. Никакая статистика не заставит плохой опыт дать хорошие результаты.

*Задача исследователя* – поставить добротный опыт, а математическая статистика даст объективную количественную оценку экспериментальным данным.

2. Результаты исследований анализируют методами математической статистики, т. е. систематизируют, обрабатывают и делают обоснованные выводы и предложения. При этом оперируют определенными понятиями, терминами и символами.

Объекты исследований в агрохимии — это отдельные растения, их группы и среда произрастания. Всем им свойственно явление изменчивости, или варьирования. *Степень варьирования, выраженную математически, называют вариацией*. Если тысячи семян одной и той же культуры, одного сорта посеять и выращивать в одинаковых условиях, растения всегда будут различаться по росту, массе, внешнему виду, урожаю, его качеству и т. д. *Число таких растений или других объектов исследовании представляет собой генеральную совокупность*.

Для того, чтобы точно определить среднюю высоту растения или среднее число клубней на нем, следовало бы в короткий срок, за несколько часов, измерить тысячи растений и сосчитать десятки тысяч клубней, что практически невозможно. Нецелесообразно также проращивать все семена, предназначенные для посева, чтобы определить их всхожесть. В подобных случаях следует воспользоваться *теорией вероятностей*, которая обобщает закономерности массовых случайных явлений. Согласно этой теории вместо сплошного учета всей генеральной совокупности большого объема для изучения можно брать определенную ее часть и судить по ней о состоянии совокупности в целом. Таким образом, по вероятностям одних случайных событий находят вероятность других, связанных с первыми.

Пусть в ящике будет 100 клубней картофеля: 30 - сорта Гатчинский и 70-сорта Невский. Какова вероятность того, что первый взятый наугад клубень будет принадлежать сорту Гатчинский или Невский? Вероятность взять клубень сорта Гатчинский составит  $30:100 = 0,3$ , Невский —  $70:100 = 0,7$ . Таким образом, вероятность наступления определенного события есть отношение чисел всех возможных случаев к общей выборке. **События, вероятность которых составляет более 0,5, называют вероятными, а менее 0,5 — маловероятными.** В данном примере взять клубень Невского вероятно, а Гатчинского — маловероятно.

Отношение числа случаев с данным событием  $n$  к числу всех возможных случаев  $N$  составляет *уровень вероятности  $P$* .

$$\bullet P=n/N.$$

Вероятность невозможного события равна нулю. Например, вероятность вынуть клубни сорта Волжанин, которых не было в ящике ( $n = 0$ ), составит  $P = n / N = 0$ . 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  $F05$ , а для более ответственных анализов — уровнем 0,99 ( $F01$ ). На уровне доверительной вероятности  $F05$  исследователь, утверждая или отрицая какое-либо явление, положение, рискует ошибиться в 5 случаях из 100, на уровне  $F- 0,99$  — 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.

### 3. ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД

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

### 4. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

Предположим, что проведен полевой опыт, размещенный методом рендомизированных повторений. Основной его показатель - урожай - изменяется по вариантам, повторениям, а также из-за случайных причин — неучтенного варьирования условий среды и самих растений. Р. Фишер выразил эти изменения суммами квадратов следующих рассеиваний: **вариантов —  $C_v$ , повторений —  $C_p$ , ошибки —  $C_z$ . Их суммирование дает сумму квадратов общего рассеивания:**

$$C_u = C_v + C_p + C_z.$$

Для каждого рассеивания вычисляют число степеней свободы  $v$  по формулам:  $v_y = N - 1$ ;  $v_v = l - 1$ ;  $v_p = n - l$ ;  $v_z = (l - 1)(n - 1)$ . Путем деления суммы квадратов на соответствующее число степеней свободы получают дисперсию  $s^2$ . Слово «дисперсия» означает рассеивание данных

опыта и расчленение общего варьирования изучаемых показателей на составные части. Отсюда и название метода — дисперсионный анализ. Дисперсионный анализ — наиболее совершенный метод статистической обработки данных, но он применим только к опытам, размещенным методом рендомизации.

*Преимущества* дисперсионного анализа заключаются в вычленении из общего варьирования его компонентов, в вычислении обобщенной ошибки всего опыта  $E$  на основе большего числа наблюдений, чем индивидуальные ошибки отдельных вариантов в недисперсионных методах. Так, при пяти вариантах и четырех повторностях число степеней свободы ошибки составляет  $(5-1)(4-1) = 12$ , тогда как для каждого варианта опыта  $4-1 = 3$ . Дисперсионный анализ особенно ценен для многофакторных опытов, так как позволяет определить достоверность не только действия, но и взаимодействия факторов.

## 5. 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. Здесь чаще встречаются такие соотношения между переменными, когда каждому значению признака  $X$  соответствует не одно, а множество возможных значений признака  $Y$ , т.е. их распределения. 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**.

По форме корреляции 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, о чем будет сказано далее.*

Регрессионный и ковариационный анализы приобретают все большее значения в современных исследованиях по биологии и агрономии. Под регрессией понимается изменение результативного 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  $P_{0.95}$  и  $P_{0.99}$ , проводят регрессионные анализы, вычисляя коэффициент регрессии  $b_{yx}$  или  $R_{yx}$ .

**Регрессия** — это характер и степень изменения одного из признаков  $X$  на единицу измерения другого  $Y$ . Например, с изменением длины листа на 1 см его площадь изменяется на  $4,6 \text{ см}^2$ .

После корреляционных и регрессионных анализов составляют *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 уравнением кратко обозначается  $Y=f(x)$  и при множественной  $Y=f(X,Z,V\dots)$ . Если степень связи между признаками велика, то по уравнению регрессии можно предсказать значение результативного 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:

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

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  $-1$ , 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. уравнение прямой линии.

Уравнение линейной регрессии  $Y$  по  $X$  имеет вид:

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

где  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  - средние арифметические для ряда  $X$  и  $Y$ ;

$b_{yx}$  - 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  $b_{yx}$  показывает, как изменяется  $Y$  при изменении  $X$  на единицу измерения, и выражается в единицах  $Y$ , а  $b_{xy}$  указывает регрессию  $X$  на  $Y$  и выражается в единицах  $X$ . При исследовании односторонней зависимости, например, корреляции между урожаями  $Y$  и количеством выпавших осадков  $X$  вычисляют только один коэффициент регрессии результативного признака  $Y$  на факториальный  $X$ , т.е. значение  $b_{yx}$ , так как регрессия  $X$  по  $Y$  лишена в подобных случаях логического смысла.

## 6. 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 урожай  $Y$ , 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:

$$\text{cov} = \frac{\sum (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{n-1}$$

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  $\sum (Y - \bar{y})^2$  и 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);  
 $C_z$  (остаток I) =  $C_b$  +  $C_{d_{y \times x}}$  (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-выпадения растений и повреждения 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.