

# Экологическая генетика.

## *Лекция 1.*

---

1. Исторические этапы развития экологической генетики.
2. Предмет и методы.
3. Краткая характеристика современных направлений экологической генетики.

# Рекомендуемая литература:

---

- Исследования по генетике, №12, 1999, 128 с.
  - Журнал «Экологическая генетика», начиная с 2003 г., и электронные версии на сайте <http://ecolgenet.ru/>
  - С.Г.Инге-Вечтомов «Экологическая генетика. Что это такое?», Соревский образовательный журнал, №2, 1998, с.59-65
  - В.А.Спицын «Экологическая генетика человека», 2008 г.
  - В.С.Баранов, Е.В.Баранова, Т.Э.Иващенко, М.В.Асеев «Геном человека и гены предрасположенности. Введение в предиктивную медицину», СПб, 200, 272 с.
  - И.А.Захаров «Экологическая генетика и проблемы биосферы», Л., Знание, 1984, 32 с.
-

# Исследования по генетике, №12, 1999



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Инге-Вечтомов С. Г.</i> Экологическая генетика: теория и практика .....	3
I. Симбиогенетика и экологические модели	
<i>Тихонович И. А.</i> Микробы и растения: молекулярный диалог в ризосфере .....	11
<i>Проворов Н. А., Воробьев Н. И.</i> Роль частотозависимого отбора в эволюции клубеньковых бактерий .....	24
<i>Ходжайова Л. Т.</i> Генетика устойчивости высших растений к болезням: проблемы и модели .....	34
<i>Лучникова Е. М.</i> Изучение микроэволюционных процессов на эколого-генетических моделях с использованием дрозофилы .....	44
II. Устойчивость организмов к внешним факторам	
<i>Черныш С. И., Гордя Н. А., Филатова Н. А.</i> Протекторные механизмы насекомых: темпы молекулярной и фенотипической эволюции .....	52
<i>Квитко К. В.</i> Генетический контроль устойчивости микроорганизмов к факторам окружающей среды .....	60
III. Канцерогенез и генетическая токсикология	
<i>Худолей В. В.</i> Канцерогены: характеристики, закономерности, механизмы действия .....	67
<i>Ингель Ф. И., Ревазова Ю. А.</i> Модификация эмоциональным стрессом мутагенных эффектов ксенобиотиков у животных и человека .....	86
IV. Изменчивость генофонда человека и медицинская генетика	
<i>Балановская Е. В., Нурбаев С. Д.</i> Пространственная изменчивость генофонда человека: геногеография и отбор .....	104
<i>Баранов В. С.</i> Гены «внешней среды» и мультифакториальные болезни .....	117

# Первая школа по экологической генетике, 1998 г. Старый Петергоф

□ Соровский образовательный журнал, №2, 1998, с.59-65

## ECOLOGICAL GENETICS. WHAT IS IT?

S. G. INGE-VECHTOMOV

*Structure and goals of ecological genetics studying mutual influence of genetic processes and ecological relations are presented. The potentials of genetic approaches in analysis of resistance of organisms toward environmental factors, in development of ecological-genetical models and in regulation of ecological relations are considered. Genetic toxicology is described as a part of ecological genetics.*

Рассмотрены структура и задачи экологической генетики как науки, изучающей взаимовлияние генетических процессов и экологических отношений. Показаны возможности генетических методов в анализе устойчивости организмов к факторам окружающей среды, разработке эколого-генетических моделей и регулировании экологических отношений. Рассмотрена генетическая токсикология как раздел экологической генетики.

© Инге-Вечтомов С.Г., 1998

*Ларинь Ларисе Владимировне*  
**БИОЛОГИЯ**  
*(Экология и Эволюция)*  
**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕНЕТИКА.  
ЧТО ЭТО ТАКОЕ?** 21.06.98  
*Инге*

С. Г. ИНГЕ-ВЕЧТОМОВ  
Санкт-Петербургский государственный университет

### ВВЕДЕНИЕ

Словосочетания, содержащие понятия "экология", "экологический", встречаются сегодня на каждом шагу. Это отражает объективное стремление человека осознать свое место в мире живых существ и вообще и мире как единой системе взаимодействующих факторов, формирующих среду обитания. Задача статьи — рассказать читателям о сравнительно молодой области биологии (генетики) — экологической генетике, приобретающей все большее практическое значение в наши дни.

### НЕСКОЛЬКО ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Что же такое экологическая генетика? Определяя содержание этой области знания, можно оставаться в рамках представлений того периода, когда Е.Б. Форд в 60-х годах впервые сформулировал понятие об экологической генетике как о **генетике популяций в природных условиях**. Можно понимать экологическую генетику более широко, как область, перекрывающую почти всю современную генетику [1]. Нам представляется, что, определяя предмет экологической генетики, необходимо исходить из исторической логики развития биологии и методологических возможностей обеих наук — экологии и генетики, давших название новой области как пограничной науке.

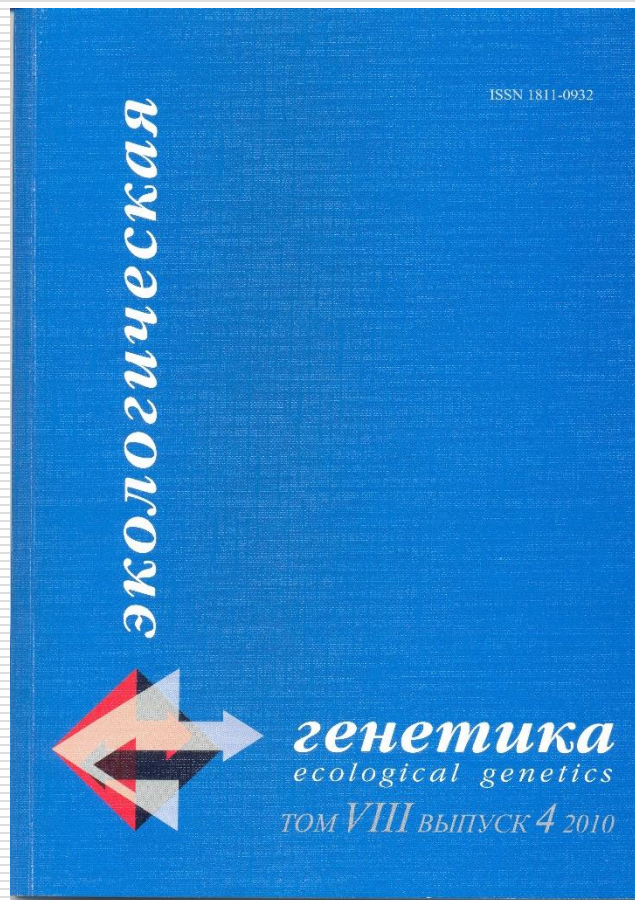
Общепринято определение **экологии как науки об отношениях организмов с окружающей средой, а также с другими организмами, составляющими часть этой среды** [2, 3]. Определение генетики как физиологии наследственности и изменчивости, данное еще в 1906 году У. Бэтсоном [4], сохраняет свое значение до сих пор. Отталкиваясь от этих общих представлений, рискуем дать определение экологической генетики.

**Экологическая генетика — это область знания, исследующая взаимовлияние генетических процессов и экологических отношений**. При этом как раздел генетики эта наука опирается на мощную методологию генетического анализа [5] и использует весь методический арсенал экологии [2, 3].

Структуру экологической генетики несколько упрощенно можно представить в виде табл. 1. Обсуждение содержания табл. 1 поможет нам обсудить структуру и задачи экологической генетики более конкретно.

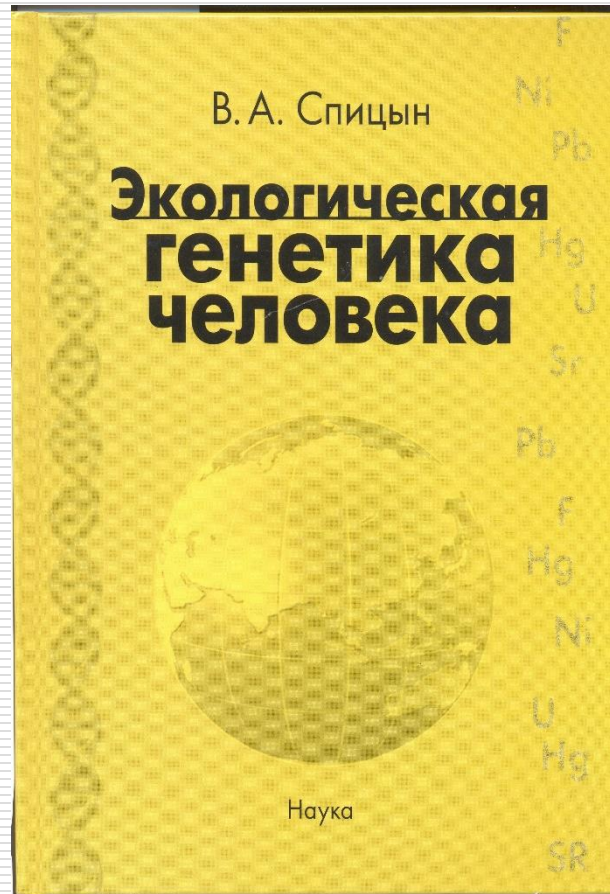
Журнал «Экологическая генетика», 2003 –  
и сайт <http://ecolgenet.ru/>

---



Спицын В.А., 2008, 503 с.

---



# **Предмет экологической генетики – «Экология + генетика»**

---

- Область знаний,  
исследующая  
взаимовлияние  
генетических процессов и  
экологических отношений.**
-

# Основные исторические этапы

---

- 1859 г. Дарвин
  - Одна из первых идей о том, что естественный отбор может вести к видообразованию посредством взаимодействия организмов с окружающей средой
-



# 20-30 годы прошлого века

---

- С.С.Четвериков, Н.И.Вавилов, Ф.Г.Добржанский
- Доказательство влияния условий окружающей среды на направленность и скорость генетических процессов, протекающих в природных популяциях.
- Основные выводы из этих работ: все изучаемые природные популяции – высоко генетически гетерогенный материал.
- Универсальное свойство всех живых систем – **адаптации**: фенотипические и генотипические.

# Формирование “популяционного” этапа экологической генетики.

---

- Постановка и решение группы вопросов, касающихся механизмов, лежащих в основе изменения генетической структуры популяций в различных условиях существования.
  - Первые подходы касались факторов, обуславливающих морфологические различия между организмами: генетический полиморфизм и его механизмы.
-

# Первые примеры генетического полиморфизма.

---

- Распределение рисунка на теле змей.



- Крыловые отметины у бабочек.
-

# Генэкология (Г.В.Турессон, 1922)

---

- Экология рас, которая различает действие среды на генетическую структуру и разнообразие популяций. Данное направление рассматривают как синтетическую дисциплину, изучающую связи между экотипами, генотипами и окружающей средой, сочетая идеи и методы генетики, таксономии и физиологии.
-

# Модификационная изменчивость у тысячелистника

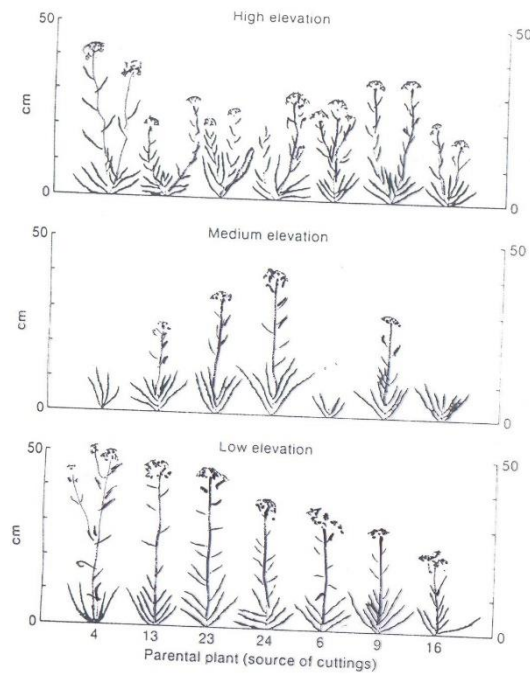


Figure 1-8. Norms of reaction to elevation for seven different *Achillea* plants (seven different genotypes). A cutting from each plant was grown at low, medium, and high elevations. (Carnegie Institution of Washington.)

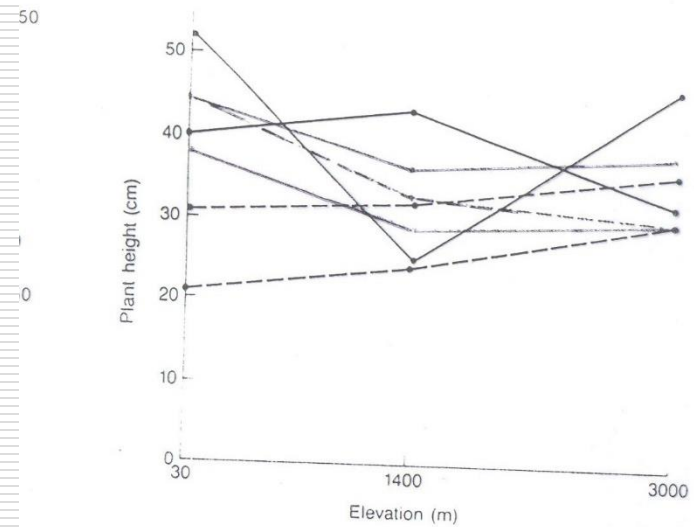


Figure 1-9. Graphic representation of the complete set of results of the type shown in Figure 1-8. Each line represents the norm of reaction of a separate plant. Notice that the norms of reaction cross one another, so that no sharp distinction is apparent.

# Дрозофила – изменчивость числа фасеток в зависимости от генотипа и температуры

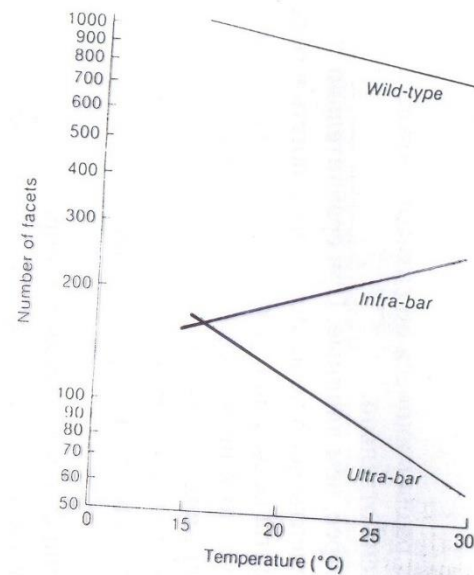


Figure 1-7. Norms of reaction to temperature for three different eye-size genotypes of *Drosophila melanogaster*: wild-type, infra-bar, and ultra-bar. Eye size is measured by the number of facets in the eye. The term "bar" comes from the eye shape produced by fewer facets.

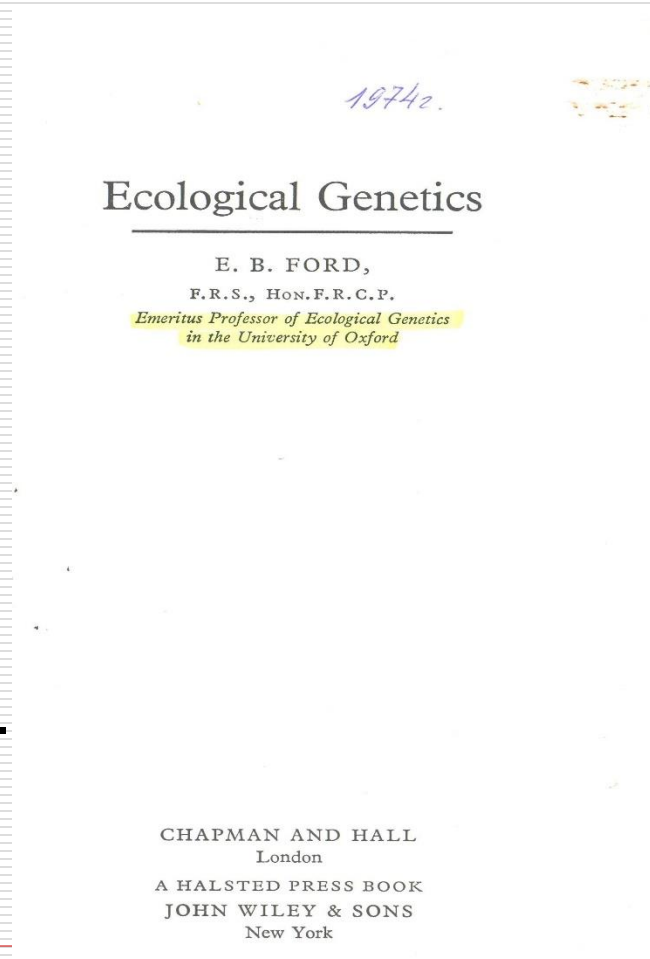
# R.A.Fisher, Julian Huxley, E.B.Ford

---



# Эдмунд Бриско Форд (1901-1988)

- Область интересов: объединенные научные исследования, проводимые в рамках полевых экологических работ и лабораторных генетических исследований.
- Содержание: это изучение приспособленностей и адаптаций природных популяций по отношению к условиям среды, в которых они находятся.





# Piter A.M.Tigerstedt

---



P.M.A.Tigerstedt, (Finland) 1936 -

---

□ 1974 г. Монография  
«Экологическая генетика», 386 с.

Исследования, связанные с  
изучением адаптаций у растений  
(преимущественно хвойные) к  
экстремальным условиям  
произрастания.

---

# Жученко А.А.

---

- Изучение механизмов адаптации популяций культурных растений, находящихся в различных экологических условиях.
  - Экологическая генетика изучает генетические основы изменчивости и наследования адаптивных реакций, реализующихся на разных уровнях (от молекулярного до биоценотического) и обусловленных разными механизмами (генетическими, биохимическими, физиологическими, морфологическими и др.)
-

# Конференции по экологической генетике культурных растений, 1980

---

- Адаптивные реакции, особенности их модификационной и генотипической изменчивости как результат интегрированного взаимодействия коадаптированных блоков генов в системе "организм - среда".
  - Формирование в рамках экологической генетики **II. адаптационного направления.**
-

### III. Метаболическое направление.

---

- Формирование метаболического направления потребовало создания адекватных моделей взаимодействия между организмами, входящими в единые метаболические цепи – связь производитель-потребитель.
-

# III. Метаболическое направление.

---

- Е.М.Лучникова (модель дрожжи-дрозо-фила)
- Р.И.Цапыгина (модель феромонального стресса у мышей)

Изучение взаимоотношений между продуцентом и потребителем, вовлеченных в общий метаболический процесс, а также влияние метаболитов на генетические процессы.

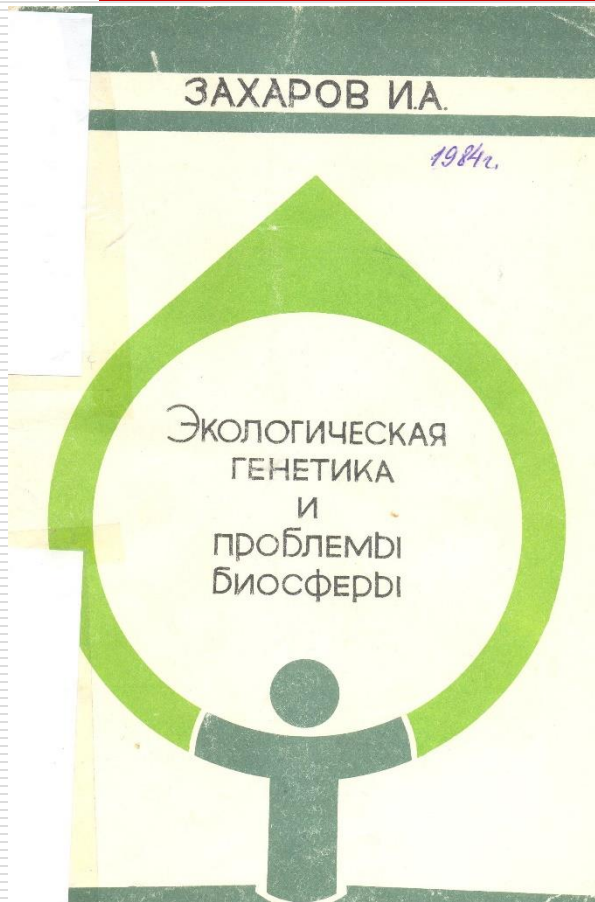
---

# И.А.Захаров-Гезехус

---



# Захаров И.А., 1984 г.



Экологическая генетика – наука, изучающая генетические процессы (численность разных генов, отбор, мутационный процесс) в природных популяциях, находящихся в разных условиях обитания.

Изучение генетических последствий антропогенных изменений в окружающей среде (генетическая токсикология).



# 1991 г. Северная Каролина (США)

---

Координирование исследований в области экологической генетики.

Темы докладов на совещании:

1. Поток генов и структура популяций.
2. Кластерный анализ данных по секвенированию ДНК из субпопуляций.
3. Эволюция фенотипической пластичности: что мы реально знаем?

- 
4. Структура популяций и локальная адаптация в клонах травянистых растений.
  5. Нейтральные модели фенотипической эволюции.
  6. Эволюционная генетика дафний.
  7. Взаимодействие множественной и гено-частотной динамики в системе патоген-хозяин.
  8. Экологическая генетика метапопуляций:  
~~система растение-патоген Silene-Ustilago~~

---

9. Экологическая генетика признаков онтогенеза: изменчивость и ее эволюционное значение.

10. Эволюция парусниковой моли: взаимодействие онтогенетической изменчивости и полового отбора.

---

# Методологические подходы:

---

- 1. использование молекулярных методов для определения генотипа особей в популяциях (электрофорез ДНК, белков, аминокислотное и ДНК-секвенирование).
  - 2. разработка статистических методов анализа количественных признаков (QTL-гены) и разложение изменчивости для прогнозирования результатов отбора
-

# QTL-гены (quantitative trait loci)

---

На основе хромосомных карт, насыщенных ДНК-маркерами, разработаны многочисленные алгоритмы и компьютерные программы анализа количественной изменчивости. Локализация генов осуществляется путем выявления связей между аллельными вариантами маркерных локусов и фенотипической вариацией интересующих селекционера признаков.

# Сравнение двух методологических подходов

---

- Особое значение имеет генетический анализ в максимально малом масштабе (на уровне отдельных нуклеотидов).
  - Усреднение эффектов в пределах множественных локусов без определенного отношения к молекулярной основе.
-

# IV. Молекулярно-генетическое направление.

---

- Определение уровня гетерозиготности как показателя способа размножения, степени изоляции и выделения отдельных субпопуляций в пределах природных популяций.
- Определение уровней потока генов и событий "срастания" в кластерном анализе
- Определение эволюции признаков индивидуального развития, оценка протяженности локальной адаптации и оценка отбора на приспособленность.
- Конструирование моделей эволюции количественных признаков при разнообразии экологических условий

# Молекулярно-генетическое направление.

---

- Оперирует всем современным арсеналом молекулярных методов применительно к решению проблем популяционной динамики в отношении их экологического контекста (широко используются молекулярные маркеры (зонды) для характеристики генетической изменчивости, выявляемой в природных популяциях).
-

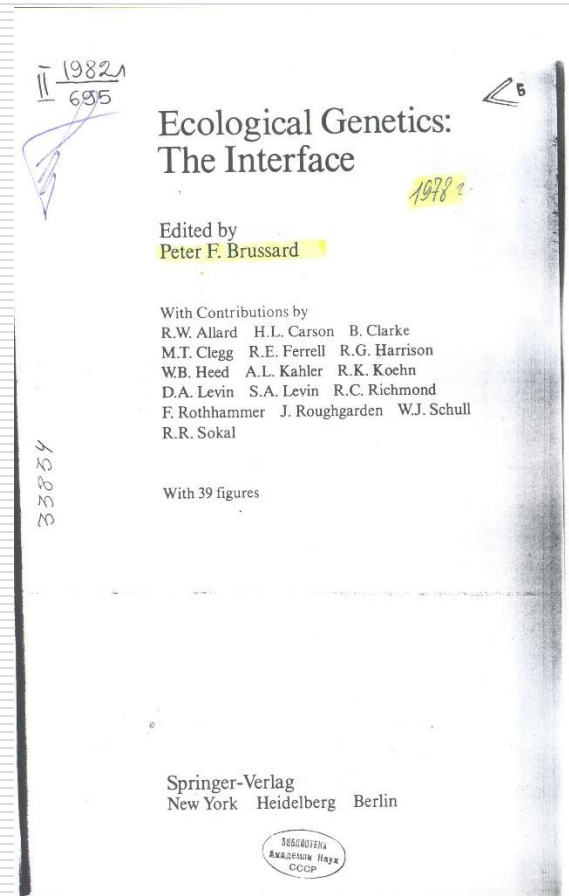
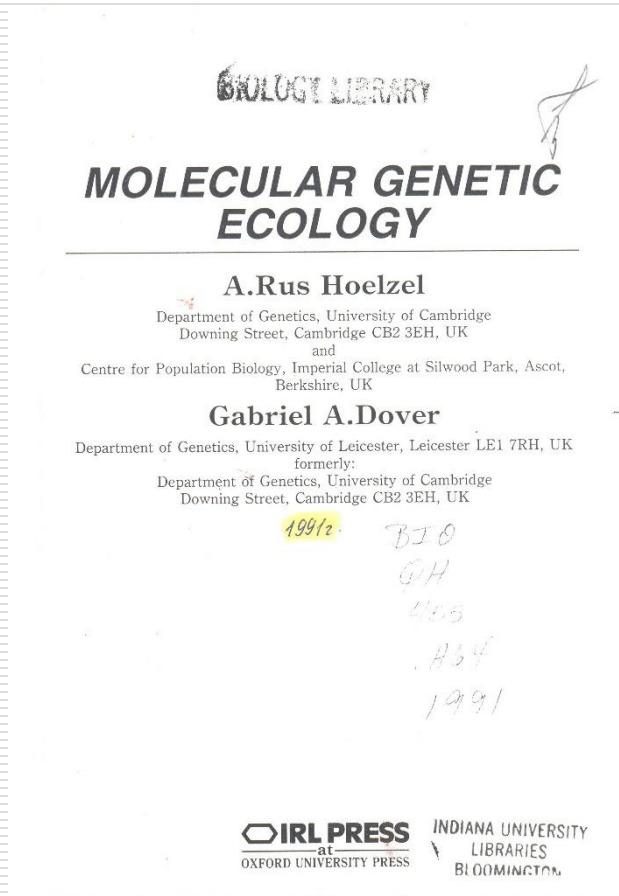


# Молекулярно-генетическое направление.

---

- Полученные результаты далее анализируются в плане взаимодействия внутренних мутационных процессов, происходящих в ядерном и органель-ном геномах, и разнообразных внешних процессов, таких, как отбор и дрейф генов, которые и обуславливают возникающий уровень генетической изменчивости.

# Сборники работ по молекулярно-генетическим методам в экологии.



# Молекулярно-генетические методы в экологических исследованиях.

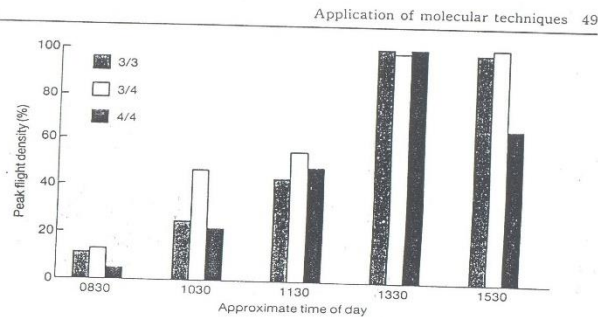


Figure 4.1. Effect of time of day on the representation of three different genotypes (3/3, 3/4 and 4/4) among butterflies in flight (after 3).

## 50 Molecular genetic ecology

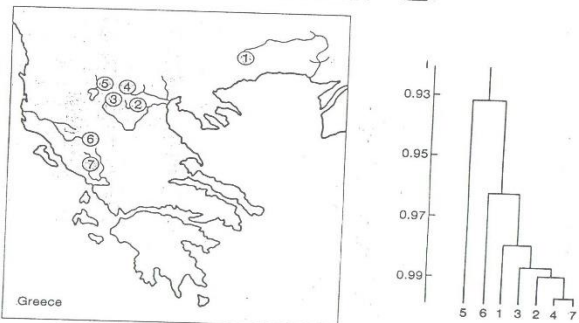


Figure 4.2. Location study populations of brown trout in Greece, and the level of genetic identity between them as indicated by allozyme variation (after 6). Not all rivers are shown.

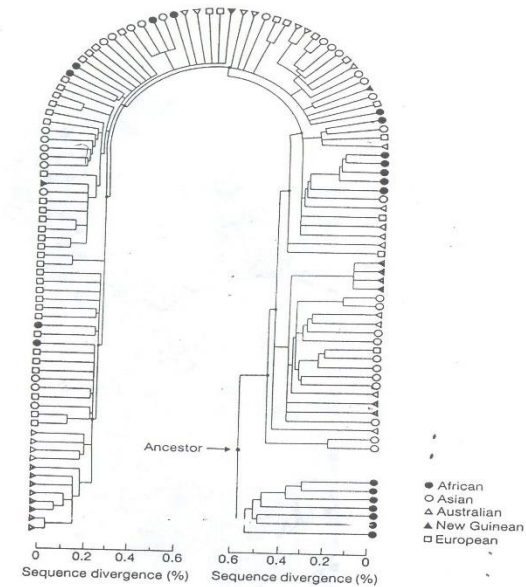


Figure 4.4. Genealogical tree for 134 types of human mtDNA from RFLP data (after 18).

# Прикладные исследования **Фармакогенетика** (Ф.Фогель, 1958 )

---

- Изучает роль генетических факторов в индивидуальной реакции организма человека на лекарственные препараты и неблагоприятные экологические воздействия.
- Мотульский (США), Калов (Канада) первыми показали причинную связь между промышленным загрязнением, токсинами и индивидуальной реакцией организма, были предложены простые биохимические тесты для выявления лиц с повышенной чувствительностью к некоторым загрязнениям окружающей среды.

# Гены “внешней среды” (гены детоксикации ксенобиотиков) (Баранов В.С., 1999)

---

- Особенности индивидуальных реакций и метаболизма в зависимости от функциональных особенностей индивидуальных генов. Известно большое число генов и генных семейств, контролирующих синтез белков (ферментов), отвечающих за детоксикацию ксенобиотиков – любых чужеродных веществ, включая фармпрепараты, поступающих в организм.
-

(Неберт, Карвана «Экогенетика: от биологии к здоровью», 1997, Toxicol.Industr.Hlth.)

---

- Наука, изучающая индивидуальные, популяционные и прочие различия в реакции индивидуумов на химические и физические факторы внешней среды (тяжелые металлы, инсектициды, промышленные загрязнения, различные виды радиации) получила название **Экогенетика.**
-

# E.V.Ford, 1975

---

- «Если экологическая генетика сможет успешно развиваться, то нам потребуются новое мышление, новые методы, новый материал»

За последние десятилетия новое мышление, новые методы и новый материал действительно стали доступны и успешно применяются для развития экологической генетики, большинство из которых в настоящее время были охарактеризованы как "молекулярная экология".

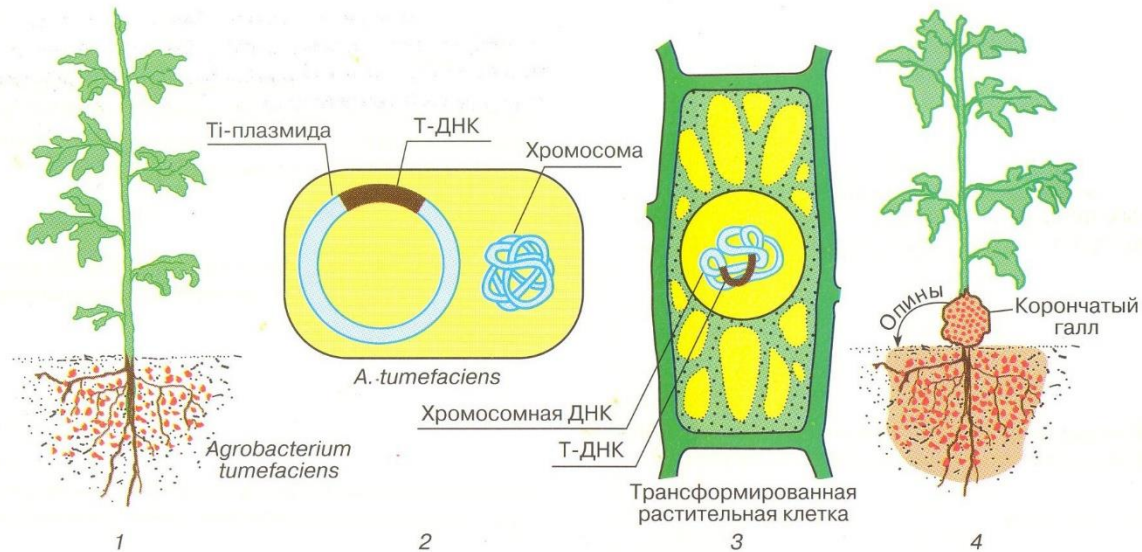
---

# Структура экологической генетики

Генетические подходы	Синэкология	Аутэкология
Генетический контроль признаков (наследственность)	Эколого-генетические модели	Генетика устойчивости к факторам среды
Влияние различных факторов на генетические процессы (изменчивость)	Биологические факторы изменчивости (мутагенеза)	Генетическая токсикология



# Эколого-генетические модели



**Рис. 1.** Генетическая колонизация высшего растения бактерией *A. tumefaciens*: 1 – *A. tumefaciens* существует в ризосфере (корневой сфере) растения; 2 – в клетках бактерии наряду с ее хромосомой существует Ti-плазмида; 3 – Ti-плазмида проникает в клетку растения, и часть ее (Т-ДНК) встраивается в геном растения; 4 – это приводит к образованию опухоли – корончатого галла и синтезу опинов

# Биологические факторы мутагенеза

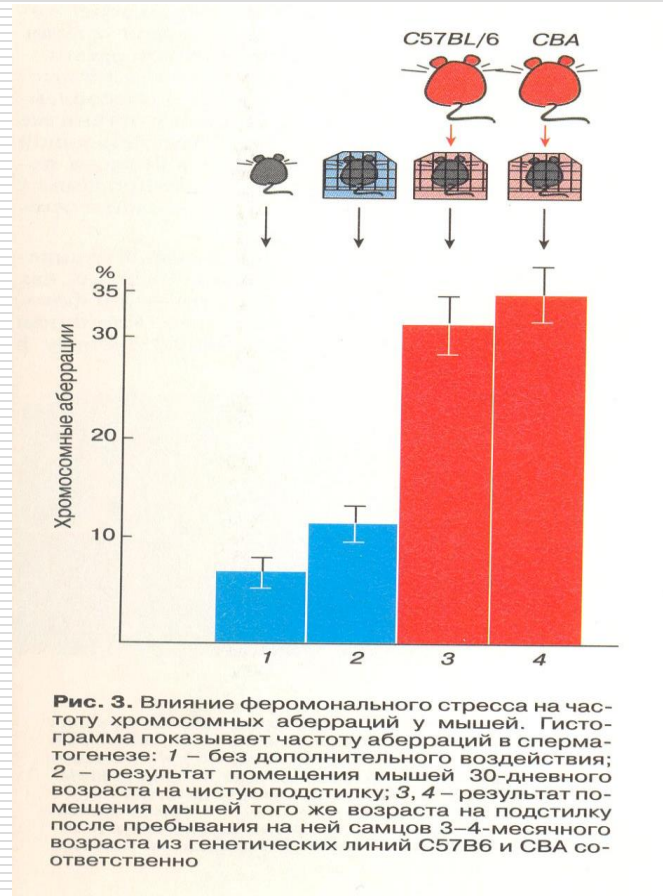
---

Синэкологические отношения  
обладают генетической  
активностью.

Мутагенный эффект  
продемонстрирован для:

- ДНК
  - вирусов и вакцин
  - нейрогуморального статуса  
организма и др.
-

# Генетические последствия феромонального стресса у мышей



# Генетическая токсикология

---

- Ставит целью выявление и устранение генетически активных факторов из среды обитания человека.
  - Показатели генотоксичности или генетической активности исследуемого фактора – мутагенез, рекомбиногенез и индукция репаративного синтеза.
-

# Генетика устойчивости к факторам среды

---

- Молекулярные болезни человека – дефекты в системе репарации:
  - пигментная ксеродерма
  - анемия Фанкони
  - синдром Луи Бара
  - атаксия телеангиоэктазия

Повышенная чувствительность к солнечному свету, ультрафиолету – рак кожи.

---