

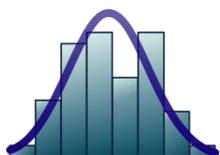
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Р.Р. Усманов

**МЕТОДИКА  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В АГРОНОМИИ  
(с расчетами в программах EXCEL и STRAZ)**

*Методические указания по выполнению  
практических занятий*



МОСКВА

2022

УДК 631.527.85:004.9(076)  
У757

У757 **Усманов, Р. Р.** Методика экспериментальных исследований в агрономии (с расчетами в программах Excel и Straz) : Методические указания по выполнению практических занятий/ Р. Р. Усманов; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. – 81с. – Текст: электронный.

ISBN 978-5-9675-1889-8

В методических указаниях изложен материал по выполнению практических занятий по курсу «Методика экспериментальных исследований в агрономии» с рекомендациями по применению программы Excel и Straz для статистической обработки результатов агрономических экспериментов. Методические указания подготовлены в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначены для магистров по направлению подготовки «Агрономия».

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией Института агробиотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, протокол № 4 от 10 января 2022 года.

Usmanov, R. R. The methodology of experimental research in agronomy (with calculations in the Excel and rhinestones programs) : Methodological guidelines for the implementation of practical exercises / R. R. Usmanov; «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», – Moscow : RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev, 2022. – 81 p. – Text: electronic.

The guidelines contain material on the implementation of practical classes on the course "Methods of experimental research in agronomy" with recommendations on the use of Excel and Straz programs for statistical processing of the results of agronomic experiments. The guidelines have been prepared in accordance with the work program of the discipline and are intended for masters in the field of training "Agronomy".

Recommended for publication by the Educational and methodological commission of the Institute of Agrobiotechnology «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Protocol No. 4 of January 10, 2022.

© Усманов Р.Р., 2022

© ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА  
имени К.А. Тимирязева, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b>	4
<b>Глава 1. Описательная статистика</b>	5
1.1. Основные статистические показатели (характеристики) данных агрономических исследований	5
1.2. Диаграммы размаха	8
1.3. Группировка и визуализация результатов агрономических исследований – построение графиков (гистограмм)	9
1.4. Анализ распределения – проверка моделей на соответствие нормальному распределению	14
<b>Глава 2. Сравнение двух вариантов агрономических исследований</b>	17
2.1. Сравнение средних значений независимых выборок при количественной изменчивости	18
2.2. Сравнение средних значений зависимых выборок при количественной изменчивости	23
2.3. Оценка двух вариантов при качественной изменчивости признаков	25
2.4. Непараметрические критерии для сравнения средних вариантов	27
<b>Глава 3. Дисперсионный анализ данных агрономических исследований</b>	31
3.1. Дисперсионный анализ данных полевого эксперимента, заложенного методом организованных повторений (блоков)	32
3.1.1. Множественные сравнения разности средних между вариантами	35
3.2. Дисперсионный анализ данных двухфакторного полевого опыта, заложенного методом расщепленных делянок	39
3.3. Дисперсионный анализ данных с неоднородными выборками	45
3.4. Дисперсионный анализ данных полевого опыта за ряд лет	48
<b>Глава 4. Корреляционно-регрессионный анализ данных агрономических исследований</b>	52
4.1. Парная корреляция, линейная регрессионная модель	53
4.2. Нелинейные регрессионные модели	58
4.3. Ранговая корреляция	61
4.4. Множественная регрессионная модель	62
<b>Глава 5. Ковариационный анализ</b>	66
5.1. Ковариационный анализ для введения поправки на изреженность	66
<b>Глава 6. Планирование экспериментов в агрономии</b>	71
6.1. Планирование основных элементов методики полевого опыта	71
6.2. Разработка программы наблюдений и учетов в эксперименте	73
Приложения. Статистические таблицы	75
Библиографический список	80

## ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей научных исследований в агрономии является установление различий между изучаемыми вариантами опыта, количественная оценка действия факторов жизни, условий или приемов возделывания на урожай растений и его качество. Источником теоретических исследований в агрономии являются наблюдение и эксперимент. Изучение явлений и процессов в агрономии представляет собой исследование количественных модельных закономерностей на основе анализа характеризующих их статистических данных. Закономерности в агрономии выражаются в виде связей и зависимостей статистических показателей, математических моделей. Такие зависимости и модели могут быть получены только путем обработки реальных экспериментальных данных.

Статистическая обработка данных исследований, полученных в процессе проведения агрономических экспериментов, учетов и наблюдений, необходима для проверки степени достоверности полученных результатов, правильности их обобщения и анализа, моделирования биологических процессов и явлений. Информативность результатов экспериментальных исследований в немалой степени определяется глубиной статистической обработки и качеством их представления, в чем неопределима роль современных компьютерных программ.

В методических указаниях изложен материал по выполнению практических занятий по курсу «Методика экспериментальных исследований в агрономии» с рекомендациями по применению программ EXCEL и STRAZ для статистических расчетов. С целью подготовки к занятиям и правильного решения предлагаемых заданий в каждой работе в краткой форме излагается теоретическая часть. На основании проведенных расчетов по каждой работе необходимо сделать статистические и агрономические выводы.

Методические указания предназначены для магистров по направлению подготовки 35.04.04 – «Агрономия».

# Глава 1. ОПИСАТЕЛЬНАЯ СТАТИСТИКА

## 1.1 Основные статистические показатели (характеристики) данных агрономических исследований

### Теоретическая часть:

Все методы агрономических исследований делятся на *наблюдения и эксперименты* или опыты, в которых изучаемые биологические объекты (растения, почва, окружающая среда), во-первых, состоят из большого множества, а во-вторых, они подвержены изменчивости (вариации). В связи с этим, в агрономии при проведении наблюдений, обследований, испытании и постановке экспериментов пользуются выборочным методом исследований, сущность которого заключается в том, что изучаются не все подлежащие изучению объекты (*генеральная совокупность*), а только часть этих объектов (*выборка*), и по результатам выборки оценивается генеральная совокупность. Выборочный метод исследований позволяет сделать оценку (выводы) с определенными допусками (ошибками) и всегда имеет вероятностный характер. Для более точной и объективной оценки генеральной совокупности по результатам выборочного исследования необходимо использовать целый ряд статистических характеристик и критериев. Например, значение генеральной средней (средней генеральной совокупности –  $\mu$ ) при количественной изменчивости можно определить по значению выборочной средней ( $\bar{x}$ ) и ее ошибки ( $s_{\bar{x}}$ ).

### Общая постановка задачи:

1. Познакомиться с простейшим видом научного исследования: *наблюдение* (учеты, измерения, анализы и т.д.).

2. Рассчитать основные статистические показатели данных наблюдений.

Пример 1. Произведено взвешивание 10-ти клубней картофеля ( $n = 10$ ).

Получены следующие результаты ( $X$ , г): 70, 64, 135, 76, 83, 12, 75, 60, 115, 85.

Рассчитать статистические показатели выборки.

### 1.1. Расчет статистических показателей:

Выборочная средняя  $\bar{x} = \frac{\sum X}{n} =$

Поправка  $C = \frac{(\sum X)^2}{n} =$

Сумма квадратов (СК)  $\sum (X - \bar{x})^2 = \sum X^2 - C =$

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

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

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

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

Относительная ошибка средней  $E = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100$

95%-й доверительный интервал (ДИ) для генеральной средней ( $\mu$ ):

$$\bar{x} \pm t_{05} \cdot S_{\bar{x}} =$$

95%-й доверительный интервал (ДИ) для всей совокупности (любого значения  $X$ ):

$$\bar{x} \pm t_{05} \cdot S =$$

Медиана  $Me (Q_{50})$  – центральное значение ранжированной выборки:

при  $n$ , равном нечетному числу  $Me (Q_{50}) = X_{(n+1)/2}$

при четном  $n$ ,  $Me = \left( X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1} \right) / 2 =$

### Расчет основных статистических показателей с использованием надстройки *Анализ данных* в программе *Excel*

Надстройка **Анализ данных** в программе **Excel** служит для расчета основных статистических показателей в автоматическом режиме. Установка надстройки перед первым использованием осуществляется в следующей последовательности: **Файл** → **Параметры** → **Надстройки** → **Имя** → **Пакет анализа** → **Перейти** → откроется меню **Надстройки** → **Доступные настройки** → выберите **Пакет анализа** → **ОК**. В результате на вкладке **Данные** в группе **Анализ** появится пиктограмма **Анализ данных**, которая обеспечит доступ к инструментам анализа. При запуске надстройки **Анализ данных** открывается диалоговое окно, в котором можно выбрать до 19 различных инструментов статистической обработки экспериментальных данных.

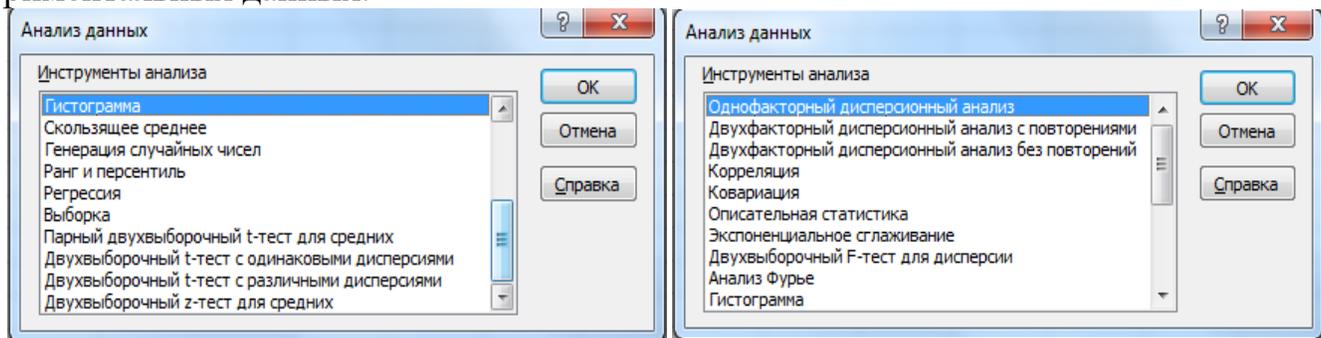


Рис. 1.1. Диалоговое окно выбора инструментов статистической обработки

Для расчета основных статистических показателей на вкладке **Данные** в группе **Анализ** нажать на пиктограмму **Анализ данных**, в появившемся диалоговом окне выбрать инструмент анализа **Описательная статистика** (рис.1.2, рис. 1.3.)

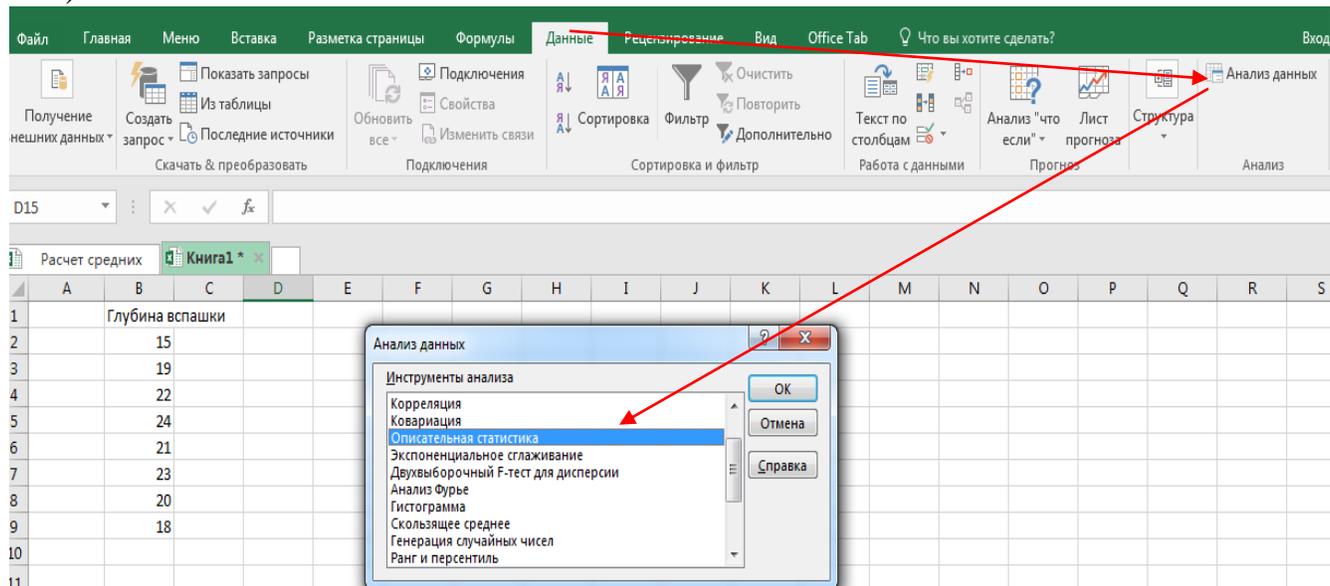


Рис.1.2. Исходные данные и выбор инструмента «Описательная статистика» (Excel – 2016)

В окне **Описательная статистика** в поле **Входной интервал:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **B1:B9** и нажать **Ввод**, выбрать **Группирование по столбцам**, поставить галочку в поле **Метки в первой строке** (в этом случае в заголовке результатов будет автоматически прописано «Глубина вспашки»), в поле **Выходной интервал** можно выбрать размещение на рабочем листе с исходными данными, **Новый рабочий лист** или **Новая рабочая книга**.

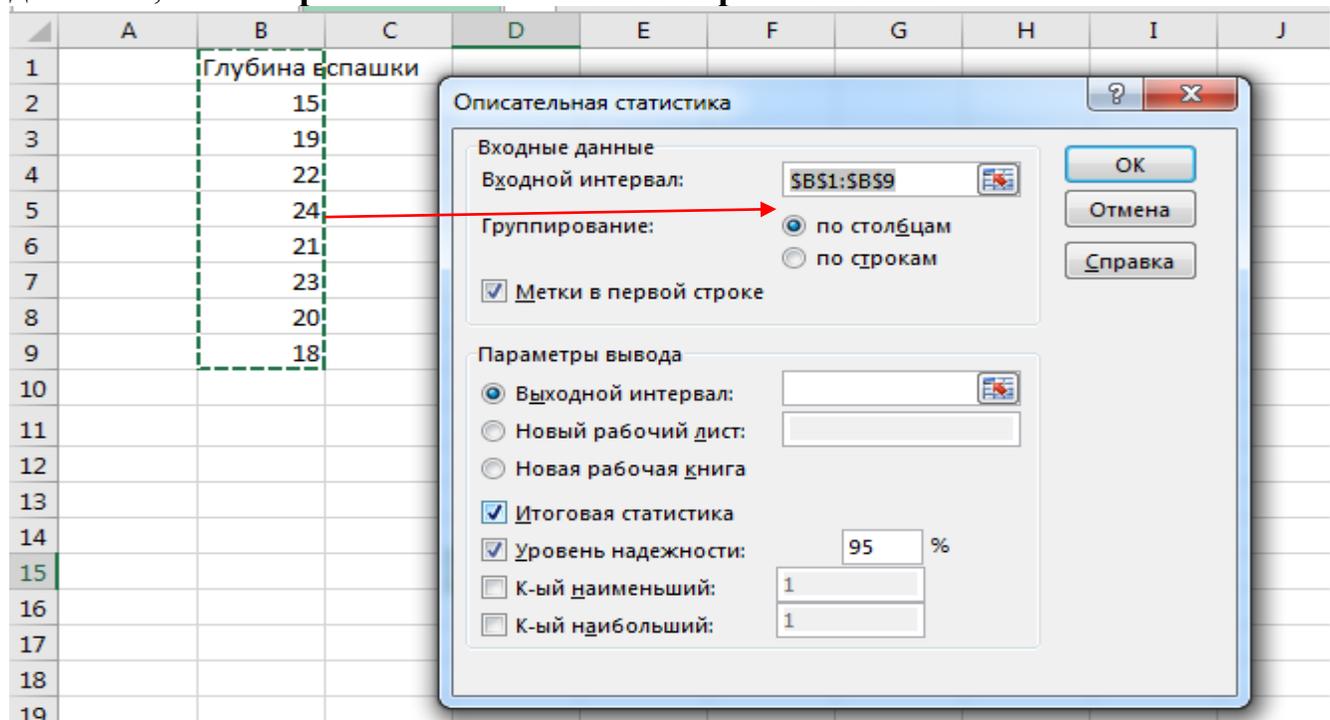


Рис.1.3. Диалоговое окно «Описательная статистика»

## 1.2 Диаграммы размаха

Визуально средние значения и меры вариации одной или нескольких выборок (переменных) удобно представлять в виде диаграмм размаха – графиков «ящик с усами» (Box-whisker plot).

Диаграмма размаха «Ящик с усами» (Box-whisker plot) массы клубней картофеля.

Пример 2. Произведен подсчет количества семян сорных растений в пахотном слое почвы на 7 площадках опыта и пересчет их на 1га. Получены следующие результаты (млн. шт/га): 160, 290, 470, 104, 235, 150, 1950.

Выборочная средняя  $\bar{x} = \frac{\sum X}{n} =$

Ранжированный ряд:

Медиана:  $Me (Q_{50}) = X_{(n+1)/2} =$

Нижний квартиль:  $Q_{25} = X_{(n/4+1)} =$

Верхний квартиль:  $Q_{75} = X_{(n-n/4)} =$

Если отношение  $n/4$  — дробное число ( $n$ - объем выборки), то  $Q_{25} = X_{(n/4 + 1)}$  (из отношения  $n/4$  берут только целые). При  $n/4$ , равном целому числу:  $Q_{25} = X_{(n/4)}$ ;  $Q_3 = y_{n-n/4}$ . Индексы при  $X$ :  $n/4$ ,  $n/4 + 1$  и  $n - n/4$  означают порядковые номера (i) значений (X) ранжированного ряда.

Межквартильный размах:  $Q_{75} - Q_{25} =$

Диаграмма размаха «ящик с усами» (Box-whisker plot)  
количества семян сорных растений в почве:

### 1.3 Группировка и визуализация результатов агрономических исследований – построение графиков (гистограмм)

**Теоретическая часть:** Процесс систематизации или упорядочивания данных наблюдений и учетов с целью расчета статистических показателей и построения кривой вариационного ряда называется *группировкой*.

Для наглядного выражения закономерностей варьирования того или иного количественного признака вариационные ряды изображают в виде геометрических фигур в системе прямоугольных координат и получают при непрерывной изменчивости гистограмму, а дискретной – полигон.

Различают *эмпирические и теоретические распределения* частот совокупности результатов наблюдений. Эмпирическое распределение – это распределение результатов наблюдений, полученных при изучении выборки. В основе его лежат определенные математические закономерности, которые в генеральной совокупности, т.е. при большом числе наблюдений ( $n \rightarrow \infty$ ) характеризуются некоторыми теоретическими распределениями. Наиболее часто в агрономических исследованиях используются следующие теоретические распределения: нормальное, биномиальное, распределение Пуассона, а также специальные (*t-распределение Стьюдента, F-распределение Фишера,  $\chi^2$ -распределение Пирсона* и др.). На основе теоретических распределений построены статистические критерии, которые используются при проверке гипотез.

Пример. Длина колоса озимой пшеницы, см.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6,0	7,1	7,7	8,3	6,9	7,9	6,1	8,4	6,6	6,2
7,3	6,7	7,4	8,4	7,5	7,4	9,8	8,1	6,9	8,4
6,9	7,2	6,9	8,0	7,4	7,8	8,2	9,0	6,7	8,4
6,5	7,2	8,4	7,5	8,0	7,1	8,1	7,9	7,8	7,6
8,3	7,8	8,5	8,1	8,4	7,5	6,9	7,4	6,9	7,0
7,7	7,8	7,0	7,6	6,9	8,6	9,1	6,0	8,0	10,2
8,8	6,9	7,1	7,5	6,9	7,4	9,0	7,8	7,5	7,4
6,3	10,0	6,9	7,8	7,0	7,7	9,6	9,0	6,4	9,0
6,3	7,8	7,0	9,2	6,8	8,0	8,2	9,3	7,8	7,5
8,1	8,5	8,3	7,6	9,4	–	8,9	9,0	–	7,5

*Шифр задания к работе*

№ задания	Номера колонок	№ задания	Номера колонок
1	1 2 3 4 5	11	5 7 8 9 10
2	2 3 4 5 6 8	12	1 4 5 6 7 9
3	3 4 5 6 7	13	2 5 6 7 8
4	4 5 6 8 9	14	3 6 7 8 9
5	5 6 7 8 9	15	4 7 8 9 10
6	1 3 6 7 8 9	16	1 5 6 7 8
7	1 3 4 5 6	17	2 6 7 8 9
8	2 4 5 6 7	18	3 7 8 9 10
9	2 3 5 6 7 8	19	1 2 6 7 8 9
10	4 6 7 8 9	20	2 7 8 9 10

**Общая постановка задачи:**

1. Научиться группировать данные при большом числе исходных данных.
2. Изобразить графически значения вариационного ряда.
3. Рассчитать статистические показатели (характеристики) данных выборки
4. Построить гистограмму и кривую вариационного ряда.

**Порядок группировки:**

1. Определите число классов (групп)  $k =$

2. Рассчитайте классовой интервал  $i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k} = \frac{R}{k} =$

3. Установите для каждой группы (класса) нижние и верхние границы

4. Проведите статистическую обработку на основе групповых средних (таблица):

Расчетная таблица ( $A = \quad$ )

Группа (класс)	Частота $f$	Средне- групповая, $M$	$x_1^* = M - A$	$f \cdot x_1$	$x_1^2$	$f \cdot x_1^2$
Суммы:	$\sum f = n =$	—	$\sum f \cdot x_1 =$		$\sum f \cdot x_1^2 =$	

\*)  $x_1$ -отклонение от среднегрупповой

$$\bar{x} = A + (\sum f \cdot x_1) : n =$$

Сумма квадратов (СК)  $\sum (X - \bar{x})^2 = \sum X^2 - C =$

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

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

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

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

95%-й доверительный интервал для генеральной средней ( $\mu$ ):

$$\bar{x} \pm t_{05} \cdot S_{\bar{x}} =$$

95%-й доверительный интервал для всей совокупности (любого значения  $X$ ):

$$\bar{x} \pm t_{05} \cdot S =$$

$f$

$X$

Рис.1.4. Гистограмма и кривая эмпирического распределения длины колоса озимой пшеницы, см.

### Группировка данных и построение Гистограммы в программе Excel

1. На вкладке **Данные** в группе **Анализ данных** выбрать инструмент анализа **Гистограмма** (рис.1.5.)

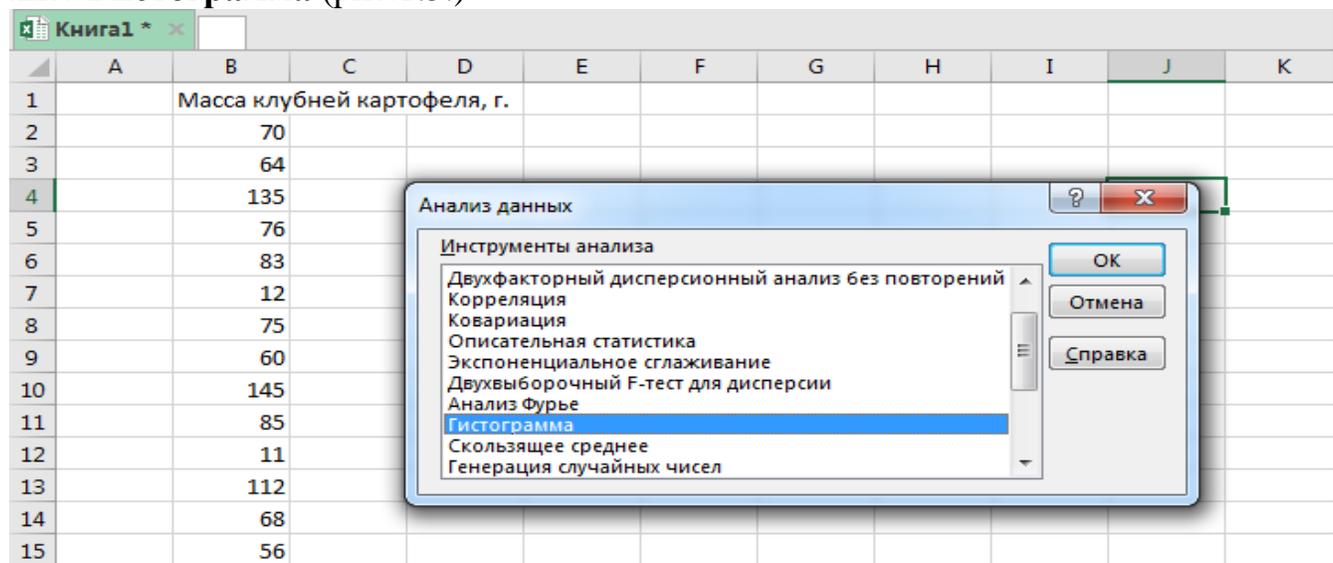


Рис. 1.5. Исходные данные и выбор инструмента «Гистограмма»

2. В окне **Гистограмма** в поле **Входной интервал:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **B1:B51** и нажать **Ввод**, в поле **Интервал карманов**, что представляет собой классовый интервал, можно указать известный интервал или как в

нашем случае, оставить его пустым. Поставить галочку в поле **Метки** (в этом случае в заголовке результатов будет автоматически прописано «Масса клубня, г»), в поле **Выходной интервал** можно выбрать размещение на рабочем листе с исходными данными или **Новый рабочий лист**, указать галочкой **Вывод графика**. После заполнения всех полей нажать на клавишу **ОК** (рис. 1.6).

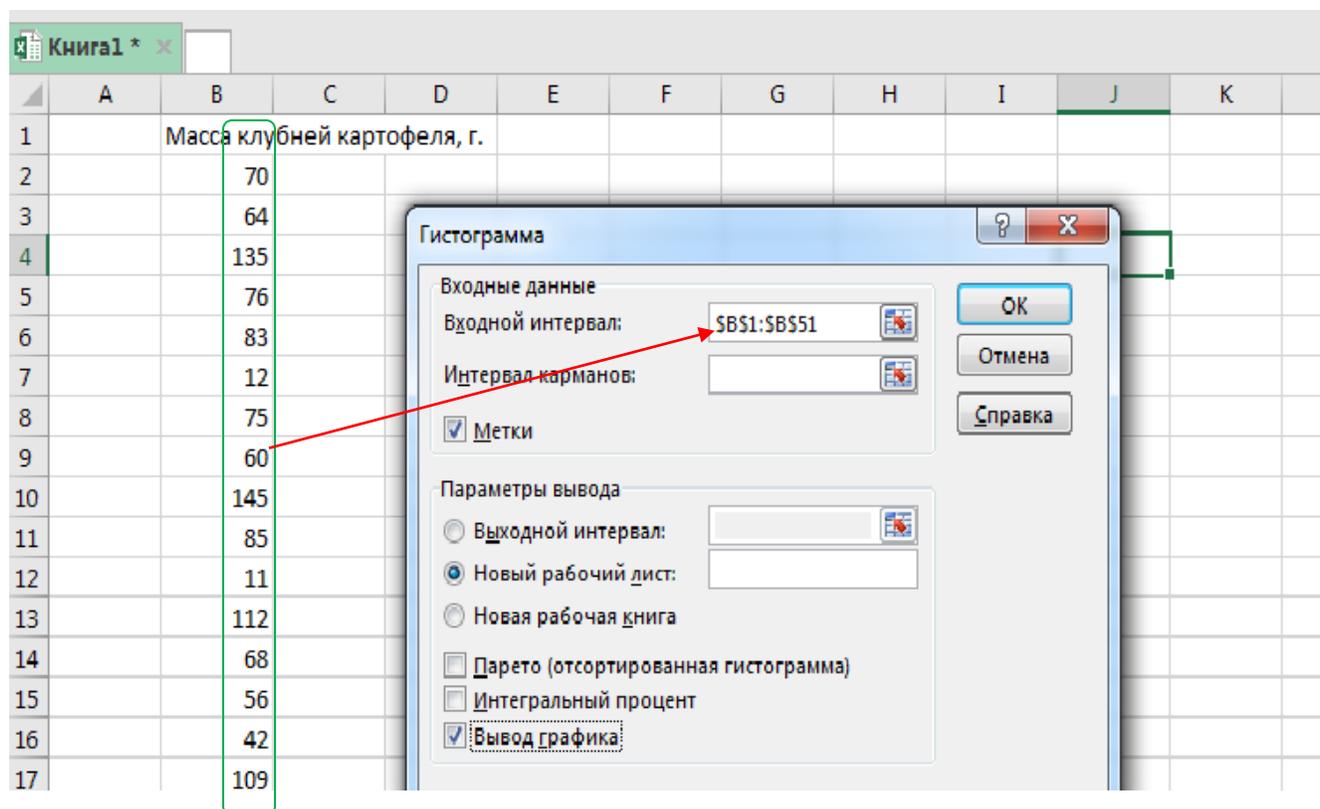


Рис. 1.6. Выбор входных данных и установление параметров вывода

3. В случае размещения на листе 1 рядом с исходными данными в поле **Выходной интервал** необходимо указать интервал ячеек для размещения итоговых результатов описательной статистики, в нашем примере интервал **D16:E23**. Далее выбираем **Итоговую статистику**, в поле **Уровень надежности** указываем **95**, в полях **К-тый наименьший** и **К-тый наибольший** ставим **1** и нажимаем **ОК** (рис. 1.7)

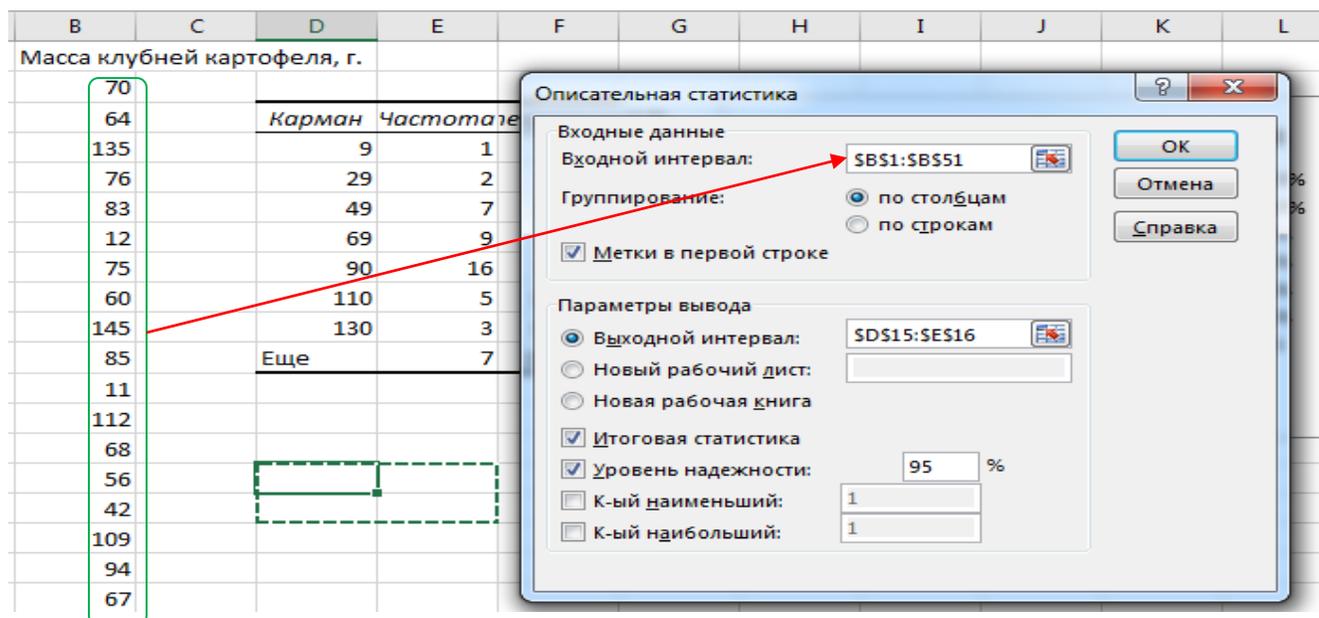


Рис. 1.7. Выбор параметров в окне *Описательная статистика*

#### 1.4 Анализ распределения – проверка моделей на соответствие нормальному распределению

**Теоретическая часть:** При статистической обработке экспериментальных данных обязательной процедурой является проверка гипотезы о соответствии распределения изучаемого признака нормальному распределению. Нормальность наблюдаемых данных является необходимым условием для корректного применения параметрических методов и критериев, причем не только для проверки гипотез, но и для корректного описания данных.

Важность проверки распределения эмпирических данных выборки нормальному распределению заключается в том, что эта процедура определяет дальнейшую тактику исследователя при обработке данных агрономических исследований. Если выполняется модель нормального распределения, то для дальнейшей статистической обработки (оценка 2-х вариантов, дисперсионный, корреляционно-регрессионный анализы и др.) будут применяться параметрические критерии для проверки нулевой гипотезы. В случае несоответствия эмпирических данных нормальному или близкому к нему распределением для анализа данных одного варианта следует использовать медиану и квантили, а для сравнения двух и большего числа вариантов – непараметрические методы проверки гипотез.

Для проверки соответствия моделей изучаемого признака нормальному закону существует несколько критериев: Шапиро-Уилкса ( $W$ ), Колмогорова-Смирнова ( $d$ ), Лиллиефорса, Пирсона (Хи-квадрат), коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса и др.

### Общая постановка задачи:

1. Рассчитать критерии для проверки моделей результатов примера работы 1.3 нормальному распределению и сделать соответствующий вывод.
2. На основании анализа графического изображения определить общие закономерности о соответствии эмпирического ряда кривой нормального распределения.

### Анализ распределения – проверка моделей на соответствие нормальному распределению в программе Excel

При статистической обработке экспериментальных данных обязательной процедурой является проверка гипотезы о соответствии распределения изучаемого признака нормальному распределению. Нормальность наблюдаемых данных является необходимым условием для корректного применения параметрических методов и критериев описания экспериментальных данных.

Проверку на соответствие эмпирических рядов распределения нормальному распределению можно провести:

- на основании визуального сравнения графика распределения конкретного экспериментального ряда и кривой нормального распределения,
- критериев соответствия

**Таблица для расчета плотности распределения, теоретических частот и критерия  $\chi^2$  Пирсона**

$X_i$ карманы	$f$ - фактическая частота	$F=n \cdot p_i$ - теоретическая частота	$\frac{(f-F)^2}{F}$
$X_1$	$f_1$	$n \cdot p_1$	$\frac{(f_1-F_1)^2}{F_1}$
$X_2$	$f_2$	$n \cdot p_2$	$\frac{(f_2-F_2)^2}{F_2}$
...	...	...	...
$X_k$	$f_k$	$n \cdot p_k$	$\frac{(f_k-F_k)^2}{F_k}$
	$\sum f=n$	$\sum F=n$	$\sum \frac{(f-F)^2}{F}$

Для проверки согласия по критерию  $\chi^2$  Пирсона необходимо заполнить в вышеприведенной таблице, используя возможности программы Excel, результаты группировки данных примера работы 1.3, где:  $X_i$  – границы интервалов каждого

класса;  $f$  – фактические частоты (количество элементов выборки, попавших в тот или иной класс;  $F$  – теоретические или ожидаемые частоты.

$F=n \cdot p_i$  – теоретическая (ожидаемая) частота для принятой гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности. Нормальным называют распределение вероятностей непрерывной случайной величины  $X$ , которое описывается следующей функцией:

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Порядок проверки гипотезы о соответствии результатов эмпирических данных нормальному распределению в программах **Excel** и **Statistica** рассмотрен в учебном пособии: Методика экспериментальных исследований в агрономии: учебное пособие для вузов / Р. Р. Усманов.– Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 197 с. – (Высшее образование), стр. 112 – 121; 163 – 169.

В электронном формате издание доступно по ссылке –

<https://urait.ru/viewer/metodika-eksperimentalnyh-issledovaniy-v-agronomii-478014>

### Контрольные вопросы:

1. Генеральная совокупность и выборка. Примеры в агрономических исследованиях.
2. Как добиться репрезентативности выборки?
3. Изменчивость, виды изменчивости. Примеры в биологии и агрономии.
4. Статистические показатели количественной изменчивости.
5. Статистические показатели качественной изменчивости.
6. В каких случаях медиана предпочтительнее средней выборочной?
7. Уровни доверительной вероятности и значимости в агрономических исследованиях?
8. Доверительные интервалы, для чего они служат?
9. Как определить необходимый объем выборки?
10. Какие статистические показатели можно показать на графике «ящик с усами»?
11. Что такое вариационный ряд? Какие бывают вариационные ряды?
12. Как построить гистограмму в программе Excel?
13. Для чего проводится группировка данных?
14. Эмпирические (наблюдаемые) и теоретические (ожидаемые) распределения.
15. Что такое нормальное распределение? Каковы закономерности кривой нормального распределения?
16. С какой целью проводится проверка данных на соответствие их нормальному распределению?
17. С помощью каких критериев оценивается соответствие нормальному распределению?

Дата \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Глава 2. СРАВНЕНИЕ ДВУХ ВАРИАНТОВ АГРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Теоретическая часть:

Вопрос о статистической проверке гипотез – один из основных при применении математической статистики в агрономических исследованиях. Все статистические методы направлены на проверку нулевой гипотезы, когда необходимо решить вопрос о значимости (существенности) разности между средними, о принадлежности варианта к данной совокупности, о существенности корреляционной зависимости между изучаемыми признаками и т.д.

Для проверки нулевой гипотезы применяются статистические критерии, которые делятся на параметрические и непараметрические. К параметрическим относятся критерии, включающие в формулу расчета параметры распределения, т.е. среднее и дисперсии (критерии Стьюдента, Фишера, Пирсона). К непараметрическим относят критерии, основанные на рангах и не включающие в формулу расчета параметры распределения (критерии Колмогорова-Смирнова, Уилкоксона, Манна-Уитни, знаков и др.).

Оценка разности средних изучаемых вариантов осуществляется в следующей последовательности:

- выдвигается нулевая гипотеза ( $H_0$ ) – предположение об отсутствии реальных различий между средними значениями вариантов и альтернативная гипотеза ( $H_A$ ) – предположение о наличии различий между вариантами;  $H_0 : \bar{x}_2 - \bar{x}_1 = 0$
- выбирается доверительная вероятность или уровень значимости для проверки нулевой гипотезы ( $0,05$  – 5% или  $0,01$  – 1%)
- выбирается критерий существенности (параметрический или непараметрический) для проверки гипотезы;
- рассчитываются статистические показатели для каждого варианта;
- в специальных таблицах находят теоретическое (табличные) значение критерия для заданного уровня значимости;
- существенность (значимость) различий оценивается, как правило, сравнением фактических значений выбранных критериев с табличным значением. Во многих статистических пакетах *уровень значимости  $\alpha$  обозначается  $p$ -level* (т.е. уровень значимости для проверки нулевой гипотезы). Если  $p \geq 0,05 \Rightarrow H_0$  - принимается, если  $p < 0,05 \Rightarrow H_0$  – отвергается. Более низкий  $p$ -уровень соответствует более высокому уровню доверия.
- оценка разности средних (проверка  $H_0$ ) может быть произведена по доверительным интервалам для генеральных средних, по фактическому значению критерия существенности, по наименьшей существенной разности ( $HSP_{05}$ ,  $HSP_{01}$ ).

После принятия или отбрасывания нулевой гипотезы необходимо сделать агрономический вывод относительно изучаемых вариантов.

## 2.1 Сравнение средних значений независимых выборок при количественной изменчивости

### Общая постановка задачи:

1. Познакомиться с испытанием, как следующим после наблюдения видом научного исследования (пример из 2-х вариантов).
2. Освоить сущность и практическое применение статистических и рабочих гипотез.
3. Подготовить данные к статистическому тесту и провести расчеты необходимых критериев для оценки существенности различий.
4. Сделать правильное статистическое и агрономическое заключение по эффективности изученных агроприемов.

Пример. При оценке качества посева ячменя по глубине заделки семян после вспашки на 20 см. (вариант 1) и фрезерования на 8-10 см. (вариант 2) получены следующие результаты (см):

Вариант 1					Вариант 2				
Номера колонок					Номера колонок				
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
4,0	5,7	4,3	4,4	2,9	5,4	5,6	4,0	4,9	4,9
5,3	4,5	7,4	2,3	5,6	4,9	4,8	6,0	5,8	5,6
5,6	3,7	4,3	5,6	7,4	5,3	6,0	5,4	6,3	4,2
4,4	4,3	3,7	5,8	5,6	5,4	5,4	3,9	5,0	4,3
2,5	3,5	4,8	5,9	4,8	4,8	4,9	5,8	4,9	6,3
5,3	5,6	2,1	6,8	4,8	5,6	4,7	4,8	3,9	5,5
7,7	6,9	5,6	4,8	5,0	5,3	5,7	5,7	6,3	5,7
3,4	5,6	2,3	6,7	2,1	5,4	5,4	4,8	6,5	4,1
4,5	2,8	4,4	1,5	3,7	4,8	5,6	6,5	4,3	5,8
8,2	4,4	5,7	6,3	–	5,6	6,0	6,0	–	5,0

### Шифр задания к работе

№ задания	колонки	№ задания	колонки	№ задания	колонки
<i>1</i>	1 6	<i>8</i>	2 8	<i>15</i>	4 7
<i>2</i>	1 7	<i>9</i>	2 9	<i>16</i>	4 8
<i>3</i>	1 8	<i>10</i>	2 10	<i>17</i>	4 9
<i>4</i>	1 9	<i>11</i>	3 6	<i>18</i>	4 10
<i>5</i>	1 10	<i>12</i>	3 7	<i>19</i>	5 6
<i>6</i>	2 6	<i>13</i>	3 8	<i>20</i>	5 7
<i>7</i>	2 7	<i>14</i>	3 9	<i>21</i>	5 8

## Статистическая обработка:

Рабочая таблица с формулами для расчетов

Статистические характеристики	Вариант 1	Вариант 2
$\bar{x} = \frac{\sum X}{n} =$		
$C = \frac{(\sum X)^2}{n} =$		
$\Sigma (X - \bar{x})^2 = \Sigma X^2 - C =$		
$S^2 = \frac{\Sigma (X - \bar{x})^2}{n-1} =$		
$S = \sqrt{S^2} =$		
$s_x = \frac{S}{\sqrt{n}} =$		
$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 =$		

### Оценка существенности разности между средними по вариантам

а) интервальным методом

$$\bar{x}_1 \pm t_{05} \cdot s_{\bar{x}_1} =$$

$$\bar{x}_2 \pm t_{05} \cdot s_{\bar{x}_2} =$$

$$t_{05} =$$

при  $df = n-1$

б) по критерию существенности

$$t_{\phi} = \frac{d}{S_d} = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{\sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2}} =$$

$$t_{05} =$$

$$t_{01} =$$

при  $df = n_1 + n_2 - 2 =$

в) по критической, или наименьшей существенной разности (НСР)

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot S_d =$$

$$НСР_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

Вывод:

## Расчеты в программе Excel:

1. На вкладке **Данные**, в группе **Анализ данных** выбрать инструмент анализа **Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями** (рис.2.1).

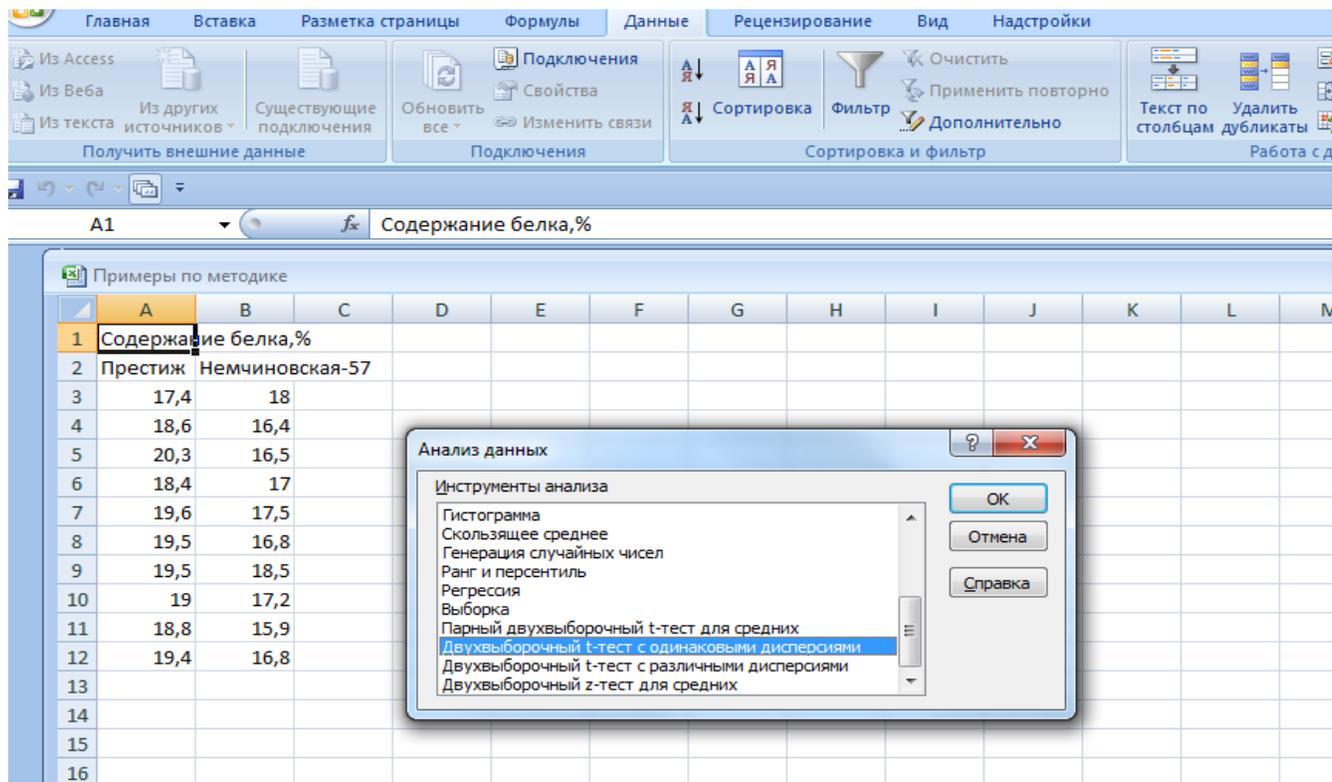


Рис. 2.1. Таблица с исходными данными по содержанию белка и выбор инструмента анализа

2. В окне **Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями** в поле **Интервал переменной 1:** ввести с помощью левой кнопки мыши диапазон ячеек **A2:A12** и нажать **Ввод**, в поле **Интервал переменной 2:** ввести с помощью левой кнопки мыши диапазон ячеек **B2:B12** и нажать **Ввод**. В поле **Гипотетическая разность** указать **0**, поставить галочку в поле **Метки**. В поле **Альфа** указать **0,05**, выбрать место размещения в выходном интервале. После заполнения всех полей нажимаем **ОК** (рис.2.2.)

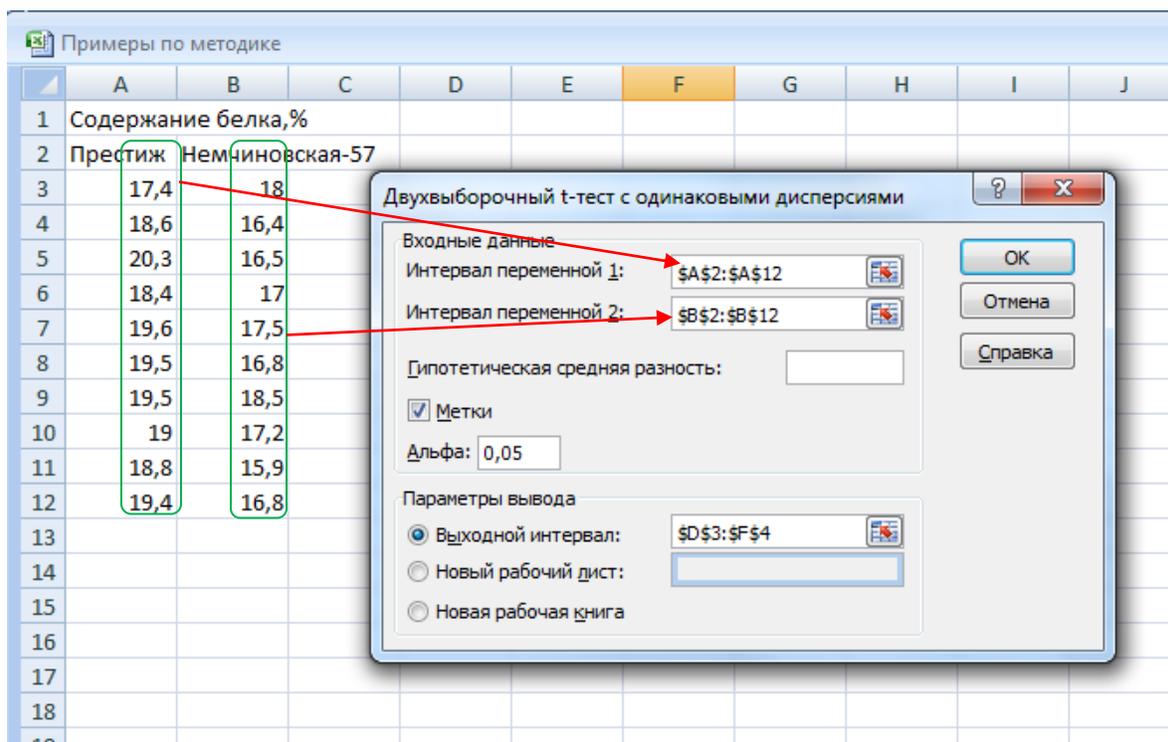


Рис. 2.2. Диалоговое окно *Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями*

### 2.1.1 Построение графиков с погрешностями

1. Выбрать с помощью левой кнопки мышки диапазон, включающий наименование сортов и их средние значения, затем в строке меню нажать на вкладку **Вставить**, далее – один из видов **Диаграммы**, например, **Гистограмма**. После нажатия на клавишу **Ок** появляется гистограмма среднего содержания белка у испытуемых сортов озимой пшеницы.

2. Далее в строке меню **Работа с диаграммами** необходимо выбрать подменю **Конструктор и Макет**. Инструменты данного подменю дают возможность провести форматирование гистограммы (название диаграммы, подписи данных, масштабирование осей и т.д. (Рис. 2.3)).

3. Для выделения на гистограмме погрешностей в программах Excel – 2013, 2016 в окне **ЭЛЕМЕНТЫ ДИАГРАММЫ** галочкой выделяем **Предел погрешностей**, в программе Excel 2007 – выбираем **Планки погрешностей** (Рис. 2.3;).

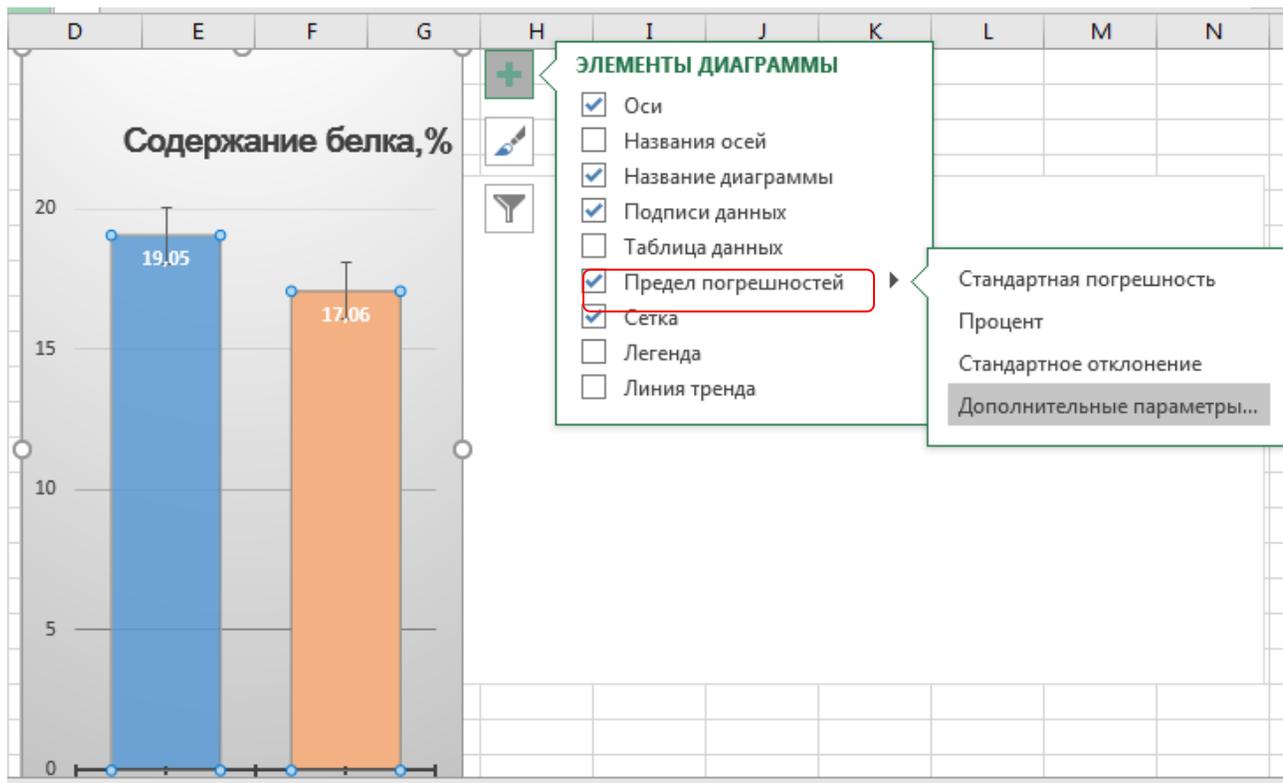


Рис. 2.3. Выбор предела погрешностей в Excel – 2016

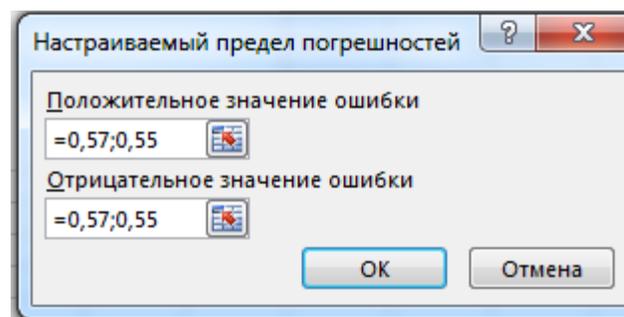
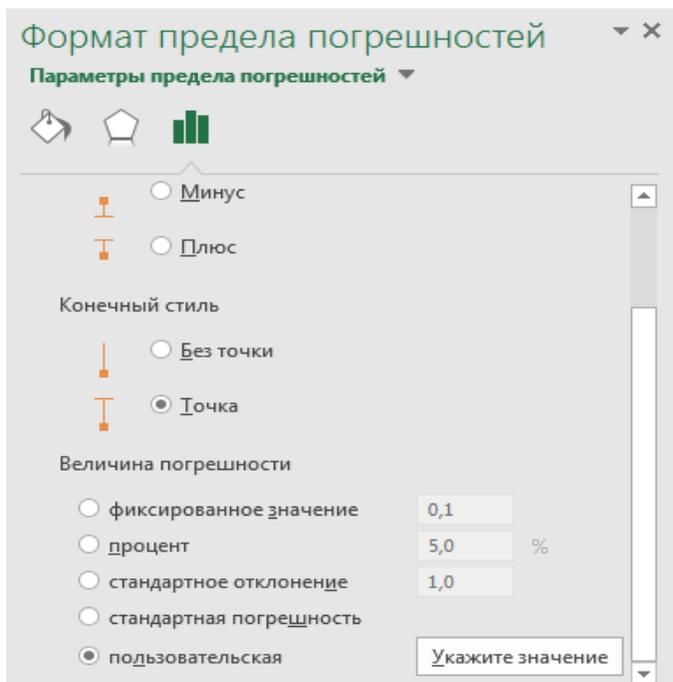


Рис. 2.4. Панель для указания значений предельной ошибки

4. Для представления на графике фактической величины погрешности выбираем формат **Пользовательская**, и в выпадающей панели **Настраиваемый предел погрешностей** для каждого ряда в окошках указываем величину предельной ошибки через точку с запятой: 0,55; 0, 57 или указываем ссылки на ячейки, где предельные ошибки рассчитаны для каждого варианта (рис.2.4).

## 2.2 Сравнение средних значений зависимых выборок при количественной изменчивости

Пример 1. Проведен учет количества сорных растений на постоянных площадках в посевах ячменя до обработки и через три недели после применения гербицида Эстерол, 0,3л/га. Получены следующие результаты (шт/м<sup>2</sup>, n = 8):

До обработки	100	150	124	80	54	94	115	201
После применения гербицида Эстерол, 0,8 л/га	12	15	18	9	55	12	25	51

Пример 2. По результатам исследования влияния освещенности на активность пероксидазы установлены следующие количества фермента в листьях верхнего и нижнего ярусов (мл 0,01 н. раствора на 1 г сырого вещества, n = 10):

Нижний	5,7	6,0	7,3	6,9	6,4	8,1	5,4	6,5	6,8	7,2
Верхний	7,8	7,5	8,0	8,5	8,9	8,3	7,4	6,9	8,5	8,2

Пример 3. На посевах сахарной свеклы изучалась эффективность 50% метатиона в борьбе с листовой и корневой тлями. Получена следующая биологическая эффективность по одним и тем же учетным площадкам (% , n = 10):

Корневая тля	56	68	74	75	80	56	63	66	75	64
Листовая тля	85	73	75	95	78	85	76	74	83	60

### Статистическая обработка:

Пары	Вариант 1	Вариант 2	Разность $d = X_2 - X_1$	Квадрат разности $d^2$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Суммы			$\Sigma d =$	$\Sigma d^2 =$
			$\bar{d} = \frac{\Sigma d}{n} =$	—

$$1. S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\Sigma d^2 - \frac{(\Sigma d)^2}{n}}{n \cdot (n-1)}} =$$

$$2. t_{\phi} = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}} = \quad \text{при } df = n - 1 = \quad t_{05} = \quad t_{01} =$$

$$3. HCP_{05} = t_{05} \cdot S_{\bar{d}} = \quad HCP_{01} = t_{01} \cdot S_{\bar{d}} =$$

Вывод:

## Расчеты в программе Excel

1. На вкладке **Данные**, в группе **Анализ данных** выбрать инструмент анализа **Парный двухвыборочный t-тест для средних** (рис.2.5)

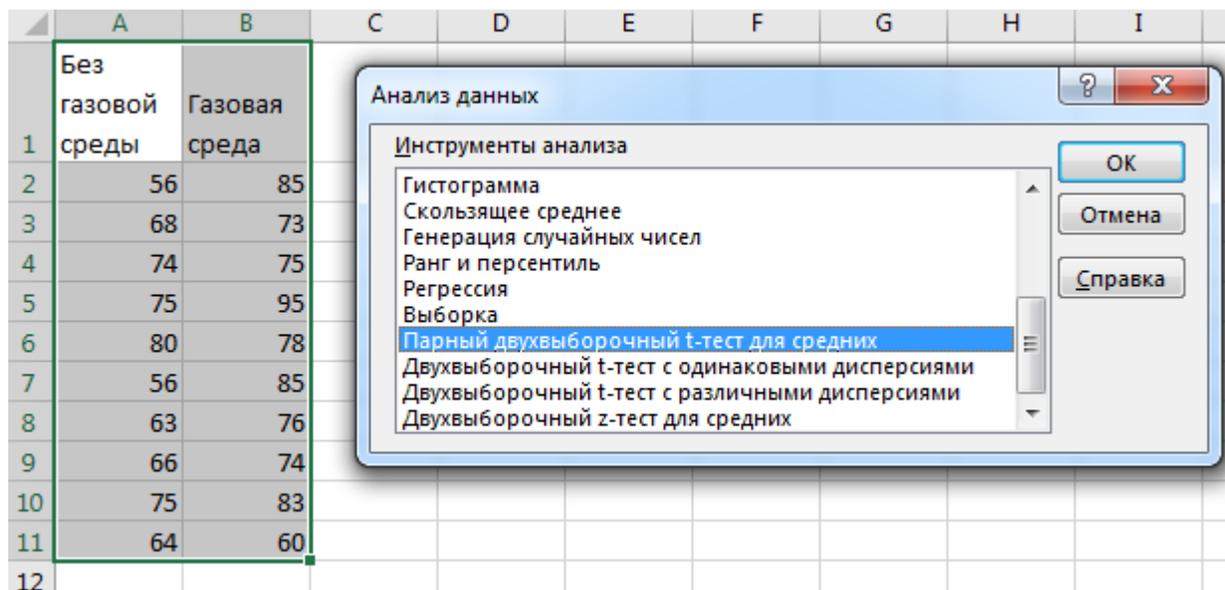


Рис. 2.5. Подменю *Анализ данных*

2. В появившемся окне **Парный двухвыборочный t-тест для средних** в поле **Интервал переменной 1:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **A1:A11** и нажать **Ввод**, в поле **Интервал переменной 2:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **V1:V11** и нажать **Ввод**. В поле **Гипотетическая разность** указать **0**, поставить галочку в поле **Метки**, в поле **Альфа** – **0,05**, выбрать место размещения в выходном интервале. После заполнения всех полей нажать **ОК** (рис. 2.6.)

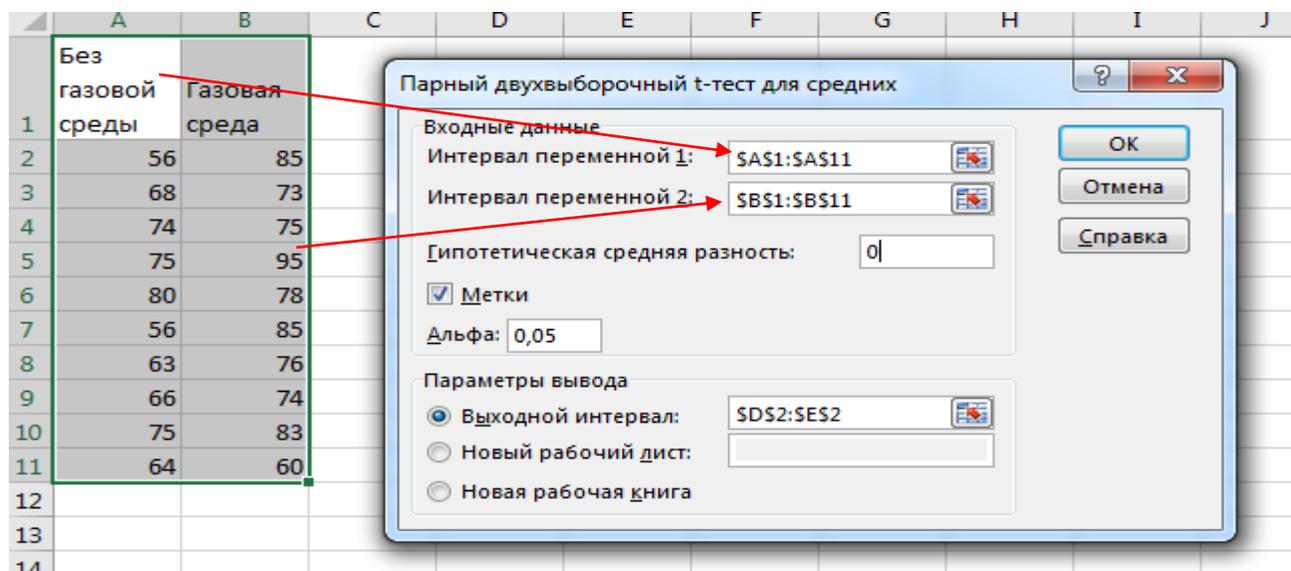


Рис. 2.6. Диалоговое окно *Парный двухвыборочный t-тест для средних*

### 2.3 Оценка двух вариантов при качественной изменчивости признаков

#### Список индивидуальных данных:

Пример. На участке с бессменным возделыванием картофеля в выборке  $N_1=200$  численность растений картофеля, пораженных *Альтернариозом*, составила  $n_1 = 40$ , а на участке, где картофель возделывался в севообороте, в выборке  $N_2=190$  было обнаружено  $n_2 = 29$  растений картофеля, пораженных *Альтернариозом* (№задание 1).

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8
Бессменно	40	50	90	80	100	120	78	40
Севооборот	29	25	75	57	67	96	64	25
№ задания	9	10	11	12	13	14	15	16
Бессменно	56	68	97	88	115	45	56	64
Севооборот	45	60	90	80	100	25	40	48

Бессленно – вариант 1	Севооборот – вариант 2
$n_1 = \quad n_2 = \quad N_1 = 200$	$n_1 = \quad n_2 = \quad N_1 = 190$
$p_1 = \frac{n_1}{N_1} =$	$p_2 = \frac{n_1}{N_2} =$
$q_1 = 1 - p_1 =$	$q_2 = 1 - p_2 =$
$S_1 = \sqrt{p_1 \cdot q_1} =$	$S_2 = \sqrt{p_2 \cdot q_2} =$
$V_1 = \frac{S_1}{S_{\max}} \cdot 100 =$	$V_2 = \frac{S_2}{S_{\max}} \cdot 100 =$
$S_{p_1} = \sqrt{\frac{p_1 \cdot q_1}{N_1}} =$	$S_{p_2} = \sqrt{\frac{p_2 \cdot q_2}{N_2}} =$
$p_1 \pm t_{05} \cdot S_{p_1} =$	$p_2 \pm t_{05} \cdot S_{p_2} =$

Выбор лучшего варианта на основе:

а) критерия существенности (t):

$$t_{\phi} = \frac{|p_2 - p_1|}{\sqrt{S_{p_1}^2 + S_{p_2}^2}} = \frac{d}{S_d} =$$

б) доверительного интервала для генеральной доли:

$$p_1 \pm t_{05} \cdot S_{p_1} =$$

$$p_2 \pm t_{05} \cdot S_{p_2} =$$

в) доверительного интервала для генеральной разности долей:

$$d \pm t_{05} \cdot S_d =$$

Вывод:

## 2.4 Непараметрические критерии для сравнения средних вариантов

### 1. Критерий Ван-дер-Вандена для сравнения независимых выборок

Пример. В лабораторных условиях проводилась оценка устойчивости 2-х сортов овса к стеблевой ржавчине. Растения опрыскивали из пульверизатора суспензией уредоспор. На 14-й день после инокуляции учитывали тип реакции в баллах по Стэкмену и Левину.

Сор-та	Номера проб (растений)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	2	2	1	4	3	3	4	3	2	3
Б	1	0	2	1	0	0	3	3	2	1

Решение:

1. Составляем вспомогательную таблицу, в которой ранжируем (располагаем в порядке возрастания) обе выборки в один вариационный ряд и каждому значению признака присваиваем порядковый номер (ранг)  $R$ .

2. Сумма всех наблюдений  $n = n_1 + n_2 =$

Пораженность в баллах		Ранг, $R$	$\frac{R}{n+1}$	$\psi = \left[ \frac{R}{n+1} \right]$
Сорт А	Сорт Б			
$n_1 =$	$n_2 =$	$n_1 + n_2 =$		$\sum \psi = \left[ \frac{R}{n+1} \right] =$

3. Находим для всех значений признака одной из выборок отношение  $\frac{R}{n+1}$

4. По таблице приложений 2 определяем значение функции (пси)  $\psi = \left[ \frac{R}{n+1} \right]$

5. Суммируем с учетом знаков значения функции (пси)  $\psi$  и эту сумму принимаем за фактический критерий Ван-дер-Вандена –  $X_\phi$ .

6. В таблице приложений 3 находим  $X_{05}$  и  $X_{01}$  при  $n = n_1 + n_2$ , с учетом разности  $n_1 - n_2$  и сравниваем фактическое значение  $X_\phi$  с табличным  $X_{05}$  и  $X_{01}$

Вывод:

## 2. Критерий Уайта для сравнения независимых выборок

Пример. Проведен учет степени пораженности 2-х сортов ячменя головней, %

Сорта	Номера проб (растений)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	17	22	21	28	21	23	14	30	10	15
Б	5	18	15	20	23	10	15	19	9	–

Решение:

1. Располагаем все значения сравниваемых выборок в один ранжированный ряд и каждому значению признака присваиваем ранг, причем одинаковые значения признаков имеют один и тот же средний ранг.

%	
Ранг	

2. Определяем сумму рангов по каждому сорту:  $\sum R_1 = \quad \quad \quad \sum R_2 =$

3. Меньшая сумма рангов принимается за  $T$ -критерий Уайта  $\sum R_{\min} = T_\phi =$

4. По таблице приложений 4 находим табличное значение  $T$ -критерия при  $n_1 = \quad ; n_2 = \quad ;$  и сравниваем  $T_\phi$  с  $T_{05}$

Вывод:

### 3. Критерий Вилкоксона для сравнения зависимых выборок

Пример. В производственных посевах ячменя оценивалась эффективность применения гербицида Банвел – 0,15 л/га. После глазомерного учета сорняков по пятибалльной шкале на 10-ти площадках получены следующие результаты:

До обработки	4	3	5	3	4	4	3	2	4	3
Обработка Банвел, 0,15 л/га	2	1	2	1	2	2	3	3	2	2
$d$										
$R$										

Решение:

1. Определяем отклонения по всем сопряженным парам  $d_i = X_i^A - X_i^B$

2. Присваиваем ранг отклонениям ( $d$ ) без учета знаков, при этом нулевые отклонения рангов не имеют.

3. Определяем отдельно сумму рангов для отрицательных и положительных отклонений  $\sum R_1 =$  ;  $\sum R_2 =$

4. Меньшую сумму рангов принимаем за критерий Вилкоксона  $\sum R_{\min} = W_\phi =$

5. По таблице приложений 5 определяем табличное значение  $W_{05} =$

при:  $\gamma = n - k =$  , где:  $n$  – число пар наблюдений,  $k$  – число нулевых эффектов.

При  $W_\phi \geq W_{05}$   $H_0: 0$

Вывод:

### 4. Критерий (Z) для сравнения зависимых выборок.

Пример 1. В опыте изучали интенсивность развития стеблевой ржавчины озимой пшеницы (балл) на 10-ти делянках до применения фунгицида и после обработки фунгицидом Рекс Дуо 0,8 л/га.

До обработки	4	3	3	4	2	4	4	3	4	3
Обработка Рекс Дуо	3	1	2	2	3	3	2	1	2	1
$\pm$										

1. Отклонения (эффекты) обозначаем знаками «-» и «+», затем суммируем число этих эффектов, причем нулевые разности в расчет не принимаются.

2. Сумму положительных эффектов принимаем за критерий  $Z_\phi$

3. По таблице приложений 6 определяем  $Z_{05}$  при  $n_1 = n - k$

Вывод:

### Контрольные вопросы:

1. Что означает понятие «нулевая гипотеза»?
2. Алгоритм проверки нулевой гипотезы для оценки данных агрономических исследований.
3. Какие критерии применяют для проверки нулевой гипотезы?
4. Параметрический критерий  $t$ -Стьюдента для проверки нулевой гипотезы и порядок его применения.
5. Что такое  $HSP$  и как оценить значимость разности между вариантами по  $HSP$ ?
6. Как оценить различия между вариантами опыта по доверительным интервалам?
7. Как оценить существенность разности средних 2-х независимых вариантов?
8. Как оценить существенность средней разности 2-х зависимых вариантов?
9. Оценка существенности разности долей при качественной изменчивости.
10. Сравнение разности средних с помощью диаграммы размаха?
11. Сравнение экспериментальных данных с помощью «ящичка с усами»?
12. Как сравнить варианты, если данные агрономических исследований не подчиняются закону нормального распределения?
13. Непараметрические критерии для проверки нулевой гипотезы для независимых выборок.
14. Непараметрические критерии для проверки нулевой гипотезы для зависимых выборок.
15. Критерий Хи-квадрат (Пирсона) для проверки соответствия фактических рядов распределения нормальному.
16. Каковы условия применения критерия Хи-квадрат?

Дата \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

### Глава 3. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ АГРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### Теоретическая часть:

При изучении причинно-следственных отношений между явлениями особенно ценным оказался метод *дисперсионного анализа*. Этот метод основан на разложении общей дисперсии статистического комплекса на составляющие компоненты (отсюда и название метода), сравнивая, которые друг с другом посредством критерия Фишера ( $F$ - критерия), можно определить долю общей вариации изучаемого (результативного) признака, обусловленную действием на него, как регулируемых, так и не регулируемых в опыте факторов.

Сущностью дисперсионного анализа является одновременное разложение суммы квадратов и числа степеней свободы на составляющие компоненты, которые соответствуют структуре эксперимента и оценка действия и взаимодействия изучаемых вариантов по  $F$ - критерию. В зависимости от условий проведения опытов применяют различные модели (схемы) дисперсионного анализа, в которых записывают на какие конкретно суммы квадратов и степени свободы расчленяют общее варьирование.

Оценка значимости действия изучаемых факторов проводится по *критерию Фишера* –  $F$ , который представляет собой отношение дисперсии (среднего квадрата) вариантов к дисперсии ошибки.

Если  $F_{факт} < F_{табл.}$ , то нулевая гипотеза (предположение: все средние значения по вариантам являются оценками одной генеральной средней и между нет существенных различий) принимается и на этом расчеты заканчиваются. Если  $F_{факт} \geq F_{табл.}$ , то нулевая гипотеза отвергается и необходимо дополнительно оценить существенность частных различий по величине  $HSP_{05}$  ( $HSP_{01}$ ) или много-ранговых критериев (Бонферонни, Дункана, Дуннета, Ньюмана-Кеулса, Тьюки, Шеффе и др.) и определить между какими средними имеются значимые различия.

### 3.1. Дисперсионный анализ данных полевого эксперимента, заложенного методом организованных повторений (блоков)

#### Опыт с полным набором дат

Пример. Урожайность озимой пшеницы при разных способах обработки почвы, т/га

Варианты опыта	Повторения						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Вспашка на 20 см	4,98	5,13	5,01	4,96	4,87	5,04	5,14
2. Вспашка на 30 см	5,03	4,95	4,81	4,73	4,83	4,94	4,80
3. Культивация на 10 см	4,56	4,68	4,83	4,44	4,39	4,68	4,57
4. Фрезерование на 10 см	5,25	5,32	5,27	5,18	4,88	5,08	5,35
5. Сочетание вспашки на 20 см с фрезерованием	5,46	5,52	5,60	5,22	5,01	5,43	5,70

#### Шифр задания к работе 3.1

№	Повторность	№	Повторность	№	Повторность
1	1 2 3 4	9	2 3 5 7	17	1 3 5 7
2	2 3 4 5	10	1 2 4 7	18	2 5 6 7
3	3 4 5 6	11	2 4 5 6	19	1 2 5 6
4	1 2 3 5	12	1 4 5 6	20	1 3 4 5
5	4 5 6 7	13	3 5 6 7	21	1 4 5 7
6	1 2 3 6	14	1 3 6 7	22	1 4 6 7
7	2 3 5 6	15	1 3 5 6	23	1 5 6 7
8	1 2 3 7	16	2 4 6 7	24	1 4 5 7

#### Примечание:

При выполнении задания с выпавшими деланками считать выпавшей датой данные второго варианта в третьем повторении.

Решение:

Варианты опыта	Повторения				Суммы V	Средние $\bar{x}_v$
	1	2	3	4		
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
Суммы П					$\Sigma X =$	

$$\Sigma X = \Sigma V = \Sigma П$$

$$\Sigma X^2 =$$

$$\Sigma V^2 =$$

$$\Sigma П^2 =$$

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

$$\text{Поправка } C = \frac{(\Sigma X)^2}{N} =$$

Суммы квадратов отклонений:

$$CKO = \Sigma X^2 - C =$$

$$CKV = \frac{\Sigma V^2}{n} - C =$$

$$CKП = \frac{\Sigma П^2}{v} - C =$$

$$CKE = CKO - CKV - CKП =$$

Таблица дисперсионного анализа

Источник вариации	Суммы квадратов	Доля вариации	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий $F$	
					факт.	05
Общая				—	—	—
Повторений				—	—	—
Вариантов						
Остаточная					—	—

$$S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} = \quad HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = \quad HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

$$HCP_{05} \% = \frac{(t_{05} \cdot S_d)}{\bar{x}_o} \cdot 100 =$$

Итоговая таблица \_\_\_\_\_

Варианты опыта	Среднее, $\bar{x}_v$	Отклонения от стандарта, $d = x_{on.} - x_{st}$		Группа
		$d$	$d, \%$	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

$$HCP_{05} = \quad HCP_{05} \% =$$

Вывод:

### Дисперсионный анализ в программе Excel

1. В активный лист программы Excel ввести исходные данные однофакторного полевого опыта, расположив таблицу в следующем виде (рис.3.1):

2. Для проведения дисперсионного анализа данных полевого опыта, заложенного методом организованных (рандомизированных) повторений на вкладке **Данные** в группе **Анализ данных** выбрать инструмент анализа **Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений** (рис.3.1).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Урожайность сахарной свеклы в зависимости от орошения, т/га												
2	Варианты опыта	Повторения											
3		I	II	III	IV								
4	1. Без орошения	18	23	20	19								
5	2. Полив в июне	29	36	34	31								
6	3. Полив в июле	60	58	55	59								
7	4. Полив в августе	45	52	47	46								
8													

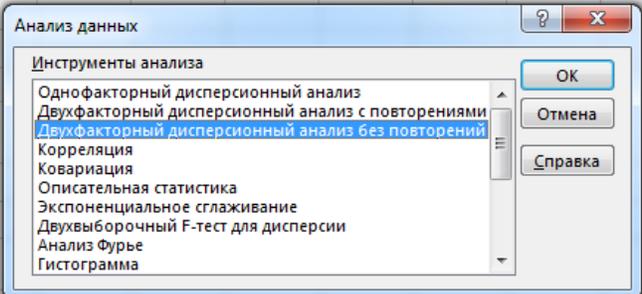


Рис. 3.1. Исходные данные и Инструменты анализа

3. В появившемся диалоговом окне указать входной интервал **A3:E7**. Входной интервал должен включать только диапазон, состоящий из перечня повторений, вариантов, и цифровых данных по этим вариантам. Для автоматического вывода в итоговой таблице наименования вариантов галочкой выделить **Метки**. В поле **Альфа** выбрать уровень значимости **0,05** или **0,01**. Выбрать параметры вывода и нажать на клавишу **ОК** (рис.3.2).

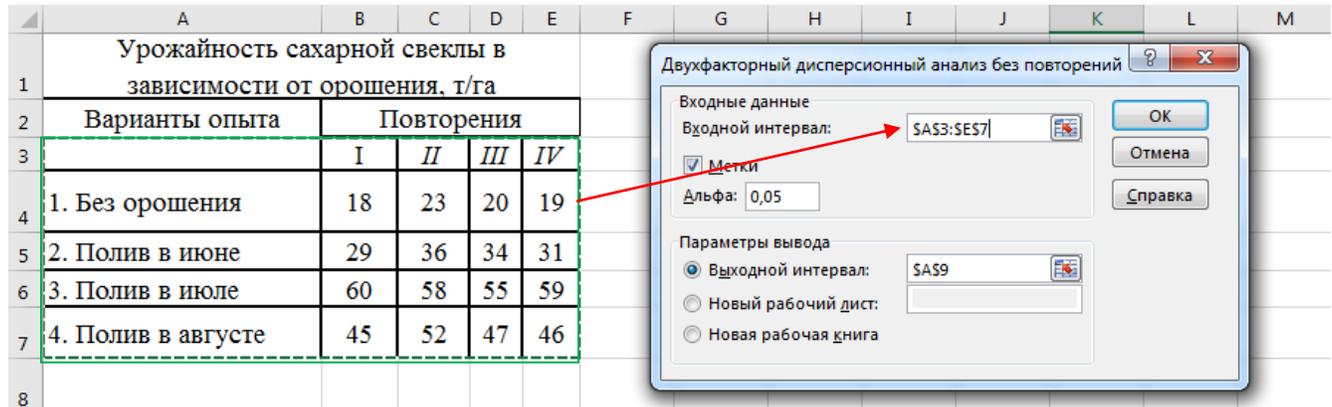


Рис. 3.2. Диалоговое окно *Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений*

### 3.1.1 Множественные сравнения разности средних между вариантами

#### Теоретическая часть

Множественные сравнения средних по вариантам опыта можно провести при помощи 7-ми различных тестов:

- оценки существенности разности любой пары вариантов – **Фишера НЗР (Fisher LSD), Бонферонни; Шеффе(Scheff), Тьюки (Tukey);**
- оценки размахов – **Ньюмана-Кеулса, Дункана (Duncan);**
- сравнения опытных вариантов с контрольным или стандартным вариантом – **Фишера НЗР (Fisher LSD), Дуннета**

Наиболее распространенным является тест **Фишера НЗР** – наименьшая значимая разность (**Fisher LSD** – less significance distance). Этот тест сравнения в отечественной литературе известен как *НСР* – наименьшая существенная разность, и строго говоря, в нем используется не критерий Фишера, а критерий *t* – *Стьюдента*.

Оценка средних по величине *НСР*, рассчитанной с помощью критерия *t* – *Стьюдента*, при числе вариантов больше 3-4-х приводит к некоторому завышению существенных различий по сравнению с другими тестами, о чем свидетельствуют значения  $НСР_{0,05}$ , при расчете которой использовались эти критерии. Если при сравнении двух средних ( $r=2$ ) с использованием всех критериев получаем одинаковые значения  $НСР_{0,05}$ , то при сравнении средних, удаленных на 3-4 и более с использованием критериев Тьюки, Дуннета и Дункана значение *НСР* несколько возрастает. То есть, эти критерии являются более строгими для доказательства нулевой гипотезы.

**Общая постановка задачи:**

1. Составить матрицу средних значений и всевозможных разностей между средними по вариантам и провести их статистическую оценку по величине НСР.
2. Провести оценку существенности разности средних по критериям Дункана, Тьюки и Дуннета.

Итоги сравнения любых средних между собой

Обработка почвы	Средние по обработкам почвы				
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
	Разности средних				
1. Вспашка на 20 см					
2. Вспашка на 30 см					
3. Культивация на 10 см					
4. Фрезерование на 10 см					
5. Сочетание обработок					

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot Sd =$$

$$НСР_{01} = t_{01} \cdot Sd =$$

Звездочками обозначены существенные различия:

\* – на 5% уровне значимости

\*\* – на 1% уровне значимости

**Тесты (критерии) для множественного сравнения:**

Сравнение любых средних между собой:

- Тест Фишера (критерий Стьюдента) –  $НСР_{05} = t_{05} \cdot Sd =$

- Критерий Тьюки –  $НСР_{05} = q_{05} \cdot S_x^- =$  (r=2)

- Критерий Тьюки –  $НСР_{05} = q_{05} \cdot S_x^- =$  (r=3)

- Критерий Тьюки –  $НСР_{05} = q_{05} \cdot S_x^- =$  (r=4)

Сравнение опытных вариантов со стандартом(контролем):

- Критерий Дуннета –  $НСР_{05} = D_{05} \cdot Sd =$  (r=2)

Сравнение средних в ранжированном ряду

- Критерий Дункана –  $НСР_{05} = C (t_{05} \cdot Sd) =$  (r=2)

- Критерий Дункана –  $НСР_{05} = C (t_{05} \cdot Sd) =$  (r=4)

Опыт с выпавшими из учета делянками

Пример № \_\_\_\_ . Задание № \_\_\_\_\_

Варианты опыта	Повторения				Суммы V	Средние $\bar{x}_v$
	1	2	3	4		
1.						
2.			(    )			
3.						
4.						
5.						
Суммы П					$\Sigma X =$	

$$\Sigma X = \Sigma V = \Sigma П$$

Восстанавливаем выпавшую дату:

$$X_{2,3} = \frac{v \cdot V + n \cdot P - \Sigma X}{(n-1) \cdot (v-1)} =$$

где:  $X_{2,3}$  – восстановленная дата,  $v$  – число вариантов,  $V$  – сумма того варианта, где есть выпавшая дата,  $n$  – число повторений,  $P$  – сумма того повторения, где есть выпавшая дата,  $\Sigma X$  – общая сумма  $X$  до восстановления

$$\Sigma X^2 = \quad \quad \quad \Sigma V^2 = \quad \quad \quad \Sigma П^2 =$$

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

$$\text{Поправка } C = \frac{(\Sigma X)^2}{N} =$$

Суммы квадратов отклонений:

$$CKO = \Sigma X^2 - C =$$

$$CKV = \frac{\Sigma V^2}{n} - C =$$

$$CKП = \frac{\Sigma П^2}{v} - C =$$

$$CKE = CKO - CKV - CKП =$$

### Таблица дисперсионного анализа

Источник вариации	Суммы квадратов	Доля вариации	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий $F$	
					факт.	05
Общая				—	—	—
Повторений				—	—	—
Вариантов						
Остаточная					—	—

а) ошибка разности и  $HCP_{05}$  для сравнения вариантов с полным набором дат:

$$S_d^I = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} = \quad HCP_{05}^I = t_{05} \cdot S_d^I =$$

б) то же для сравнения вариантов с разной повторностью:

$$S_d^{II} = \sqrt{S_e^2 \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}} = \quad HCP_{05}^{II} = t_{05} \cdot S_d^{II} =$$

Итоговая таблица \_\_\_\_\_

Варианты опыта	Среднее, $\bar{x}_v$	Отклонения от стандарта, $d = x_{on.} - x_{st}$	Группа
1.			
2.			
3.			
4.			

$$HCP_{05}^I =$$

$$HCP_{05}^{II} =$$

Вывод:

### 3.2 Дисперсионный анализ данных двухфакторного полевого опыта, заложенного методом расщепленных делянок

#### Теоретическая часть:

Задачей многофакторного полевого опыта является изучение влияния факторов в отдельности и их взаимодействия на результивный признак.

Модель дисперсионного анализа двухфакторного опыта можно представить следующим уравнением:  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha_i\beta_j + e_{ij}$  где  $Y_{ij}$  – значение варианта (урожайность сосуда, делянки),  $\mu$  – среднее значение по варианту,  $\alpha_i$  – эффект  $i$  фактора,  $\beta_j$  – эффект  $j$  фактора,  $\alpha_i\beta_j$  – эффект взаимодействия,  $e_{ij}$  – неучтенный, случайный эффект.

В многофакторном опыте вариантами являются градации нескольких факторов, взятые в отдельности и в сочетаниях. Поэтому изменчивость по вариантам включает в себя изменчивость, обусловленную каждым фактором в отдельности и их взаимодействием. Так в двухфакторном опыте, поставленном методом обычных повторений, сумма квадратов для вариантов расчленяется на три компонента: на сумму квадратов для фактора  $A$ , сумму квадратов для фактора  $B$  и сумму квадратов для их взаимодействия  $AB$ . В полевом опыте, заложенном методом расщепленных делянок, кроме того, сумма квадратов для остатка (ошибка опыта) разлагается на два компонента: сумма квадратов остаточная (ошибка) для делянок первого порядка и ошибка для делянок второго порядка.

Статистическую обработку урожайных данных двухфакторного полевого опыта, проведенного методом расщепленных делянок, проводят в следующей последовательности:

- 1) исходные даты заносят в таблицу урожаев, определяют суммы и средние;
- 2) вычисляют суммы квадратов для общего варьирования, варьирования повторений, вариантов и остатка (ошибки), т.е. обрабатывают данные так же, как и результаты однофакторного полевого опыта;
- 3) сумму квадратов вариантов расчленяют на компоненты: главные эффекты изучаемых факторов и их взаимодействия;
- 4) остаточную сумму квадратов расчленяют на сумму квадратов остаточную для делянок первого и второго порядков;
- 5) составляют итоговую таблицу дисперсионного анализа и проверяют нулевую гипотезу о существенности действия и взаимодействия факторов по критерию Фишера;
- 6) рассчитывают  $HCP$  для оценки частных различий по делянкам первого и второго порядков и  $HCP$  для оценки главных эффектов и их взаимодействия.

#### Общая постановка задачи

1. Изучить дисперсионный анализ данных многофакторного полевого опыта, проведенного методом рандомизированных повторений и методом расщепленных делянок.

2. Освоить практические навыки проведения дисперсионного анализа многофакторных полевых опытов.
3. Сделать статистический и агрономический вывод

**Список индивидуальных заданий:**

Вариант	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>n</i>
1	0 1 2	0 1 2 3	4
2	0 1 2	0 1 2	4
3	0 1 2	0 1 3	4
4	0 1 2	0 2 3	4
5	0 1 2	1 2 3	4
6	0 1 2	0 1 2 3	3
7	0 1 2	0 1 2	3
8	0 1 2	0 1 3	3
9	0 1 2	0 2 3	3
10	0 1 2	1 2 3	3

Пример. Дисперсионный анализ двухфакторного полевого опыта 3x4, заложенного методом расщепленных делянок: «Урожайность разных сортов картофеля в зависимости от доз минеральных удобрений, т/га»,

Фактор А – 3 сорта картофеля (*1* – *Адретта*, *2* – *Луговский*, *3* – *Романо*)

Фактор В – 4 дозы удобрений (*0* – без удобрений, *1* – *N<sub>60</sub>P<sub>70</sub>K<sub>80</sub>*, *2* – *N<sub>90</sub>P<sub>100</sub>K<sub>110</sub>*,

*3* – *N<sub>120</sub>P<sub>130</sub>K<sub>140</sub>*)

Фактор А	Фактор В	Повторения				Суммы, V	Средние $\bar{x}_v$
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>		
<i>1 – Адретта</i>	<i>0</i>	20	20	21	24		
	<i>1</i>	32	31	34	36		
	<i>2</i>	38	41	38	39		
	<i>3</i>	45	43	44	46		
$\sum A_0$							
<i>2 – Луговский</i>	<i>0</i>	31	30	32	33		
	<i>1</i>	40	40	44	45		
	<i>2</i>	47	48	47	49		
	<i>3</i>	53	52	48	50		
$\sum A_1$							
<i>3 – Романо</i>	<i>0</i>	32	29	27	29		
	<i>1</i>	42	49	53	52		
	<i>2</i>	54	56	57	58		
	<i>3</i>	62	60	62	63		
$\sum A_2$							
Суммы <i>II</i>						$\sum X$	

*Дисперсионный анализ по модели однофакторного полевого опыта – ДА-1:*

Общее число наблюдений  $N = a \cdot b \cdot n =$  ,

где  $a$  и  $b$  – число градаций фактора  $A$  и  $B$ ,  $v = a \cdot b$

Поправка  $C = \frac{(\sum X)^2}{N} =$

Суммы квадратов отклонений (СК):

Степени свободы ( $df$ ):

общая  $CKO = \sum X^2 - C =$

$N - 1 =$

вариантов  $CKV = \frac{\sum V^2}{n} - C =$

$v - 1 = (a \cdot b - 1) =$

повторений  $CKП = \frac{\sum \Pi^2}{v} - C =$

$n - 1 =$

остаток  $CKE = CKO - CKV - CKП =$

$(v - 1)(n - 1) =$

**Таблица дисперсионного анализа (ДА-1)**

Источник вариации	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий $F$	
				факт.	05
Общая			–	–	–
Повторений			–	–	–
Вариантов					
Остаточная				–	–

По критерию Фишера определяем существенность различий в опыте и при  $F_{\phi} \geq F_{05}$  расчлняем сумму квадратов по вариантам  $CKV$  на составляющие ее виды вариации.

*ДА-2. Определение сумм квадратов для факторов  $A$ ,  $B$  и взаимодействия  $AB$*

Исходную таблицу ДА-2 готовят на основе сумм по вариантам ( $V$ )

$A$ (сорта)	$B$ (дозы удобрений)				Суммы $A$
	0	1	2	3	
1					
2					
3					
Суммы $B$					$\sum X =$

Суммы квадратов:

вариантов  $CK_{(A+B+AB)} = CKV =$

(получена в ДА-1)

$$\text{фактора } A \quad CK_A = \frac{\sum A^2}{b \cdot n} - C =$$

$$df = a - 1 =$$

$$\text{фактора } B \quad CK_B = \frac{\sum B^2}{a \cdot n} - C =$$

$$df = b - 1 =$$

$$\text{взаимодействия } CK_{AB} = CK_V - CK_A - CK_B =$$

$$df = (a - 1)(b - 1) =$$

ДА-3. Определение сумм квадратов отклонений для остатка на делянках I-го и II-го порядков.

В исходную таблицу ДА-3 записываем суммы урожаев по делянкам I порядка (исходная таблица ДА-1):

A (сорта)	Повторения, $\sum A_i$				Суммы A
	I	II	III	IV	
1					
2					
3					
Суммы II					$\Sigma X =$

Суммы квадратов:

$$\text{Общая для делянок I порядка } CK_{O_I} = \frac{\sum A_i^2}{b} - C =$$

$$\text{для остатка I } SKE_I = CK_{O_I} - CK_A - CK_{II} = ;$$

$$df_{E_I} = (a - 1)(n - 1) =$$

$$\text{для остатка II } SKE_{II} = SKE - SKE_I = ;$$

$$df_{E_{II}} = a(b - 1)(n - 1) =$$

Результаты 3-х дисперсионных анализов сводим в сводную таблицу и определяем существенность действия и взаимодействия факторов по F-критерию

### Сводная таблица дисперсионного анализа

Источник вариации	Суммы квадратов	Доля вариации	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий F	
					факт.	05
Общая		100%		—	—	—
Повторений				—	—	—
Фактор A						
Остаток I ( $E_I$ )					—	—
Фактор B						
Взаимодействие AB						
Остаток II ( $E_{II}$ )					—	—

Оценка существенности частных эффектов:

1) делянки первого порядка (сорта картофеля)

$$S_x^I = \sqrt{\frac{S_{e_I}^2}{n}} =$$

$$t_{05}(ccE_I) =$$

$$S_d^I = \sqrt{\frac{2S_{e_I}^2}{n}} =;$$

$$HCP'_{05} = t_{05}S_d^I =$$

2) делянки второго порядка (дозы минеральных удобрений)

$$S_x^{II} = \sqrt{\frac{S_{e_{II}}^2}{n}} =$$

$$t_{05}(ccE_{II}) = ;$$

$$S_d^{II} = \sqrt{\frac{2S_{e_{II}}^2}{n}} =$$

$$HCP^{II}_{05} = t_{05}S_d^{II} =$$

Оценка существенности главных эффектов и взаимодействия:

- сорта (A)

$$S_d^A = \sqrt{\frac{2S_{e_I}^2}{nb}} =$$

$$HCP^{A}_{05} = t_{05}S_d^A =$$

- дозы удобрений (B) и взаимодействие (AB):

$$S_d^B = \sqrt{\frac{2S_{e_{II}}^2}{na}} =$$

$$HCP^{B}_{05} = t_{05}S_d^B =$$

Влияние сортов и доз минеральных удобрений  
на урожайность картофеля т/га:

A (сорта)	B (дозы удобрений, кг/га)				Средние по A $HCP^{A}_{05} =$
	0	60	90	120	
Адретта					
Луговский					
Романо					
Средние по B $HCP^{B}_{05} =$					

$$HCP^{I}_{05} =$$

$$HCP^{II}_{05} =$$

Представляем итоговые данные графически:

ц/га

Дозы удобрений, кг/га

**Вывод:**

**Дисперсионный анализ данных многофакторного полевого опыта, заложеного методом расщепленных делянок в ПК STRAZ**

1. Запустите ПК «STRAZ»
  2. Из Меню 2 выберите пункт 8 – дисперсионный анализ. На экране появится Меню 3.
  3. Из меню 3 выберите пункт I. На экране появится сообщение:  

<i>МНОГОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ</i>
--
  4. Введите информацию с магнитного диска или с клавиатуры
  5. После ввода краткой информации в комментарий появится запрос:  
*Введите количество факторов (не более 5)>*
  6. После ввода необходимого числа факторов на экране появится сообщение: **\*\*\* Внимание \*\*\***  
*Первым вводится число градаций крайнего правого фактора*  
*Последним число градаций левого фактора*
- Так, если перед этим сообщением было указано 2 фактора, то на экране последует запрос:

Введите количество градаций фактора В >

7. Например, при обработке 2-х факторного 4x3 опыта, в котором изучаются 4 градации фактора А и 3 градации фактора В, на этот запрос нажмите клавишу [3] и [Enter].

Следующий запрос:

*Введите количество градаций фактора А>*

8. Для опыта 4x3 нажмите последовательно клавиши [4] и [Enter].

Следующее сообщение *Методы размещения вариантов:*

*1 - полной рандомизации*

*2 - организованных повторений*

*3 - расщепленных делянок*

*4 - расщепленных блоков*

*Ваш выбор [1 - 4]>*

9. Для проведения дисперсионного анализа полевого опыта, заложенного методом расщепленных делянок, выберите пункт 3.

*Далее последует запрос:*

*Ввод исходных данных (по вариантам)*

*Введите строку #1>*

10. Пользователь осуществляет ввод строки I, отделяя одно число от другого либо клавишей [Space], либо клавишей ввода [Enter]. Целая часть числа от дробной отделяется точкой, перед отрицательными числами ставится знак "минус".

По окончании ввода 1-ой строки нажимается клавиша [Enter] и программа запросит ввод 2-ой и так далее до последней.

### 3.3 Дисперсионный анализ данных с неоднородными выборками (анализ данных наблюдений, которые не подчиняются закону нормального распределения)

Пример. Число сорняков в посевах ячменя, шт/м<sup>2</sup>

Варианты опыта	Повторения						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Без гербицида	398	405	498	395	390	428	439
2. Банвел	306	375	380	370	376	378	380
3. Диамант	157	196	125	120	98	124	100
4. Аккурат	42	35	24	34	35	28	58
5. Аккурат + Диамант	30	0	10	9	0	10	42

**Шифр к работе**

№	Повторность	№	Повторность	№	Повторность
1	1 2 3 4	9	2 3 5 7	17	1 3 5 7
2	2 3 4 5	10	1 2 4 7	18	2 5 6 7
3	3 4 5 6	11	2 4 5 6	19	1 2 5 6
4	1 2 3 5	12	1 4 5 6	20	1 3 4 5
5	4 5 6 7	13	3 5 6 7	21	1 4 5 7
6	1 2 3 6	14	1 3 6 7	22	1 4 6 7
7	2 3 5 6	15	1 3 5 6	23	1 5 6 7
8	1 2 3 7	16	2 4 6 7	24	1 4 5 7

Выполнение работы в программе Excel осуществляется после трансформации исходных дат.

Решение:

Задание № \_\_\_\_\_

Варианты опыта	Повторения				Суммы, V	Средние $\bar{x}_v$
	1	2	3	4		
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

Преобразование (трансформация исходных дат)  $X_i =$

Варианты опыта	Повторения, $X_i$				Суммы, V	Средние $\bar{x}_v$
	1	2	3	4		
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
Суммы P					$\sum X_i =$	

$$\sum X_i = \sum V = \sum \Pi$$

$$\sum X_i^2 = \quad \sum V^2 = \quad \sum \Pi^2 =$$

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

$$\text{Поправка } C = \frac{(\sum X)^2}{N} =$$

Суммы квадратов отклонений:

$$CKO = \sum X^2 - C =$$

$$CKV = \frac{\sum V^2}{n} - C =$$

$$CKП = \frac{\sum П^2}{v} - C =$$

$$CKE = CKO - CKV - CKП =$$

### Таблица дисперсионного анализа

Виды варьирования	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий $F$	
				факт.	05
Общее			—	—	—
Повторений			—	—	—
Вариантов					
Остаток				—	—

$$S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} =$$

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

$$HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

Итоговая таблица

Варианты опыта	Средние преобразов, $\bar{x}_{v_i}$	$d = \bar{x}_{on} - \bar{x}_{st}$	Средние исходные, $\bar{x}_v$	$d = \bar{x}_{on} - \bar{x}_{st}$
1.				
2..				
3.				
4.				
5.				

$$HCP_{05} =$$

$$HCP_{01} =$$

После оценки существенности разности преобразованных значений, результаты оценки перенести на исходные средние. Существенные разности обозначить звездочками (\*)

Вывод:

### 3.4 Дисперсионный анализ данных полевого опыта за ряд лет

Урожайность разных сортов озимой пшеницы, т/га  
2019 г.

Варианты опыта	Повторения			
	I	II	III	IV
1. Престиж	5,28	5,43	5,23	5,06
2. Галина	5,45	5,25	5,03	4,96
3. Немчиновская -57	4,84	4,89	5,03	4,67
4. Московская - 56	6,57	6,65	6,57	6,73

$$\text{Поправка } C = \frac{(\sum X)^2}{N} =$$

Суммы квадратов отклонений:

$$CKO = \sum X^2 - C =$$

$$CKV = \frac{\sum V^2}{n} - C =$$

$$CKП = \frac{\sum П^2}{v} - C =$$

$$SKE = CKO - CKV - CKП =$$

$$S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} =$$

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

$$HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

Урожайность разных сортов озимой пшеницы, т/га  
2020 г.

Варианты опыта	Повторения			
	I	II	III	IV
1. Престиж	4,79	5,31	5,02	5,15
2. Галина	4,71	5,05	4,64	4,78
3. Немчиновская -57	4,49	4,39	4,61	4,52
4. Московская - 56	6,25	6,19	6,45	6,18

$$\text{Поправка } C = \frac{(\sum X)^2}{N} =$$

Суммы квадратов отклонений:

$$CKO = \sum X^2 - C =$$

$$CKV = \frac{\sum V^2}{n} - C =$$

$$СКП = \frac{\sum \Pi^2}{v} - C =$$

$$SKE = CKO - CKV - СКП =$$

$$S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} = \quad HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = \quad HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

Урожайность разных сортов озимой пшеницы, т/га  
2021 г.

Варианты опыта	Повторения			
	I	II	III	IV
1. Престиж	5,39	5,53	5,14	5,49
2. Галина	5,43	5,36	5,28	4,97
3. Немчиновская -57	5,09	4,93	5,15	4,82
4. Московская - 56	6,96	6,95	7,12	6,99

$$\text{Поправка } C = \frac{(\sum X)^2}{N} =$$

Суммы квадратов отклонений:

$$CKO = \sum X^2 - C =$$

$$CKV = \frac{\sum V^2}{n} - C =$$

$$СКП = \frac{\sum \Pi^2}{v} - C =$$

$$SKE = CKO - CKV - СКП =$$

$$S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} = \quad HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = \quad HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

Средняя урожайность озимой пшеницы по годам, т/га,

Варианты опыта	Годы		
	2019	2020	2021
1. Престиж			
2. Галина			
3. Немчиновская -57			
4. Московская - 56			

$$\text{Поправка } C = \frac{(\sum X)^2}{N} =$$

Суммы квадратов отклонений:

$$CKO = \sum X^2 - C =$$

$$CKV = \frac{\sum V^2}{n} - C =$$

$$СКП = \frac{\sum \Pi^2}{v} - C =$$

$$SKE = CKO - CKV - СКП =$$

**Таблица дисперсионного анализа**

Виды варьирования	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий $F$	
				факт.	05
Общее			—	—	—
Годы			—	—	—
Вариантов					
Остаток				—	—

$$S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} =$$

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

$$HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

$$HCP_{05} \% = \frac{(t_{05} \cdot S_d)}{x_0} \cdot 100 =$$

Итоговая таблица \_\_\_\_\_

Варианты опыта	Годы						В среднем за 3 года	
	2019		2020		2021		$\bar{x}_v$	$d$
	$\bar{x}_v$	$d$	$\bar{x}_v$	$d$	$\bar{x}_v$	$d$		
1. Престиж								
2. Галина								
3. Немчиновская -57								
4. Московская - 56								
	$HCP_{05}$		$HCP_{05}$		$HCP_{05}$		$HCP_{05}$	

Вывод:

### Контрольные вопросы:

1. В чем сущность дисперсионного анализа?
2. Схема, модель дисперсионного анализа данных полевого опыта, заложенного методом полной рандомизации.
3. Схема, модель дисперсионного анализа данных полевого опыта, заложенного методом рандомизированных повторений.
4. Схема, модель дисперсионного анализа данных полевого опыта, заложенного методом латинского квадрата/прямоугольника.
5. Предпосылки дисперсионного анализа.
6. Статистическая обработка данных наблюдений и анализов с неоднородными выборками.
7. Оценка существенности разности средних при дисперсионном анализе.
8. Какие критерии применяются для множественного сравнения средних?
9. Особенности применения критерия Дункана.
10. Особенности применения критерия Тьюки.
11. Как графически оценить различия между средними по вариантам.
12. Как провести дисперсионный анализ данных полевого опыта с рандомизированными методами размещения вариантов в программе Excel?
13. Дисперсионный анализ данных многофакторного опыта в программе Excel.
14. Как рассчитать частные и главные эффекты?
15. Дисперсионный анализ данных многофакторного опыта, заложенного методом расщепленных делянок.
16. Дисперсионный анализ данных с многосборовыми культурами и данных многолетних экспериментов.

Дата \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Глава 4. КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ АГРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Теоретическая часть:

Корреляционно-регрессионный анализ является классическим методом вероятностного моделирования, который изучает взаимосвязи между признаками, когда зависимость между ними не является строго функциональной или искажена влиянием посторонних, случайных факторов.

В агрономических исследованиях редко приходится иметь дело с точными и определенными *функциональными связями*, когда каждому значению независимого признака ( $X$ ) соответствует строго определенное значение результативного признака (зависимого) ( $Y$ ). Чаще между изучаемыми явлениями, объектами, условиями среды, ростом, продуктивностью растений и другими показателями существуют *корреляционные или вероятностные взаимосвязи*, когда определенному значению независимой переменной  $X$  соответствует не одно, а множество возможных значений признака  $Y$ .

Корреляции подразделяют по направлению, форме и числу связей. По направлению корреляция может быть *прямой или обратной*, по форме *прямолинейной и криволинейной*, а по числу связей – *простой и множественной*.

На основании корреляционного анализа устанавливают форму, направление и тесноту связи, то есть дается качественная оценка зависимости. Если выявленные на основе корреляционного анализа связи между изучаемыми признаками окажутся *существенными*, то целесообразно найти их математическое выражение в виде регрессионной модели и оценить ее адекватность.

Главная задача, которая решается с помощью регрессионного анализа заключается в создании математической модели процессов и явлений.

Адекватная регрессионная модель может использоваться в агрономии:

- для прогнозирования значения урожайности в зависимости от метеоусловий, вредителей, болезней, сорняков и рекомендуемых агроприемов;
- для прогнозирования распространения вредителей и болезней от внешних условий;
- Модель линейной регрессии имеет следующий вид:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_kx_k$$

где:  $a$  – коэффициенты регрессии,  $x$  – влияющие переменные,  $k$  – число факторов.

#### 4.1 Парная корреляция, линейная регрессионная модель

**Пример 1.** Количество осадков за май – июль ( $X$ , мм) и прибавка урожая картофеля от  $NPK$  ( $Y$ , т/га)

1 задание		2 задание		3 задание		4 задание		5 задание	
$Y$	$X$								
15,0	235	4,6	113	4,5	121	20,3	245	3,0	60
13,6	204	12,5	212	8,4	142	6,5	153	3,3	74
4,20	120	7,7	14	8,3	138	7,4	138	4,7	94
21,6	238	20,1	247	14,3	221	3,4	84	4,2	99
3,7	96	11,2	176	13,6	198	9,0	150	8,8	150
9,5	145	11,2	188	10,0	168	8,0	137	6,0	143
8,2	140	3,7	88	9,5	140	3,3	74	14,4	220
4,8	119	4,2	96	10,3	178	4,6	112	4,5	108
4,2	115	3,9	83	3,1	78	10,3	165	2,7	64
9,6	156	5,4	113	3,6	85	13,5	198	4,2	100

**Пример 2.** Зависимость урожайности озимой пшеницы ( $Y$ , т/га) от пораженности бурой ржавчины ( $X$ , %)

6 задание		7 задание		8 задание		9 задание		10 задание	
$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$
5,11	20,2	4,93	36,1	5,03	22,3	4,97	21,7	5,51	9,9
5,03	27,4	5,25	22,4	5,04	28,0	5,02	24,4	5,30	25,4
5,11	21,6	5,53	8,5	4,34	54,1	5,25	15,3	5,02	21,1
4,84	46,0	4,38	54,1	4,65	45,3	4,81	36,2	5,11	35,6
4,90	41,4	4,81	43,2	5,53	10,2	4,10	59,7	5,07	42,7
4,91	43,3	3,96	64,1	5,03	20,0	5,30	25,8	5,15	34,0
4,85	37,8	4,13	57,0	4,02	60,4	5,15	34,2	4,58	54,2
4,90	42,5	5,53	12,4	5,53	10,1	4,52	54,6	5,05	43,6
4,18	59,1	4,80	43,1	4,38	54,8	4,20	54,0	5,88	12,4
4,50	54,7	4,06	56,3	4,85	36,2	4,16	59,6	4,02	60,1

#### Общая постановка задачи

1. Провести корреляционно-регрессионный анализ парной зависимости между изучаемыми признаками.
2. Определить форму, направление и силу связей между признаками.
3. Рассчитать параметры регрессионной модели и оценить их значимость.
4. Показать на графике корреляционное поле и теоретическую линию линейной регрессии.

Решение:

Признаки		Квадраты		Произведения
Y	X	Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	Y·X
Суммы,				

Число пар сравнений,  $n =$

Средние по ряду Y и по ряду X

$$\bar{y} = \sum Y : n =$$

$$\bar{x} = \sum X : n =$$

$$\sum (Y - \bar{y})^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} =$$

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

$$\sum (X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y}) = \sum XY - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{n} =$$

$$r = \frac{\sum (X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{x})^2 \cdot \sum (Y - \bar{y})^2}} =$$

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} =$$

$$d_{yx} = r^2 =$$

$$b_{yx} = \frac{\sum (X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sum (X - \bar{x})^2} =$$

$$S_{b_{yx}} = S_r \cdot \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{y})^2}{\sum (X - \bar{x})^2}} =$$

$$t_r = t_b = \frac{r}{s_r} = \quad \quad \quad t_{0.5} = \quad \quad \quad \text{при } df = n - 2 =$$

Подставляем рассчитанные значения средних по ряду  $X$ ,  $Y$  и  $b_{yx}$ , в уравнение  $Y = \bar{y} + b_{yx} \cdot (X - \bar{x}) =$

после упрощения получаем модель линейной регрессии  $Y = a \pm bX =$

Параметры  $a$  и  $b$  расчетного уравнения регрессии можно получить *методом наименьших квадратов* путем решения двух уравнений. Для этого уравнение прямой линии  $a \pm bX = Y$  сначала умножаем на  $n$ , а потом на  $\sum X$ , и получаем систему двух уравнений:

$$an + b\sum X = \sum Y$$

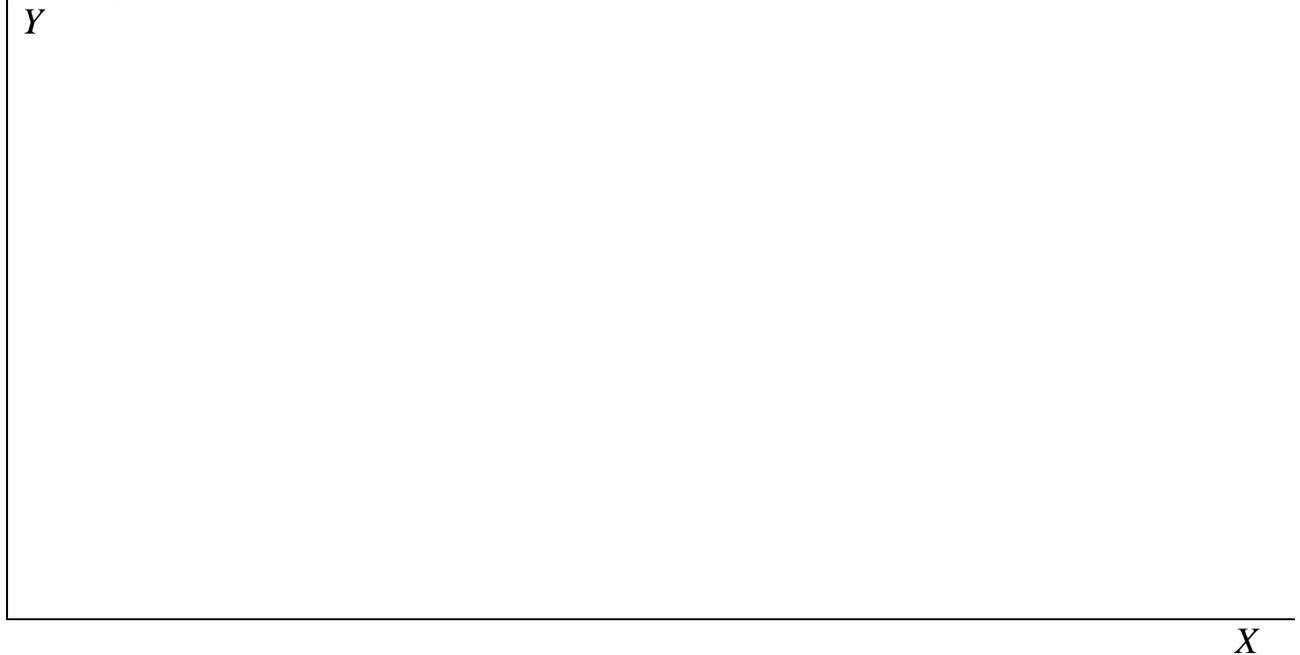
$$a\sum X + b\sum X^2 = \sum XY$$

Упрощаем эти уравнения, разделив первое уравнение на  $n$ , а второе на  $\sum X$ :

Вычитаем из первого уравнения второе, получаем третье и рассчитываем коэффициент  $b$ :

Свободный член уравнения  $a$  находим путем решения второго полученного уравнения, подставляя в него уже известное значение  $b$ :

Определяем значения  $Y$  для экстремальных значений  $X$  ( $X_{min}$  и  $X_{max}$ ) и строим теоретическую линию регрессии  $Y$  по  $X$ .



Вывод:

## Корреляционно-регрессионный анализ в программе Excel

1. На вкладке **Данные** в группе **Анализ данных** выбрать инструмент анализа **Регрессия** (рис.4.1).

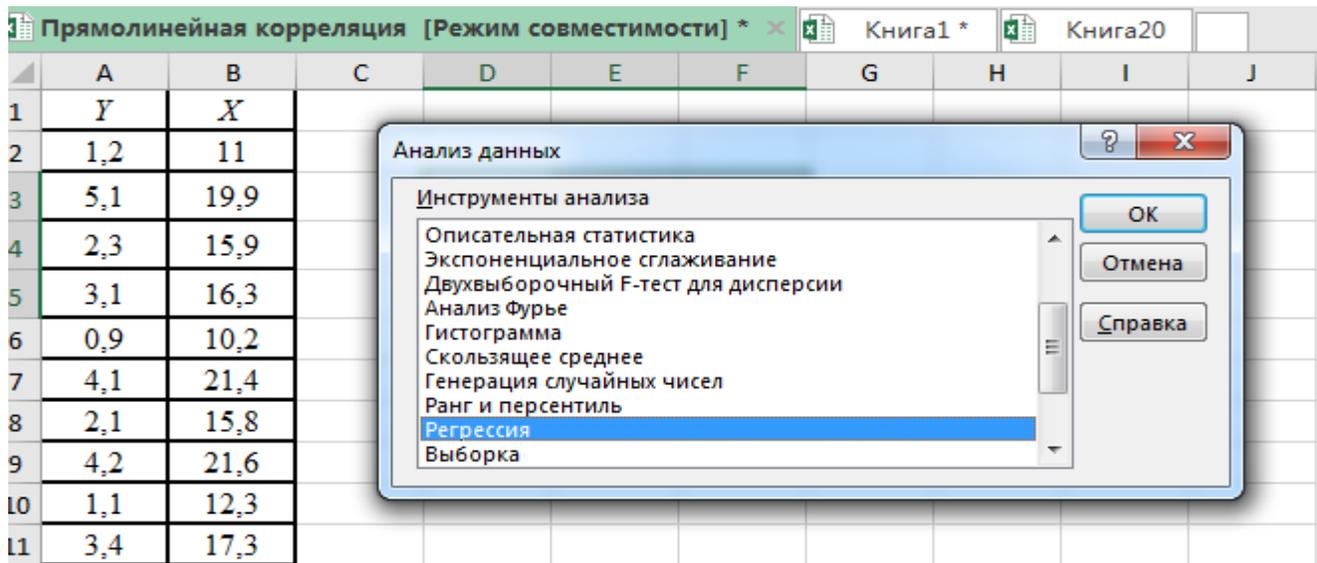


Рис. 4.1. Исходные данные и Инструменты анализа – выбор регрессии.

2. В появившемся диалоговом окне настроек регрессии в поле **Входной интервал Y:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек, где расположены переменные данные зависимого признака **A1:A11**, в поле **Входной интервал X:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **B1:B11** – данные по ряду X, галочкой отметить **Метки**. В поле **Уровень надежности** указать доверительную вероятность **95%** или **99%**, отметить выходной интервал для размещения результатов расчета, выбрать **График подбора** и нажать клавишу **ОК** (рис. 4.2).

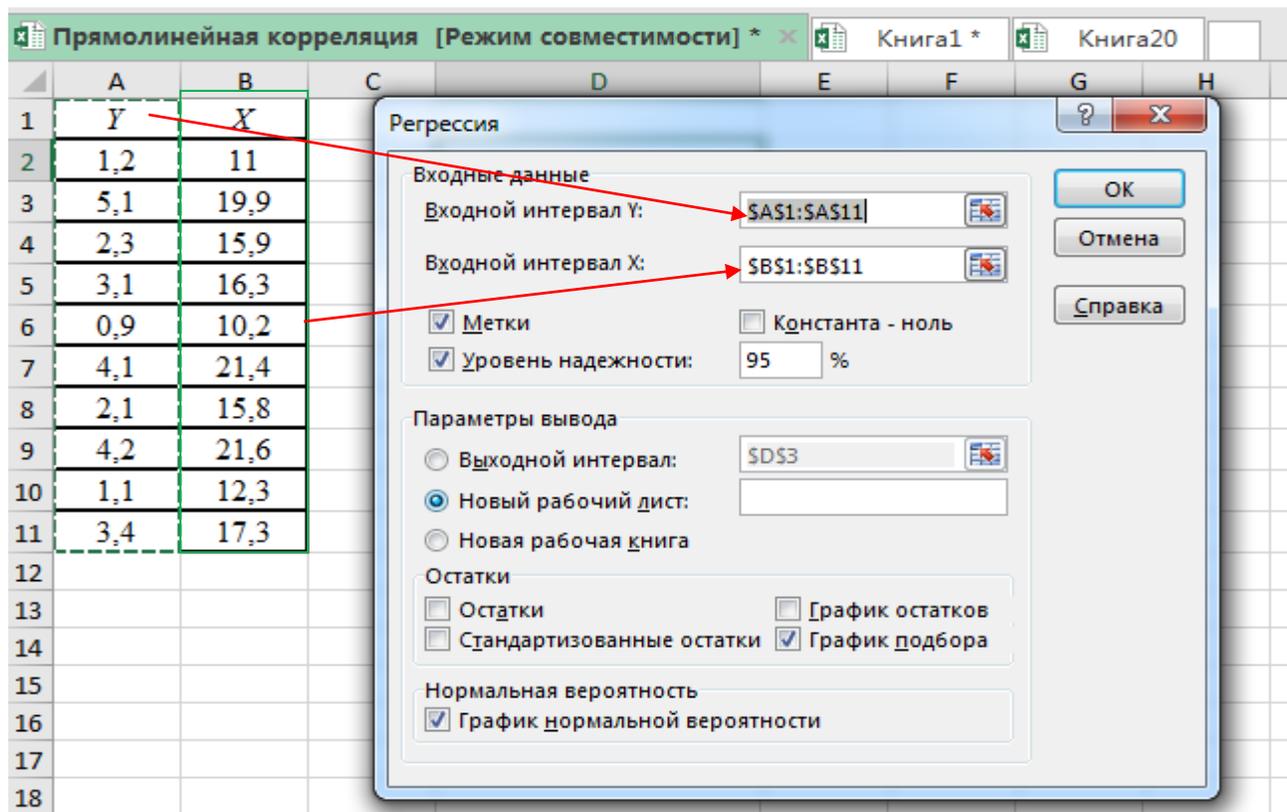


Рис. 4.2. Диалоговое окно *Регрессия*

3. Для представления на графике уравнения регрессии и коэффициента детерминации в контекстном меню **Формат линии тренда** галочкой указать **показать уравнение на диаграмме** и поместить  $R^2$  (рис. 4.3)

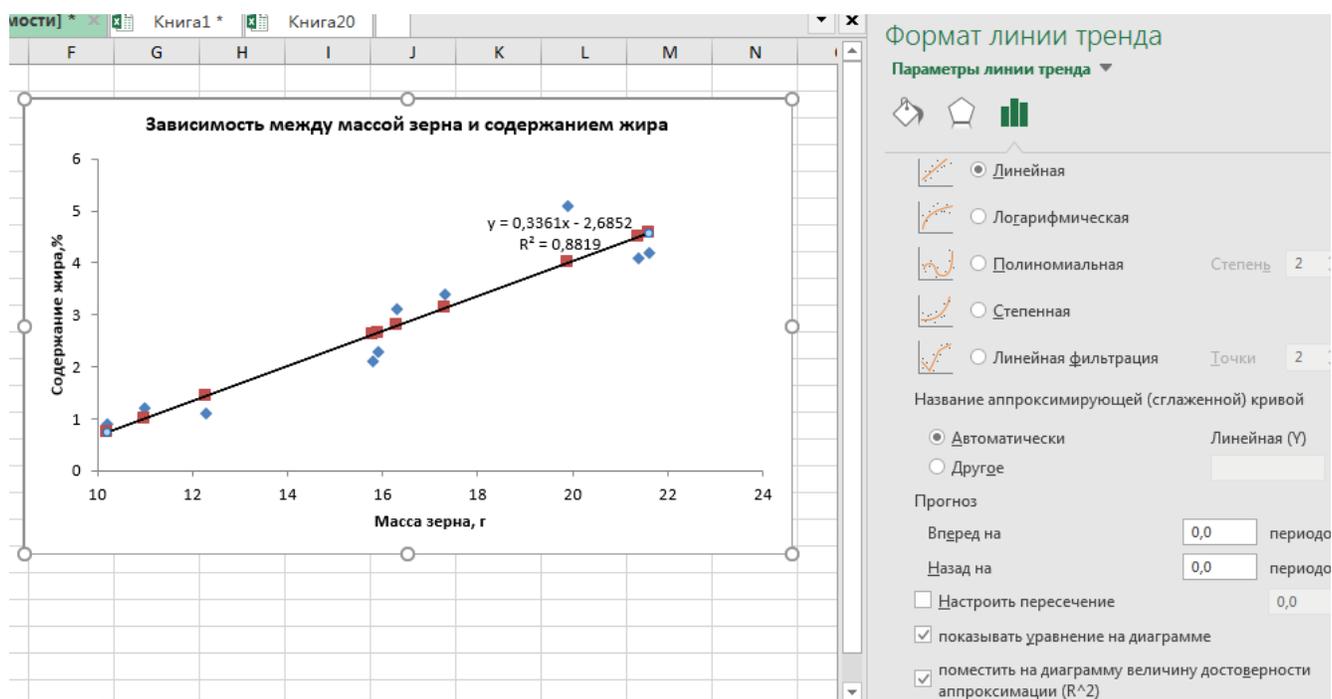


Рис. 4.3. Контекстное меню для форматирования параметров линии тренда

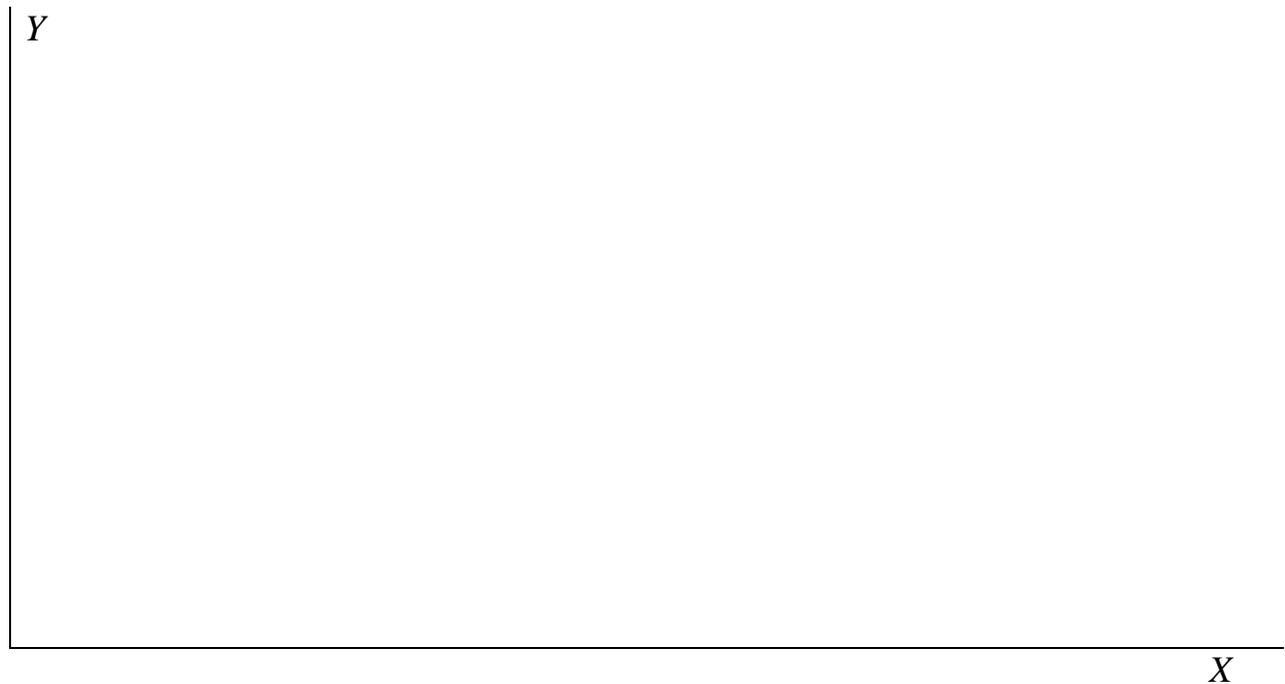
## 4.2 Нелинейные регрессионные модели

Пример 1. Зависимость урожайности яровой пшеницы,  $Y$  (ц/га) от засоренности посевов,  $X$  (количество сорняков, шт/м<sup>2</sup>).

$Y$	5,35	5,12	4,18	4,54	4,36	3,99	4,93	3,96	4,75	4,37
$X$	4	9	158	49	97	249	19	281	37	92
$Y$	4,28	4,19	4,36	4,39	4,00	4,91	4,18	3,98	4,38	3,70
$X$	73	119	67	76	200	32	144	215	85	234

### Общая постановка задачи

1. Провести корреляционно-регрессионный анализ парной зависимости между изучаемыми признаками.
2. Определить форму, направление и силу изучаемых связей между признаками.
3. Провести поиск наилучшей нелинейной регрессионной модели.
3. Рассчитать параметры регрессионной модели и оценить их значимость.
4. Показать на графике корреляционное поле и теоретическую линию линейной регрессии.



Вывод:

## Криволинейная регрессия в программе Excel

1. В активный лист программы **Excel** ввести исходные данные, расположив таблицу по столбцам (рис. 4.4).

2. Выделить левой кнопкой мыши диапазон ячеек **A1:B21**, далее правой кнопкой нажать на вкладку «**Вставка**», далее **Диаграмма**. В появившемся окне выбрать тип **Точечная**. Результат обработки появится в виде диаграммы (4.4).

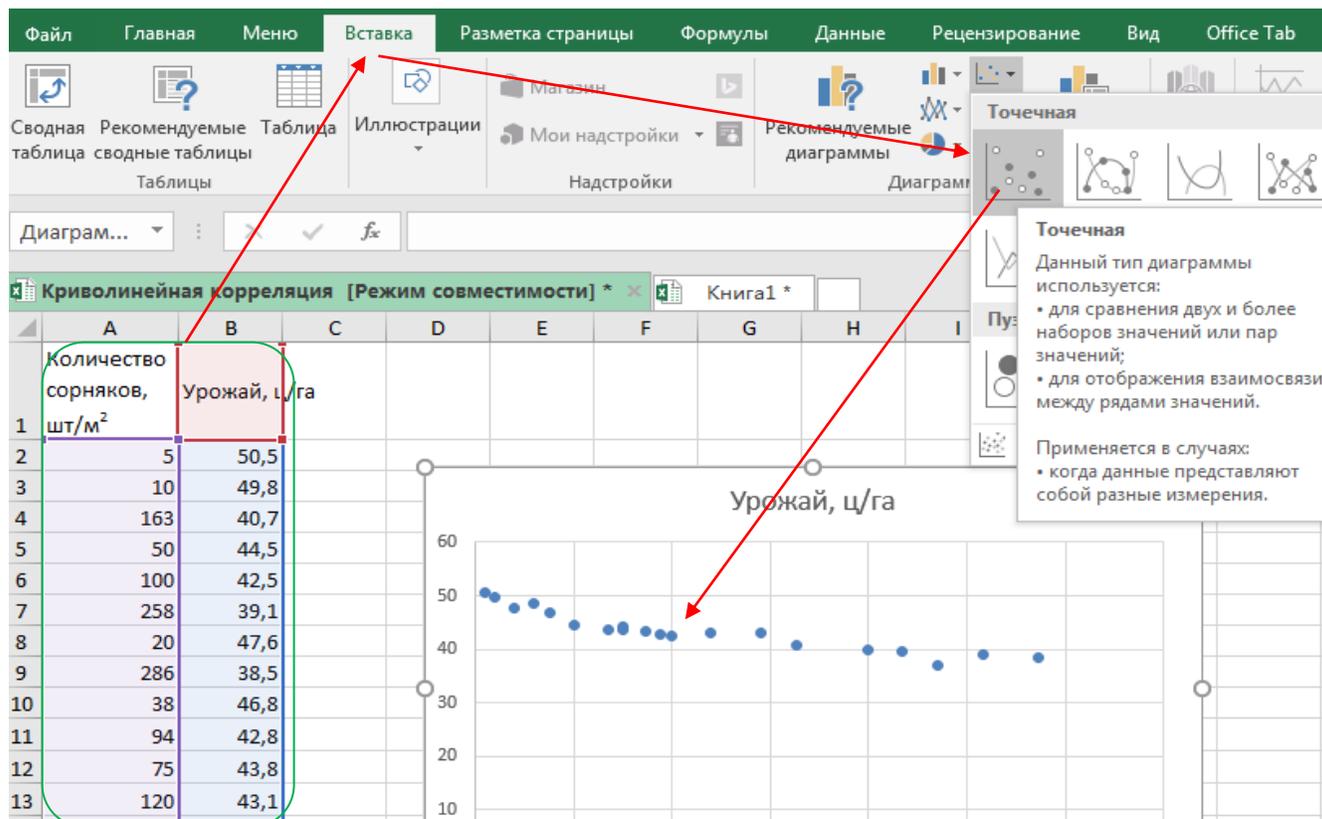


Рис. 4.4. Таблица исходных данных и выбор точечного типа диаграммы

3. По умолчанию программа выбирает линейную модель (рис. 4.5).

4. Визуальная оценка данных корреляционного поля показывает, что зависимость урожайности от количества сорняков носит нелинейный характер. Поэтому необходимо провести аппроксимацию по всем типам представленных в программе Excel криволинейных регрессий. Одним из основных показателей аппроксимации является  $R^2$  или коэффициент детерминации, по которому можно судить о качестве модели. Чем больше значение R-квадрат, тем лучше аппроксимируется выбранная модель, тем лучше качество модели.

5. В контекстном меню выбора параметров линии тренда необходимо последовательно выбрать экспоненциальную, логарифмическую, степенную и показательные регрессии.

6. Наиболее точно в нашем примере описывается зависимость урожайности пшеницы от количества сорняков полиномиальной моделью:

$$Y = 0,0002X^2 - 0,0838X + 49,854 ; R^2=0,93, \text{ (рис. 4.6)}$$

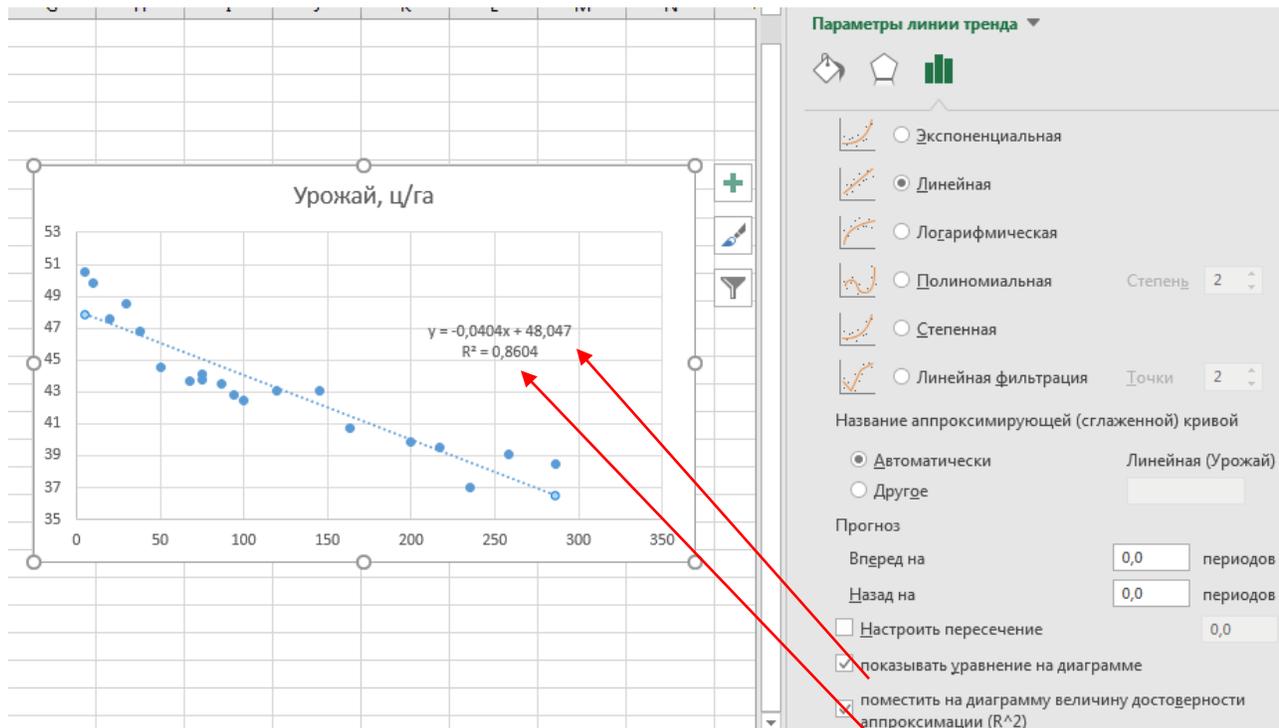


Рис.4.5. Контекстное меню для форматирования параметров линии тренда

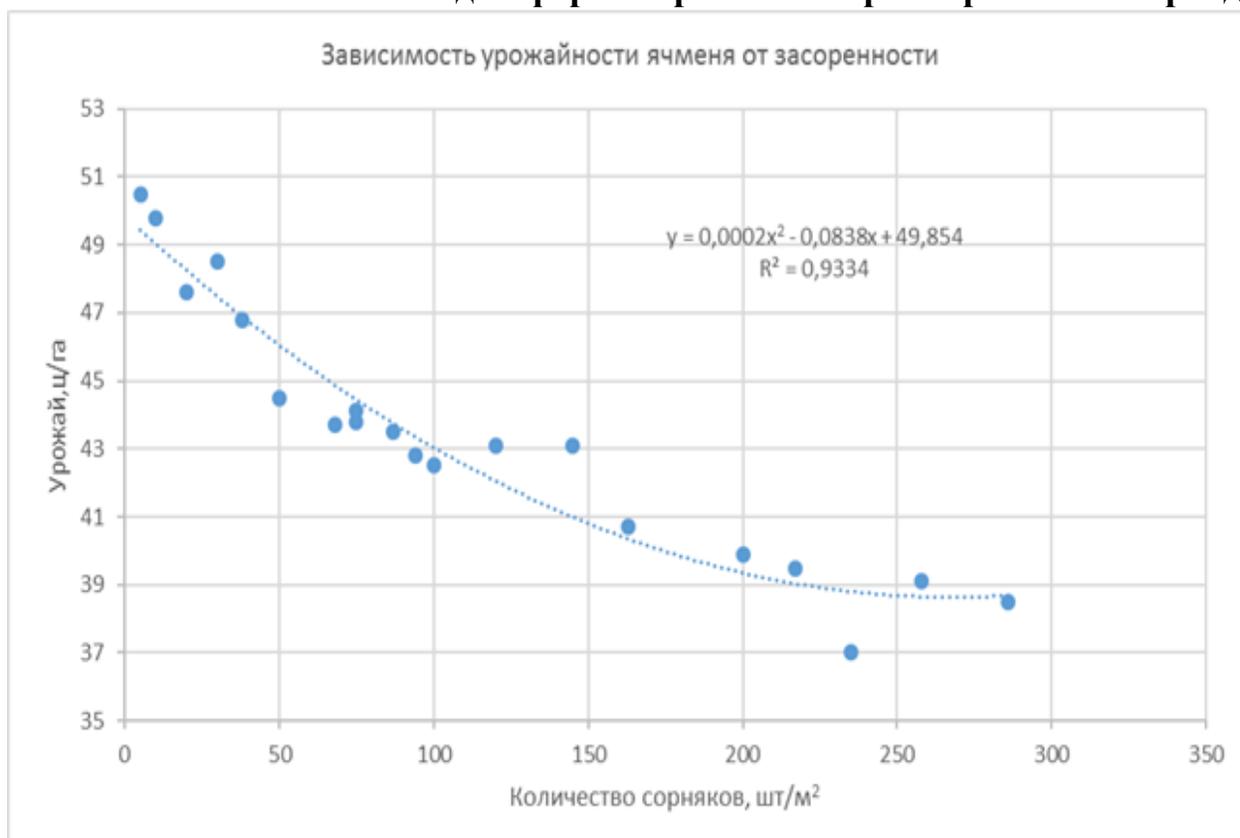


Рис. 4.6. Показательная модель зависимости урожайности от засоренности  
Вывод:

### 4.3 Ранговая корреляция

Пример. Определить корреляционную зависимость между степенью развития септориоза (X) и урожайностью овса (Y).

X, балл	Y, т/га	Ранги рядов		$d=R_x-R_y$	$d^2$
		$R_x$	$R_y$		
5	3,5				
1	4,2				
3	3,9				
2	4,3				
1	4,0				
5	3,7				
4	3,8				
2	4,4				
1	4,5				
0	4,7				
				$\Sigma d^2 =$	

Порядок выполнения работы:

1. Ранжируем отдельно значения признаков по ряду X и ряду Y. Одинаковым значениям признаков присваивают один и тот же средний ранг.

2. Определяем отклонения между рангами сопряженных значений признаков X и Y по формуле  $d = R_x - R_y$ .

3. Возводим в квадрат разности рангов  $d^2$  и суммируем квадраты рангов.

4. Рассчитываем:

коэффициент ранговой корреляции по формуле:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum d^2}{n \cdot (n^2 - 1)} =$$

ошибку

$$S_{r_s} = \sqrt{\frac{1 - r_s^2}{n - 2}} =$$

критерий значимости

$$t_{r_s} = \frac{r_s}{S_{r_s}} =$$

$$t_{05} = \text{npu } df = n - 2$$

Вывод:

#### 4.4. Множественная регрессионная модель

##### Общая постановка задачи:

1. Провести корреляционно-регрессионный анализ множественной зависимости между изучаемыми признаками.
2. Рассчитать множественный и парные коэффициенты корреляции, оценить их существенность, определить наличие мультиколлинеарности между признаками.
3. Построить модель множественной регрессии и оценить ее адекватность.

Пример. Зависимость урожайности ячменя от агрохимических показателей плодородия почвы

Гумус %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/100 г	pH	K <sub>2</sub> O мг/100 г	NO <sub>3</sub> мг/100 г	Урожайность т/га
4,07	16,19	7,44	11,42	9,63	1,96
3,73	9,85	6,73	16,92	9,04	1,73
4,08	20,04	6,47	17,01	9,13	2,18
4,09	14,96	7,17	12,91	9,53	1,90
3,89	12,77	7,4	14,93	8,1	1,82
4,3	18,44	6,5	10,73	9,62	2,08
3,97	13,51	6,65	9,43	8,56	1,72
3,69	9,89	6,02	13,52	8,32	1,66
4,01	16,58	6,95	11,45	8,35	1,87
3,92	12,85	7,4	13,56	8,45	1,82
4,21	19,21	7,11	15,42	10,21	2,10
3,54	10,35	6,01	16,21	8,56	1,65
3,69	14,5	6,12	14,21	9,01	1,73
3,84	12,3	6,5	10,75	8,78	1,74
3,92	18,42	7,01	9,86	8,92	1,86
4,01	18,01	6,98	15,56	9,56	2,01
3,4	12,56	6,25	11,65	8,42	1,62
4	17,42	7,35	14,89	9,45	1,90
3,85	14,52	7,01	13,56	7,56	1,84
3,8	13,24	6,41	13,52	8,01	1,77

## Множественный корреляционно-регрессионный анализ в программе Excel

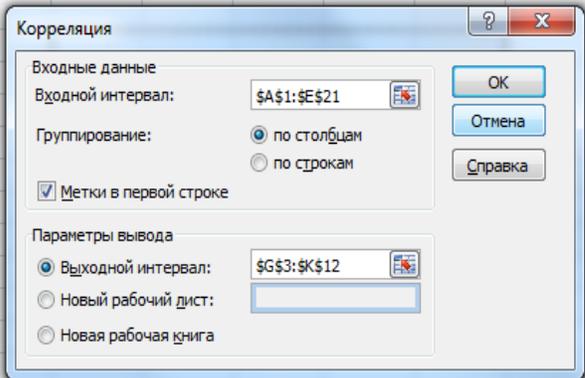
1. Для составления матрицы парных корреляций между всеми изучаемыми признаками из **Пакета анализа** выбрать инструмент **Корреляция**.

2. В появившемся диалоговом окне указать входной интервал данных **A1:E21**.

3. **Группирование** по столбцам.

4. Указать метки и выходной интервал (рис. 4.7.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Гумус, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Порозность, %	Водо-прочность, %	Урожайность ячменя, т/га							
2	3,83	1,28	55,8	27,3	2,82							
3	4,21	1,14	63,3	28,3	3,08							
4	3,97	1,29	55,8	27	2,72							
5	3,69	1,27	57,8	26,4	2,66							
6	4,01	1,28	56,3	25,5	2,87							
7	3,92	1,31	53,9	28	2,82							
8	4,21	1,14	64,1	29,4	3,11							
9	3,54	1,32	54	27,4	2,65							
10	3,69	1,3	55,3	27,1	2,73							
11	3,84	1,31	54,2	25,8	2,74							
12	3,92	1,28	56,7	28,1	2,86							
13	4,01	1,25	60,8	26,1	3,01							
14	3,4	1,28	57,2	27,4	2,62							
15	4	1,2	61,5	29,1	2,9							
16	3,85	1,27	57,1	28,7	2,84							
17	3,8	1,28	57,2	27,3	2,77							
18	4,01	1,24	58,4	29,8	2,96							
19	3,7	1,3	55,4	25,6	2,73							
20	4,11	1,24	61,3	30,5	3,18							
21	4,07	1,27	59,4	28,4	2,9							



4.7. Диалоговое окно *Корреляция*

5. Для проведения регрессионного анализа из пакета **Анализ данных** выбрать инструмент анализа **Регрессия**.

6. В появившемся окне **Регрессия** в поле **Входной интервал Y:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **E1:E21** – урожайные данные, в поле **Входной интервал X:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **A1:B21** – значения по 4 признакам.

7. Галочкой выделить **Метки**, в поле **Уровень надежности** указать доверительную вероятность **95%**, отметить выходной интервал для размещения результатов расчета, выбрать **График подбора**, **График нормальной вероятности** и нажать на клавишу **ОК** (рис.4.8.).

	A	B	C	D	E
1	Гумус, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Порозность, %	Водо-прочность, %	Урожайность ячменя, т/га
2	3,83	1,28	55,8	27,3	2,82
3	4,21	1,14	63,3	28,3	3,08
4	3,97	1,29	55,8	27	2,72
5	3,69	1,27	57,8	26,4	2,66
6	4,01	1,28	56,3	25,5	2,87
7	3,92	1,31	53,9	28	2,82
8	4,21	1,14	64,1	29,4	3,11
9	3,54	1,32	54	27,4	2,65
10	3,69	1,3	55,3	27,1	2,73
11	3,84	1,31	54,2	25,8	2,74
12	3,92	1,28	56,7	28,1	2,86
13	4,01	1,25	60,8	26,1	3,01
14	3,4	1,28	57,2	27,4	2,62
15	4	1,2	61,5	29,1	2,9
16	3,85	1,27	57,1	28,7	2,84
17	3,8	1,28	57,2	27,3	2,77
18	4,01	1,24	58,4	29,8	2,96
19	3,7	1,3	55,4	25,6	2,73
20	4,11	1,24	61,3	30,5	3,18
21	4,07	1,27	59,4	28,4	2,9
22					
23					

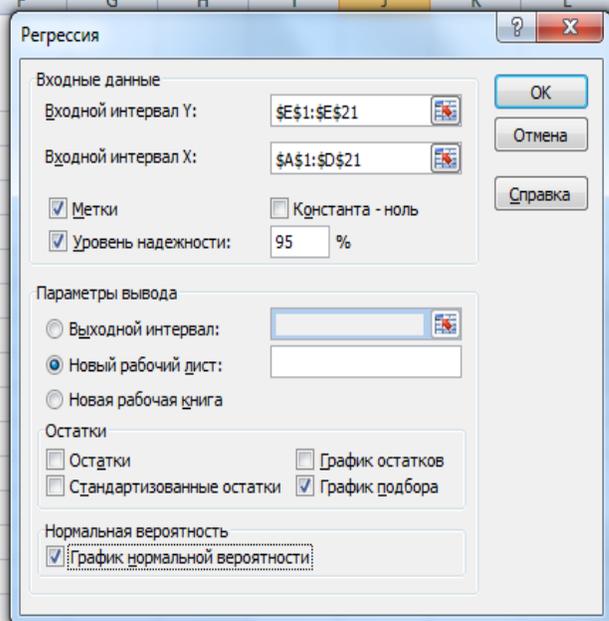


Рис. 4.8. Диалоговое окно **Регрессия**

Алгоритм проведения множественной корреляции и регрессии в программе **Statistica** рассмотрен в учебнике: Методика экспериментальных исследований в агрономии: учебное пособие для вузов / Р. Р. Усманов.– Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 197 с. – (Высшее образование). *Стр. 179 – 187*

В электронном формате издание доступно по ссылке –

<https://urait.ru/viewer/metodika-eksperimentalnyh-issledovaniy-v-agronomii-478014>

### Контрольные вопросы:

1. Примеры взаимосвязей признаков в биологии и агрономии.
2. Корреляционный анализ в агрономических исследованиях.
3. Регрессионный анализ в агрономических исследованиях.
4. Виды корреляции.
5. Линейная и криволинейная зависимости.
6. Коэффициент корреляции. Что показывает коэффициент корреляции?
7. Коэффициент детерминации. Что показывает коэффициент детерминации?
8. Коэффициент регрессии. Что показывает коэффициент регрессии?
9. Как оценить качество уравнения регрессии?
10. Какие критерии служат для оценки параметров регрессии?
11. Как проводится анализ остатков?
12. В чем отличие парной и частной корреляции?
13. Как отличить прямолинейную зависимость от криволинейной?
14. Как подобрать уравнение регрессии для криволинейной зависимости в программе Excel?
15. Множественная корреляция. Статистические показатели множественной зависимости.
16. Множественный регрессионный анализ.
17. Ранговая корреляция.
18. Бета-коэффициент. Какова роль бета-коэффициента?
19. Что такое мультиколлинеарность? Методы устранения мультиколлинеарности.
20. Как провести корреляционно-регрессионный анализ в программе Excel?

Дата \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Глава 5. КОВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

### Теоретическая часть

Ковариационный анализ в широком смысле – это одновременное применение дисперсионного корреляционного и регрессионного анализов на общие схемы полевых, вегетационных и лабораторных экспериментов. Он используется при планировании и статистической обработке результатов опыта как способ уменьшения ошибки эксперимента, не поддающейся непосредственному контролю (выравниванию).

Ковариационный анализ позволяет установить соотношение между вариацией зависимой переменной, например, урожая  $Y$ , и вариацией, сопутствующей эксперименту переменной  $X$ , например, исходным состоянием плодородия почвы делянок до закладки опыта, густотой стояния растений, содержанием в почве питательных веществ и т.д. На основе соотношения проводится статистическое выравнивание условий эксперимента. 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 обычно проводится для уточнения опыта в двух случаях:

- 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;
- 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 величина  $X$  имеет отношение к изучаемым вариантам, то исключение части эффекта неправомерно, так как это ведет к исключению части эффекта изучаемых факторов.

### 5.1. Ковариационный анализ для введения поправки на изреженность

#### Общая постановка задачи:

1. Провести ковариационный анализ и уяснить его сущность.
2. Оценить существенность частных различий до введения поправок и после проведения ковариационного анализа.
3. На основании проведенного анализа сделать статистический и агрономический вывод.

Пример. В опыте с разными сортами картофеля учтена урожайность ( $Y$ , т/га) и подсчитана густота картофеля на каждой делянке ( $X$ , тысяч шт на 1 га)

Варианты опыта		Повторения				Суммы $V_x$ и $V_y$	Средние $\bar{x}_v$ и $\bar{y}_v$
		1	2	3	4		
1. Темп, st	X	56,4	55,0	64,9	69,1		
	Y	29,6	25,9	29,9	31,2		
2. Гала	X	60,1	50,3	63,4	65,6		
	Y	27,7	24,4	29,4	31,5		
3. Адретта	X	65,2	53,0	65,0	66,3		
	Y	32,4	30,1	32,7	36,8		
4. Любава	X	61,4	68,6	65,3	54,8		
	Y	26,5	28,4	26,9	24,1		
5. Аврора	X	63,5	58,0	62,5	64,7		
	Y	23,7	19,4	22,9	23,0		
$\Sigma P_x$						$\Sigma X$	
$\Sigma P_y$						$\Sigma Y$	

На стр. 70 приведен алгоритм обработки данных в STRAZ.

1. На первом этапе проводим дисперсионный анализ по ряду  $X$ ,  $Y$  и произведений  $XY$  (анализ коварианс).

Суммы квадратов отклонений для ряда  $X$

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

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

Суммы квадратов отклонений:

общая  $C_y^x = \sum X^2 - C =$

вариантов  $C_v^x = \sum V_x^2 : n - C =$

повторений  $C_p^x = \sum P_x^2 : v - C =$

остаток  $C_z^x = C_y^x - C_v^x - C_p^x =$

Суммы квадратов отклонений для ряда  $Y$

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

Корректирующий фактор  $C = (Y)^2 : N =$

Суммы квадратов отклонений:

общая  $C_y^y = \sum Y^2 - C =$

вариантов  $C_v^y = \sum V_y^2 : n - C =$

повторений  $C_p^y = \sum P_y^2 : v - C =$

остаток  $C_z^y = C_y^y - C_v^y - C_p^y =$

Суммы квадратов для произведений XY

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

Корректирующий фактор  $C = (X) \cdot (Y) : N =$

Суммы квадратов:

общая  $C_y^{xy} = \sum XY - C =$

вариантов  $C_v^{xy} = \sum V_x \cdot V_y : n - C =$

повторений  $C_p^{xy} = \sum P_x \cdot P_y : v - C =$

остаток  $C_z^{xy} = C_y^{xy} - C_v^{xy} - C_p^{xy} =$

**Таблица дисперсионного анализа ряда X, Y и коварианс XY**

Виды вариации	X			Y			XY		df
	$C_x$	$S^2$	$F_\phi$	$C_y$	$S^2$	$F_\phi$	$C_{xy}$	$S^2$	
Общая									
Повторений									
Вариантов									
Остаток									

По критерию Фишера оцениваем существенность различий по вариантам для независимого признака. Если  $F_\phi < F_{05}$ , то переходим ко второму этапу.

2-ой этап. Дисперсионный анализ зависимого признака (Y) на независимый признак (X)

1. Определяем сумму квадратов для регрессии

$$C_r = C_b = \frac{(C_z^{xy})^2}{C_z^x} =$$

2. Расчлняем остаточную дисперсию по ряду Y (остаток 1) на сумму квадратов отклонений, обусловленную суммой квадратов регрессии  $C_b$  и суммой квадратов отклонений от регрессии  $C_{d_{yx}}$  (остаток 2).

$$C_{d_{yx}} = C_z^y - C_b =$$

$$\text{при } df_e^1 = df_e - 1 = (n-1) \cdot (v-1) - 1 =$$

Составляем таблицу дисперсионного анализа регрессии

Виды варьирования	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий F	
				факт	05
Вариантов					
Остаток 1					
Регрессии					
Остаток 2					

По критерию Фишера устанавливаем существенность регрессии, если  $F_{\phi} > F_{05}$ , переходим к третьему этапу ковариационного анализа.

3-й этап. Приведение фактических средних по ряду  $Y$  к средней величине корректируемого признака  $X$  – выравниванию результативного признака.

1. Рассчитываем коэффициент регрессии  $Y$  по  $X$

$$b_{yx} = \frac{C_z^{xy}}{C_z^x} =$$

2. Выравнивание результативного признака  $Y$

$$Y = \bar{y}_v + b_{yx} \cdot (\bar{x}_o - \bar{x}_v) =$$

**Таблица фактических и приведенных значений зависимого признака**

Варианты	Средние фак- тические	$d = \bar{y}_{on} - \bar{y}_{st}$	Средние кор- ректированные	$d = \bar{y}_{on} - \bar{y}_{st}$
1. Темп, st				
2. Гала				
3. Адретта				
4. Любава				
5. Аврора				

Оценка существенности частных различий:

а) для исходных данных

$$S_d = \sqrt{\frac{2 \cdot S_e^2}{n}} = \quad t_{05} = \quad \text{при } df_e =$$

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

для корректированных данных

$$S_d^1 = \sqrt{\frac{2 \cdot S_{e_1}^2}{n}} = \quad t_{05} = \quad \text{при } df_e^1 =$$

$$HCP_{05}^1 = t_{05} \cdot S_d^1 =$$

Вывод

## Ковариационный анализ в ПК STRAZ

1. Запустите ПК STRAZ
2. Выберите из меню пункт 9. На экране появится сообщение:

**КОВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ**

*Тип анализа:*

1. *равномерный комплекс*
2. *неравномерный комплекс*

*Ваш выбор {1 – 1}*

3. При выборе 1-го типа анализа на экране появится сообщение о вводе информации с магнитного диска или с клавиатуры. Необходимо знать, что в таблице исходных данных для ковариационного анализа информация записывается в 2 матрицы:

- матрица с данными независимого признака (густота стояния)
- матрица с данными зависимого признака (урожайность)

4. При вводе информации с клавиатуры запрос будет следующим:

*Введите комментарий к заданию (не более 60 символов)*

5. Следующий запрос: *Введите число вариантов (строк)*>

6. Далее следует запрос: *Введите число повторностей (столбцов)* >

7. Следующее сообщение: **Ввод независимого признака**

*Введите значения по варианту # 1>*

8. Вводите исходные данные независимого признака  $X$  по каждому варианту (по строке), отделяя одно число от другого либо клавишей «пробела», либо клавишей ввода {Enter}

9. Следующий запрос: **Ввод зависимого признака**

*Введите значения по варианту # 1>*

10. Ввод осуществляется подобно вводу матрицы независимого признака. После ответа на запрос о необходимости контроля матриц независимого и зависимого признаков последует сообщение: *Метод формирования:*

*1 – полной рандомизации*

*2 – организованных повторений*

*Ваш выбор {1– 2}*

11. Для обработки данных полевого опыта с рандомизированными повторениями выберите пункт 2.

12. После выбора пункта вывода результатов последует запрос:

*Вид вывода аналитических таблиц:*

*1 – сокращенный*

*2 – полный*

*Ваш выбор {1 – 2}*

Сокращенный вид предполагает вывод лишь таблицы ковариансов и средних значений с НСР, а полный – таблиц дисперсионного анализа зависимого, независимого признаков, коварианс и средних значений с НСР.

13. Выберите вид вывода таблиц и нажмите клавишу {Enter}.

## Контрольные вопросы

1. Что такое ковариация?
2. Ковариационный анализ в узком смысле слова.
3. Ковариационный анализ в широком смысле слова.
4. Внесение поправки на изреженность пропашных культур с помощью ковариационного анализа.
5. Что оценивает сумма квадратов отклонений для регрессии?
6. Что оценивает сумма квадратов отклонений от регрессии?
7. Как использовать ковариационный анализ для повышения точности полевого опыта?

Дата \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Глава 6. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В АГРОНОМИИ

### 6.1 Планирование основных элементов методики полевого опыта

В зависимости от цели и задач научного исследования, свойств агроэкосистемы, адекватности её модели и наличия предварительной информации спланировать один из видов полевого эксперимента (опыта):

- *сравнительный* – сравнение вариантов с максимальной точностью;
- *экстремальный* – определение оптимальных режимов функционирования агроэкосистемы;
- *отсеивающий* – выявление наиболее значимых факторов, определяющих развитие изучаемого процесса или явления;
- *регрессионный* – получение статистических моделей процессов на основе уравнения регрессии;
- *математическое описание* изучаемых объектов, режимов и процессов с целью получения адекватных моделей.

После выбора одного из видов полевого эксперимента (опыта) необходимо:

1. *Сформулировать научную проблему, подлежащую изучению.* Научная проблема формулируется на основе обобщения научной информации по литературным источникам и интереса к этой проблеме самого исследователя.

2. *Сформулировать тему научного исследования.* Формулировка темы опыта должна быть из ключевых слов, отражающих суть изучаемого вопроса. Из названия темы должно быть понятно, какая проблема решается в научном исследовании.

3. *Обосновать актуальность, новизну и практическую значимость темы исследования.*

3. *Разработать научную или рабочую гипотезу.* Рабочая гипотеза – научное предположение о действии изучаемых в опыте вариантов, это прогнозируемый результат, предположение, достоверность которого проверяется в процессе проведения эксперимента (опыта). Ради проверки данной гипотезы собственно и проводится эксперимент. Рабочая гипотеза должна быть краткой, обладать логичностью и быть проверяемой. В рабочей гипотезе обычно отражается, во-первых, что произойдет, если будет произведено данное действие, а во-вторых, почему это произойдет именно так, а не иначе.

4. *Определить цель и задачи эксперимента.* Цель исследования – четко в одно предложение записать, что вы желаете добиться, изучить посредством данного опыта. Задачи исследования – указать, каким путем будет достигаться поставленная цель, что необходимо проделать для этого. Обычно в опыте может быть только одна цель, а задач – несколько, перечень задач содержит 3- 4 пункта.

5. *Спланировать схему эксперимента (опыта).* Схема опыта – это перечень опытных и контрольных вариантов опыта, объединенных общей идеей. Успех эксперимента основывается на тщательном выборе вариантов, оценка действия которых дает ответ на поставленные задачи исследования. Схема опыта может быть как однофакторного, так и многофакторного эксперимента. Схема опыта с качественной градацией изучаемых вариантов должна быть спланирована таким образом, чтобы был соблюден принцип единственного различия и правильно выбран стандартный или контрольный вариант. При планировании схемы опыта с количественной градацией вариантов, кроме этого, по результатам опыта можно было бы получить кривую отклика воздействия изучаемых вариантов на выходные параметры.

6. *Разработать* исходя из задачи и условий индивидуального задания оптимальное сочетание основных элементов методики полевого опыта: повторность, площадь, форма и ориентация делянок, метод размещения вариантов, делянок и повторений.

7. *Нарисовать схематический план опыта* с привязкой на местности, указать размеры всего земельного участка, повторений, опытной, учетной делянки и защитных полос. Разместить варианты (цифровые коды) на делянках.

## **Список индивидуальных заданий**

### Основные характеристики земельных участков

(При планировании размера делянок использовать оптимальную для данной культуры площадь)

1. Под опыт выделен земельный участок 120 x 60 м с небольшим уклоном с запада на восток. Ошибка опыта должна обеспечить доказательство разности между вариантами в 14 – 16 %.

2. Под опыт выделен земельный участок 150 x 100 м с уклоном с запада на восток и севера на юг. Ошибка опыта должна обеспечить статистическую достоверность разности между вариантами в 17 – 20 %.

3. Под опыт выделен земельный участок 100 х 100 м с небольшим уклоном с севера на юг. В новом опыте наименьшая существенная разность не должна превышать 13 – 15 %.

4. Под опыт выделен земельный участок 50 х 200 м с небольшим уклоном с севера на юг. Ошибка опыта должна обеспечить доказательство различий между вариантами в пределах 19 – 21 %.

5. Под опыт выделен участок площадью 0,5 га. Ошибка опыта не должна превысить 5 – 6%.

### *Результаты дробного учета данных участков выделенных для опыта*

№ участка	номер делянки (площадки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3,22	3,16	3,13	3,18	3,05	3,16	3,18	3,09	3,10	2,78
2	1,94	1,96	2,40	2,17	2,32	2,35	2,39	2,38	2,00	2,44
3	2,00	2,36	2,51	2,39	2,35	2,50	2,52	2,63	2,65	2,81
4	3,23	3,15	2,68	2,92	3,12	2,83	2,77	2,71	2,56	2,41
5	2,07	2,83	1,98	2,62	2,90	2,55	2,28	2,37	2,28	2,42

№ участка	номер делянки (площадки)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2,97	2,75	2,73	2,71	2,56	2,52	2,63	2,65	2,66	2,23
2	2,42	2,44	2,47	2,51	2,59	2,57	2,72	2,81	2,86	2,94
3	2,05	2,33	2,51	2,62	2,70	2,11	2,24	2,43	2,46	2,52
4	2,67	2,55	2,64	2,43	2,06	2,34	2,31	2,25	2,18	2,11
5	2,85	2,37	2,60	2,42	2,74	2,67	2,55	2,46	2,23	2,30

## **6.2 Разработка программы наблюдений и анализов в эксперименте**

Любой эксперимент должен сопровождаться различными наблюдениями и учетами за растениями, почвой и окружающей средой.

Конкретная программа наблюдений и учетов в будущем опыте определяется темой, объектами, целями и задачами агрономических исследований. Программа наблюдений и учетов должна быть спланирована так, чтобы, выполнив ее можно было бы правильно ответить на вопросы, поставленные экспериментом перед «природой».

При разработке программы полевых и лабораторных наблюдений в полевом эксперименте исследователь должен обратить внимание на решение следующих вопросов:

- какие конкретные наблюдения и учеты следует включать в программу исследований и какими статистическими методами их обрабатывать;
- определить периодичность и частоту проведения наблюдений и учетов;

- определить каким методом отбирать пробы почвы и растений и каков должен быть объем этих проб;
- обеспечить представительность отбираемых проб.

При планировании наблюдений и учетов в полевом эксперименте необходимо обратить внимание на методику отбора почвенных и растительных образцов и как отбирать образцы, если в учетах участвуют учетные единицы первого порядка (делянки), учетные единицы второго порядка (площадки, точки внутри деланки), учетные единицы третьего порядка (параллельные анализы в лаборатории).

1. Составить программу наблюдений за факторами внешней среды, почвой и растениями для запланированного Вами полевого опыта:

- 1.1. Дать перечень полевых и лабораторных наблюдений и учетов.
- 1.2. Указать сроки и периодичность проведения наблюдений и учетов.
- 1.3. Указать объём выборки – количество почвенных и растительных проб с деланки.
- 1.3. Указать кратко методику проведения наблюдений и анализов.

### **Контрольные вопросы**

1. Этапы планирования экспериментов.
2. Методы планирования экспериментов.
3. Критерии выбора темы эксперимента.
4. Рабочая (научная) гипотеза. Какова роль рабочей гипотезы при планировании экспериментов?
5. Планирование схемы однофакторного эксперимента с качественной градацией изучаемых вариантов.
6. Планирование схемы однофакторного эксперимента с количественной градацией изучаемых вариантов.
7. Кривая отклика.
8. Планирование схемы многофакторного опыта.
9. Матрица планирования многофакторного опыта.
10. Планирование основных элементов методики полевого опыта.
11. Выбор земельного участка для проведения полевого опыта.
12. Как рассчитать повторность полевого опыта?
13. Методы наблюдений и учетов в полевом опыте.
14. Что необходимо учитывать при разработке программы наблюдений и учетов?
15. Особенности проведения наблюдений и учетов в полевом опыте?
16. Как спланировать объём выборки?
17. Как обеспечить представительность выборки?

Дата \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## ПРИЛОЖЕНИЯ. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ

Приложение 1

### 1. Теоретические значения критерия Стьюдента

Степени свободы, <i>df</i>	Уровень значимости		Степени свободы, <i>df</i>	Уровень значимости	
	05	01		05	01
1	12,71	63,66	12	2,18	3,06
2	4,30	9,93	14	2,15	2,98
3	3,18	5,84	16	2,12	2,92
4	2,78	4,60	18	2,10	2,88
5	2,57	4,03	20	2,09	2,85
6	2,45	3,71	25	2,06	2,79
7	2,37	3,50	30	2,04	2,75
8	2,31	3,36	50	2,01	2,68
9	2,26	3,25	100	1,98	2,63
10	2,23	3,17	$\infty$	1,96	2,58

Приложение 2

### Значение функции $\phi$ [ $n+1$ ]

<i>R</i> <i>n+1</i>	$\phi$	<i>R</i> <i>n+1</i>	$\phi$	<i>R</i> <i>n+1</i>	$\phi$
0.00	$\infty$	0.25	-0.67	0.50	0.00
0.02	-2.05	0.29	-0.56	0.62	0.31
0.05	-1.64	0.30	-0.53	0.70	0.52
0.10	-1.28	0.33	-0.44	0.80	0.84
0.15	-1.04	0.40	-0.25	0.90	1.28
0.20	-0.84	0.43	-0.17	0.99	2.33

Приложение 3

### Теоретические значения X- критерия Ван-дер-Вандена

<i>n=n<sub>1</sub>+n<sub>2</sub></i>	<i>n<sub>1</sub>-n<sub>2</sub> = 0 или 1</i>		<i>n<sub>1</sub>-n<sub>2</sub> = 2 или 3</i>	
	0.05	0.01	0.05	0.01
8	2.40	—	2.30	—
10	2.60	3.20	2.49	3.10
12	2.86	3.60	2.79	3.58
14	3.11	3.94	3.06	3.88
16	3.39	4.26	3.36	4.25
18	3.63	4.60	3.60	4.58
20	3.86	4.94	3.84	4.92
30	4.88	6.35	4.87	6.34
50	6.50	8.51	6.51	8.50

**Теоретические значения Т- критерия Уайта на 5%-ом уровне значимости  
(данные или меньшие значения отвергают  $H_0$ )**

$n_2$	$n_1$						
	4	5	6	7	8	9	10
5	11	17					
6	12	18	26				
7	13	20	27	36			
8	14	21	29	38	49		
9	15	22	31	40	51	63	
10	15	23	32	42	53	65	78
12	17	26	35	46	58	71	85
14	19	28	38	50	63	76	91
16	21	31	42	54	67	82	97
18	22	33	45	58	72	87	103
20	24	35	48	62	77	93	110

**Теоретические значения W- критерия Вилкоксона  
(данные или меньшие значения приводят к опровержению  $H_0$ ).**

Число пар, $n_1$	Уровни значимости		Число пар, $n_1$	Уровни значимости	
	0.05	0.01		0.05	0.01
6	1	–	16	31	21
7	3	–	17	36	24
8	5	1	18	41	29
9	7	3	19	47	33
10	9	4	20	53	39
11	12	6	21	60	44
12	15	8	22	67	50
13	18	11	23	74	56
14	22	14	24	82	62
15	26	17	25	90	69

**Теоретические значения Z-критерия**

Число пар, $n_1$	Уровни значимости		Число пар, $n_1$	Уровни значимости	
	0.05	0.01		0.05	0.01
6	6	–	16	13	14
7	7	–	17	13	15
8	8	8	18	14	15
9	8	9	19	15	16
10	9	10	20	15	17
11	10	11	21	16	17
12	10	11	22	17	18
13	11	12	23	17	19
14	12	13	24	18	19
15	12	13	25	18	20

Теоретические значения критерия Фишера ( $F$ )

(сс1 – число степеней свободы для дисперсии числителя (варианта),

сс2 – знаменателя (остатка)

$F_{05}$ – вероятность ошибки $\alpha = 0,05$ (05%)													
сс2	сс1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	50
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,62	4,56	4,44
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,94	3,87	3,75
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,51	3,44	3,32
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,22	3,15	3,03
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,01	2,94	2,80
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,85	2,77	2,64
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,72	2,65	2,50
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,60	2,55	2,40
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,40	2,33	2,18
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,20	2,12	1,96
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,01	1,93	1,76
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,92	1,78	1,60
$F_{01}$ – вероятность ошибки $\alpha = 0,01$ (01%)													
сс2	сс1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	50
5	16,3	13,3	12,1	11,4	10,9	10,7	10,4	10,3	10,2	10,0	9,72	9,55	9,24
6	13,7	10,9	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,56	7,39	7,09
7	12,2	9,5	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,31	6,15	5,85
8	11,3	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,52	5,36	5,06
9	10,6	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	4,96	4,80	4,51
10	10,0	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,56	4,41	4,12
11	9,65	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,25	4,10	3,80
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,39	4,30	4,02	3,70	3,56
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,57	3,36	3,07
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	3,09	2,94	2,63
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,06	2,98	2,70	2,55	2,24

**Значение критериев Тьюки-Ньюман-Келса (q), Дуннетта (d) и максимального модуля (m) для оценки существенности различий ранжированных средних ( $\alpha = 0,05$ )**

(для промежуточных значений ссе использовать интерполяцию)

ссЕ	r – ранг (место) средней по отношению к базе сравнения (б.с.)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
	q – критерий: $НСП_{05} = q \cdot s_{\bar{x}}$ ; б.с. = $\bar{x}_i$ (любая средняя)											
5	2,57	3,64	4,60	5,22	5,67	6,03	6,33	6,58	6,80	7,00	7,72	8,21
6	2,45	3,46	4,34	4,90	5,31	5,63	5,90	6,12	6,32	6,49	7,14	7,59
7	2,36	3,34	4,17	4,68	5,06	5,36	5,61	5,82	6,00	6,16	6,76	7,17
8	2,31	3,26	4,04	4,53	4,89	5,17	5,40	5,60	5,77	5,92	6,48	6,87
10	2,23	3,15	3,88	4,33	4,65	4,91	5,12	5,31	5,46	5,60	6,11	6,47
15	2,13	3,01	3,67	4,08	4,37	4,60	4,78	4,94	5,08	5,20	5,65	5,96
20	2,09	2,95	3,58	3,96	4,23	4,45	4,62	4,77	4,99	5,01	5,43	5,71
30	2,04	2,89	3,49	3,85	4,10	4,30	4,46	4,60	4,72	4,82	5,21	5,47
40	2,02	2,86	3,44	3,79	4,04	4,23	4,39	4,52	4,64	4,74	5,11	5,36
60	2,00	2,83	3,40	3,74	3,98	4,16	4,31	4,44	4,55	4,65	5,00	5,24
	d – критерий: $НСП_{05} = dS_d$ ; б.с. = $\bar{x}_{sr}$ (стандарт, или контроль)											
5	2,57	3,03	3,29	3,48	3,62	3,73	3,82	3,90	3,97	4,03	4,26	4,42
6	2,45	2,86	3,10	3,26	3,39	3,49	3,57	3,64	3,71	3,76	3,97	4,11
7	2,36	2,75	2,97	3,12	3,24	3,33	3,41	3,47	3,53	3,58	3,78	3,91
8	2,31	2,67	2,88	3,02	3,13	3,22	3,29	3,35	3,41	3,46	3,64	3,76
10	2,23	2,57	2,76	2,89	2,99	3,07	3,14	3,19	3,24	3,29	3,45	3,57
15	2,13	2,44	2,61	2,73	2,82	2,89	2,95	3,00	3,04	3,08	3,23	3,33
20	2,09	2,38	2,54	2,65	2,73	2,80	2,86	2,90	2,95	3,08	3,12	3,22
30	2,04	2,32	2,47	2,58	2,66	2,72	2,77	2,82	2,86	2,89	3,02	3,11
40	2,02	2,29	2,44	2,54	2,62	2,68	2,73	2,77	2,81	2,85	2,97	3,06
60	2,00	2,27	2,41	2,51	2,58	2,64	2,69	2,73	2,77	2,80	2,92	3,00
	m – критерий: $НСП_{05} = mS_d$ ; б.с. = $\bar{y}_o$ (средняя по опыту)											
5	2,57	3,09	3,40	3,62	3,78	3,92	4,04	4,14	4,23	4,31	4,60	4,80
10	2,23	2,61	2,83	2,98	3,10	3,19	3,28	3,35	3,41	3,47	3,68	3,82
15	2,13	2,47	2,67	2,81	2,91	2,99	3,06	3,12	3,18	3,23	3,42	3,54
20	2,09	2,41	2,59	2,72	2,82	2,90	2,97	3,02	3,08	3,13	3,31	3,42
30	2,04	2,35	2,52	2,64	2,73	2,80	2,86	2,91	2,96	3,01	3,17	3,27
40	2,02	2,32	2,49	2,60	2,69	2,76	2,82	2,86	2,91	2,96	3,11	3,22
60	2,00	2,29	2,46	2,56	2,65	2,72	2,77	2,82	2,87	2,91	3,06	3,16

**Значения критерия Дункана (R-коэффициент) для сравнения любых средних в ранжированном ряду:  $НСР_{\alpha} = R(t_{\alpha} S_d)$**

ссЕ	Ранг средней, r*										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50
	$\alpha = 0,05$										
<b>4</b>	1,00	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
<b>5</b>	1,00	1,03	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
<b>6</b>	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
<b>7</b>	1,00	1,04	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
<b>8</b>	1,00	1,04	1,06	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
<b>9</b>	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
<b>10</b>	1,00	1,05	1,07	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
<b>15</b>	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15
<b>20</b>	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,17	1,18
<b>30</b>	1,00	1,05	1,08	1,11	1,12	1,14	1,15	1,16	1,16	1,19	1,20
<b>60</b>	1,00	1,05	1,09	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
	$\alpha = 0,01$										
<b>3</b>	1,00	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,13	1,13
<b>4</b>	1,00	1,04	1,06	1,08	1,09	1,09	1,11	1,11	1,12	1,15	1,15
<b>5</b>	1,00	1,05	1,07	1,08	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,19	1,19
<b>6</b>	1,00	1,05	1,08	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,20	1,20
<b>7</b>	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,21	1,21
<b>8</b>	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,22	1,22
<b>9</b>	1,00	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,17	1,17	1,24	1,24
<b>10</b>	1,00	1,06	1,09	1,11	1,13	1,15	1,16	1,17	1,18	1,24	1,24

\*/r = 2 для соседних средних ранжированного ряда

## Библиографический список

1. Вадзинский Р.Н. Статистические вычисления в среде Excel./ Р.Н. Вадзинский. – СПб. Питер, 2008. – 608 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд-во «АЛЪЯНС», 2011.
3. Кирюшин Б.Д., Усманов Р.Р., Васильев И.П. Основы научных исследований в агрономии. М.: КолосС, 2009.
4. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel: Учеб. пособие.– М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.: ил.
5. Мурашкин С.В., Николаева З.В. Методы учётов и статистическая обработка экспериментальных данных при использовании программы Microsoft Excel на примере исследований сосущих вредителей яблони. - Великие Луки: Редакционно-издательский отдел ФГОУ ВПО «Великолукская ГСХА», 2006, 120 с.
6. Обработка экспериментальных данных в MS Excel : методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов дневной формы обучения / сост. Е. Г. Агапова, Е. А. Битехтина. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун- та, 2012. – 32 с.
7. Основы научных исследований в растениеводстве и селекции: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 110400 «Агрономия» /А.Ф. Дружкин, Ю.В. Лобачев, Л.П. Шевцова, З.Д. Лященко. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2013. – 283 с.- ISBN 978-5-7011-0767-8.
8. Рудикова Л.В. Microsoft Office Excel 2016 / Л.В. Рудикова. – СПб, БХВ-Петербург, 2017. – 640 с.
9. Усманов, Р. Р. Методика опытного дела (с расчетами в программе Excel): практикум / Р. Р. Усманов, Н. Ф. Хохлов. – Москва: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2020. – 154 с. –<http://elib.timacad.ru/dl/local/umo468.pdf>
10. Усманов Р.Р. Методика экспериментальных исследований в агрономии: учебное пособие для вузов / Р. Р. Усманов.– Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 197 с. – (Высшее образование)

*Учебно-методическое издание*

**Усманов Раиф Рафикович**

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ В АГРОНОМИИ  
(с расчетами в программах EXCEL и STRAZ)**

*Методические указания*

Ответственный редактор Е.Е. Рытова

Подписано для размещения в Электронно-библиотечной системе  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева 10.06.2022 г.

Оригинал-макет подготовлен Издательством РГАУ-МСХА  
127434, Москва, Тимирязевская ул., 44  
Тел. 8 (499) 977-40-64