

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И АГРОБИЗНЕСА**

**КАФЕДРА АГРОНОМИИ, СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА**

# **НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АГРОНОМИИ И АГРОХИМИИ**

Учебно-методическое пособие для проведения  
лабораторно-практических занятий со студентами направления  
подготовки **35.03.03** **Агрохимия и агропочвоведение**

**Брянская область,  
2021**

**УДК 001.891:63:54 (076)**

**ББК 72.5:40.4:40.3**

**М 48**

Мельникова, О. В. Научные исследования в агрономии и агрохимии: учебно-методическое пособие для проведения лабораторно-практических занятий со студентами направления подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение / О. В. Мельникова. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2021. - 58 с.

В учебно-методическом пособии даны основные методы агрономических, агрохимических и экологических исследований; этапы планирования эксперимента; правила составления программы наблюдений и учетов; методику закладки и проведения опытов в агрономии, методику учета урожая сельскохозяйственных культур в опыте, порядок ведения документации и отчетности; статистические методы проверки гипотез, сущность и основы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов и их применение в агрономических исследованиях; применение компьютерных программ в опытном деле.

Пособие позволит студентам освоить технику математической обработки экспериментальных данных и закрепить лекционный материал.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией Института экономики и агробизнеса ФГБОУ ВО Брянского ГАУ, протокол №1 от 12 октября 2021 г.

© Мельникова О.В., 2021

© Брянский ГАУ, 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Тема 1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	4
Тема 2. АГРОНОМИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ	8
Тема 3. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПОЛЕВОГО ОПЫТА	10
Тема 4. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ОПЫТА, МЕТОДЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВАРИАНТОВ В ОПЫТЕ	13
Тема 5. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКА	17
Тема 6. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБОРКИ ПРИ КАЧЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ	21
Тема 7. БРАКОВКА СОМНИТЕЛЬНЫХ ДАТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫПАВШИХ ДАННЫХ	23
Тема 8. ОСНОВЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА	26
Тема 9. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ОДНОФАКТОРНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА С ОРГАНИЗОВАННЫМИ ПОВТОРЕНИЯМИ	30
Тема 10. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА С РАЗНОЙ ПОВТОРНОСТЬЮ (С НЕПОЛНЫМИ ДАННЫМИ)	34
Тема 11. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ МНОГОФАКТОРНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА	37
Тема 12. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ОПЫТА, РАЗМЕЩЕННОГО МЕТОДОМ ЛАТИНСКОГО КВАДРАТА И ЛАТИНСКОГО ПРЯМОУГОЛЬНИКА	41
Тема 13. ЛИНЕЙНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ И РЕГРЕССИЯ	47
Тема 14. КОВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ	52
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	57

## Тема 1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Основными методами агрохимических и экологических исследований являются:* полевые, лабораторные, экспериментальные исследования с использованием экосистемного, популяционного, эволюционного и исторического подходов, изучение сообществ и местообитаний.

*Полевые методы* – это методы, позволяющие изучить влияние комплекса факторов естественной среды на естественные биологические системы и установить общую картину существования и развития системы.

*Лабораторные методы* – это методы, позволяющие изучить влияние комплекса факторов моделированной в лабораторных условиях среды на естественные или моделированные биологические системы. Эти методы дают возможность получить приблизительные результаты, которые требуют дальнейшего подтверждения в полевых условиях.

*Экспериментальные методы* – это методы, позволяющие изучить влияние отдельных факторов естественной или моделированной среды на естественные или моделированные биологические системы. Они применяются в сочетании как с полевыми, так и с лабораторными методами.

Кроме собственных методов экология широко использует методы таких наук, как биохимия, физиология, микробиология, генетика, цитология, гистология, физика, химия, математика и др.

Для агроэколога первостепенное значение имеют полевые исследования, т.е. изучение популяций видов и их сообществ в естественной обстановке, непосредственно в природе. При этом обычно используются методы физиологии, биохимии, анатомии, систематики и других биологических, да и не только биологических наук. Наиболее тесно экологические исследования связаны с физиологическими. Однако между ними имеется принципиальная разница. Физиология изучает функции организма и процессы, протекающие в нём, а также влияние на эти процессы различных факторов. Экология же, используя физио-

логические методы, рассматривает реакции организма как единого целого на констелляцию внешних факторов, т.е. на совместное воздействие этих факторов при строгом учёте сезонной цикличности жизнедеятельности организма и внутривидовой разнородности.

*Полевые методы позволяют установить* результат влияния на организм или популяцию определённого комплекса факторов, выяснить общую картину развития и жизнедеятельности вида в конкретных условиях.

Однако наблюдения не могут дать вполне точного ответа, например, на вопрос, какой же из факторов среды определяет характер жизнедеятельности особи, вида, популяции или сообщества. На этот вопрос можно ответить только с помощью эксперимента, задачей которого является выяснение причин наблюдаемых в природе отношений. В связи с этим экологический эксперимент, как правило, носит аналитический характер. Экспериментальные методы позволяют проанализировать влияние на развитие организма отдельных факторов в искусственно созданных условиях и таким образом изучить всё разнообразие экологических механизмов, обуславливающих его нормальную жизнедеятельность.

На основе результатов *аналитического эксперимента* можно организовать новые полевые наблюдения или лабораторные эксперименты. Выводы, полученные в лабораторном эксперименте, требуют обязательной проверки в природе. Это даёт возможность глубже понять естественные экологические отношения популяций и сообществ.

Эксперимент в природе отличается от наблюдения тем, что организмы искусственно ставятся в условия, при которых можно строго дозировать тот или иной фактор и точнее, чем при наблюдении, оценить его влияние.

Эксперимент может носить и самостоятельный характер. Например, результаты изучения экологических связей насекомых дают возможность установить факторы, влияющие на скорость развития, плодовитость, выживаемость ряда вредителей (температура, влажность, пища).

В экологическом эксперименте трудно воспроизвести весь комплекс природных условий, но изучить влияние отдельных факторов на вид, популя-

цию или сообщество вполне возможно.

*Примером экологических экспериментов* широких масштабов могут служить исследования, проводимые при создании лесозащитных полос, при мелиоративных и различных сельскохозяйственных работах. Знание при этом конкретных экологических особенностей многих растений, животных и микроорганизмов позволяет управлять деятельностью тех или иных вредных или полезных организмов.

Методологической основой экологии является системный подход в исследованиях. На основе системного подхода изучают свойства высокоорганизованных объектов, т.е. многообразие связей между элементами экосистемы, их разнокачественность и соподчинение. При этом нельзя забывать о том, что экосистемы находятся в состоянии динамического равновесия и способны противостоять изменениям природной среды. Системный подход состоит из следующих этапов: определение состава экосистемы и объектов окружающей среды, которые оказывают воздействие на нее; определение совокупности внутренних связей и связей с окружающей средой.

В системном анализе используют различные методы (наблюдение, мониторинг, моделирование).

Наблюдения проводят за состоянием отдельных экосистем и компонентов экосистемы в конкретных условиях (в поле), за их взаимосвязи в различных ландшафтах. Определяют видовой состав всех организмов экосистем и условия их существования. Устанавливают связи между видами, неживыми компонентами, между организмами различных видов и природно-климатическими условиями. Особое внимание уделяют количественным характеристикам – температуре, влажности, численности и плотности популяций и др. Выделяют различные зависимости, связи между элементами экосистемы и внешними условиями, а также постоянно исследуют динамику (сезонную, годовую, многолетнюю) всех организмов экосистем.

Наилучший метод наблюдений – метод мониторинга на определенных стационарах с использованием современных датчиков, дистанционного зониро-

вания. Когда экосистему изучают без нарушения ее функционирования, это относится к наблюдениям, даже если в исследованиях применяют какую-либо аппаратуру, например датчику. Исследования, связанные с вмешательством состав или структуру экосистемы (введение дополнительных факторов – внесение удобрений, химических средств борьбы с вредными видами, орошение, осушение и др.), относятся к экспериментам. Они могут быть однофакторными или многофакторными (изучают один или несколько изменяющихся факторов), непреднамеренными антропогенными (отстрел волков в Канаде).

Наблюдаемые факторы проверяют на математических моделях. Часто применяют и биологические модели – экосистемы из организмов, создаваемых в лабораториях. Это промежуточный этап между природными экосистемами и математическими моделями.

**В агрохимии и экологии** часто применяют **колориметрические, хроматографические, спектрометрические, изотопные** методы исследований.

Особенно важно использовать результаты исследований загрязненных и других деградированных земель на массивах сельскохозяйственных угодий, прежде всего на пашне, где возделывают культуры, продукция которых идет в пищу. При землеустройстве, ориентированном на экологически сбалансированное использование земель, следует учитывать также физическую деградацию почв, прежде всего переуплотнение, дегумификацию (потерю гумуса), антропогенные изменения почв.

Данные для оценки **экологического воздействия аграрного производства** на землю можно получить из ландшафтно-экологических карт. Характеристику компонентов ландшафтов, подверженных экологическим нарушениям, дают по качественным и количественным показателям. Так, загрязнение воздуха, воды и почв определяется по превышению предельно допустимых концентраций тяжелых металлов, радиоактивных веществ, различных химических веществ; водную эрозию оценивают по интенсивности смыва и пр.; заболевания людей определяют по статистическим данным.

## Тема 2. АГРОНОМИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ

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

Полевые опыты для удобства их использования подразделяют по месту проведения; по длительности; по числу изучаемых факторов; по географическому охвату объектов исследований (рис. 1).

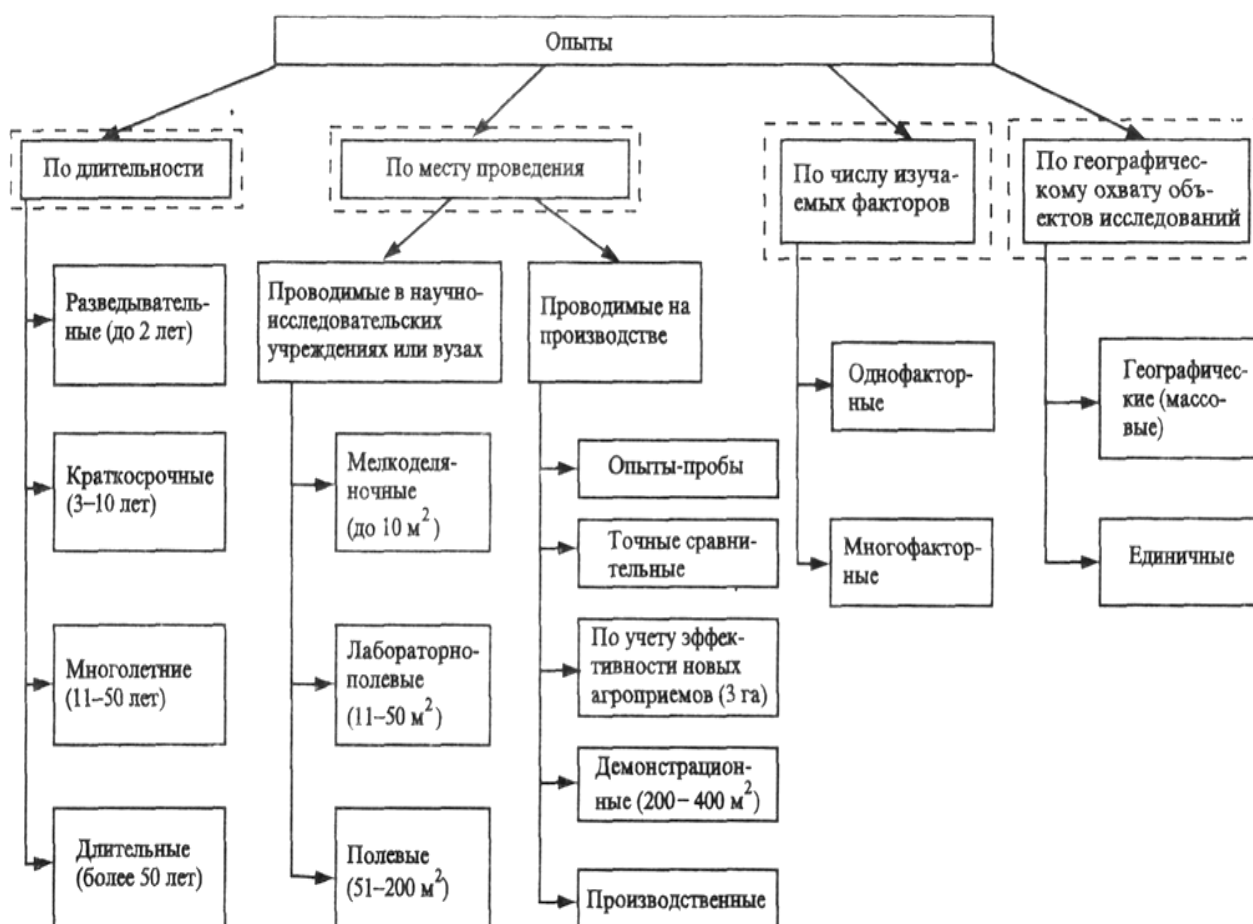


Рис. 1. Классификация агрономических опытов

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.

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

В демонстрационных опытах площадь опытных делянок обычно в два раза больше, чем в полевых опытах научных учреждений, и составляет 200-400 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.

### Тема 3. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

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

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

Опыт, эксперимент в агрономии — это искусственное создание различных условий для исследуемых растений с целью выявления наиболее эффективных вариантов в процессе учетов и наблюдений.

Вариантами называют те различные условия, при которых выращивают растения в опытах. Вариантами могут быть отдельные агроприемы, элементы технологий и даже разные технологии, набор сортов, различные почвы, склоны. Различия между вариантами должны быть такими, чтобы между растениями можно было найти существенную, статистически доказуемую разницу. Среди многих вариантов опыта один или несколько являются контрольными, с ними сравнивают все остальные варианты.

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

*Схема опыта* — это перечень логично подобранных вариантов с определенными контролями (стандартами), объединенных конкретной темой, идеей. Так, для темы «Изучение предшественников озимой пшеницы» в лесостепной

зоне схема опыта (предшественники) может быть такой: 1) черный пар; 2) многолетние травы; 3) кукуруза на силос; 4) горох; 5) однолетние травы.

**Опытная деланка** в полевых опытах — это земельная площадь прямоугольной формы определенного размера, на которой изучают только один из вариантов опыта — агроприем, технологию, сорт и т. д.

Опытные деланки состоят из учетной части (1), которая находится внутри, и защитной (2 и 3), которая ограничивает ее снаружи (рис. 2).

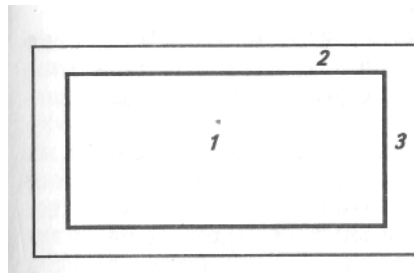


Рис. 2. Схема опытной деланки.

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

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, запишите требования, предъявляемые к полевому опыту:

Типичность опыта -

---

Принцип единственного различия -

---

---

Воспроизводимость опыта -

---

---

Проведение опыта на специально выделенном участке -

---

---

---

Учёт урожая и достоверность опыта по существу -

---

---

---

Тщательное ведение документации -

---

---

**Задание 2.** Сформулируйте тему Вашего научного исследования (по плану НИРС) и запишите схему полевого опыта.

Тема научных исследований: \_\_\_\_\_

---

---

---

Обоснование темы и составление рабочей гипотезы:

---

---

---

---

---

---

---

---

Схема опыта

- |          |           |
|----------|-----------|
| 1. _____ | 7. _____  |
| 2. _____ | 8. _____  |
| 3. _____ | 9. _____  |
| 4. _____ | 10. _____ |
| 5. _____ | 11. _____ |
| 6. _____ | 12. _____ |

## Тема 4. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ОПЫТА, МЕТОДЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВАРИАНТОВ В ОПЫТЕ

**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.

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, опишите методы размещения вариантов в опыте:

1. Систематический метод размещения вариантов (рис. 3) -

---

---

---

---

---

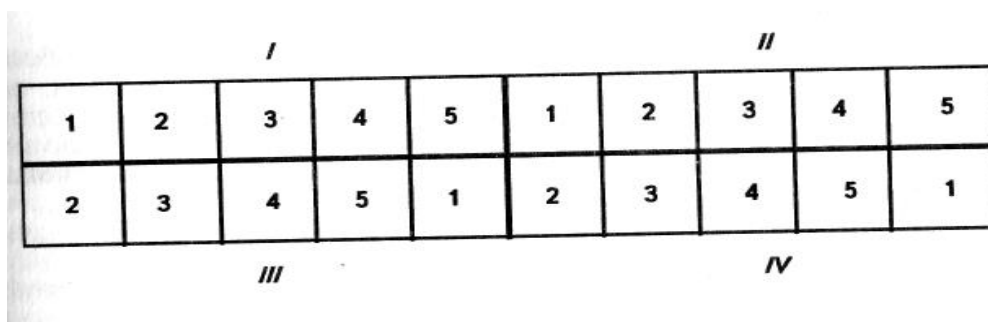


Рис.3. Размещение вариантов систематическим методом.

2. Рендомизированный метод размещения вариантов (рис. 4) -

---

---

---

---

---

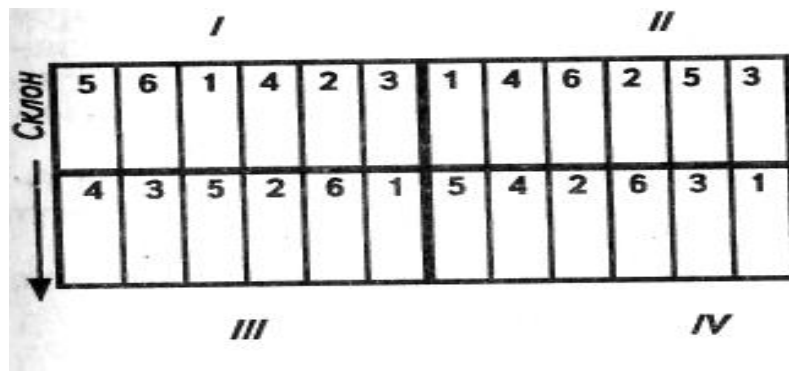


Рис. 4. Размещение вариантов опыта методом рендомизации с организованными повторениями.

3. Стандартный метод размещения вариантов –

ямб-метод (рис. 5) -

---



---



---



---

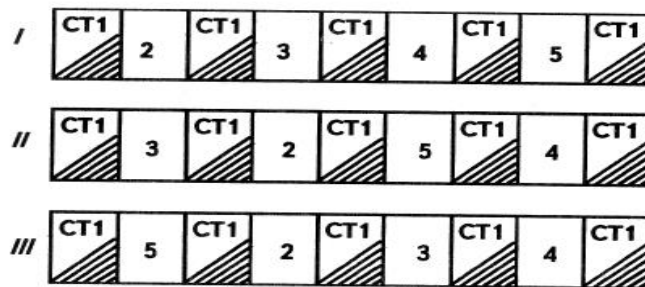


Рис. 5. Размещение вариантов опыта стандартным ямб-методом.

дактиль-метод (рис. 6) -

---



---



---



---

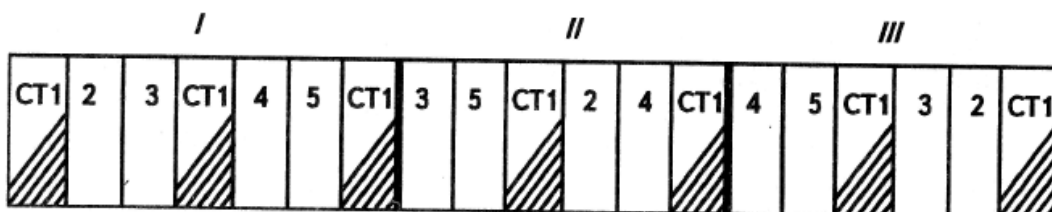


Рис. 6. Размещение вариантов опыта стандартным дактиль-методом.

**Задание 2.** Пользуясь материалом учебника, охарактеризуйте следующие виды опытов:

Опыты-пробы -

---

---

---

---

---

---

---

---

Точные сравнительные опыты -

---

---

---

---

---

---

---

---

Демонстрационные опыты -

---

---

---

---

---

---

---

---

Производственные опыты -

---

---

---

---

---

---

---

---

Опыты по учету эффективности новых агроприемов-

---

---

---

---

---

---

---

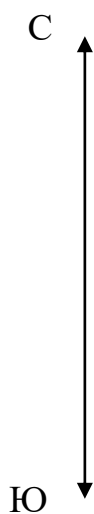
---

**Задание 3.** Установите рациональное сочетание элементов полевого опыта с учетом оптимального размера делянок и представьте схематичный план размещения вариантов методом \_\_\_\_\_ (по заданию преподавателя), если в опыте необходимо изучить 4 варианта с разными дозами удобрений ( $N_0P_0K_0$  – контроль,  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ,  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ), Земельный участок, отведенный под опыт (10 м x 22 м) имеет уклон  $1^\circ$  с севера на юг.

Решение:

1. Число вариантов в опыте ( $l$ ) –
2. Число повторений в опыте ( $n$ ) –
3. Количество опытных делянок ( $l*n$ ) –
4. Форма делянки (соотношение сторон) –
5. Общая площадь опытной делянки –
6. Учетная площадь опытной делянки –
7. Метод размещения вариантов –

Схематичный план размещения вариантов опыта  
(указать размеры делянок, повторения и разворотные полосы)





## Тема 5. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКА

Различают изменчивость *количественную* и *качественную*. Количественно изменяться могут масса урожая, процент сахара, кислот, витаминов, крахмала или белка в урожае, размеры растений, содержание питательных элементов в почве, т. е. все, что имеет массу, размер, объем и т. п.

Ход анализа вариационных рядов количественной изменчивости зависит от объема выборки — малого ( $< 30$  единиц) или большого ( $> 30$  единиц). Как для малых, так и для больших выборок вычисляют следующие основные статистические характеристики: среднюю арифметическую  $\bar{x}$ , дисперсию  $S^2$ , стандартное отклонение  $S$ , ошибку средней арифметической, коэффициент вариации  $V$ , относительную ошибку средней арифметической. В конце анализа дают интервальную оценку средней арифметической.

Примером малых выборок может быть число повторностей, которое чаще всего колеблется от 3 до 6. К малым выборкам относится также число колосков в колосе, клубней картофеля в кусте, семян гороха в бобах и т. п.

Для малых выборок вычисляют такие статистические характеристики: средние арифметические, дисперсии, стандартные отклонения, коэффициенты вариации, ошибки выборочных средних, относительные ошибки и др.

**Задание 1.** Используя учебник, опишите основные статистические показатели:

Средняя арифметическая ( $\bar{x}$ ) -

---

Дисперсия ( $S^2$ ) -

---

Стандартное отклонение ( $S$ ) -

---

Ошибка ( $S\bar{x}$ ) и относительная ошибка ( $S\bar{x}\%$ ) средней арифметической -

---

Коэффициент вариации ( $V$ ) -

---

---

---

Доверительный интервал для среднего значения -

---

Уровень значимости ( $P_{05}$ ,  $P_{01}$ ) -

---

---

---

---

Число степеней свободы ( $\nu$ ) -

---

Критерий Стьюдента ( $t$ ) -

---

---

---

Для **больших выборок** статистические характеристики можно вычислять способом произведений, но он трудоемок, особенно при наличии многозначных чисел и очень большом объеме выборки. Более удобен способ условной средней, т. е. от произвольного начала  $A$ . При этом способе все данные ранжируют, выделяют группы с определенным интервалом, определяют частоту  $f$ , т.е. число членов в каждой группе вариационного ряда.

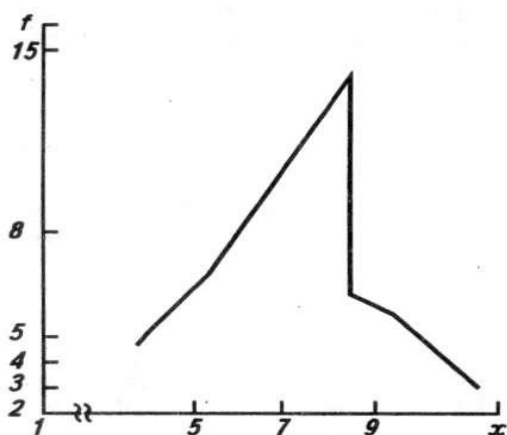


Рис. 7. Графическое изображение вариационного ряда:  
 $x$  - значение варьирующего показателя,  
 $f$  - частота признака.

**Вариационный ряд** — ряд ранжированных чисел, для которых указаны значения варьирующего признака и соответствующие им частоты (т.е. сколько раз повторяется тот или иной признак).

Если на графике кривая вариационного ряда имеет одну вершину (рис. 7), то это свидетельствует об **однородности выборки** и наоборот.

**Задание 2.** Сгруппируйте данные, полученные в результате наблюдений,

определите статистические показатели вариационного ряда и начертите кривую распределения, если техническая длина стебля льна (для 40 растений) составила (в см):

70,0 67,0 100,4 103,4 69,0 72,4 74,4 66,1 67,3 52,0  
 79,1 78,0 83,9 92,2 93,2 81,3 82,0 86,4 89,1 93,5  
 77,0 76,1 88,1 89,7 94,1 82,0 80,1 81,0 77,0 80,0  
 92,1 91,5 76,7 79,0 73,5 84,4 79,7 84,0 79,6 84,1

Решение:

Ранжируем вариационный ряд чисел: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Число классов (групп)  $K = \sqrt{n} =$

Классовый интервал  $i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\text{числогрупп}} = \frac{R}{K} =$

Расчетная таблица  
 (при  $\max f$  условное значение средней  $A =$  )

Группа	Среднее значение группы $X$	Частота $f$	Отклонения $X-A$	$f(X-A)$	$(X-A)^2$	$f \cdot (X-A)^2$
		$\sum f = n =$		$\sum f(X-A) =$		$\sum f(X-A)^2 =$

Произвольный момент  $b = \sum f(X-A)/n =$  \_\_\_\_\_

Средняя арифметическая  $\bar{x} = A + b =$  \_\_\_\_\_

Корректирующий фактор (поправка)  $C = [\sum f(X-A)]^2/n =$  \_\_\_\_\_

Дисперсия  $S^2 = \frac{\sum f(X - A)^2 - C}{n - 1} =$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Стандартное отклонение  $S = \sqrt{S^2} =$  \_\_\_\_\_

Коэффициент вариации  $V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% =$  \_\_\_\_\_

Ошибка выборочной средней  $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} =$  \_\_\_\_\_

Интервальная оценка средней арифметической:  $\bar{x} \pm t_{05} S_{\bar{x}} =$  \_\_\_\_\_

### Графическое изображение вариационного ряда



Вывод:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Тема 6. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБОРКИ ПРИ КАЧЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

При качественной изменчивости в выборке имеется одна из двух возможностей (альтернатив) — данный признак либо есть, либо отсутствует. Таковую изменчивость называют *альтернативной*.

В опытах с качественной изменчивостью вместо измерения какого-либо показателя подсчитывают число объектов с тем или иным признаком. Примеры качественной изменчивости: число поврежденных и здоровых растений, число подмерзших растений, число испортившихся и здоровых клубней картофеля в хранилище и т. п.

Для анализа качественной изменчивости вычисляют следующие статистические характеристики: долю наличия признака  $p$ , долю отсутствия признака  $q$ , показатель изменчивости качественного признака  $S$ , коэффициент вариации  $V_p$ , ошибку выборочной доли  $S_p$ . Общий объем выборки обозначают буквой  $N$ , а число объектов с данным признаком -  $n$ .

**Задание 1.** Опишите статистические показатели качественной изменчивости признака:

Доля наличия признака ( $p$ ) -

---

---

---

---

Доля отсутствия признака ( $q$ ) -

---

---

---

Изменчивость качественного признака ( $S$ ) -

---

---

---

Максимальная изменчивость ( $S_{max}$ ) -

---

---

---

---

Коэффициент вариации (V) -

---

---

---

Ошибка выборочной доли ( $S_p$ ) -

---

Интервальная оценка выборочной доли -

---

---

**Задание 2.** Вычислите статистические показатели качественной изменчивости, если в выборке из 130 клубней картофеля сорта Темп паршой поражено 30 клубней, а в выборке из 100 клубней сорта Пригожий –поражено паршой - 20 клубней. Определите доверительный интервал для доли признака в совокупности, сделайте вывод.

Решение:

1-я выборка (сорт Темп)	2-я выборка (сорт Пригожий)
$n_1$ (больные клубни) = _____	$n_1$ (больные клубни) = _____
$n_2$ (здоровые клубни) = _____	$n_2$ (здоровые клубни) = _____
$N_1 = n_1 + n_2 =$ _____	$N_2 = n_1 + n_2 =$ _____
$p_1 = n_1 : N_1 =$ _____	$p_2 = n_1 : N_2 =$ _____
$q_1 = 1 - p_1 =$ _____	$q_2 = 1 - p_2 =$ _____
$S_1 = \sqrt{p_1 q_1} =$ _____	$S_2 = \sqrt{p_2 q_2} =$ _____
$Sp_1 = \sqrt{\frac{p_1 q_1}{N_1}} =$ _____	$Sp_2 = \sqrt{\frac{p_2 q_2}{N_2}} =$ _____
$Vp_1 = \frac{S_1}{S_{\max}} \cdot 100\% =$ _____	$Vp_2 = \frac{S_2}{S_{\max}} \cdot 100\% =$ _____
$P_1 \pm t_{05} \cdot Sp_1 =$ _____	$P_2 \pm t_{05} \cdot Sp_2 =$ _____
$t_{05} =$ _____ ( $v = N-1$ )	$t_{05} =$ _____ ( $v = N-1$ )

Вывод:

---

---

---

---

## Тема 7. БРАКОВКА СОМНИТЕЛЬНЫХ ДАТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫПАВШИХ ДАННЫХ

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.

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, опишите следующие понятия:

1. «Сомнительная» дата вариационного ряда -

---

---

---

2. Критерий для проверки «сомнительности» даты -

---

---

---

3. От каких показателей зависят значения критерия  $\tau_{\text{теор}}$  -

---

---

---

4. Критерий  $\tau_{\text{факт}}$  вычисляют по отношениям -

---

---

---

5. Сущность гипотезы о принадлежности «сомнительной» даты -

---

---

---

6. «Восстановление» выпавшей даты -

---

---

---

*Сомнительные данные*, которые значительно отличаются от всех остальных данных какого-либо варианта, определяют только с помощью математической статистики. Субъективная браковка данных недопустима.

**Задание 2.** Статистически определить принадлежность дат к вариационному ряду на 95 % и 99 % -ном уровне значимости, если в вегетационном опыте в варианте с двойной дозой азота (6-кратная повторность), учли массу растений (г/сосуд) и получили следующие результаты:

23,8 19,1 10,3 19,7 21,0 22,0.

Решение:

1. Ранжируем вариационный ряд в возрастающем порядке ( $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$ ):

---



---

2. Наиболее «сомнительными» являются крайние даты ( $x_1$  и  $x_n$ ), их принадлежность к вариационному ряду проверяется расчетом критерия  $\tau_{\text{факт.}}$  :

$$\text{проверка даты } x_1 - \tau_1 = \frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1} =$$

$$\text{проверка даты } x_n - \tau_n = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2} =$$

3. По таблице находим критерии  $\tau$  теоретические (табл. 7 приложений в учеб. Моисейченко В.Ф. и др.) при  $n=6$  :

$$\tau_{0,95} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\tau_{0,99} = \underline{\hspace{2cm}}$$

4. Сравниваем критерии  $\tau$  расчетные с теоретическими

---



---



---

5. Вывод о принадлежности «сомнительных» дат к вариационному ряду:

---



---



---

Обработка экспериментальных данных часто осложняется выпадением результатов на некоторых делянках опыта (повреждения растений птицами, вредителями, затопление делянки после ливней, проезд транспорта и т. д.). Из-



за выпадения данных средние арифметические в вариантах могут быть либо завышены (если выпал результат с очень низким числовым значением), либо занижены (если выпал результат с наибольшим числовым значением). Из-за этого возникают ошибки, которые можно устранить, только если **восстановить выпавшие данные**, т. е. вычислить их наиболее вероятные значения. Восстановленный результат ставят на выпавшее место и выполняют соответствующий статистический анализ данных.

**Задание 3.** Провести восстановление выпавшего результата в полевом опыте, где в четырех вариантах изучали влияние доз минерального удобрения на величину урожайности зерна кукурузы. Повторность в опыте трехкратная. В третьем варианте, втором повторении опыта «выпал» результат, который необходимо «восстановить».

Урожайность зерна кукурузы (ц/га) в зависимости от внесения доз гербицида

Варианты опыта	Урожайность зерна по повторениям			Средняя по варианту
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	
1. Без NPK	38	37	36	
2. N30P30K30	39	40	42	
3. N60P60K60	43	-	45	
4. N90P90K90	44	47	46	

Решение:

$$X_{вос.} = \frac{lV + nP - \sum X}{(l-1)(n-1)}, \text{ где}$$

*l* - число вариантов;

*V* - сумма данных в варианте, где выпал результат;

*n* - число повторностей в опыте;

*P* - сумма данных в повторности, где выпал результат;

$\sum X$  – сумма данных во всем опыте, за исключением выпавшего результата.

$$X_{вос.} = \underline{\hspace{10em}}$$

Вывод: \_\_\_\_\_

## Тема 8. ОСНОВЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА

Слово «дисперсия» означает рассеивание данных опыта и расчленение общего варьирования изучаемых показателей на составные части. Отсюда и название метода — дисперсионный анализ. Для дисперсионного анализа представляют интерес *дисперсия вариантов* и *дисперсия ошибки*. Соотношение дисперсий — это тот критерий, который позволяет дать общую оценку достоверности различий между средними арифметическими опыта. В честь автора дисперсионного анализа критерий обозначили первой буквой его фамилии  $F$  (*критерий Фишера*).  $F$  вычисляют по формуле  $F = S^2_v/S^2_z$ .

Расчетный фактический критерий  $F_{\text{факт}}$  сравнивают с теоретическим  $F_{\text{теор}}$ , который находят по таблицам. **Если  $F_{\text{факт}}$  больше (или равен)  $F_{\text{теор}}$ , то достоверность различий в опыте доказана**, т. е. имеется одна или несколько пар вариантов средние арифметические которых достоверно различаются.

Вегетационные опыты чаще всего представляют собой статистические комплексы, состоящие из нескольких независимых выборок – вариантов. Независимость сопоставимых вариантов достигается регулярным перемещением вегетационных сосудов на вагонетке. Следовательно, в вегетационных опытах обычно нет территориально организованных повторений. Поэтому общее варьирование результативного признака разлагается на два компонента - варьирование вариантов и случайное варьирование:  $S_y = S_v + S_z$ . В полевом опыте имеются организованные повторения, поэтому  $S_y = S_v + S_p + S_z$ .

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, опишите понятия:

1. Сущность дисперсионного анализа -

---

---

---

---

---

2. Критерий Фишера ( $F$ ) -

---

---

---

---

3. Нулевая гипотеза ( $H_0: d=0$ ), используемая для оценки значимости действия изучаемых факторов по критерию  $F$  -

---

---

---

---

---

4. Схема дисперсионного анализа данных вегетационного опыта -

---

---

---

---

5. В вегетационном опыте общая изменчивость результативного признака, измеряемая общей суммой квадратов ( $S_y$ ), расчленяется на \_\_\_\_\_ ( $S_v$ ) и \_\_\_\_\_ ( $S_z$ ).

6. Общее число степеней свободы ( $N-1$ ), расчленяется на два компонента: число степеней свободы для варианта \_\_\_\_\_ и число степеней свободы для случайного варьирования (ошибки) \_\_\_\_\_ .

7. Формулы, необходимые для проведения дисперсионного анализа:

общее число наблюдений в опыте  $N =$  \_\_\_\_\_

корректирующий фактор (поправка)  $C =$  \_\_\_\_\_

общая сумма квадратов  $S_y =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для вариантов  $S_v =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для ошибки (остатка)  $S_z =$  \_\_\_\_\_

дисперсия вариантов  $S_v^2 =$  \_\_\_\_\_

дисперсия ошибки  $S_z^2 =$  \_\_\_\_\_

расчетный критерий Фишера  $F =$  \_\_\_\_\_

8. Наименьшая существенная разность (НСР) -

---

---

---

---

9. Обобщенная ошибка опыта  $S_{\bar{x}} =$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10. Ошибка разности средних  $Sd =$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

11. Наименьшая существенная разность для 5%-го уровня  $HCP_{05} =$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

12. Наименьшая существенная разность для 1%-го уровня  $HCP_{01} =$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Задание 2.** Проведите дисперсионный анализ данных однофакторного вегетационного опыта (с одинаковым числом наблюдений по вариантам), если в четырех вариантах изучали действие форм азотных удобрений на урожай овсяницы луговой. Установите, значительно ли действие удобрений, проверить нулевую гипотезу ( $H_0: d=0$ ). Проверьте результаты с помощью программы STRAZ.

Урожай овсяницы (г на сосуд)

Варианты опыта	Урожай, X				Число наблюдений, n	Суммы, V	Средние по вариантам
1. Без удобр. (контроль)	16,0	17,2	14,4	15,8	4		
2. Сульфат аммония	29,4	30,4	30,3	28,1	4		
3. Аммиачная селитра	26,0	29,2	26,7	27,1	4		
4. Мочевина	25,3	24,8	26,1	23,2	4		
$N = \sum n =$					$\sum x =$		$\bar{x} =$

Решение:

**Схема дисперсионного анализа:  $S_y = S_v + S_z$**

Таблица преобразованных дат (  $A =$  \_\_\_\_\_ )

Варианты	$X_1 = X - A$				V	$X_1^2$				$V^2$
	1	2	3	4		1	2	3	4	
1										
2										
3										
4										
общая сумма $\sum X_{I=}$										

Общее число наблюдений:  $N = l \cdot n =$  \_\_\_\_\_

Корректирующий фактор:  $C = (\sum X_1)^2 : N =$  \_\_\_\_\_

Суммы квадратов:

общая  $C_y = \sum X_1^2 - C =$  \_\_\_\_\_

вариантов  $C_v = \sum V^2 : n - C =$  \_\_\_\_\_

остатка  $C_z = C_y - C_v =$  \_\_\_\_\_

Таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Суммы квадратов	Степени свободы, $\nu$	Средний квадрат $S^2$	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$
Общая		$N-1 =$	-	-	-
Вариантов		$l-1 =$	$S_v^2 =$		
Остаток		$N-l =$	$S_z^2 =$		

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2_z}{n}} =$$

$$S_d = \sqrt{\frac{2S^2_z}{n}} =$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d =$$

Урожайность (в г/сосуд)

Варианты	Средняя урожайность	Отклонение от контроля ( $HCP_{05} =$ )
1. Без удобрений (контроль)		-
2. Сульфат аммония		
3. Аммиачная селитра		
4. Мочевина		

Вывод:

---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Тема 9. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ОДНОФАКТОРНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА С ОРГАНИЗОВАННЫМИ ПОВТОРЕНИЯМИ

Дисперсионный анализ — наиболее совершенный метод статистической обработки данных, но он применим только к опытам, размещенным методом рендомизации. Преимущества дисперсионного анализа заключаются в вычлениении из общего варьирования его компонентов, в вычислении обобщенной ошибки всего опыта на основе большего числа наблюдений, чем индивидуальные ошибки отдельных вариантов в недисперсионных методах.

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, опишите понятия:

1. Организованные повторения в опыте –

---

---

---

2. Полная рендомизация в опыте –

---

---

---

3. В однофакторном полевом опыте с организованными повторениями общая сумма квадратов ( $C_y$ ), расчленяется на \_\_\_\_\_ ( $C_v$ ),  
\_\_\_\_\_ ( $C_p$ ),  
\_\_\_\_\_ ( $C_z$ ).

4. Общее число степеней свободы ( $N-1$ ), расчленяется на число степеней свободы для варианта \_\_\_\_\_, число степеней свободы для повторений \_\_\_\_\_ и случайного варьирования (ошибки) \_\_\_\_\_.

5. Схема дисперсионного анализа данных полевого опыта с организованными повторениями -

---

---

---

6. Схема дисперсионного анализа данных полевого опыта, заложенного методом полной рендомизации (без повторений) -

---

---

7. Формулы, необходимые для проведения дисперсионного анализа однофакторного полевого опыта с организованными повторениями:

общее число наблюдений в опыте  $N =$  \_\_\_\_\_

корректирующий фактор (поправка)  $C =$  \_\_\_\_\_

общая сумма квадратов  $C_y =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для вариантов  $C_v =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для повторений  $C_p =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для ошибки (остатка)  $C_z =$  \_\_\_\_\_

дисперсия вариантов  $S_v^2 =$  \_\_\_\_\_

дисперсия ошибки  $S_z^2 =$  \_\_\_\_\_

расчетный критерий Фишера  $F =$  \_\_\_\_\_

**Задание 2.** Освойте технику расчетов при дисперсионном анализе данных полевого опыта, в котором изучали урожайность сортов озимой пшеницы. Проведите дисперсионный анализ данных, определите НСР<sub>05</sub> и сгруппируйте сорта по отношению к стандарту. Проверьте нулевую гипотезу  $H_0: d=0$  и сделайте вывод.

Урожайность зерна сортов озимой пшеницы, ц/га

Варианты (сорта)	Повторения, X				Суммы V	Среднее
	I	II	III	IV		
1 (стандарт)	45,7	47,9	43,4	42,1		
2	51,6	50,5	48,6	46,0		
3	44,7	40,0	41,4	38,7		
4	46,0	45,0	43,9	43,7		
5	39,8	38,0	41,0	49,6		
Суммы P					$\Sigma X =$	$\bar{x} =$

Решение:

Таблица преобразованных дат ( $A = \underline{\hspace{2cm}}$ )

Варианты	$X_1 = X - A$				Суммы V	$X_1^2$				Суммы $V^2$
	I	II	III	IV		I	II	III	IV	
1										
2										
3										
4										
5										
Суммы P										
общая сумма $\sum X_1 =$										

**Схема дисперсионного анализа:  $C_y = C_v + C_p + C_z$**

Общее число наблюдений:  $N = l \cdot n = \underline{\hspace{4cm}}$

Корректирующий фактор:  $C = (\sum X_1)^2 : N = \underline{\hspace{4cm}}$

Суммы квадратов:

общая  $C_y = \sum X_1^2 - C = \underline{\hspace{4cm}}$

вариантов  $C_v = \sum V^2 : n - C = \underline{\hspace{4cm}}$

повторений  $C_p = \sum P^2 : l - C = \underline{\hspace{4cm}}$

остатка  $C_z = C_y - C_v - C_p = \underline{\hspace{4cm}}$

Таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат $S^2$	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$
Общая $C_y$		$N - 1 =$	-	-	-
Повторений $C_p$		$n - 1 =$			
Вариантов $C_v$		$l - 1 =$	$S_v^2 =$		
Остаток $C_z$		$(l - 1)(n - 1) =$	$S_z^2 =$		



$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2 z}{n}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{2S^2 z}{n}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot Sd = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$HCP_{05}(\%) = \frac{t_{05} \cdot Sd}{x} \cdot 100\% = \underline{\hspace{10cm}}$$

Урожайность, ц/га

Варианты	Средняя урожайность		Отклонения от стандарта		Группа сортов*
	ц/га	%	ц/га	%	
1 (стандарт)		100	-	100	
2					
3					
4					
5					

*Примечание* \*. В группы объединить сорта следующим образом:

- сорта, имеющие существенно большую урожайность, по сравнению с контролем (группа I),
- сорта, имеющие существенно меньшую урожайность, по сравнению с контролем (группа II),
- сорта, не имеющие существенной разницы с контролем (группа III).

$HCP_{05} =$

Вывод:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Тема 10. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА С РАЗНОЙ ПОВТОРНОСТЬЮ (С НЕПОЛНЫМИ ДАННЫМИ)

Особенностью обработки данных вегетационного опыта с разной повторностью по вариантам является необходимость вычисления нескольких значений наименьшей существенной разности (НСР), так как не все средние равнозначны, поскольку опираются на разное количество наблюдений ( $n$ ). Разную повторность в вариантах также необходимо учесть при вычислении суммы  $C_v$  и ошибки разности средних  $S_d$ .

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, формулы для расчета следующих показателей:

1. Сумма квадратов вариантов с разной повторностью вычисляется по формуле

$$C_v = \underline{\hspace{10cm}}$$

2. Ошибку разности средних вариантов с одинаковой повторностью вычисляют по формуле:

$$S_d = \underline{\hspace{10cm}}$$

3. Ошибку разности средних по вариантам с разной повторностью вычисляют по формуле :

$$S_d' = \underline{\hspace{10cm}}$$

4. Теоретическое значение критерия Стьюдента ( $t$ ) находят по числу степеней свободы дисперсии  $\underline{\hspace{10cm}}$

5. Теоретическое значение критерия Фишера ( $F$ ) находят по степеням свободы дисперсии  $\underline{\hspace{10cm}}$  (в числителе) и дисперсии  $\underline{\hspace{10cm}}$  (в знаменателе).

**Задание 2.** Освойте технику дисперсионного анализа данных опыта с неполным набором данных, если в вегетационном опыте с водной культурой то-

мата изучали действие разных соотношений N: P: K на урожай плодов. В опыте отсутствуют данные по двум повторениям. Проведите дисперсионный анализ результатов опыта и сделайте вывод об эффективности питания растений томатов. Проверьте результаты с помощью программы STRAZ.

Урожай плодов томатов (г/сосуд)

Варианты опыта (N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O)	Урожайность, X						Число наблюдений, n	Суммы V	Средние
1. 1:1:1 (st)	454	470	430	500	460	452	6		
2. 1:2:1	502	550	490	507	530	525	6		
3. 1:2:2	601	670	550	607	650	612	6		
4. 2:1:1	407	412	475	402	-	-	4		
5. 2:2:1	418	470	460	412	-	-	4		
							$\Sigma X =$		$\bar{x} =$

Решение:

Таблица преобразованных дат (A=\_\_\_\_)

Варианты	$X_1 = X - A$						Суммы V	$X_1^2$						Суммы V <sup>2</sup>
1.														
2.														
3.														
4.					-	-						-	-	
5.					-	-						-	-	
$\Sigma X_1 =$								$\Sigma X_1^2 =$						

Схема дисперсионного анализа:  $C_y = C_v + C_z$

Общее число наблюдений:  $N = l \cdot n - n_{\text{вып.даты}} =$  \_\_\_\_\_

Корректирующий фактор:  $C = (\Sigma X_1)^2 : N =$  \_\_\_\_\_

Суммы квадратов:

общая  $C_y = \Sigma X_1^2 - C =$  \_\_\_\_\_

вариантов  $C_v = \left( \frac{V_1^2}{n_1} + \frac{V_2^2}{n_2} + \dots + \frac{V_k^2}{n_k} \right) - C =$  \_\_\_\_\_

остатка  $C_z = C_y - C_v =$  \_\_\_\_\_

Таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат $S^2$	F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub>
Общая $C_y$		$N-1=$	-	-	-
Вариантов $C_v$		$l-1=$	$S_v^2=$		
Остаток $C_z$		$N-l=$	$S_z^2=$		

1. При сравнении  $x_1, x_2$  и  $x_3$  ( $n=6$ ) ошибка разности средних равна:

$$S_d' = \sqrt{\frac{2S^2z}{n}} =$$

$$HCP_{05}' = t_{05} \cdot S_d' =$$

2. При сравнении  $x_1, x_2, x_3$  с  $x_4, x_5$  ( $n_1=6$  и  $n_2=4$ ) ошибка разности средних:

$$S_d'' = \sqrt{S^2 \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}} =$$

$$HCP_{05}'' = t_{05} \cdot S_d'' =$$

3. При сравнении  $x_4$  и  $x_5$  ( $n=4$ ) ошибка разности средних равна:

$$S_d''' = \sqrt{\frac{2S^2z}{n}} =$$

$$HCP_{05}''' = t_{05} \cdot S_d''' =$$

Вывод:

## Тема 11. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ МНОГОФАКТОРНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Дисперсионный анализ особенно ценен для многофакторных опытов, так как позволяет определить достоверность не только действия, но и взаимодействия факторов. В полевом эксперименте часто эффект от совместного применения изучаемых факторов больше (синергизм) или меньше (антагонизм) суммы эффектов от отдельного применения каждого из них.

Многофакторный дисперсионный комплекс – это совокупность исходных наблюдений (дат), позволяющих статистически оценить действие и взаимодействие нескольких изучаемых факторов на изменчивость результативного признака.

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, запишите следующие понятия и формулы:

1. Многофакторный опыт -

---

---

2. В двухфакторном опыте сумма квадратов вариантов ( $C_v$ ) расчленяется на \_\_\_\_\_ ( $C_A$ ), \_\_\_\_\_ ( $C_B$ ) и \_\_\_\_\_ ( $C_{AB}$ ).

3. Схема дисперсионного анализа двухфакторного полевого опыта -

---

---

4. В трехфакторном опыте сумма квадратов вариантов ( $C_v$ ) расчленяется на \_\_\_\_\_ ( $C_A$ ), \_\_\_\_\_ ( $C_B$ ), \_\_\_\_\_ ( $C_C$ ), \_\_\_\_\_ ( $C_{AB}$ ), \_\_\_\_\_ ( $C_{AC}$ ), \_\_\_\_\_ ( $C_{BC}$ ), \_\_\_\_\_ ( $C_{ABC}$ ).

5. Схема дисперсионного анализа трехфакторного полевого опыта -

---

---

6. Степени свободы для: ( $C_A$ ) - \_\_\_\_\_

( $C_B$ ) - \_\_\_\_\_

( $C_C$ ) - \_\_\_\_\_

( $C_{AB}$ ) - \_\_\_\_\_

( $C_{AC}$ ) - \_\_\_\_\_

( $C_{BC}$ ) - \_\_\_\_\_

( $C_{ABC}$ ) - \_\_\_\_\_

**Задание 2.** Уясните сущность многофакторного опыта, освоите технику дисперсионного анализа двухфакторного опыта, проведенного методом рендомизированных повторений и сделайте выводы.

В двухфакторном полевом опыте (2x3) изучали действие двух доз азота ( $a_0, a_1$ ) и трех доз фосфора ( $b_0, b_1, b_2$ ) на урожайность зерна ячменя. Провести дисперсионный анализ данных и проверить результаты с помощью программы STRAZ.

Урожайность зерна ячменя, ц/га

Фактор А (азот)	Фактор В (фосфор)	Повторения, X				Суммы, V	Средние
		I	II	III	IV		
$a_0$	$b_0$	23,1	24,8	23,0	26,8		
	$b_1$	28,4	29,5	30,2	26,5		
	$b_2$	28,7	30,4	32,6	28,0		
$a_1$	$b_0$	31,7	35,4	34,6	32,0		
	$b_1$	46,7	45,6	47,1	46,2		
	$b_2$	59,4	50,6	65,5	62,1		
$N = l_a \cdot l_b \cdot n =$						$\sum X =$	$\bar{x} =$

Решение:

Схема дисперсионного анализа:  $C_y = C_v + C_p + C_z$ ,  
так как  $C_v = C_A + C_B + C_C$ , следовательно

$$C_y = (C_A + C_B + C_C) + C_p + C_z$$

Корректирующий фактор:  $C = (\sum X)^2 : N =$  \_\_\_\_\_

Суммы квадратов:

общая  $C_y = \sum X^2 - C =$  \_\_\_\_\_

вариантов  $C_v = \sum V^2 : n - C =$  \_\_\_\_\_

повторений  $C_p = \sum P^2 : l_a l_b - C =$  \_\_\_\_\_

остатка  $C_z = C_y - C_v - C_p =$  \_\_\_\_\_

Таблица для определения сумм для главных эффектов и взаимодействия

Фактор А (азот)	Фактор В (фосфор)			Суммы А
	В <sub>0</sub>	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	
a <sub>0</sub>				
a <sub>1</sub>				
Суммы В				Σ X =

Сумма квадратов для фактора А (азот):

$$C_A = \frac{\sum A^2}{l_B n} - C = \underline{\hspace{10cm}}$$

при степени свободы  $\nu = l_A - 1 = \underline{\hspace{10cm}}$

Сумма квадратов для фактора В (фосфор):

$$C_B = \frac{\sum B^2}{l_A n} - C = \underline{\hspace{10cm}}$$

при степени свободы  $\nu = l_B - 1 = \underline{\hspace{10cm}}$

Сумма квадратов для взаимодействия факторов А и В:

$$C_{AB} = C_V - (C_A + C_B) = \underline{\hspace{10cm}}$$

при степени свободы  $\nu = (l_A - 1)(l_B - 1) = \underline{\hspace{10cm}}$

Таблица дисперсионного анализа двухфакторного полевого опыта (2x3)  
с рендомизированными повторениями

Дисперсия	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат S <sup>2</sup>	F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub>
Общая (C <sub>y</sub> )			-	-	-
Повторений (C <sub>p</sub> )			-	-	-
Фактора А (C <sub>A</sub> )					
Фактора В (C <sub>B</sub> )					
Взаимодействия (C <sub>AB</sub> )					
Остаток C <sub>z</sub>				-	-

Оценка существенности частных различий:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_Z^2}{n}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{n}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot Sd = \underline{\hspace{10cm}}$$

Оценка существенности главных эффектов и взаимодействия:

для фактора А :  $Sd = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{nl_B}} = \underline{\hspace{10cm}}$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot Sd = \underline{\hspace{10cm}}$$

для фактора В и взаимодействия АВ:

$$Sd = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{nl_A}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot Sd = \underline{\hspace{10cm}}$$

Действие азотных и фосфорных удобрений на урожайность зерна ячменя, ц/га

Дозы азота (фактор А)	Дозы фосфора (фактор В)			Средние по фактору А (HCP <sub>05</sub> = _____)
	В <sub>0</sub>	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	
a <sub>0</sub>				
a <sub>1</sub>				
Средние по фактору В (HCP <sub>05</sub> = _____)				

HCP<sub>05</sub> = \_\_\_\_\_ для сравнения частных средних

Вывод:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Тема 12. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ОПЫТА, РАЗМЕЩЕННОГО МЕТОДОМ ЛАТИНСКОГО КВАДРАТА И ЛАТИНСКОГО ПРЯМОУГОЛЬНИКА

*Метод рендомизированных латинских квадратов* — это размещение вариантов таким образом, чтобы в каждой строчке и в каждом столбике присутствовали все варианты в соответствии со схемой опыта и ни один из них не повторялся (рис. 8).

	<i>Столбцы</i>			
	2	4	1	3
Ряды	1	3	2	4
	4	1	3	2
	3	2	4	1

Рис. 8. Размещение вариантов опыта методом рендомизированного латинского квадрата (4x4).

*Метод латинского квадрата целесообразно использовать в таких условиях, когда плодородие почвы изменяется в двух взаимно перпендикулярных направлениях* (например, в одном направлении — вдоль склона, а перпендикулярно — под влиянием лесополосы или грунтовой дороги).

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

*Рендомизированный латинский прямоугольник* — случайное размещение всех вариантов в пределах каждого ряда и каждого отдельного блока (рис. 9).

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

Рис. 9. Размещение вариантов опыта методом рендомизированного латинского прямоугольника (4x4 x12).

*Метод латинского прямоугольника эффективен в том случае, если плодородие почвы изменяется не только в двух взаимно перпендикулярных направлениях, но и по диагонали. Условия метода латинского прямоугольника: число вариантов должно быть кратным числу повторности, т. е. при 9 вариантах в опыте может быть 3 повторности, при 12 — 3 и 4, при 15 — 3 и 5; повторения организуются и по рядам, и по блокам, в пределах которых должен быть полный набор вариантов.*

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, запишите следующие понятия и формулы:

1. Схема дисперсионного анализа данных опытов, размещенных методом латинского квадрата и латинского прямоугольника - \_\_\_\_\_

2. Формулы, необходимые для проведения дисперсионного анализа данных опыта, размещенного методом латинского квадрата:

общее число наблюдений в опыте  $N =$  \_\_\_\_\_

корректирующий фактор (поправка)  $C =$  \_\_\_\_\_

общая сумма квадратов  $S_y =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для столбцов  $S_c =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для рядов  $S_r =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для вариантов  $S_v =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для ошибки (остатка)  $S_z =$  \_\_\_\_\_

дисперсия вариантов  $S_v^2 =$  \_\_\_\_\_

дисперсия ошибки  $S_z^2 =$  \_\_\_\_\_

расчетный критерий Фишера  $F =$  \_\_\_\_\_

3. Формулы, необходимые для проведения дисперсионного анализа данных опыта, размещенного методом латинского прямоугольника:

общее число наблюдений в опыте  $N =$  \_\_\_\_\_

корректирующий фактор (поправка)  $C =$  \_\_\_\_\_

общая сумма квадратов  $S_y =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для столбцов  $S_c =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для рядов  $S_r =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для вариантов  $C_v =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов для ошибки (остатка)  $C_z =$  \_\_\_\_\_

дисперсия вариантов  $S_v^2 =$  \_\_\_\_\_

дисперсия ошибки  $S_z^2 =$  \_\_\_\_\_

расчетный критерий Фишера  $F =$  \_\_\_\_\_

**Задание 2.** Изучить и освоить технику дисперсионного анализа данных опытов, заложенных методом латинского квадрата (пример 1) и прямоугольника (пример 2), определить критерий  $F$  и сделать выводы. Проверить результаты с помощью программы STRAZ.

*Пример 1.* В полевом опыте с озимой пшеницей изучали сорта озимой пшеницы (сорт  $A$ , сорт  $B$ , сорт  $C$ , сорт  $D$ , сорт  $E$ ). Варианты (сорты) заложены по схеме латинского квадрата (5x5), провести дисперсионный анализ данных.

Схема размещения опыта  
и урожайность зерна озимой пшеницы, ц/га

Ряды	Столбцы					Суммы по		Средние по вариантам
	1	2	3	4	5	рядам $P$	вариантам, $V$	
1	33,2 $D$	31,1 $C$	33,6 $A$	34,5 $B$	33,8 $E$		$A$	$A$
2	40,9 $B$	32,7 $A$	39,6 $E$	37,7 $C$	36,3 $D$		$B$	$B$
3	35,8 $E$	28,7 $B$	37,9 $D$	32,8 $A$	34,5 $C$		$C$	$C$
4	34,2 $A$	35,6 $D$	36,8 $C$	40,2 $E$	34,9 $B$		$D$	$D$
5	31,2 $C$	34,7 $E$	26,8 $B$	33,7 $D$	31,2 $A$		$E$	$E$
Суммы $C$ по столбцам							$\sum X =$	$\bar{x} =$

Правильность вычисления сумм проверяют по равенству:  $\sum P = \sum C = \sum V = \sum X$

Решение:

Таблица преобразованных дат ( $A =$  \_\_\_\_\_)

Ряды	Столбцы					Суммы	
	$X_1 = X - A$					$P$	$V$
	1	2	3	4	5		
1							
2							
3							
4							
5							
Суммы, $C$						$\sum X_1 =$ _____	

**Схема дисперсионного анализа:  $C_y = C_c + C_p + C_v + C_z$**

Общее число наблюдений  $N = n \cdot n =$  \_\_\_\_\_

Корректирующий фактор:  $C = (\sum X_1)^2 : N =$  \_\_\_\_\_

Суммы квадратов:

общая  $C_y = \sum X_1^2 - C =$  \_\_\_\_\_

столбцов  $C_c = \sum C^2 : n - C =$  \_\_\_\_\_

рядов  $C_p = \sum P^2 : n - C =$  \_\_\_\_\_

вариантов  $C_v = \sum V^2 : n - C =$  \_\_\_\_\_

остатка  $C_z = C_y - C_c - C_p - C_v =$  \_\_\_\_\_

**Результаты дисперсионного анализа**

Дисперсия	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат, $S^2$	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$
Общая ( $C_y$ )			-	-	-
Столбцов ( $C_c$ )			-	-	-
Рядов ( $C_p$ )			-	-	-
Вариантов ( $C_v$ )					
Остаток ( $C_z$ )				-	-

Оценка существенности частных различий:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_z^2}{n}} = \underline{\hspace{2cm}} \quad S_d = \sqrt{\frac{2S_z^2}{n}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = \underline{\hspace{2cm}} \quad HCP_{05} = \frac{t_{05} \cdot S_d}{x} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{2cm}}$$

Урожайность зерна сортов озимой пшеницы, ц/га

Варианты (сорта)	Средняя урожайность	Отклонение от стандарта		Группа
		т/га	%	
A (st)		-	-	st
B				
C				
D				
E				
HCP <sub>05</sub>	-			-

Вывод:

---



---



---



---

*Пример 2.* В полевом опыте изучали продуктивность сортов кукурузы по показателю урожая зеленой массы. Варианты опыта (сорта—А,В,С,Д,Е,Ф,Г,Н) заложены методом латинского прямоугольника (4x4x8). Провести дисперсионный анализ, разгруппировать сорта кукурузы и сделать вывод.

Схема размещения опыта и урожайность зеленой массы кукурузы, т/га

Ряды	Столбцы				Суммы по		Средние по вариантам
	1	2	3	4	рядам $P$	вариантам, $V$	
1	47 <i>E</i>	64 <i>G</i>	37 <i>B</i>	51 <i>D</i>		<i>A</i>	<i>A</i>
	41 <i>A</i>	66 <i>C</i>	46 <i>F</i>	60 <i>H</i>		<i>B</i>	<i>B</i>
2	65 <i>G</i>	41 <i>E</i>	55 <i>D</i>	34 <i>B</i>		<i>C</i>	<i>C</i>
	66 <i>C</i>	41 <i>A</i>	53 <i>H</i>	35 <i>F</i>		<i>D</i>	<i>D</i>
3	42 <i>F</i>	50 <i>H</i>	40 <i>E</i>	51 <i>G</i>		<i>E</i>	<i>E</i>
	42 <i>B</i>	48 <i>D</i>	36 <i>A</i>	60 <i>C</i>		<i>F</i>	<i>F</i>
4	52 <i>H</i>	45 <i>F</i>	54 <i>G</i>	30 <i>E</i>		<i>G</i>	<i>G</i>
	61 <i>D</i>	37 <i>B</i>	59 <i>C</i>	46 <i>A</i>		<i>H</i>	<i>H</i>
Суммы $C$ по столбцам						$\sum X =$	$\bar{x} =$

Правильность вычисления сумм проверяют по равенству:  $\sum P = \sum C = \sum V = \sum X$

Решение:

**Схема дисперсионного анализа:**  $C_y = C_c + C_p + C_v + C_z$

Общее число наблюдений  $N = n \cdot l =$  \_\_\_\_\_

Корректирующий фактор:  $C = (\sum X)^2 : N =$  \_\_\_\_\_

Суммы квадратов:

общая  $C_y = \sum X^2 - C =$  \_\_\_\_\_

столбцов  $C_c = \sum C^2 : l - C =$  \_\_\_\_\_

рядов  $C_p = \sum P^2 : l - C =$  \_\_\_\_\_

вариантов  $C_v = \sum V^2 : n - C =$  \_\_\_\_\_

остатка  $C_z = C_y - C_c - C_p - C_v =$  \_\_\_\_\_

### Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат, $S^2$	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$
Общая ( $C_y$ )			-	-	-
Столбцов ( $C_c$ )			-	-	-
Рядов ( $C_p$ )			-	-	-
Вариантов ( $C_v$ )					
Остаток ( $C_z$ )				-	-

Оценка существенности частных различий:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_z^2}{n}} = \underline{\hspace{2cm}} \quad S_d = \sqrt{\frac{2S_z^2}{n}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = \underline{\hspace{2cm}} \quad HCP_{05} = \frac{t_{05} \cdot S_d}{x} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{2cm}}$$

Урожайность зеленой массы кукурузы, т/га

Варианты (сорта)	Средняя урожайность	Отклонение от стандарта		Группа
		т/га	%	
<i>A (st)</i>		-	-	<i>st</i>
<i>B</i>				
<i>C</i>				
<i>D</i>				
<i>E</i>				
<i>F</i>				
<i>G</i>				
<i>H</i>				
$HCP_{05}$	-			-

Вывод:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Тема 13. ЛИНЕЙНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ И РЕГРЕССИЯ

Между варьирующими явлениями, объектами, условиями среды, ростом, продуктивностью растений и другими показателями существуют определенные взаимосвязи: значение средней величины одного признака изменяется при изменении другого признака. Взаимосвязи между варьирующими признаками называют *корреляцией*.

Корреляции подразделяют по направлению, форме и числу связей. По *направлению* корреляция может быть прямой или обратной. При *прямой корреляции* с увеличением значения признака  $X$  увеличивается значение признака  $Y$ . Примеры прямой корреляции: чем быстрее нарастает число клубней картофеля определенных размеров, тем выше урожай; чем больше длина листа, тем больше его площадь; чем лучше освещены растения, тем интенсивнее синтез органических веществ, и т. п.

При *обратной корреляции* с увеличением значения признака  $X$  значение признака  $Y$  уменьшается. Например, при постоянном увеличении массы корней свеклы уменьшается их сахаристость.

По *форме* корреляция бывает линейной и криволинейной. *Линейная корреляция* имеет место, когда с увеличением признака  $X$  соответственно увеличивается второй признак  $Y$ . Например, площадь листьев возрастает с увеличением их длины; урожай увеличивается с увеличением числа полноценных зерен; ростовые процессы улучшаются при увеличении площади питания растений.

При *криволинейной корреляции* значения  $X$  и  $Y$  изменяются сначала в одном направлении, а затем в противоположных. Так, при постоянно возрастающих дозах фактора  $X$  (азотные или другие удобрения, влажность почвы, ее плотность и т. п.) урожай  $Y$  сначала возрастает, затем стабилизируется, а после дальнейшего увеличения признака  $X$  снижается.

По *числу связей* корреляция может быть *простой*, когда имеется связь между двумя признаками, и *множественной*, когда связано три признака и более. Например, урожай зависит от дозы азота, фосфора, калия, норм орошения и других факторов. По силе связи корреляция бывает полной, сильной, средней, слабой; она может быть также достоверной и недостоверной.

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, запишите следующие понятия и формулы:

1. Коэффициент корреляции ( $r$ ) - \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Коэффициент детерминации ( $d$ ) - \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. При каких значениях коэффициента корреляции связь между зависимыми признаками :

полная –  $r =$  \_\_\_\_\_

сильная –  $r =$  \_\_\_\_\_

средняя –  $r =$  \_\_\_\_\_

слабая –  $r =$  \_\_\_\_\_

4. Запишите формулы для расчета:

коэффициента корреляции  $r =$  \_\_\_\_\_

ошибки коэффициента корреляции  $Sr =$  \_\_\_\_\_

критерия существенности корреляции  $t_r =$  \_\_\_\_\_

5. Теоретическое значение Стьюдента  $t$  находят по числу степеней свободы равном  $\nu_r =$  \_\_\_\_\_

6. Регрессия - \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7. Уравнение регрессии имеет вид:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

8. Запишите формулы для расчета:

коэффициентов регрессии  $R_{yx} =$  \_\_\_\_\_

$R_{xy} =$  \_\_\_\_\_

ошибки коэффициента регрессии  $S_{R_{yx}} =$  \_\_\_\_\_

$S_{R_{xy}} =$  \_\_\_\_\_

критерия существенности регрессии  $t_R =$  \_\_\_\_\_



**Задание 2.** Изучите корреляционно-регрессионный метод анализа результатов исследований. Вычислите коэффициенты прямолинейной корреляции и регрессии, составьте уравнение регрессии и представьте данные графически.

Проанализируйте корреляционно-регрессионную зависимость между длиной листьев озимой пшеницы (см) и их площадью (см<sup>2</sup>).

Вычисление корреляционной зависимости между длиной листьев озимой пшеницы (признак X) и их площадью (признак Y)

Но мер пар	Значение признаков		Отклонения		Произведения $(X-\bar{x})(Y-\bar{y})$	Квадраты отклонений	
	длина листьев, см (X)	площадь листьев, см <sup>2</sup> (Y)	$X-\bar{x}$	$Y-\bar{y}$		$(X-\bar{x})^2$	$(Y-\bar{y})^2$
1	16,0	6,2					
2	17,3	8,5					
3	18,5	10,1					
4	18,9	10,6					
5	20,1	11,4					
6	20,9	12,5					
7	21,3	13,3					
8	21,7	13,7					
9	22,3	14,2					
10	22,3	15,0					
11	22,6	15,7					
12	22,8	16,0					
13	23,0	17,6					
14	24,1	18,6					
15	25,4	20,4					
Суммы $\Sigma X =$	$\Sigma Y =$	$\Sigma X - \bar{x} =$	$\Sigma Y - \bar{y} =$	$\Sigma (X - \bar{x})(Y - \bar{y}) =$	$\Sigma (X - \bar{x})^2 =$	$\Sigma (Y - \bar{y})^2 =$	
число пар $n = 15$		=	=	=	=	=	

Решение:

Находим средние арифметические:

$$\bar{x} = \Sigma X : n = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\bar{y} = \Sigma Y : n = \underline{\hspace{10cm}}$$

Коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\Sigma (X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma (X - \bar{x})^2 \Sigma (Y - \bar{y})^2}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

Ошибка коэффициента корреляции:

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} = \underline{\hspace{15cm}}$$

Критерий достоверности коэффициента корреляции:

$$t_r = \frac{r}{S_r} = \underline{\hspace{15cm}}$$

Теоретическое значение критерия Стьюдента:

при  $\nu_r = n - 2 = \underline{\hspace{5cm}}$   $t_{05} = \underline{\hspace{5cm}}$

Доверительный интервал для коэффициента корреляции:

$$r \pm t_{05} \cdot S_r = \underline{\hspace{15cm}}$$

Вывод о достоверности связей делают на основе такого правила: если критерий существенности коэффициента корреляции фактический больше критерия теоретического или равен ему, то связь достоверная (существенная).

Вывод о достоверности связей:

---

---

---

---

---

---

---

При сильной и достоверной связи между признаками проводят регрессионный анализ:

Коэффициент регрессии:

$$R_{yx} = \frac{\sum(X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sum(X - \bar{x})^2} = \underline{\hspace{15cm}}$$

Ошибка коэффициента регрессии:

$$S_{Ryx} = S_r \sqrt{\frac{\sum(Y - \bar{y})^2}{\sum(X - \bar{x})^2}} = \underline{\hspace{15cm}}$$

Доверительный интервал для коэффициента регрессии:

$$R_{yx} \pm t_{05} \cdot S_{R_{yx}} = \underline{\hspace{15em}}$$

**Уравнение регрессии имеет вид:**

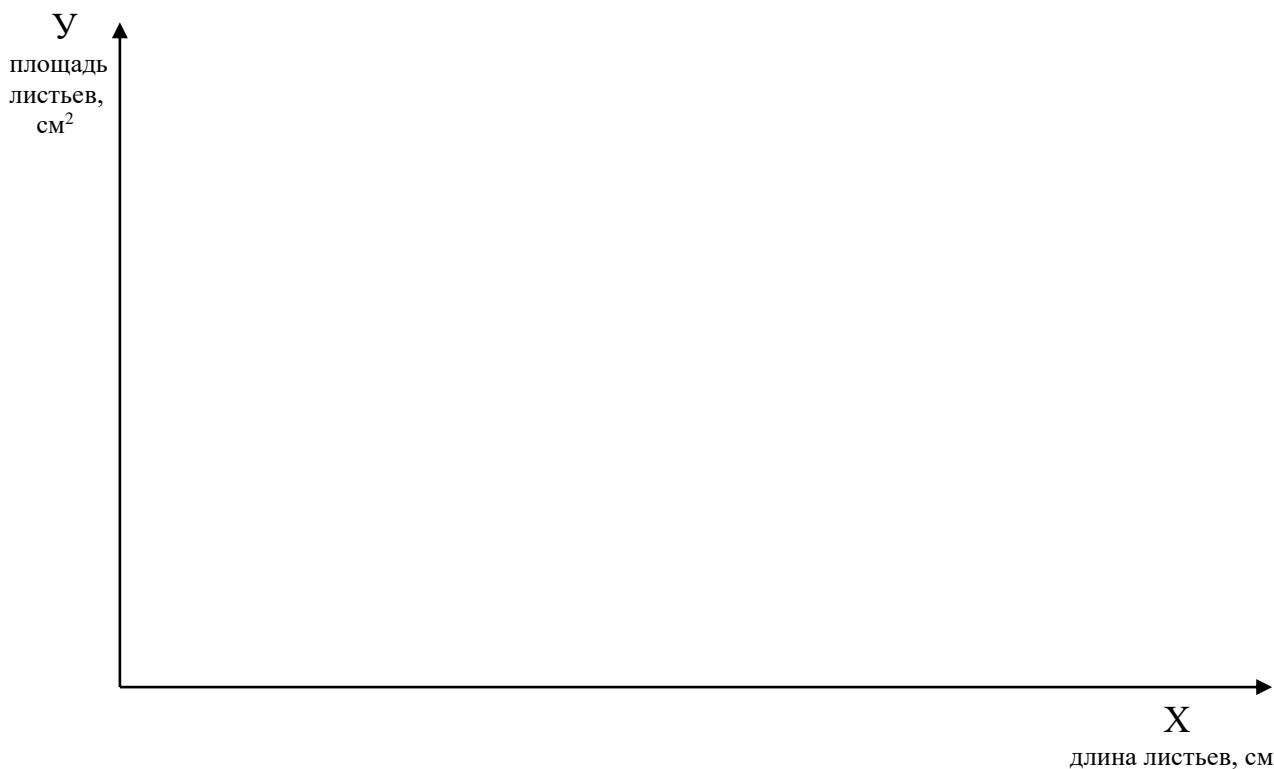
$$Y = \bar{y} + R_{yx} (X - \bar{x}) = \underline{\hspace{15em}}$$

Для графического изображения корреляционно-регрессионной зависимости по уравнению регрессии находим теоретические усредненные значения  $Y$  (при  $X_{\min}$  и  $X_{\max}$ ). По двум найденным точкам строим линию регрессии:

$$Y_{(X_{\min})} = \underline{\hspace{10em}}$$

$$Y_{(X_{\max})} = \underline{\hspace{10em}}$$

Теоретическая линия регрессии и точечный график зависимости между длиной листьев озимой пшеницы и их площадью



**Вывод:**

---

---

---

---

---

---

## Тема 14. КОВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Ковариационный анализ применяют для обработки экспериментальных данных в опытах с многолетними культурами. Нередки случаи, когда деревья или кусты ягодников, многолетние травы на делянках значительно различаются по силе роста и урожаю в самом начале опыта. Как правило, такие растения еще больше различаются в конце опыта, поэтому оценка эффективности изучаемых вариантов без поправок на первоначальное состояние растений не будет объективной. В таких случаях необходимо установить соотношение между варьированием первоначального показателя, например урожая  $X$ , и последующим урожаем  $Y$  с помощью *ковариационного анализа*.

Ковариационный анализ используют также тогда, когда отдельные растения в опыте выпадают из-за повреждения вредителями, морозами, поражения болезнями. Однако его не следует применять в тех случаях, когда сильное поражение болезнями или морозами при сортоиспытании является особенностью сорта или когда в агротехническом опыте растения выпадают под влиянием высоких доз удобрений, гербицидов.

*Сочетание дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов для приведения фактических средних по ряду  $Y$  к полной выравненности условий опыта по ряду  $X$  называют ковариационным анализом.* В математической статистике ковариация ( $cov$ ) — это средняя из произведений отклонений двух переменных  $X$  и  $Y$  от их средних арифметических.

**Задание 1.** Пользуясь материалом учебника, запишите следующие понятия и формулы:

1. Этапы проведения ковариационного анализа - \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. В каких опытах результаты исследований обрабатываются методом ковариационного анализа - \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Формулы для вычисления сумм квадратов отклонений для ряда  $X$ :

корректирующий фактор  $C =$  \_\_\_\_\_

общая сумма квадратов  $C_y =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов вариантов  $C_v =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов повторений  $C_p =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов остатка  $C_z =$  \_\_\_\_\_

4. Формулы для вычисления сумм квадратов отклонений для ряда  $Y$ :

корректирующий фактор  $C =$  \_\_\_\_\_

общая сумма квадратов  $C_y =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов вариантов  $C_v =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов повторений  $C_p =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов остатка  $C_z =$  \_\_\_\_\_

5. Формулы для вычисления сумм квадратов отклонений для произведения  $XU$ :

корректирующий фактор  $C =$  \_\_\_\_\_

общая сумма квадратов  $C_y =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов вариантов  $C_v =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов повторений  $C_p =$  \_\_\_\_\_

сумма квадратов остатка  $C_z =$  \_\_\_\_\_

6. Формула для вычисления суммы квадратов регрессии:

$$C_R = \underline{\hspace{15em}}$$

7. Формула для вычисления коэффициента регрессии:

$$R_{yx} = \underline{\hspace{15em}}$$

**Задание 2.** Закрепите методику проведения ковариационного анализа данных в многолетнем опыте с яблоней, где изучалось действие удобрений на урожайность яблок. Урожайность в начале ( $X$ ) и в конце опыта ( $Y$ ) приведена в таблице. Провести ковариационный анализ и при необходимости сделать поправку урожайности в конце опыта с учетом первоначальной. определите  $HC_{P05}$  и сделайте выводы. Проверить результаты с помощью программы STRAZ.

Урожайность яблонь в начале ( $X$ ) и в конце ( $Y$ ) опыта, т/га

Варианты (удобрения)		Повторения				Суммы $V_x$ и $V_y$	Средние
		I	II	III	IV		
1.	$X$	1,1	1,3	0,9	1,4		
	$Y$	1,5	1,4	1,6	1,8		
2.	$X$	1,3	1,2	1,0	1,6		
	$Y$	1,4	1,3	1,2	1,7		
3.	$X$	1,5	1,0	1,5	1,6		
	$Y$	1,9	1,5	1,7	1,9		
Суммы	$P_x$					$\sum X =$	$\bar{x} =$
	$P_y$					$\sum Y =$	$\bar{y} =$

Решение:

Проверяем правильность вычислений:

$$\sum V_x = \sum P_x = \sum X = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\sum V_y = \sum P_y = \sum Y = \underline{\hspace{10cm}}$$

Дисперсионный анализ для ряда  $X$ :

$$C = (\sum X)^2 : N = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$C_y = \sum X^2 - C = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$C_p = \sum P_x^2 : l - C = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$C_v = \sum V_x^2 : n - C = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v = \underline{\hspace{10cm}}$$

Дисперсионный анализ для ряда  $Y$ :

$$C = (\sum Y)^2 : N = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$C_y = \sum Y^2 - C = \underline{\hspace{10cm}}$$

---

$$C_p = \sum P_y^2 : l - C = \underline{\hspace{10em}}$$

---

$$C_v = \sum V_y^2 : n - C = \underline{\hspace{10em}}$$

---

$$C_z = C_y - C_p - C_v = \underline{\hspace{10em}}$$

---

Дисперсионный анализ произведения XY:

$$C = \sum X \sum Y : N = \underline{\hspace{10em}}$$

$$C_y = \sum XY - C = \underline{\hspace{10em}}$$

---

$$C_p = \sum P_x P_y : l - C = \underline{\hspace{10em}}$$

---

$$C_v = \sum V_x V_y : n - C = \underline{\hspace{10em}}$$

---

$$C_z = C_y - C_p - C_v = \underline{\hspace{10em}}$$

---

Сумма квадратов регрессии:

$$C_R = \frac{(\sum XY)^2}{\sum X^2} = \frac{C_z^2(\text{для } XY)}{C_z(\text{для } X^2)} = \underline{\hspace{10em}}$$

---

Коэффициент регрессии:

$$R_{yx} = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{C_z(\text{для } XY)}{C_z(\text{для } X^2)} = \underline{\hspace{10em}}$$

---

---

## Результаты ковариационного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов и произведений			Степени свободы, $\nu$	Средний квадрат, $S^2$	$F_{факт.}$	$F_{05}$	$R_{yx}$
	$X^2$	$XU$	$U^2$					
Общая				$N-1=$	-	-	-	-
Повторений				$n-1=$	-	-	-	-
Вариантов				$l-1=$				
Остаток I				$(n-1)(l-1)=$		-	-	-
Регрессия	-	-					-	-
Остаток II	-	-				-	-	-

*Остаток II = Остаток I – Регрессия ( $C_R$ )*

*Степень свободы остатка II = степень свободы остатка I - степень свободы регрессии*

**Вывод о необходимости поправок урожайности  
(при сравнении  $F_{факт.}$  и  $F_{05}$  для вариантов и регрессии):**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Корректировка урожайности яблонь в конце опыта  
с учетом урожайности в начале опыта**

Вариант	Средняя урожайность в начале опыта ( $X$ ), т/га	$\bar{x} - X$	$R_{yx} \cdot (\bar{x} - X)$	Средняя урожайность в конце опыта ( $U$ ), т/га	Скорректированная урожайность, т/га
1					
2					
3					
	$\bar{x} =$			$\bar{y} =$	

**Вывод:**

---

---

---

---

---

---

---

---



## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *Основная литература*

1. Кирюшин Б. Д. Основы научных исследований в агрономии. СПб.: КВАДРО, 2013. 265 с.
2. Яшин И.М. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. М. МСХА, 2000. 210 с.
3. Глуховцев В. В. Практикум по основам научных исследований в агрономии. М.: Колос, 2006. 210 с.

### *Дополнительная литература*

1. Кирюшин Б.Д. Основы научных исследований в агрономии: учебник для ВУЗа. М.: КолосС, 2009. 316 с.
2. Основы научных исследований в агрономии: учеб. для с.-х. вузов / В.Ф. Моисейченко и др. М.: Колос, 1994. 284 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: учебник. М.: Агропромиздат, 1985. 228 с.
4. Кирюшин Б.Д.. Методика научной агрономии: учеб. пособие. Ч. 1. Введение в опытное дело и статистическую оценку. М.: МСХА, 2004. 167 с.
5. Кирюшин Б.Д. Методика научной агрономии: учеб. пособие. Ч. 2. Постановка опытов и статистико-агрономическая оценка их результатов. М.: МСХА, 2005. 199 с.

Учебное издание

Мельникова Ольга Владимировна

# НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АГРОНОМИИ И АГРОХИМИИ

Учебно-методическое пособие для проведения  
лабораторно-практических занятий со студентами направления  
подготовки **35.03.03** **Агрохимия и агропочвоведение**

Редактор Павлютина И.П.

---

Подписано к печати 12.11.2021 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,37. Тираж 50 экз. Изд. №7077.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ