

Лекция 4:

Планирование эксперимента в научных исследованиях: цели, задачи, основные понятия

Задачи лекции

- Ознакомление с теоретическими основами планирования эксперимента.
- Ознакомление с понятиями «ошибки первого и второго рода».
- Демонстрация цены ошибок первого и второго рода.
- Ознакомление с требованиями, предъявляемыми к «хорошему» эксперименту.

Общая схема исследования

1. ПЛАНИРОВАНИЕ
2. ВЫПОЛНЕНИЕ
3. ОПИСАНИЕ
4. ПУБЛИКАЦИЯ

Лирическое отступление

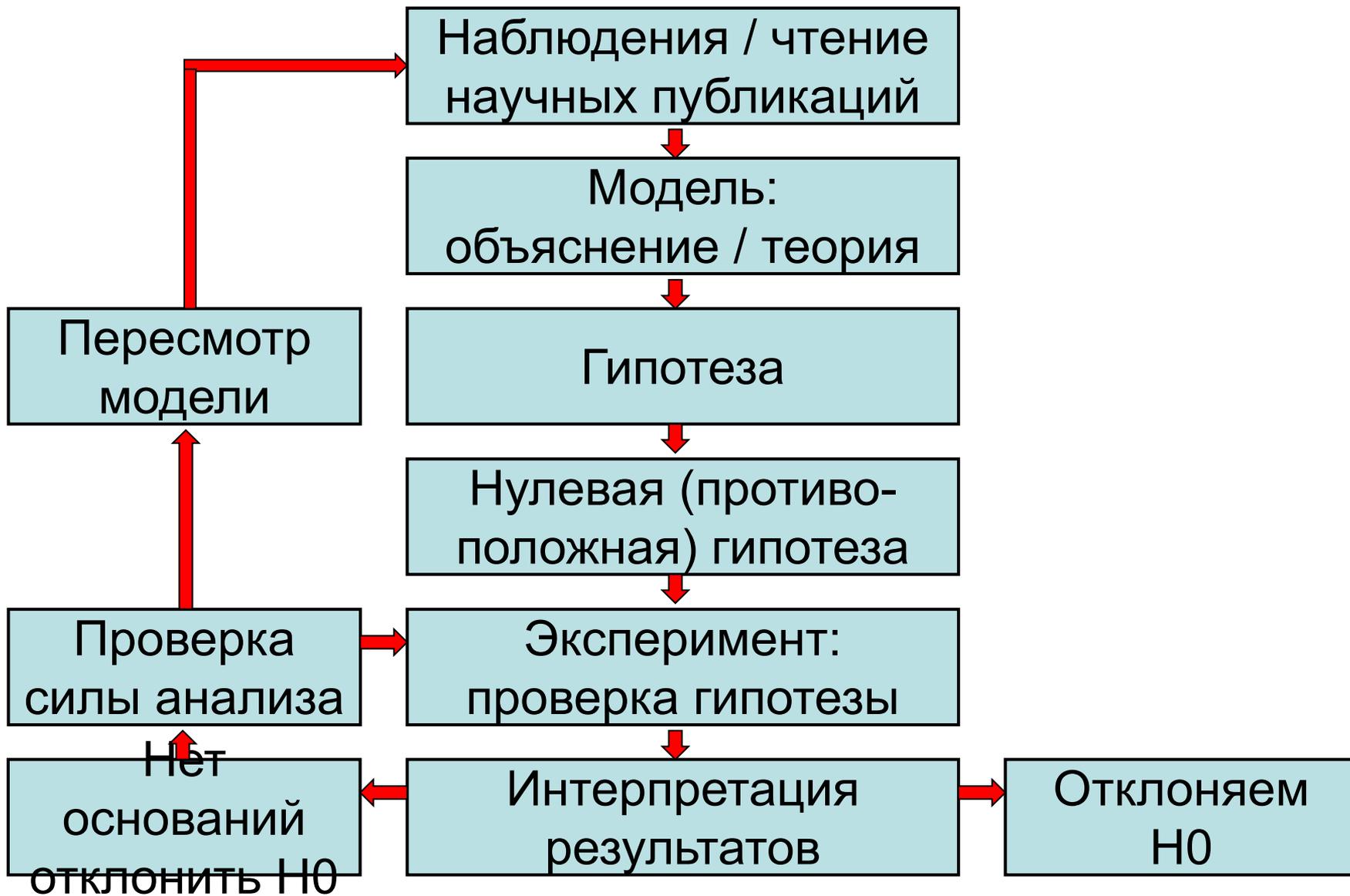
- Исследования, выполненные по принципу «Д²ПР», легко опознаются как рецензентами, так и внимательными читателями и, как правило, не имеют шансов на успех.

Лирическое отступление

- Исследования, выполненные по принципу «Д²ПР», легко опознаются как рецензентами, так и внимательным читателем и, как правило, не имеют шансов на успех.

Д²ПР = Давай, давай, потом разберемся!

Общая схема экспериментального исследования



Общая схема исследования

1. ПЛАНИРОВАНИЕ

- Первичный поиск информации;
- Выбор темы (включая обоснование выбора);
- Разработка гипотезы (гипотез);
- Постановка цели и формулировка задач исследования;
- Выбор объекта (предмета) исследования;
- Разработка методов проведения исследования;
- Подготовка к сбору данных.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ

3. ОПИСАНИЕ

4. ПУБЛИКАЦИЯ

Планирование исследования

Общая цель деятельности:

- Подготовка исследования, по результатам которого будет написана статья с предварительным названием «ZZZ» для журнала «XXX».

Планирование исследования

Конкретная задача:

- Написание плана НИР

- для зануды-шефа
- для грантовой заявки
- для лаборанта
- для самого себя

Формальный подход

Неформальный подход

Планирование исследования

Сверхзадача:

- Написание реально выполнимого плана,
- который при минимуме затрат даст максимум информации,
- причем качество и количество информации будут достаточны для подготовки серьезной статьи для избранного журнала.

Определение

- Эксперимент (лат. *experimentum* – проба, опыт) – метод познания, при помощи которого в контролируемых или управляемых условиях исследуются явления действительности с целью проверки гипотез, сформулированных до начала исследования.

Определение

- Эксперимент (лат. *experimentum* – проба, опыт) – метод познания, при помощи которого в контролируемых или управляемых условиях исследуются явления действительности *с целью проверки гипотез, сформулированных до начала исследования.*

Определения

- Эксперимент называется *активным*, либо *контролируемым* (англ. *manipulative*), если он проводится с применением искусственного воздействия на часть объектов по специальной программе, причем экспериментатор может при его постановке выбирать между некоторыми возможными совокупностями условий.
- Эксперимент называется *пассивным*, либо *измерительным* (англ. *mensurative*), если экспериментатор не вмешивается в естественный ход событий, а регистрирует характеристики объекта, пребывающего в обычных для него условиях.

История эксперимента в естествознании

- Фрэнсис Бэкон, один из родоначальников экспериментального метода европейской науки, видел в причину неудач античной (греческой) науки в отсутствии экспериментального подхода.
- Эксперимент позволил отойти от традиционного античного описания природы и перейти к *естествоиспытанию*.

Эксперимент – инструмент для проверки научных гипотез

- Важная характеристика экспериментального метода – конструирование предметов и ситуаций, которые до этого не существовали в природе.
- «Полигоном» для такого конструирования часто служит лаборатория – место, которое создано разумом, а не природой.

Определения

- Общее (теоретическое): “...план эксперимента есть схема для анализа [будущих] результатов на основе имеющейся информации”.

Н. Бейли (1962)

- Частное (практическое): Планирование эксперимента - процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Важность априорной информации

- В зависимости от уровня имеющейся информации экспериментатор выбирает определенную модель планирования с целью подтвердить или отвергнуть ту или иную гипотезу.
- Причем чем выше уровень и объем имеющихся знаний, тем более тонкие свойства объекта можно выявить в результате эксперимента и тем более сложными становятся применяемые планы.

Методы планирования эксперимента

- Возникли и долгое время развивались в связи с прикладным анализом данных в сельском хозяйстве и медицине.
- В настоящее время возросло применение этих методов в точных науках, в том числе при построении моделей физических процессов.
- Современная теория планирования эксперимента развивается на стыке вычислительной математики, математической статистики, дискретной математики и теории оптимизации.

Курсы для студентов – почти в каждом университете



Courses and programs

[About Flinders](#) [Faculties & Divisions](#) [Library](#) [Staff Directory](#) [A-Z Index](#) [Site Map](#)

[Flinders University](#) > [Courses and Programs](#) > [Course rules](#) > [Topics](#)

BIOL2701 Experimental Design and Statistics for Biology

Dr SC Letarme

Year	2012
Units	4.5
Class Contact	1 2-hour lecture weekly 1 1-hour workshop weekly 1 3-hour laboratory fortnightly 1 3-hour computer laboratory fortnightly
Prerequisites	1 1 of BIOL1101, BIOL1601 2 1 of BIOL1102, BIOL1602, BIOL1112 Must Satisfy: (1 and 2)
Enrolment not permitted	If 1 of BIOL2162, STAT2700 has been successfully completed
Topic Description	Many investigations in biochemistry, botany, zoology, microbiology, molecular biology, genetics and ecology are quantitative, with observations and experiments consisting of numerical facts called data. As biological entities have to be counted and measured, some objective methods are necessary to aid the investigator in presenting and analysing research data. Before data can be analysed, they must be collected and often statistical considerations help in the design of experiments and hypotheses to be tested. Still too many biologists attempt the analysis of their data only to find out that too few data points were collected to enable reliable conclusions to be drawn. Alternatively, it may appear that some effort might have been put in collecting data that cannot be used in the analysis of the experiment. Hence, the knowledge of basic statistical principles and procedures is critical even before an experiment begins. This topic aims at introducing basic concepts of sampling methods and statistical analysis that can be applied to any field of research in biology.
Educational Aims & Expected Learning Outcomes	Show details
Fee Details	Show fee details

Курсы для студентов – почти в каждом университете

The Ohio State University's Island Campus on Lake Erie



2007 COURSE OFFERINGS

ENR 694 Undergrad/Grad–5 credits

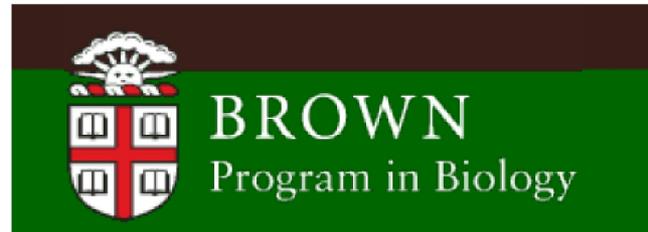
Experimental Design in Ecology and Natural Resources Management

13 days: Sunday, July 22-Friday, August 3

Introduction to experimental designs and statistics commonly used in ecology and natural resources applications. Skills gained include critical assessment of literature, design and implementation of field experiments, and analysis/presentation of data. Cost for room and meals is \$705.

*Dr. Lance R. Williams and Ms. Marsha G. Williams,
Ohio State University*

Курсы для студентов – почти в каждом университете



Population Biology and Ecology

- Invertebrate Zoology (BIOL 0410)
- Principles of Ecology (BIOL 0420)
- The Evolution of Plant Diversity (BIOL 0430)
- Evolutionary Biology (BIOL 0480)
- Evolutionary Genetics (BIOL 1410)
- **Experimental Design in Ecology (BIOL 1420)**
- The Computational Theory of Molecular Evolution (BIOL 1430)

Повышение квалификации: Massachusetts Institute of Technology

Design and Analysis of Experiments [14.37s]

Date: July 9-13, 2012 | Tuition: \$3,100 | Continuing Education Units (CEUs): 3.0
[Application Deadline »](#)



[Overview](#) | [Learning Objectives](#) | [Subjects to be Discussed](#) | [Program Outline](#) | [Schedule](#) | [Participants' Comments](#) | [Staff](#) | [About the Presenter](#) | [Location](#) | [Updates](#)

[Apply Online >>](#)

Overview

Planning Experiments, Doing Experiments and Analyzing Experimental Data

This one-week program is planned for persons interested in the design, conduct and analysis of experiments in the physical, chemical, biological, medical, social, psychological, economic, engineering or industrial sciences. The course will examine how to design experiments, carry them out, and analyze the data they yield.

Профессиональная помощь исследователям

PURDUE
UNIVERSITY

College of Science - Department of Statistics

Statistical Consulting Service

*The Shape of Science is
Changing*

Statistics Home

About Us

[Staff Info](#)

[Staff](#)

[Faculty Associates](#)

[Students Consultants](#)

Help

[Software Consulting
Schedule](#)

[Design of Experiments
and Data Analysis](#)

[An Introductory SAS
Course](#)

[Notes for Consultants](#)

[Frequently Asked
Questions](#)

[Useful Links](#)

How To

[Apply for Design
Consulting](#)

[Prepare for Initial
Meeting](#)

[Become a Consultant](#)

Experimental Design and Data Analysis Consulting Services

How the SCS can help you...

Statistical Design Consulting services include assistance with all phases of research projects. Consultants are available to help with:

- proposal preparation
- design of studies
- data input strategies
- data import/export
- analysis of data
- interpretation of results
- presentation of results
- other statistics or probability problems

Applying for help...



Statistical Consultant Ben Tyner is shown the differences between two species of butterfly by his client, Adam Boyko, from the Department of Biological Sciences.

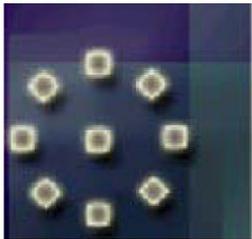
Частные консультационные фирмы

wdp consulting

Leading for Value

People Development | Process Development | Organisational Development | About Us | Our Consultants | Our Clients | Contact Us

Course Content Training Courses



PROCESS DEVELOPMENT

Experimental Design

What is Experimental Design?

Experimental Design represents a method to study the behaviour of a system or process by controlling, simultaneously, a number of significant factors. These experiments provide an efficient approach to understanding systems or processes compared to the traditional 'one factor at a time' approach. This leads the organisation to predict future outcomes of the process and system.

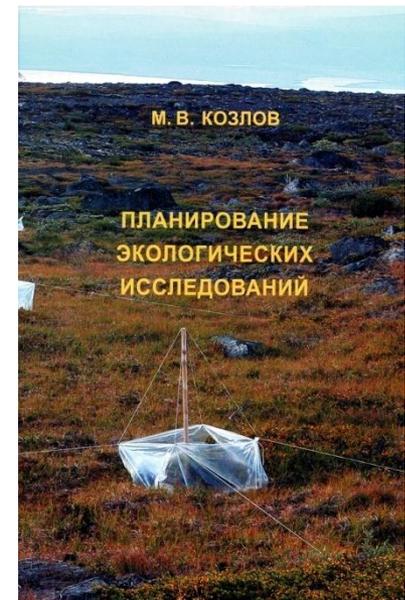
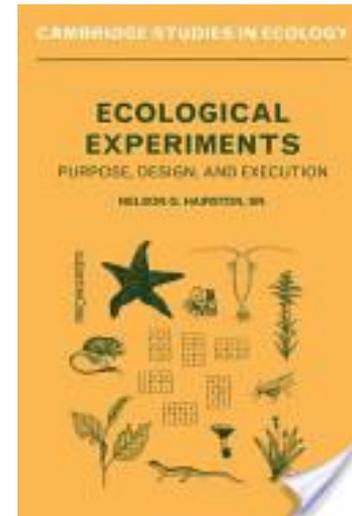
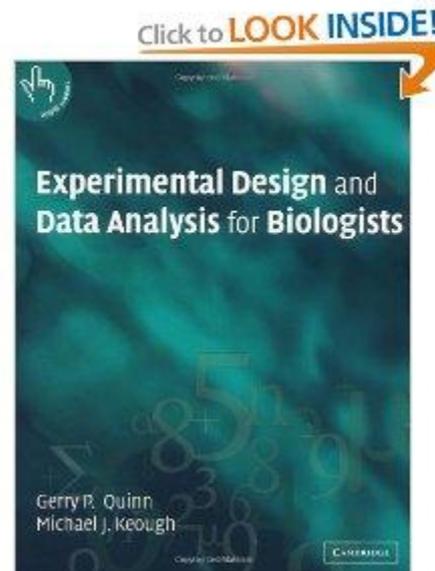
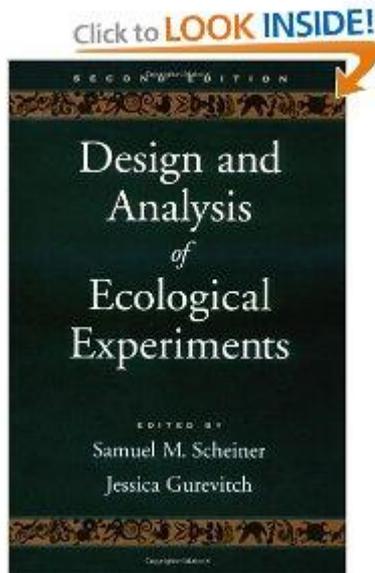
Experimental Designs Consulting, Inc.



We are research management consultants. We collaborate with you to use your research and your ideas in order to create a laboratory environment that is unique to your research goals. With 20 years of laboratory research management experience, you can be confident that your lab will be getting the

[... more](#)

Учебники и методические пособия для биологов



Математическая теория планирования эксперимента

Пример текста:

Обзор методов планирования эксперимента

Следуя Г. Шеффе (1980), основные предпосылки указанных методов анализа при представлении результатов многофакторного эксперимента из N опытов можно записать как выражения для функций статистического распределения вектора отклика модели $\mathbf{y}^{(N \times 1)}$, имеющих следующий вид:

$\mathbf{y}^{(N \times 1)} \sim N(\mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta}^{p \times 1}; \sigma^2 \mathbf{I})$ – в случае дисперсионного анализа;

$\mathbf{y}^{(N \times 1)} \sim N(\mathbf{z}^T \boldsymbol{\gamma}^{k \times 1}; \sigma^2 \mathbf{I})$ – в случае регрессионного анализа;

$\mathbf{y}^{(N \times 1)} \sim N(\mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta}^{p \times 1} + \mathbf{z}^T \boldsymbol{\gamma}^{k \times 1}; \sigma^2 \mathbf{I})$ – в случае ковариационного анализа.

Здесь \mathbf{x}^T – транспонированная матрица независимых переменных x_{ij} , которые могут быть как количественными, так и качественными; \mathbf{z}^T – транспонированная матрица количественных переменных z_{ij} , пробегающих непрерывный ряд значений; $\boldsymbol{\beta}^{p \times 1}$ – вектор эффектов (главные эффекты, эффекты взаимодействия, эффекты блоков, эффекты порядка варьирования факторов, остаточные эффекты и др.), подлежащих оценке результатам эксперимента ковариационного анализа; $\boldsymbol{\gamma}^{k \times 1}$ – вектор коэффициентов регрессии; σ^2 – дисперсия ошибки эксперимента; \mathbf{I} – единичная матрица; знак “ \sim ” (тильда) читается "имеет распределение"; N – обозначение нормального распределения.

Понимание и использование требуют
хорошего знания высшей математики!

Математическая теория планирования эксперимента

- Для понимания учебных пособий, посвященных математической теории оптимального эксперимента, требуется глубокое знание некоторых разделов высшей математики.
- Такими знаниями биологи, как правило, не владеют.
- Однако это вовсе не означает, что приложения теории недоступны для биологов.

Экспериментальный метод в современной экологии

- Современная биология развивается в основном за счет экспериментальных работ.
- Чем выше в «табели о рангах» стоит журнал, тем меньше в нем описательных и тем больше экспериментальных работ.

Использование экспериментального метода

Журнал	Импакт-фактор (2015)	Просмотрено статей	Типы статей (%)			Проверка гипотезы (%)
			Описательные	Экспериментальные		
				В природе	В лаборатории	
Ecology	4.63	45	40	44	24	42
J. Appl. Ecol.	4.56	86	69	36	38	20
Plant Ecology	2.07	40	68	38	5	3
Вор. Env. Res.	1.70	33	73	18	9	0
Экология	0.39	64	81	11	13	0
Известия РАН, биол.	0.36	28	61	11	32	0
Зоологический журнал	0.62	35	77	14	14	3
Ботанический журнал	--	36	94	3	6	0

Требования международных журналов

- Западные журналы предъявляют жесткие требования к структуре статьи, особенно к её методической части.
- Первая задача – предоставить достаточное количество информации **для повторения эксперимента.**
- Вторая задача – предоставить достаточное количество информации для обоснованного суждения об **адекватности выбранного метода обработки данных.**

Требования международных журналов

- Всегда указывается применявшийся метод анализа, если возможно – со ссылкой на стандартные процедуры широко распространенных пакетов прикладных программ.
- Результаты измерений (подсчетов) *всегда* включаются в статью – как правило, в виде таблиц или графиков. Обязательно указывается **объем выборки** (репозиторий данных Dryad <http://datadryad.org/> Перечень подобных хранилищ с разбивкой по темам и странам - <http://www.re3data.org/>).
- Любая фраза, содержащая *вероятностное* утверждение, должна сопровождаться ссылкой на статистический тест.

Требования международных журналов

- От автора требуется всегда четко говорить «да» и «нет», то есть разграничивать ситуации, когда эффект получен либо не получен.
- Фраза *«Хотя различия и не достигли уровня статистической достоверности, снижение плотности популяции под влиянием загрязнения не вызывает сомнений»* (пример реальный – из российского журнала) будет последней, которую прочитает рецензент.
- Любое отклонение от основной темы, включая побочные результаты, рассматривается как недостаток статьи.

Требования российских журналов

- Как правило, менее «жесткие» и менее четко сформулированы, чем в международных журналах.

ЭКОЛОГИЯ, 2012, № 4, с. 243–251

УДК 504.5:661+574.4+574.002

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭМИССИИ ПОЛЛЮТАНТОВ НА НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ В ПУБЛИКАЦИЯХ

© 2012 г. М. В. Козлов*, Е. Л. Воробейчик**

**Университет города Турку, Лаборатория экологии
20014 Турку, Финляндия
E-mail: miko2@utu.fi*

***Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202
E-mail: ev@ipae.uran.ru*

Поступила в редакцию 19.07.2011 г.

В чем причины различий между «Западом» и «Востоком»?

На Западе:

- Работа начинается с написания заявки на финансирование;
- Заявка обязательно включает описание экспериментов;
- Исследователь уже на этапе планирования экспериментов думает о написании статьи (статей) по итогам работы,
- то есть он ***постоянно ориентирован на конечный результат.***

В чем причины различий между «Западом» и «Востоком»?

В России:

- Существенное количество ученых до последнего времени находилось на бюджетном финансировании;
- Планы НИР часто пишутся «для галочки»;
- О подготовке публикации исследователь часто задумывается уже после того, как материал собран,
- то есть он ***чаще ориентирован на процесс, чем на конечный результат.***

Пример 1. Описание площадок, на которых проводили эксперимент:

- Плотность древостоя на экспериментальных площадках была одинакова
- Плотность древостоя на экспериментальных площадках (Таблица 1.2) была практически одинакова
- Плотность древостоя на экспериментальных площадках не различалась ($F_{2,9} = 0.41$, $P = 0.68$)
- Экспериментальные площадки не различались по плотности древостоя (Таблица 1.2; $F_{2,9} = 0.41$, $P = 0.68$)

Таблица 1.2. Плотность древостоя (число стволов с диаметром более 5 см на 1 га; среднее значение по результатам четырех выборок \pm стандартная ошибка)

Номер площадки	Плотность древостоя
1	921 \pm 20
2	934 \pm 28
3	952 \pm 24

Пример 1. Описание площадок, на которых проводили эксперимент:

- Плотность древостоя на экспериментальных площадках была одинакова (очень плохо: так подобрать площадки невозможно).
- Плотность древостоя на экспериментальных площадках (Таблица 1.2) была практически одинакова (удовлетворительно: приведены цифровые данные, позволяющие при необходимости оценить достоверность заключения).
- Плотность древостоя на экспериментальных площадках не различалась ($F_{2,9} = 0.41$, $P = 0.68$) (удовлетворительно: нет исходных данных).
- Экспериментальные площадки не различались по плотности древостоя (Таблица 1.2; $F_{2,9} = 0.41$, $P = 0.68$) (очень хорошо).

Таблица 1.2. Плотность древостоя (число стволов с диаметром более 5 см на 1 га; среднее значение по результатам четырех выборок \pm стандартная ошибка)

Номер площадки	Плотность древостоя
1	921 \pm 20
2	934 \pm 28
3	952 \pm 24

Постановка задачи на планирование эксперимента

Имеются:

- Поставленная задача и/или сформулированная гипотеза.
- Информация о свойствах объекта.
- Результаты предыдущих экспериментов.
- Желаемая точность оценки и/или допустимая вероятность принятия/отклонения гипотезы.

Необходимо определить:

- Условия проведения опытов.
- Количество экспериментальных единиц.
- Точность измерений.

Пример постановки задачи

Исходные данные

- Задача: сравнить скорость разложения целлюлозы под кронами берез и сосен в смешанных лесах.
- Нулевая гипотеза: скорость разложения целлюлозы под кронами берез не отличается от скорости разложения целлюлозы под кронами сосен.
- Допустимая вероятность случайного отклонения истинной нулевой гипотезы $<5\%$.

Пример постановки задачи

Необходимо выбрать:

- Место проведения эксперимента;
- Время начала эксперимента;
- Тип целлюлозосодержащего материала.

Необходимо определить:

- Процедуру выбора берез и сосен;
- Количество берез и сосен;
- Количество проб целлюлозы;
- Пространственное размещение проб;
- Продолжительность эксперимента;
- Начальный вес проб и точность взвешивания.

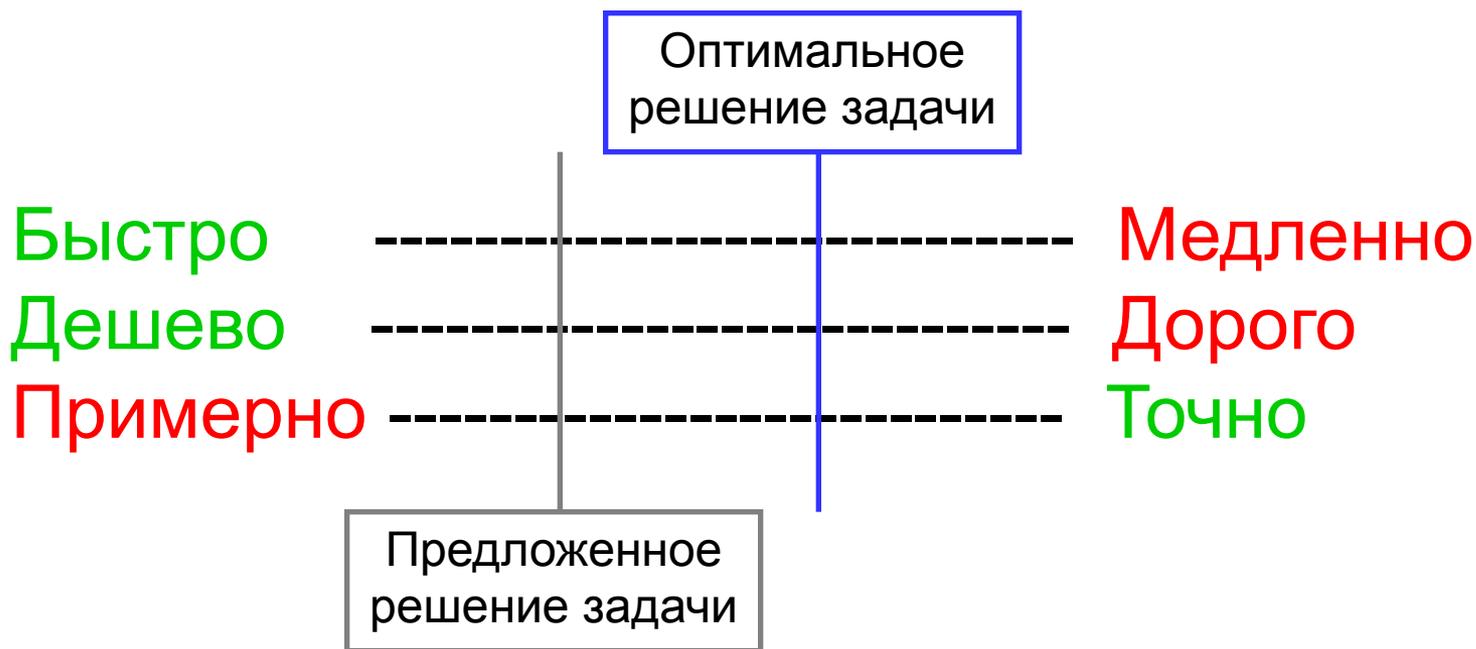
Определение

- Критерий оптимальности (или критерий оптимизации) – признак, на основании которого производится сравнительная оценка возможных решений (альтернатив) и выбор наилучшего решения.

Выбор наилучшего решения

- Выбор решения, обеспечивающего достижение *заданного результата* при *минимальном* расходе ресурсов.
- Выбор решения, обеспечивающего достижение *наилучшего результата* при заданном (то есть *ограниченном*) количестве ресурсов.
- Выбор решения, обеспечивающего достижение *наилучшего результата* при *минимальном* расходе ресурсов (то есть нет жестких требований к конечному результату и нет жестких ограничений по объему используемых ресурсов).

Примеры критериев оптимальности



Не существует «универсального» критерия оптимальности. Исследователь задает его в процессе планирования работы.

Выбор критерия оптимальности

- Если для каждого из экспериментов, приводящих к желаемому результату, можно оценить величину «затрат», то задача заключается в выборе такого эксперимента, при котором «затраты» минимальны.
- «Стоимостный» подход возможен только в том случае, когда все эксперименты приводят к одинаковой точности результата.

Выбор критерия для оптимизации

- В биологических исследованиях увеличение точности обычно сопровождается увеличением затрат, что требует нахождения приемлемого баланса между точностью результата и стоимостью работ.
- Таким образом, задачи планирования – это, во-первых, подсчет затрат, а во-вторых - формирование критерия оптимальности, который будет использован при решении конкретной задачи.

Пример 2. Стратегия поездки из пункта А в пункт Б

- Из пункта А в пункт Б можно попасть разными путями, за разное время, затратив разное количество денег (горючее, амортизация а/м, штрафы, заработок за счет попутных пассажиров). Каждый водитель формирует свой критерий оптимальности, например:
- Экономия денег (аккуратная езда, выбор оптимальной скорости, соблюдение правил, подбор попутчиков) за счет времени;
- Экономия времени (быстрая езда) за счет денег (штрафы, без попутчиков, повышенный износ автомашины), безопасности, душевного спокойствия и комфорта (тряска, рывки).
- Повышение безопасности за счет времени;
- Сохранение душевного спокойствия (избегание улиц с интенсивным движением, строгое выполнение правил) за счет времени и денег (более длинный путь).

Лирическое отступление

Из рекламы ресторана:

«У нас Вы можете пообедать

- Быстро и вкусно, или
- Вкусно и дешево, или
- Быстро и дешево».

(первоисточник утрачен)

Стратегический выбор

- При постановке биологического эксперимента невозможно одновременно максимизировать следующие характеристики:
 - Широта выводов (generality);
 - Реалистичность (realism);
 - Точность (precision).

Стратегический выбор

- При постановке экологического эксперимента невозможно одновременно максимизировать следующие характеристики:
 - Широта выводов – достигается закладкой однотипных экспериментов с разными объектами в разных условиях;
 - Реалистичность – максимальна у полевых экспериментов;
 - Точность – максимальна у лабораторных экспериментов.

Это полезно запомнить:

- Современная биология – наука экспериментальная, особенно «теоретическая» биология.
- Престижные журналы предпочитают публиковать статьи, нацеленные на экспериментальную проверку гипотез.
- Планирование эксперимента – прикладная наука с обширным математическим аппаратом.
- "Обычному" биологу в первую очередь необходима не теория, а практические рекомендации по планированию эксперимента на уровне "что такое хорошо, а что такое плохо".

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

Лирическое отступление

*«... Нам разрешается прослыть невеждами, мистиками, суеверными дураками. **Нам одного не простят: если мы недооценили опасность.** И если в нашем доме вдруг завоняло серой, ... - мы обязаны предположить, что где-то рядом объявился черт с рогами, и принять соответствующие меры, вплоть до производства святой воды в промышленных масштабах...»*

А. и Б. Стругацкие. Жук в муравейнике.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

В нашем доме вдруг звоняло серой...

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

В нашем доме вдруг звоняло серой...

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Возможны варианты!

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

В нашем доме вдруг завоняло серой...

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : что-то протухло в холодильнике.

Возможны варианты!

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

В нашем доме вдруг звоняло серой...

- Гипотеза H_0 : что-то протухло в холодильнике.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Возможны варианты!

Проверка гипотезы

- Нулевая гипотеза — гипотеза, которая проверяется на согласованность с имеющимися выборочными (эмпирическими) данными.
- В стандартном случае исследователь пытается отвергнуть нулевую гипотезу, доказав её несогласованность с имеющимися опытными данными.
- Выбор экспериментального плана зависит не только от нулевой гипотезы, но и от альтернативной гипотезы.

Проверка гипотезы

В нашем доме вдруг звоняло серой...

Вариант 1

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : что-то протухло в холодильнике.

Изучение содержимого холодильника **МОЖЕТ** позволить отклонить H_0 .

Вариант 2

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Изучение содержимого холодильника **НЕ МОЖЕТ** позволить отклонить H_0 .

Проверка гипотезы

- Отклонение H_0 вовсе не означает, что мы приняли H_1 .

Проверка гипотезы

- Отклонение H_0 вовсе не означает, что мы приняли H_1 .

В нашем доме вдруг завоняло серой...

- Гипотеза H_0 : что-то протухло в холодильнике.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Мы проверили холодильник – там все в порядке.
Будем вызывать священника?

Проверка гипотезы

- Гипотезы очень редко бывают взаимоисключающими.

Молекулярная
флюктуация

Объявился
черт
с рогами

Пространство логических возможностей

Что-то протухло
в холодильнике

Два типа ошибок

1. Ошибочное отклонение истинной нулевой гипотезы.
2. Ошибочное принятие ложной нулевой гипотезы.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Истина	
H_0 верна	H_0 ошибочна

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Наше решение	Истина	
	H_0 верна	H_0 ошибочна
Отклонить H_0		
Принять H_0		

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Наше решение	Истина	
	H_0 верна	H_0 ошибочна
Отклонить H_0		Верное решение
Принять H_0	Верное решение	

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Наше решение	Истина	
	H_0 верна	H_0 ошибочна
Отклонить H_0	Ошибка	Верное решение
Принять H_0	Верное решение	Ошибка

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Гипотеза H_0 : молекулярная флюктуация.
- Гипотеза H_1 : объявился черт с рогами.

Наше решение	Истина	
	H_0 верна	H_0 ошибочна
Отклонить H_0	Ошибка первого рода (α)	Верное решение
Принять H_0	Верное решение	Ошибка второго рода (β)

Определения

- Уровень значимости (α) – это вероятность совершения ошибки первого рода (то есть отклонения истинной нулевой гипотезы).
- Мощность анализа, или статистического теста ($1 - \beta$) – это вероятность избежания ошибки второго рода (то есть принятия ошибочной нулевой гипотезы).

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Ошибка первого рода: имеет место молекулярная флюктуация, а мы считаем, что ...?
- Ошибка второго рода: ...?, а мы считаем, что имеет место молекулярная флюктуация.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Ошибка первого рода: имеет место молекулярная флюктуация, а мы считаем, что ~~объявился черт с рогами.~~
- Ошибка второго рода: ~~объявился черт с рогами,~~ а мы считаем, что имеет место молекулярная флюктуация.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Ошибка первого рода: имеет место молекулярная флюктуация, а мы считаем, что **запах серы появился не случайно**.
- Ошибка второго рода: **запах серы появился не случайно**, а мы считаем, что имеет место молекулярная флюктуация.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Ошибка первого рода: имеет место молекулярная флюктуация, а мы считаем, что **объявился черт с рогами**.
- Ошибка второго рода: **объявился черт с рогами**, а мы считаем, что имеет место молекулярная флюктуация.

Этот вариант верен только в том случае, если H_0 и H_1 в совокупности описывают всё пространство логических возможностей.

Лирическое отступление

- В повести Стругацких «Жук в муравейнике» гипотезой было внедрение в земное общество агентов некой сверхцивилизации («Странников»).
- Цена ошибки первого рода (агентов нет, но мы считаем, что они есть) – жизнь человека, который может оказаться таким агентом.
- Цена ошибки второго рода (агенты внедрены, но мы считаем, что их нет) – благополучие человечества.
- Герой Стругацких, чьи слова вынесены в эпиграф, предпочел совершить ошибку первого рода.
- Кстати говоря, мы так и не знаем, совершил ли он ошибку...

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Ошибка первого рода: имеет место молекулярная флюктуация, а мы считаем, что объявился черт с рогами: $P = 0.xxx$
- Ошибка второго рода: объявился черт с рогами, а мы считаем, что имеет место молекулярная флюктуация: P неизвестно.
- Все стандартные методы статистики нацелены на определение вероятности *ошибки первого рода*.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Ошибка первого рода: пациент здоров, а врачи считают, что он нуждается в срочной операции: $P = 0.xxx$
- Ошибка второго рода: пациент нуждается в срочной операции, а врачи считают, что он здоров: P неизвестно.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Ошибка первого рода: пациент здоров, а врачи считают, что он нуждается в срочной операции: $P = 0.xxx$
- Ошибка второго рода: пациент нуждается в срочной операции, а врачи считают, что он здоров: P неизвестно.
- Все стандартные методы статистики нацелены на определение вероятности ошибки первого рода.

Важность определения вероятности ошибки второго рода

- Во всех российских пособиях по прикладной статистике, предназначенных для биологов, понятие ошибки второго рода и сопряженное с ней понятие мощности анализа (или статистического теста) не рассматриваются.
- Единственное исключение: Козлов М.В. Планирование экологических исследований: теория и практические рекомендации. М.: КМК, 2014.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Ни в теоретических построениях, ни в практических решениях нельзя игнорировать вероятность ошибки второго рода.
- Пока что нам достаточно:
 - помнить, что цена ошибки второго рода может быть очень высокой, и
 - поверить на слово, что снижая вероятность ошибки первого рода, мы неизбежно повышаем вероятность ошибки второго рода (и наоборот).

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Первый шаг планирования эксперимента - определение **допустимых** вероятностей ошибок первого и второго рода.

Допустимых – кем?...

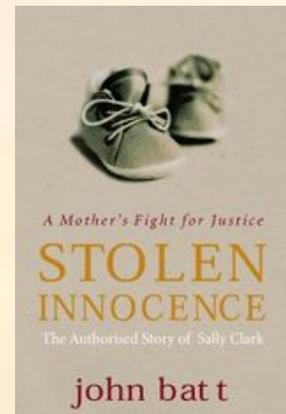
- В большинстве биологических исследований вероятность ошибки первого рода $\alpha = 5\%$ (один ошибочный вывод из двадцати) считается вполне приемлемой; по крайней мере ни разу не приходилось слышать об отклонении статьи по причине выбора этого уровня значимости.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- Вероятность ошибки второго рода для биологических исследований (β) не должна превышать 20% (один ошибочный вывод из пяти) .
- *Уровень значимости задается исследователем исходя из некоторых «общих соображений»; остальные расчеты (например, числа повторностей, объема выборки) базируются на этой величине.*



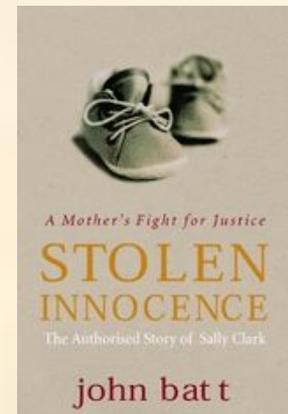
Печальная история Салли Кларк (1964 – 2007)



- Первый сын Салли Кларк внезапно умер через несколько недель после рождения. После того, как внезапно умер ее второй сын, она была арестована.
- На основании неверно истолкованных результатов статистического анализа в ноябре 1999 г. Салли была признана виновной в убийстве двух своих сыновей.



Печальная история Салли Кларк (1964 – 2007)



- Обвинение было снято в январе 2003 г., после того, как она отбыла более трех лет заключения.
- Случай Салли Кларк признан «одной из крупнейших ошибок правосудия в современной юридической истории Великобритании».
- Салли впала в тяжелейшую депрессию, безуспешно лечилась от серьезных психиатрических проблем, и умерла в 2007 г. от отравления алкоголем.

Ответственность перед обществом и учет малых вероятностей

- H_0 : две смерти подряд от естественных причин;
- H_1 : два убийства собственных детей.

Решение суда	H_0 верна	H_0 ошибочна
Отклонить H_0 (первое слушание дела)	Ошибка первого рода	Верное решение
Принять H_0 (повторное слушание дела)	Верное решение	Ошибка второго рода

Статистические данные в деле Салли Кларк (1)

- Утверждение эксперта: «одна внезапная младенческая смерть в семье - трагедия, два – подозрительный случай, а три – убийство, если только не доказано обратное».
- Эксперт утверждал, что для состоятельной семьи некурящих родителей вероятность внезапной смерти новорожденного составляет 1 к 8543; вероятность двух смертельных случаев в одной семье составляет 1 к 73 миллионам (то есть к 8543×8543).
- В качестве эксперта выступал [Sir Roy Meadow](#), в прошлом – профессор педиатрии в Университете города Лидс (Leeds University).

Первая ошибка интерпретации статистических данных

- В январе 2002 г. Королевское Статистическое Общество обратилось к Лорду-канцлеру с заявлением о том, что «вычисления, на которых основана оценка вероятности двух внезапных смертей новорожденных, некорректны».
- Вероятность наступления двух событий равна произведению их вероятностей только в том случае, если эти события не зависят друг от друга.
- Профессор [Ray Hill](#) (Математический факультет Университета города Солфорд) доказал, что существуют некие факторы предрасположенности новорожденных к внезапной смерти. По его оценке, вероятность ВТОРОЙ внезапной смерти составляет 1 к 100, а не 1 к 8500.

Вторая ошибка интерпретации статистических данных

- Во время суда многие газеты писали, что «1 к 73 миллионам» - это вероятность того, что Салли невиновна. Верно ли газеты интерпретировали статистическую информацию?

Вторая ошибка интерпретации статистических данных

- Во время суда многие газеты писали, что «1 к 73 миллионам» - это вероятность того, что Салли невиновна. Верно ли газеты интерпретировали статистическую информацию?
- Необходимо было сравнить статистику для двух альтернативных объяснений:
 - H_0 : две смерти подряд от естественных причин;
 - H_1 : два убийства собственных детей.
- По оценке профессора Ray Hill (Математический факультет Университета г. Солфорд), две смерти подряд от естественных причин встречались в Великобритании в 4-9 раз чаще, чем двойное убийство собственных детей.

Цена ошибки

- В описанных выше примерах (повесть Стругацких, дело Салли Кларк) построение функции оптимизации в общем случае невозможно, поскольку подразумевает этический выбор и вследствие этого субъективно.
- К счастью, в большинстве случаев, особенно в ситуациях, с которыми имеют дело биологи, цена ошибки может быть измерена более объективно.

Эмпирическое правило

- Разумные меры предосторожности определяются произведением вероятности события на тяжесть его последствий.

Л. Э. Цырлин, физик-теоретик.

Интуитивная оптимизация и нижний порог приемлемости: когда «что-нибудь» хуже, чем ничего

- Значительная часть нашего курса посвящена принятию решений.
- В отличие от курса планирования эксперимента для представителей точных наук, где оптимальное решение находится однозначно – путем построения некоторой функции и исследования ее свойств – биологи вынуждены довольствоваться «интуитивной» оптимизацией.
- Кроме того, теория не рассматривает такие проблемы, как отсутствие машины для выезда на полевые работы, перебои с теплоснабжением, невозможность приобретения необходимого оборудования и многие другие, с которыми исследователь сталкивается практически ежедневно.

Интуитивная оптимизация и нижний порог приемлемости: когда «что-нибудь» хуже, чем ничего

- Все эти факторы, естественно, необходимо принимать во внимание; однако следует четко осознать: если эксперимент нельзя поставить так, чтобы получить однозначный результат - нужно менять схему эксперимента.
- **Никогда не следует жертвовать точностью или статистической значимостью или мощностью анализа.**
- Таким образом, настоящий курс задает некоторый набор **граничных условий**, нарушать которые можно только в том случае, если результат вашей работы вам совершенно безразличен.

Требования, предъявляемые к «хорошему» эксперименту

- Задана допустимая вероятность ошибок как первого, так и второго рода.
- Определена область применения выводов.
- Точность адекватна решаемой задаче.
- Продумана интерпретация любого из возможных результатов статистического анализа данных.
- Работа проста в выполнении.

Это полезно запомнить:

- Планирование эксперимента - процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью.
- Планирование эксперимента начинается с определения допустимой вероятности ошибок первого и второго рода.
- Планирование эксперимента – это решение задачи на оптимизацию: должен быть задан критерий оптимальности.