

## **Лекция 6:**

**Независимые повторности как  
основа для вероятностных  
выводов о свойствах  
генеральной совокупности**

# Задачи лекции

- Ознакомление с понятиями «генеральная совокупность», «экспериментальная единица», «измеряемая единица» и «выборка».
- Ознакомление с правилами взятия выборок.
- Ознакомление с источниками ошибок в контролируемом эксперименте.
- Приобретение навыков критического анализа научных текстов.
- Приобретение навыков критического анализа экспериментальных планов.

# Определения

- Генеральная совокупность (англ. *population* или *statistical population*) – это совокупность (множество) объектов либо явлений, в отношении которого формулируется научная гипотеза и/или на которые предполагается распространить выводы конкретного исследования.
- Выборка (англ. *sample*) – это множество объектов, выбранных для изучения из генеральной совокупности.

# Генеральная совокупность и выборка

- Биологи распространяют свои выводы на более широкий круг объектов, чем непосредственно изученные в ходе эксперимента.
- Постановка задачи предполагает, что выводы можно применять к *генеральной совокупности (population)*.

# Генеральная совокупность и выборка

- Исследовать генеральную совокупность мы обычно не можем; поэтому для получения информации используется некая *выборка*.
- Получение (или невозможность получения) адекватной выборки **определяют успех (или неудачу) исследования.**
- Одна из обычных ошибок – распространение выводов на более широкую генеральную совокупность, чем та, из которой были взяты выборки.

# Статистика не может:

- Определить генеральную совокупность, которую Вы хотите изучить.
- Взять репрезентативную выборку из этой генеральной совокупности.

Эти задачи решаются на этапе планирования исследования (эксперимента).

Материал должен быть собран таким образом, чтобы на его основе можно было сделать вероятностные выводы о генеральной совокупности.

# Выбор генеральной совокупности

- В каждом конкретном случае генеральная совокупность выбирается, исходя из целей исследования.
- Примеры генеральных совокупностей:
  - Леса;
  - Леса умеренного пояса;
  - Хвойные леса;
  - Сосновые леса;
  - Сосняки-беломошные;
  - Сосняки-беломошные Архангельской области.

# Выбор генеральной совокупности

- Чем больше генеральная совокупность – тем глобальнее выводы, и тем больший интерес вызывает исследование.
- Чем больше генеральная совокупность – тем сложнее получить репрезентативную выборку, тем выше вероятность случайных эффектов.



# Эмпирическое правило

- Название работы не должно вводить читателя в заблуждение относительно исследованной Вами генеральной совокупности.

# Пример: название шире содержания книги



- Читатель вправе ожидать информации о влиянии ВСЕХ типов атмосферного загрязнения на ВСЕ типы лесных экосистем и на ВСЕ компоненты лесных экосистем.

# Пример: название шире содержания книги



- Северотаежные хвойные леса;
- Выбросы медно-никелевых заводов;
- Только почвы и растительность.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

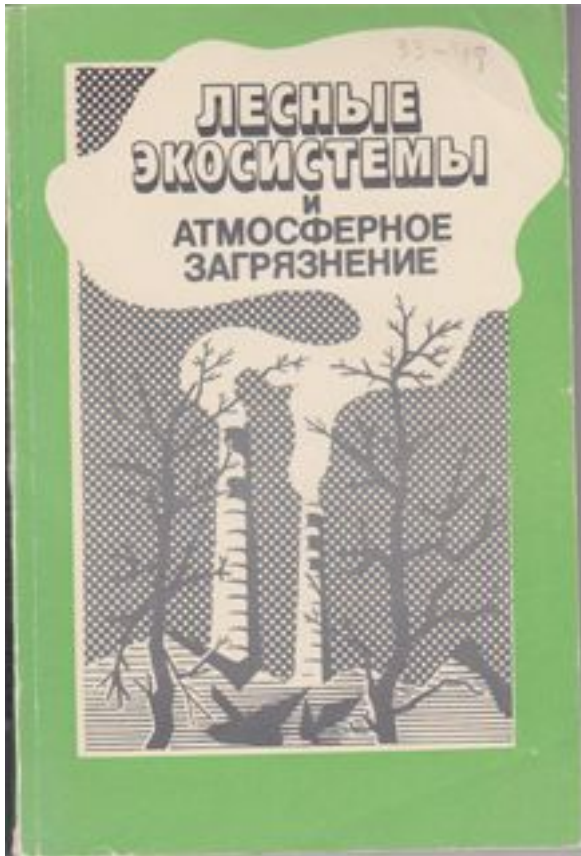
Авторы книги — в основном сотрудники лаборатории экологии растительных сообществ Ботанического института АН СССР. В течение 10 лет (1978—1987 гг.) они исследовали влияние различных загрязнителей — преимущественно окислов серы с разнообразными примесями — на лесные экосистемы, причем основными объектами были северотаежные хвойные леса, практически не изученные в этом отношении к началу работы над темой.

# Пример: название шире содержания книги



Содержание книги соответствует заголовку: «Почвы и растительность северотаежных хвойных лесов в окрестностях медно-никелевых заводов».

# Пример: название шире содержания книги



**Генеральная совокупность:**  
Северотаежные хвойные леса в окрестностях медно-никелевых заводов.

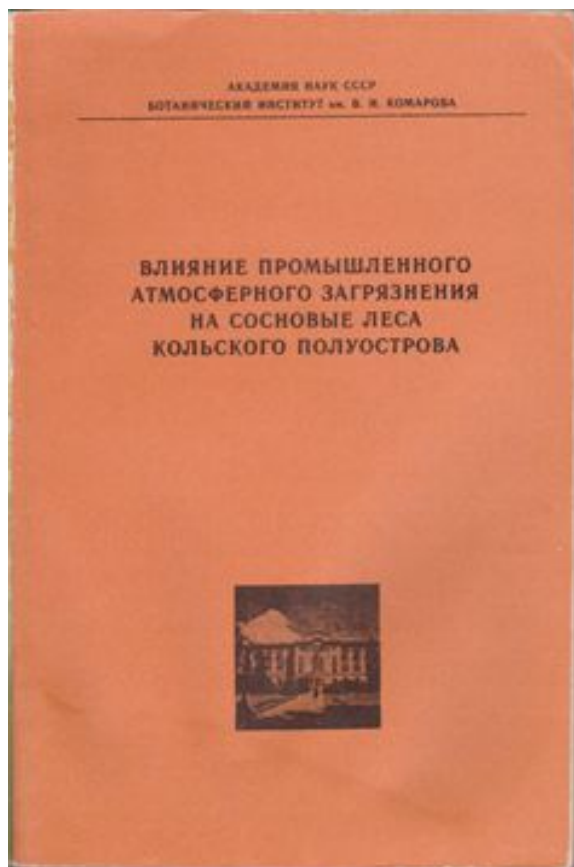
**Объект изучения:**  
Почвы и растительность.



# Пример: название соответствует содержанию книги



# Пример: название соответствует содержанию книги



**Генеральная  
совокупность:**

...

**Объект  
изучения:**

...



# О чем эта книга?



**Генеральная  
совокупность:**

???

**Объект  
изучения:**

???



# О чем эта книга?



**Генеральная  
совокупность:**

???

**Объект  
изучения:**

???

Mail.Ru Почта Мой Мир Одноклассники Игры Знакомства Новости **Поиск** Все проекты ▾

поиск@mail.ru

дендротехногенный

**Интернет**

Картинки

**По данному запросу ничего не найдено**

# О чем эта книга?

В монографии изложены результаты сравнительных исследований аллозимной изменчивости сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) в природных популяциях Крыма и в пионерных насаждениях Приазовья и Криворожья. Анализируется

ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ ДЕНДРОТЕХНОГЕННОЙ  
ИНТРОДУКЦИИ



Донецк 2002

**Генеральная  
совокупность:**

...

**Объект  
изучения:**

...

# Выборка из одного объекта?

- Хотя в обыденной жизни на основе изучения одного (!) человека никто не делает выводы типа «все мужчины – брюнеты», столь же «обоснованные» выводы, к сожалению, довольно часто встречаются в биологических публикациях.

# Выборка из одного объекта?

- Г.С. Малышева и П.Д. Малаховский (2000) озаглавили статью "Пожары и их влияние на растительность сухих степей".
- Статья описывает последствия *одного* пожара.
- Авторы распространили выводы (основанные на единственном наблюдении) на воздействие *всех* пожаров на растительность *всех* сухих степей.

# Взятие выборки – ключевой момент исследования

- Характеристики выборки выступают в качестве **приближенных** оценок характеристик генеральной совокупности.
- При корректном взятии выборки методы статистики позволяют определить **доверительный интервал** (в который с заданной вероятностью попадет истинное значение).
- При Некорректном взятии выборки исследователь не имеет права делать вероятностные выводы о генеральной совокупности.

# Область генерализации выводов зависит от плана эксперимента

- Задача: оценить скорость разложения березовых листьев в озерах Кольского полуострова (на глубинах около 1 м).
- Метод: 40 мешков из капроновой сетки наполняют березовыми листьями, взвешивают, пересчитывают на абсолютно сухой вес, помещают на дно на глубине около 1 м, вынимают через год и определяют потерю веса.

# Область генерализации выводов зависит от плана эксперимента

- a. Все 40 мешков опущены на дно оз. Большой Вудъявр на территории ботанического сада.
- b. Все 40 мешков опущены на дно оз. Большой Вудъявр по всему периметру с примерно равными интервалами.
- c. Мешки опущены на дно четырех озер, ближайших к г. Кировск, 10 мешков в одно озеро: 5 мест (удаленных на несколько сотен метров), 2 мешка в одно место.
- d. Мешки опущены на дно десяти озер, выбранных случайным образом (составлен пронумерованный список всех озер Кольского полуострова; выбор осуществлен с помощью таблицы случайных чисел), 4 мешка в одно озеро: 2 места (удаленных на несколько сотен метров), 2 мешка в одно место.

# Область генерализации выводов зависит от плана эксперимента

- a. Все 40 мешков опущены на дно оз. Большой Вудъявр на территории ботанического сада. Результаты можно применять только к данному участку побережья.
- b. Все 40 мешков опущены на дно оз. Большой Вудъявр по всему периметру с примерно равными интервалами. Результаты можно применять к данному озеру.
- c. Мешки опущены на дно четырех озер, ближайших к г. Кировск, 10 мешков в одно озеро: 5 мест (удаленных на несколько сотен метров), 2 мешка в одно место. Результаты (по-видимому) можно применять к озерам центральной части Кольского полуострова.
- d. Мешки опущены на дно десяти озер, выбранных случайным образом (составлен пронумерованный список всех озер Кольского полуострова; выбор осуществлен с помощью таблицы случайных чисел), 4 мешка в одно озеро: 2 места (удаленных на несколько сотен метров), 2 мешка в одно место. Результаты можно применять к озерам Кольского полуострова в целом.



# Область генерализации выводов зависит от плана эксперимента

- Возникает вопрос: что делать, если исследователь не может реализовать план (d)?
- Ответ прост: переформулировать задачу так, чтобы она соответствовала возможностям исследователя, например, улучшенному (со случайным выбором озер) плану (c).
- В этом случае исследователь может сделать **вероятностный** вывод о скорости разложения листьев **в озерах центральной части Кольского полуострова**.
- Кроме того, исследователь может сделать **интуитивный** вывод о применимости этого результата к озерам других регионов.

# Эмпирическое правило

- Сосчитайте в своем экспериментальном плане всё, что поддается подсчету. Если какой-либо из объектов (озеро, грядка, дерево, теплица) имеется в единственном числе, подумайте, не совершаете ли вы ошибку.

# Репрезентативность выборки

- Для того, чтобы параметры выборки могли служить приближенными оценками параметров генеральной совокупности, выборка должна быть репрезентативной (представительной).
- Необходимо принять меры к обеспечению встречаемости в выборке всех существующих в генеральной совокупности значений признаков в той же пропорции, как и в генеральной совокупности.

# Репрезентативность выборки

- Для того, чтобы параметры выборки могли служить приближенными оценками параметров генеральной совокупности, выборка должна быть репрезентативной (представительной).
- Необходимо принять меры к обеспечению встречаемости в выборке всех существующих в генеральной совокупности значений признаков ***в той же пропорции, как и в генеральной совокупности.***

# Смещение оценок при взятии выборки

- Можно ли изучать уровень изъятия листовой растительности насекомыми по образцам, хранящимся в гербариях?

# Смещение оценок при взятии выборки

- Можно ли изучать уровень изъятия листовой растительности насекомыми по образцам, хранящимся в гербариях?
- Нельзя, поскольку ботаники, несомненно, отбраковывают сильно поврежденные растения в процессе сбора образцов.
- Оценка, полученная на основании изучения гербарных образцов, будет заниженной.

# Смещение оценок при взятии выборки

- Можно ли изучать содержание диоксинов по образцам, хранящимся в гербариях?

# Смещение оценок при взятии выборки

- Можно ли изучать содержание диоксинов по образцам, хранящимся в гербариях?
- Можно, поскольку ботаники не имеют возможности оценить этот параметр в процессе сбора материала.
- Оценка, полученная на основании изучения гербарных образцов, будет несмещенной.



# Смещение оценок при взятии выборки

- Особенно опасный случай – подбор места взятия пробы таким образом, чтобы полученный результат согласовывался с рабочей гипотезой.
- Например, при изучении эффектов загрязнения исследователи склонны в загрязненных местообитаниях выбирать наиболее поврежденные деревья, а в контрольных местообитаниях – наименее поврежденные.

# Случайный отбор

- Получение несмещенной оценки чаще всего достигается за счет случайного отбора.
- Под случайным отбором понимают такую процедуру, при которой каждый объект, относящийся к генеральной совокупности, имеет равные шансы попасть в выборку.

# Реализация случайного отбора

- Пронумеровать некоторое количество объектов, существенно (в 5-10 раз) превышающее необходимый объем выборки. Затем составить выборку с применением генератора случайных чисел.
- Берем пробы с каждого пятого дерева сосны, встретившегося на нашем пути.
- Существует множество вариантов...

# Случайный выбор ПП при изучении промышленного загрязнения

- В выбранных местообитаниях (например, в ельниках чернично-зеленомошных) размечают блоки с избыточным количеством ПП.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12

# Случайный выбор ПП при изучении промышленного загрязнения

- В выбранных местообитаниях (например, в ельниках чернично-зеленомошных) размечают блоки с избыточным количеством ПП.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12

- Выбор ПП осуществляют с помощью генератора случайных чисел.

# Случайный выбор 3 ПП из 12

## RESEARCH RANDOMIZER

Randomize Tutorial Links About Us

To generate random numbers, enter your choices below (using integer values only):

How many sets of numbers do you want to generate?  [Help](#)

How many numbers per set?  [Help](#)

Number range (e.g., 1-50):  
From:   
To:  [Help](#)

Do you wish each number in a set to remain unique?  Yes  No [Help](#)

Do you wish to sort the numbers that are generated?  Yes: Least to Greatest  No [Help](#)

How do you wish to view your random numbers?  Place Markers Off  On [Help](#)

### Site Overview

[Randomize Now](#)

[Use the Randomizer form](#) to instantly generate random numbers.

[Quick Tutorial](#)

[See some examples](#) of how Research Randomizer can be used for random sampling and random assignment.

[Related Links](#)

[Visit links](#) on random sampling, random assignment, and research methods.

[About Research Randomizer](#)

[Learn more](#) about Research Randomizer and read our User Policy.

### Randomizer Box

[Add this tool](#) to your website and generate your own number sets.



Copyright ©1997-2006 by Geoffrey C. Urbaniak and Scott Plous | Site Statistics

Social Psychology Network

# Случайный выбор 3 ПП из 12

The banner features the text "RESEARCH RANDOMIZER" in a stylized font. To the left is an image of a calculator, and to the right are two dice. The background is a light blue gradient with faint numbers. On the right side of the banner, there are three buttons: "Print" with a printer icon, "Download in Excel" with a green Excel icon, and "Close" with a red 'X' icon.

RESEARCH  
RANDOMIZER

Print  Download in Excel  Close 

## Research Randomizer Results

1 Set of 3 Unique Numbers Per Set  
Range: From 1 to 12 -- Sorted from Least to Greatest

Job Status:

### **Set #1:**

5, 9, 12

# Случайный выбор ПП при изучении промышленного загрязнения

- В выбранных местообитаниях (например, в ельниках чернично-зеленомошных) размечают блоки с избыточным количеством ПП.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12

- Выбор ПП осуществляют с помощью генератора случайных чисел.



# Лирическое отступление

*... я взялся за исследования плотности [растительного] покрова. Обычно для этого пользуются кругом Раункиера – инструментом, придуманным не иначе как самим дьяволом. С виду это невинная вещица, обыкновенный металлический обруч; но на деле это дьявольский механизм, предназначенный сводить с ума нормальных людей. Пользуются им так: нужно встать на открытом участке болота, закрыть глаза, повернуться несколько раз, словно волчок, и бросить круг как можно дальше. Вся эта сложная процедура, якобы обеспечивающая бросок "наугад", на самом деле неизбежно приводила к тому, что я каждый раз терял круг и тратил уйму времени на его поиски ...*

Фарли Моуэт. Не кричи: волки!

# «Классический» вариант (научное описание)

«Вдоль каждой пробной площади, примерно в середине ее, отмечали кольями через 20 м базисную линию. Из таблиц случайных чисел последовательно брали две величины: первая из них показывала число метров, откладываемых на базисной линии от ее начала; вторая - расстояние от базисной линии под углом  $90^\circ$ . Если второе число оказывалось четным, то двигались вправо, если нечетным - влево. Для нахождения следующей точки повторяли эту процедуру от конца первой координаты и т. д. В зависимости от ширины пробных площадей пользовались разными таблицами случайных чисел (до 24, до 49). Каждая установленная точка служила углом блока учетных площадок размерами 1x4 м.»

Т. Пааль, Я. Пааль. Структура ценопопуляций брусники. Таллинн, 1989, с. 53

# «Слепой тест»

- Во многих случаях целесообразно проводить «слепой тест», по крайней мере с частью выборки; при этом сравнивают результаты, полученные лицами, знакомыми и не знакомыми с проверяемой гипотезой.
- Субъективизм особенно высок при изучении социальных и психологических явлений; в статьях по этим дисциплинам часто встречаются фразы типа «Сущность проверяемой гипотезы была неизвестна как респондентам, так и лицам, проводившим опрос».

# Это полезно запомнить:

- Биологи обычно распространяют свои выводы на более широкий круг объектов, чем непосредственно изученные в ходе эксперимента.
- Исследовать генеральную совокупность мы обычно не в состоянии; поэтому для проведения эксперимента используется некая *выборка*.
- Характеристики выборки выступают в качестве *приближенных* оценок характеристик генеральной совокупности.
- Если условия, обеспечивающие взятие репрезентативной и несмещенной выборки, не соблюдены, то исследователь не имеет права делать вероятностные выводы о генеральной совокупности.

# Определение

- Экспериментальная единица – это один из группы исходно равноценных объектов (например, участков территории, организмов или любых других подразделений экспериментального материала), который экспериментатор выбирает для некоторого воздействия и который испытывает это воздействие **независимо** от всех остальных объектов той же группы.

# Независимость экспериментальных единиц

- Независимость экспериментальных единиц - ключевой элемент их определения.
- Эта независимость должна соблюдаться на всех стадиях эксперимента.
- Независимость означает, что любые два объекта, подвергающиеся одному и тому же воздействию, в остальном находятся в сходных условиях.
- На необходимость четкого соблюдения независимости экспериментальных единиц (которые он называл «настоящими повторностями») впервые (еще в 1930х гг.), по-видимому, обратил внимание А. А. Любищев.

# Определение

- Измеряемая (оцениваемая) единица (англ. *evaluation unit*) – это элемент экспериментальной единицы, служащий основой для получения индивидуальной оценки либо замера.

Экспериментальная единица может (но не обязана) состоять из нескольких измеряемых единиц.

# Экспериментальная единица, измеряемая единица и выборка

- Экспериментальная единица рассматривается как истинная повторность при статистическом анализе данных.
- Измеряемая единица (элемент выборки) далеко не всегда совпадает с экспериментальной единицей.
- Ошибки в разграничении этих понятий наиболее часто приводят к просчетам при интерпретации результатов (подробнее – в следующей лекции).



# Что считать экспериментальной единицей?

- К. А. Смирнов (2001) сравнивал характеристики растительности внутри огороженного участка леса (ограда использовалась для того, чтобы исключить влияние лосей) и вне этого участка.
- В каждом из вариантов (огороженный и неогороженный участки) заложено 35 площадок.
- Экспериментальная единица = участок леса.
- Два варианта опыта: огороженный и неогороженный.
- Оба варианта - в единственной повторности.

# Что считать экспериментальной единицей?

- В каждом из вариантов (огороженный и неогороженный участки) заложено 35 площадок.
- Эти площадки нельзя считать независимыми.
- Использование данного плана позволяет найти **различия** между двумя участками леса; однако не позволяет делать вывод о том, что **причиной** наблюдаемых различий стало огораживание.
- Различия могли существовать до начала эксперимента.
- Различия могли появиться в результате случайных (неконтролируемых) событий, затронувших один из двух участков.

Как следовало заложить  
подобный эксперимент?

# Как следовало заложить подобный эксперимент?

- Выбрать на местности необходимое количество учетных площадок.
- Описать их по интересующим исследователя параметрам.
- Случайным образом выбрать площадки для огораживания.
- Убедиться, что до начала эксперимента различия между двумя группами площадок отсутствуют.
- Огородить выбранные площадки.

# Экспериментальная и измеряемая единицы

Задача исследования	Способ проведения эксперимента	Экспериментальная единица	Измеряемая единица
Изучение эффектов загрязнения воды на физиологию и биохимию рыб	Внесение загрязняющего вещества в воду некоторых случайно выбранных аквариумов	Аквариум вместе со всеми находящимися в нем рыбами	Отдельная рыба
Изучение влияния методики обучения на усвоение материала	Случайное соотнесение групп студентов с используемыми методиками обучения	Группа студентов	Отдельный студент
Изучение эффектов вакцинации на скорость роста цыплят	Введение вакцины некоторым случайно выбранным цыплятам	Отдельный цыпленок	Отдельный цыпленок

# Источники ошибок в активном эксперименте

- Все эксперименты подвержены различного рода влияниям, как случайным, так и закономерным, и эти влияния могут послужить причиной получения ошибочных выводов.

# Ошибки в активном эксперименте

<b>Источник ошибок</b>	<b>Методы борьбы</b>
Изменение объекта с течением времени.	Наличие контроля.
Эффект процедуры.	Наличие контроля.
Эффект экспериментатора.	Случайное соотнесение экспериментальных единиц с комбинациями изучаемых факторов (воздействиями); Рандомизация в проведении всех процедур; «Слепой тест».

# Ошибки в активном эксперименте

<b>Источник ошибок</b>	<b>Методы борьбы</b>
Случайная ошибка экспериментатора.	Наличие более чем одной повторности для каждой комбинации изучаемых факторов.
Исходные различия между экспериментальными единицами.	Наличие более чем одной повторности для каждой комбинации изучаемых факторов; «Перемешивание» комбинаций изучаемых факторов; Проведение сопутствующих наблюдений.



# Ошибки в активном эксперименте

<b>Источник ошибок</b>	<b>Методы борьбы</b>
Случайные неконтролируемые события в ходе эксперимента.	Наличие более чем одной повторности для каждой комбинации изучаемых факторов; «Перемешивание» комбинаций изучаемых факторов.
Потусторонние явления.	Бдительность и подозрительность; Изгнание злых духов.

# Источники ошибок в активном эксперименте

- Успех эксперимента зависит от способности исследователя уменьшить воздействие этих «вредоносных» факторов до такой степени, когда они не могут повлиять на конечный результат.
- Даже когда экспериментатор убежден в том, что некоторый источник ошибок в данном случае отсутствует, большинство из приведенных способов борьбы с ошибками следует считать обязательными.

# План активного эксперимента должен включать:

- Контрольные повторности.
- Более чем одну повторность для каждой комбинации изучаемых факторов (*replication*).
- Случайное соотнесение каждой из комбинаций изучаемых факторов с определенной экспериментальной единицей (*randomization*).
- «Перемешивание» изучаемых воздействий (*interspersion*).

# Контроль

- Общим правилом закладки эксперимента является наличие контроля.
- В экспериментах с биологическими системами необходимость контроля диктуется в первую очередь тем, что система претерпевает некоторые изменения с течением времени.

# Контроль

- Контроль вовсе не означает отсутствия каких бы то ни было манипуляций: контролем считают экспериментальные единицы, с которыми сравнивают экспериментальные единицы, получившее некоторое (интересующее экспериментатора) воздействие.
- Как и во многих обсуждавшихся ранее случаях, выбор контроля зависит от цели эксперимента.

# Выбор контрольного воздействия

**Изучали влияние некоторого лекарственного препарата на мышей. Четыре группы мышей получали:**

- 1) инъекцию препарата в солевом растворе;
- 2) инъекцию солевого раствора;
- 3) введение иглы (без инъекции);
- 4) никакого воздействия.

# Выбор контрольного воздействия

**Изучали влияние некоторого лекарственного препарата на мышей. Четыре группы мышей получали:**

- 1) инъекцию препарата в солевом растворе;
- 2) инъекцию солевого раствора;
- 3) введение иглы (без инъекции);
- 4) никакого воздействия.

**В данном опыте группы 2, 3 и 4 выступают в качестве контроля по отношению к группам 1, 2 и 3 при проверке следующих гипотез:**

- a) об эффекте препарата (1, эксперимент; 2, контроль);
- b) об эффекте солевого раствора (2, эксперимент; 3, контроль);
- c) об эффекте укола иглой (3, эксперимент; 4, контроль).

# Выбор контрольного воздействия

## Описание

- С. А. Остроумов (2000) изучал влияние химических сигналов на количество поднимающейся по ручью кеты
- До применения экстрактов рыбы не выходили из пруда в ручей, однако стали заплывать в поток через 40 мин после внесения в него экстракта.



# Выбор контрольного воздействия

## Описание

- С. А. Остроумов (2000) изучал влияние химических сигналов на количество поднимающейся по ручью кеты
- До применения экстрактов рыбы не выходили из пруда в ручей, однако стали заплывать в поток через 40 мин после внесения в него экстракта.

## Критика

- Наблюдение без повторностей и без контроля; связать заход рыб в ручей с применением экстракта можно логически, но не статистически
- Поднимавшиеся по ручью рыбы не возвращались обратно в пруд к началу следующего эксперимента.
- Следовало не повторять опыт в одном ручье, а провести одинаковые опыты в разных ручьях.

# Выбор контрольного воздействия

## Описание

- Б. П. Ильяшук и Е. А. Ильяшук (2000) провели палеоэкологический анализ остатков комаров-звонцов в одном озере в зоне промышленного загрязнения.
- Различия в структуре сообщества до и после пуска комбината авторы интерпретировали как результат загрязнения.

# Выбор контрольного воздействия

## Описание

- Б. П. Ильяшук и Е. А. Ильяшук (2000) провели палеоэкологический анализ остатков комаров-звонцов в одном озере в зоне промышленного загрязнения.
- Различия в структуре сообщества до и после пуска комбината авторы интерпретировали как результат загрязнения.

## Критика

- Наблюдение без повторностей и без контроля, в котором связать изменение состава сообщества с промышленным загрязнением сложно даже логически.
- Для проверки гипотезы о влиянии загрязнения следовало бы проанализировать как минимум два загрязненных и два незагрязненных озера.

# Повторяемость и рандомизация

- Применять статистические методы для получения вероятностных выводов можно тогда и только тогда, если:
  - Имеется **более чем одна** экспериментальная единица для каждой комбинации факторов;
  - Каждая комбинация факторов **случайным образом** соотнесена с определенной экспериментальной единицей.

# Определение

- Рандомизация (от англ. *random* – выбранный наугад, случайный) – процедура случайного выбора элементов генеральной совокупности при взятии выборки, а также процедура случайного соотнесения экспериментальных единиц с определенными типами воздействия.

# Значение рандомизации

- Рандомизация уменьшает влияние экспериментатора на результат эксперимента, тем самым приближая выборочное значение к истинному значению.
- Рандомизация требуется не только при соотнесении воздействия с определенной экспериментальной единицей, но и при определении последовательности проведения всех процедур.

# Значение рандомизации

- Со статистической точки зрения, только рандомизация (то есть случайный выбор из полного множества возможных вариантов) позволяет корректно оперировать с вероятностями событий.

# Значение рандомизации

- Это и только это условие дает возможность точного определения  $\alpha$  (вероятность ошибки первого типа - отклонение истинной гипотезы) и вычисление соответствующих значений статистических критериев.
- Если принцип рандомизации нарушен (то есть выбор экспериментальной единицы для заданного воздействия не случаен), значение  $\alpha$  определить нельзя. В этом случае интерпретация результатов приобретает оттенок субъективности.



# Рандомизация в пассивном эксперименте

## Описание

- Оценивали влияние загрязнения на эффективность фотосинтетической системы II у березы извилистой.
- Изучаемые участки в зоне действия комбината цветной металлургии расположены вдоль шоссе, пересекающего загрязненную территорию по направлению с юга на север.
- Исследователь начинает работу утром на одной из крайних (контрольных) точек, в течение первой половины дня движется по шоссе к комбинату, делает остановку на обед в городе, а затем удаляется от него и к вечеру прибывает на другую контрольную точку.

# Рандомизация в пассивном эксперименте

## Критика

- Есть основания считать, что зависимость параметра от расстояния до комбината по крайней мере частично вызвана суточными колебаниями температуры, поскольку все замеры на сильно загрязненных площадках проводились в середине дня, а на контроле – утром и вечером.
- Полностью рандомизированный план требует посещения экспериментальных площадок в порядке, определенном с помощью таблицы случайных чисел
- Промежуточный вариант: для каждой точки случайным образом определяют принадлежность к 1й либо 2й серии измерений; 1я серия наблюдений выполняется в течение первой половины дня при движении с юга на север, 2я - во второй половине дня при движении с севера на юг.

# Лирическое отступление

- Всё, что может испортиться, обязательно испортится.
- Всё, что не может испортиться, тоже испортится.

Первый закон Чизхолма и следствие из него.

# Случайные неконтролируемые события в ходе эксперимента

- При проведении эксперимента всегда случается множество событий, которые невозможно было предусмотреть при планировании.
  - При работе в лесу на одной из площадок грибники разведут костер, на второй нарежут березовые ветки на веники, по третьей проедет непонятно откуда взявшийся трактор, на четвертой случится вспышка массового размножения какого-либо вредителя, пятую вы просто не сможете найти...
  - В теплице перегорят лампочки, испортится отопление, хулиганы разобьют стекла, случится потоп из-за засоренной канализации...

# Случайные неконтролируемые события в ходе эксперимента

- Борьба с последствиями подобных явлений крайне трудно, особенно в тех случаях, когда «капризы» статистики требуют равного числа экспериментальных единиц для всех вариантов эксперимента.
- Поэтому во всех случаях, когда это возможно, в эксперименте следует предусматривать некоторый «запас прочности»: так, если расчеты показывают, что необходимо 4 пары площадок (контроль + воздействие), лучше всего заложить 5-6 пар (в зависимости от трудоемкости и продолжительности эксперимента).

# Пространственное размещение экспериментальных единиц

- В пассивных экспериментах экспериментальные единицы исходно изолированы, и их пространственную приуроченность мы изменить не в силах.
- Если мы планируем активный эксперимент, то первоочередной задачей исследователя становится правильное размещение экспериментальных единиц.

# Перемешивание и рандомизация

- Во многих случаях перемешивание достигается более или менее автоматически, путем случайного соотнесения объекта и воздействия.
- С практической точки зрения перемешивание важнее рандомизации:
  - рандомизация описывает процесс, который устраняет возможные погрешности и позволяет корректно определить вероятности ошибки первого рода ( $\alpha$ );
  - перемешивание выдвигает требования к физической структуре эксперимента (то есть к расположению объектов в пространстве и/или времени).

# Размещение экспериментальных единиц

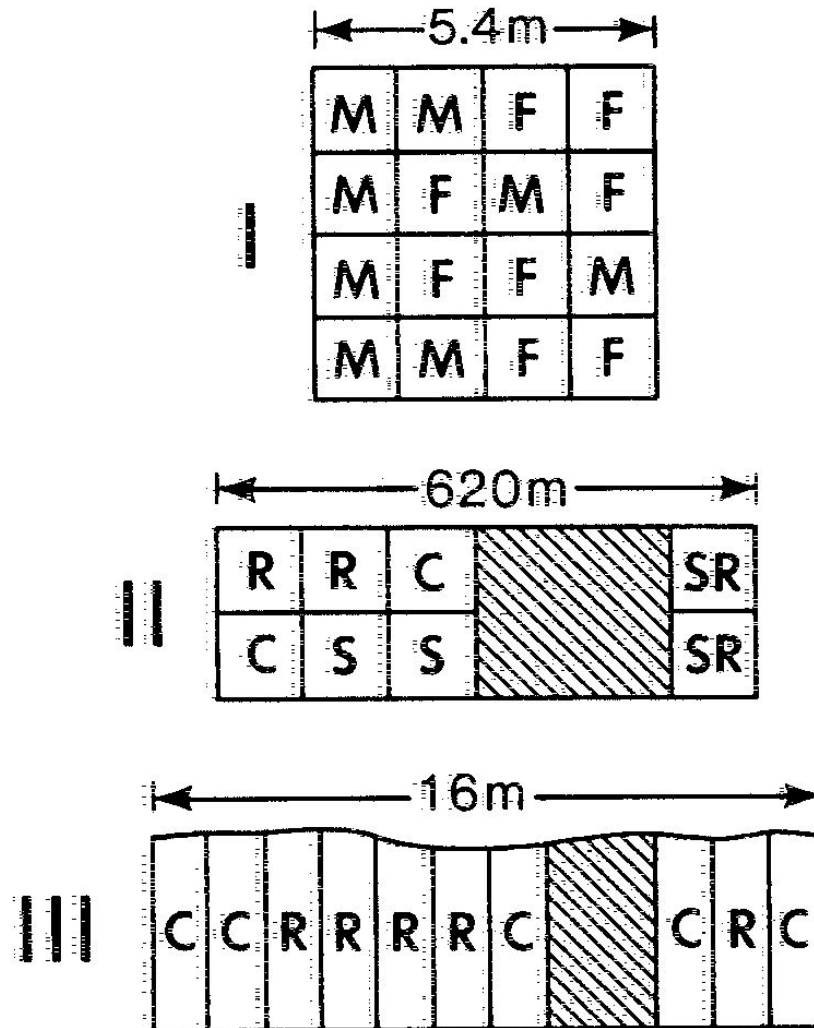
Правильно

Неправильно

DESIGN TYPE	SCHEMA
A-1 Completely Randomized	
A-2 Randomized Block	
A-3 Systematic	
B-1 Simple Segregation	
B-2 Clumped Segregation	
B-3 Isolative Segregation	
B-4 Randomized, but with inter-dependent replicates	
B-5 No replication	



# Реальные примеры неудачного размещения площадок



# Размещение опытных делянок – любимый пример планирования

[VI-1.3]

*Construction and Arrangements*

139

There are twelve possible arrangements for the  $3 \times 3$  latin square:

A	B	C
B	C	A
C	A	B

A	C	B
B	A	C
C	B	A

B	C	A
C	A	B
A	B	C

B	A	C
C	B	A
A	C	B

C	B	A
A	C	B
B	A	C

C	A	B
A	B	C
B	C	A

A	B	C
C	A	B
B	C	A

A	C	B
C	B	A
B	A	C

B	C	A
A	B	C
C	A	B

B	A	C
A	C	B
C	B	A

C	B	A
B	A	C
A	C	B

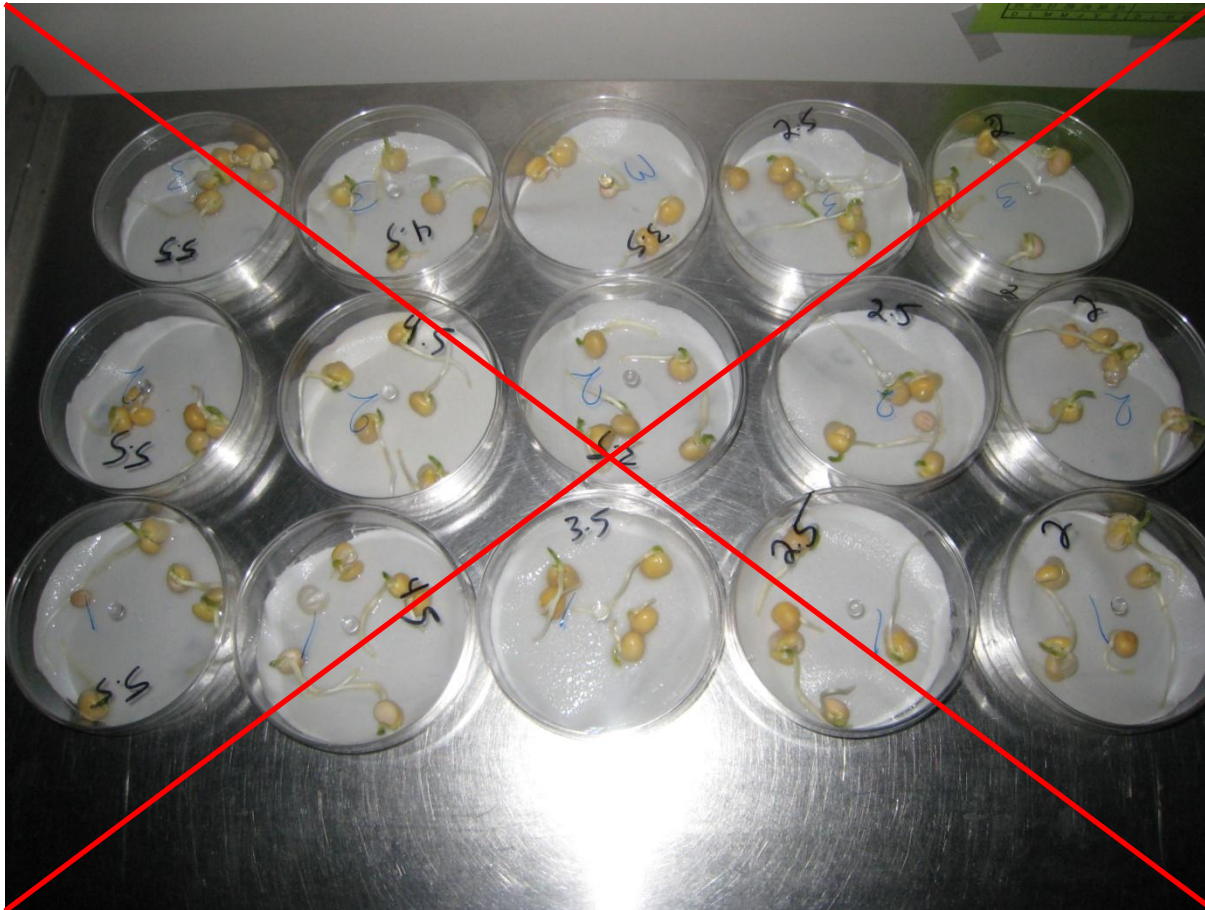
C	A	B
B	C	A
A	B	C

# Размещение экспериментальных единиц в лаборатории



**Fig 3.** Germination of peas at various acid rain treatments (<http://www.odec.ca/projects/2008/shar8a3/results.html>).

# Размещение экспериментальных единиц в лаборатории



**НЕПРАВИЛЬНО:** повторности сблокированы  
(а должны быть перемешаны)

# Это полезно запомнить:

- Экспериментальная единица – это один из группы исходно равноценных объектов, который экспериментатор выбирает для некоторого воздействия и который испытывает это воздействие независимо от всех остальных объектов той же группы.
- Измеряемая (оцениваемая) единица – это элемент экспериментальной единицы, служащий основой для получения индивидуальной оценки либо замера.



# Это полезно запомнить:

- Применять статистические методы для получения вероятностных выводов можно тогда и только тогда, когда:
  - Имеется **более чем одна** экспериментальная единица для каждой комбинации факторов;
  - Каждая комбинация факторов **случайным образом** соотнесена с определенной экспериментальной единицей.
- При планировании активного эксперимента особое значение приобретает правильное размещение экспериментальных единиц.