

**«Окружающая среда и здоровье человека»  
II Санкт-Петербургский Международный  
Экологический Форум  
Июль 1-4, 2008 Санкт-Петербург, Россия**

**Эволюционно-  
экологические аспекты  
проблемы сохранения  
здоровья**

**А.Т. Терехин, Е.В. Будилова**

**Биологический факультет<sub>1</sub> МГУ  
Кафедра общей экологии**

## АНАТОЛИЙ ТИМОФЕЕВИЧ ТЕРЕХИН



Профессор  
кафедры общей экологии  
Биологического факультета  
МГУ им. М.В. Ломоносова,  
доктор биологических наук,  
кандидат технических наук

**Адрес:** 119992, Россия, Москва,  
Ленинские горы 1, строение 12,  
Биологический факультет МГУ,  
кафедра общей экологии

**Телефон:** +7(495)939-53-64

**E-mail:** [terekhin\\_a@mail.ru](mailto:terekhin_a@mail.ru)

---

### Научные публикации

|                              |                       |                   |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <u>Эволюционная экология</u> | <u>Нейронные сети</u> |                   |
| <u>Экология</u>              | <u>Биология</u>       | <u>Социология</u> |
| <u>Статистические методы</u> | <u>Наукометрия</u>    |                   |
| <u>Разное</u>                |                       |                   |

[http://ecology.genebee.msu.ru/3\\_SOTR/CV\\_Terekhin.htm](http://ecology.genebee.msu.ru/3_SOTR/CV_Terekhin.htm)

# Елена Вениаминовна Будилова



Старший научный сотрудник  
кафедры общей экологии  
Биологического факультета  
МГУ им. М.В. Ломоносова,  
кандидат технических наук

**Адрес:** 119992, Россия, Москва,  
Ленинские горы 1, строение 12,  
Биологический факультет МГУ,  
кафедра общей экологии

**Телефон:** +7(495)939-32-51

**E-mail:** [evbudilova@mail.ru](mailto:evbudilova@mail.ru)

**«Ничто в биологии не имеет смысла  
кроме как в свете ЭВОЛЮЦИИ»**



**Dobzhansky T.  
Nothing in biology makes sense  
except in the light of evolution.  
*American Biology Teacher,*  
1973, v. 35, 125-129.**

**Феодосий  
Добжанский  
(1900-1975)**

# Монографии по эволюционной медицине

Nesse R.M., Williams G.C. ***Why We Get Sick: The New Science of Darwinian Medicine***. Vantage Books, 1994.

P.W. Ewald. ***Evolution of Infectious Disease***. Oxford University Press, 1994.

M.T. McGuire and Troisi. ***Darwinian Psychiatry***. Harvard University Press, 1998.

S. Stearns (ed.). ***Evolution in Health and Disease***. Oxford University Press, 1998.

W.R. Trevathan, McKenna J.J, Smith E.O. ***Evolutionary Medicine***. Oxford University Press, 1999, 2007.

**Сайт:** ***<http://EvolutionAndMedicine.org>***. Ed. by R. Nesse, University of Michigan, USA

# Основные принципы эволюционной медицины

- 1) Эволюционирование патогенных микроорганизмов
- 2) Эволюционная интерпретация защитных механизмов
- 3) Несоответствие новой внешней среды прошлой эволюционной среде
- 4) Эволюционные ограничения
- 5) Эволюционные компромиссы (трейдофы)

# Примеры:

## 1) Эволюция патогенных микроорганизмов

### а) Эволюционное приспособление к антибиотикам



SELECTION FACTORS  
FAVORING HIGHER  
VIRULENCE

Intermediary disease vectors  
(Mosquitoes, health care workers'  
hands, unsanitary water supplies)  
Unprotected and/or promiscuous sex



SELECTION FACTORS  
FAVORING LOWER  
VIRULENCE

Casual human-to-human transmission  
(Sneezing, coughing, touch)  
Protected and/or monogamous sex

б) Эволюционное объяснение вирулентности: векторные инфекции более вирулентны

## **2) Эволюционная интерпретация защитных механизмов**

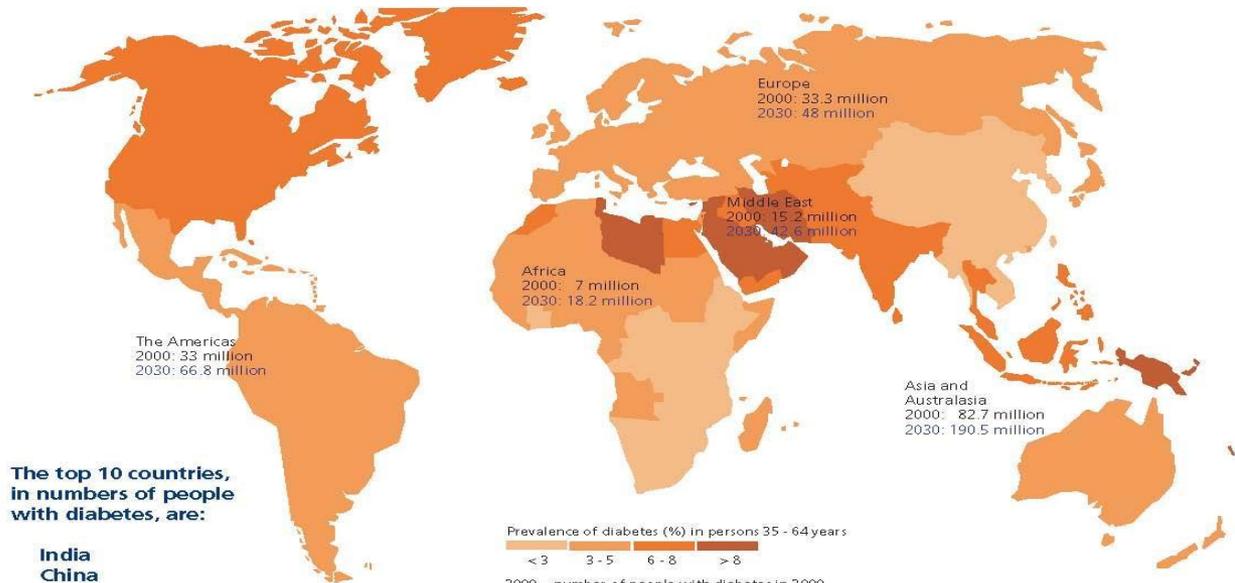
**Боль, лихорадка, кашель, чихание, диаррея могут быть с эволюционной точки зрения не проявлениями болезни, а защитными механизмами.**

**Однако эти защитные механизмы могут быть использованы патогенными организмами для своего распространения. Пример - холера (в отличие, например, от шигелло-бактериальной дизентерии).**

# 3) Несоответствие новой внешней среды прошлой эволюционной среде

**Примеры:** пища с большим содержанием жира, ГИПОДИНАМИЯ

Prevalence of diabetes



The top 10 countries, in numbers of people with diabetes, are:

India  
China  
USA  
Indonesia  
Japan  
Pakistan  
Russia  
Brazil  
Italy  
Bangladesh



| Year    |                          | 2000                            | 2030 |
|---------|--------------------------|---------------------------------|------|
| Ranking | Country                  | People with diabetes (millions) |      |
| 1       | India                    | 31.7                            | 79.4 |
| 2       | China                    | 20.8                            | 42.3 |
| 3       | United States of America | 17.7                            | 30.3 |

## 4) Эволюционные ограничения

### Примеры:

а) Родовые боли

б) Глаз человека несовершенен, по сравнению, например, с глазом кальмара, поскольку на сетчатке есть слепое пятно

#### Constraints

Example: The design of the human eye leads to a blind spot and allows for detached retinas. The squid eye is free of such problems.



## 5) Эволюционные компромиссы (трейдофы)

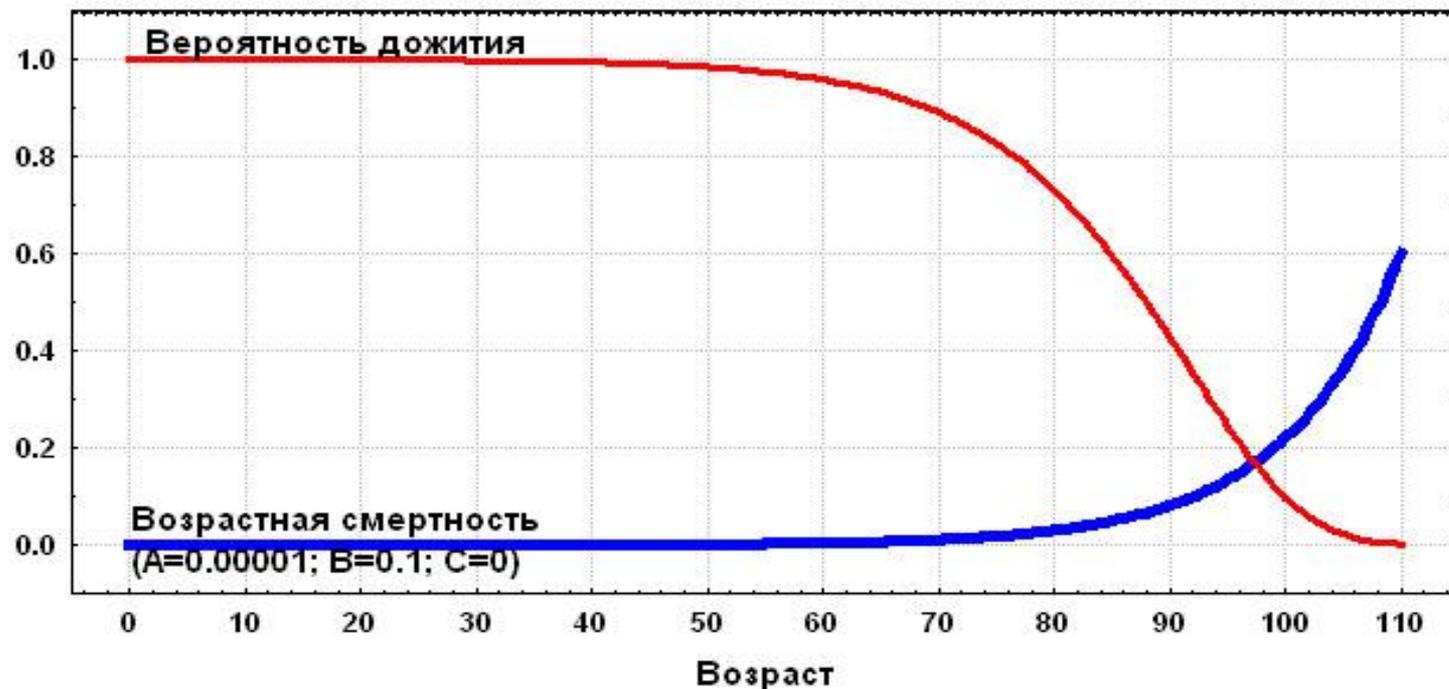
**Примеры:** а) серповидно-клеточная анемия

б) старение (репродукция vs репарация)

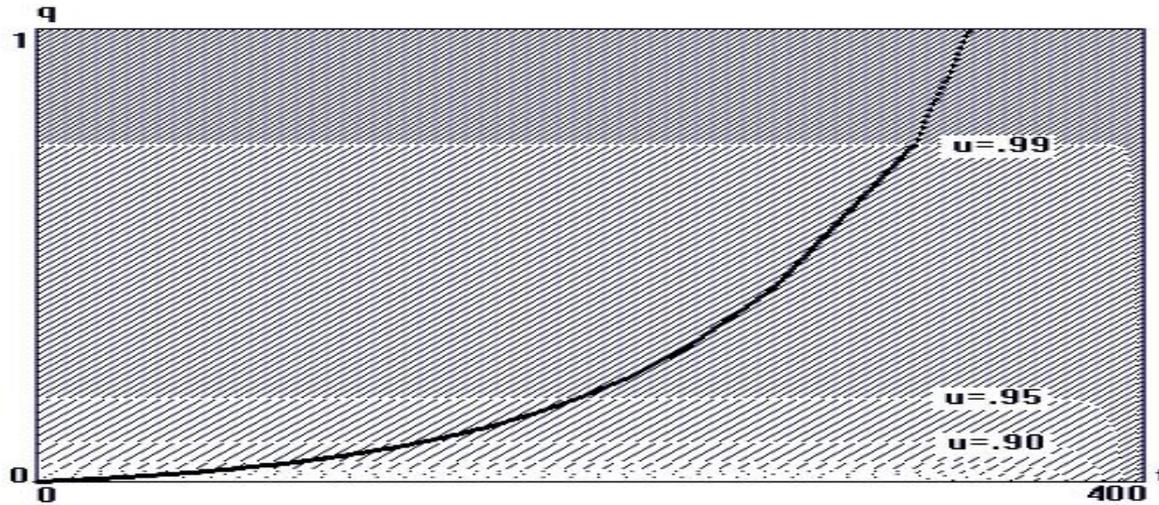
Уравнение Гомпертца (1825) – Мейкхэма (1860)

$$\mu(t) = Ae^{Bt} + C$$

(старение ускоряется с возрастом)



# Почему старение ускоряется с возрастом?



**Вывод:** с возрастным увеличением износа организма эволюционно оптимальным становится уменьшение расходов на репарацию в пользу репродукции, что приводит к еще более быстрому износу, который влечет дальнейшее сокращение расходов на репарацию и т.д.

Терехин А.Т.

**Почему старение организма ускоряется с возрастом – эволюционно-оптимизационная модель.** *Интеллектуальные системы*, 1997, т. 2, вып. 1-4.

Teriokhin A.T. **Evolutionarily optimal age schedule of repair: Computer modeling of energy allocation between current and future survival and reproduction.**

*Evolutionary Ecology*, 1998, v. 12, 291-307.

$$R_0 = \int_0^T u(t)l(t) dt$$

$$\frac{dl}{dt} = -\mu(t)l(t) \quad l(0) = 1$$

$$\mu(t) = a + p(t) + q(t)$$

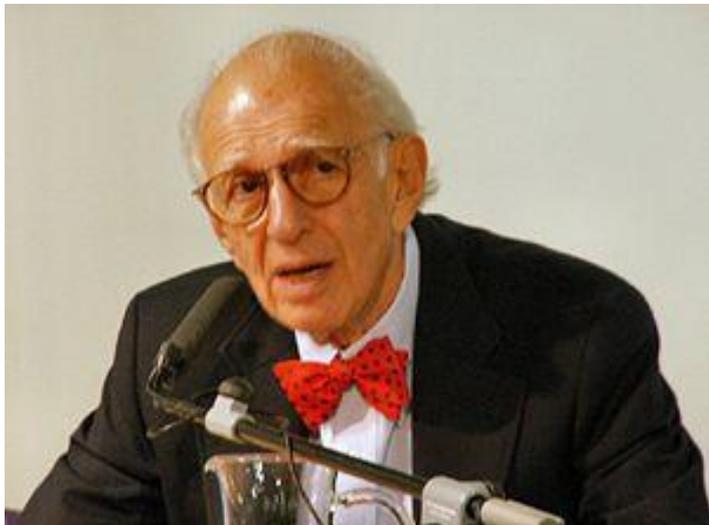
$$p(t) = \frac{c}{v(t)}$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{d}{w(t)} \quad q(0) = 0$$

$$u(t) + v(t) + w(t) = 1$$

## Пример: возрастное ослабление памяти

«Я думаю, что сейчас я более успешно работаю в науке, чем когда был молод. В науке очень важна проницательность (judgement), а я теперь лучше понимаю, какие проблемы важны, а какие – нет.»



*Эрик Кандел,  
лауреат Нобелевской премии  
по медицине 2000 г.  
77 лет*

# Уменьшение числа аттракторов при старении сети (по результатам компьютерного моделирования)

# Когнитивный эффект возрастного сглаживания функции энергии сети

Терехин А.Т., Будилова Е.В., Качалова Л.М.  
Когнитивные преимущества третьего возраста.  
Материалы конференции "Третий возраст:  
старшее поколение в современной  
информационной среде", Москва, СГА, 30 января  
2008 г.



# Что максимизирует эволюционный отбор?

Здоровье и долголетие

↑  
Репродукцию

↑  
Выживание видов

↑  
Выживание генов и мемов

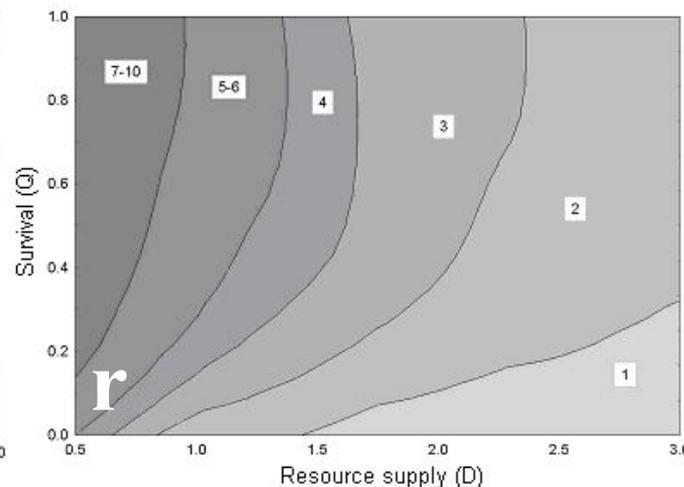
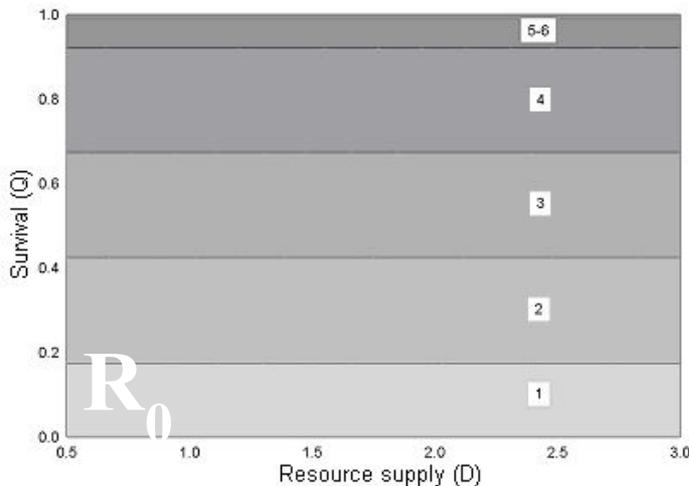
# $R_0$ или $r$ ?

$R_0$ , если действие отбора не зависит от возраста  
 $r$ , если действие отбора зависит от возраста

Anatoly T. Teriokhin and Elena V. Budilova

## The impact of different density stresses on the dynamics of two competitive populations

*Ecological Modelling*, Volume 212, Issues 1-2, 24 March 2008, 5-9



Оптимальная  
зависимость  
продолжительности  
жизни от пищи и  
безопасности среды  
при разном выборе  
критерия  
эволюционной  
безопасности

Hautekèete N.-C., Van Dijk H., Piquot Y., Teriokhin A.

**Evolutionary optimisation of life-history traits in the sea beet**

***Beta vulgaris* ssp. *maritima*: a confrontation of modelling and data.**

2008, *Acta Oecologica*, submitted.

Может ли наблюдаемый глобальный паттерн связи  
жизненного цикла человека с обеспеченностью  
питанием и агрессивностью среды быть объяснен  
эволюционной оптимизацией распределения энергии  
между ростом и размножением?

A.T. Teriokhin, F. Thomas, E.V. Budilova and J.F. Guégan

**The impact of environmental factors on human  
life-history evolution: an optimization  
modelling and data analysis study**

*Evolutionary Ecology Research*, 2003, 5: 1199–1221

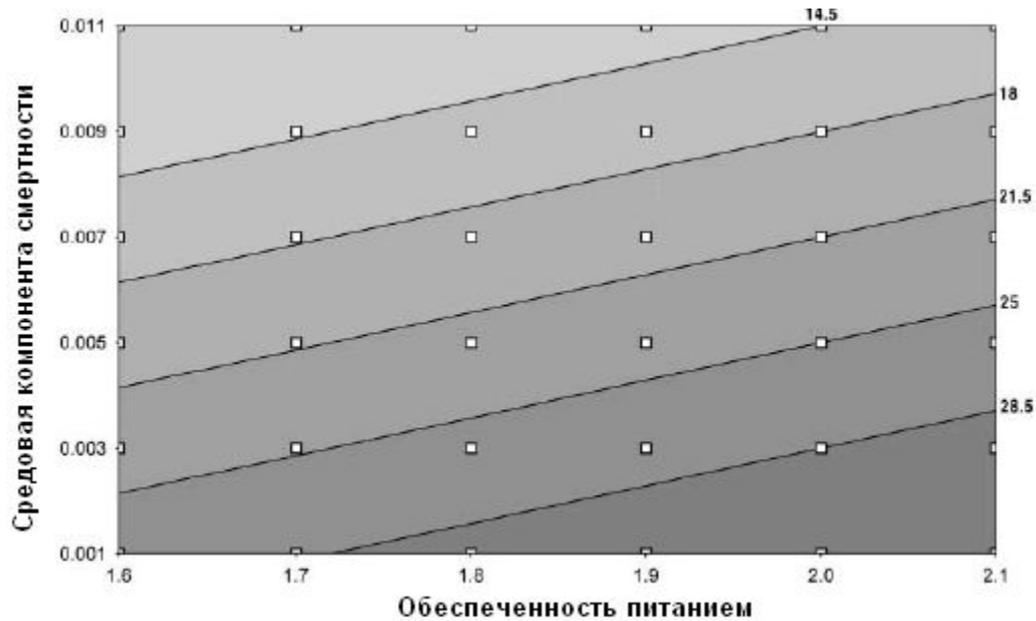
$E_t = aX_{t-1}^b$  - коэффициент  $a$  интерпретируется как обеспеченность питанием

$u_t, v_t, w_t$  - доли энергии, направляемые на репродукцию, выживание и рост

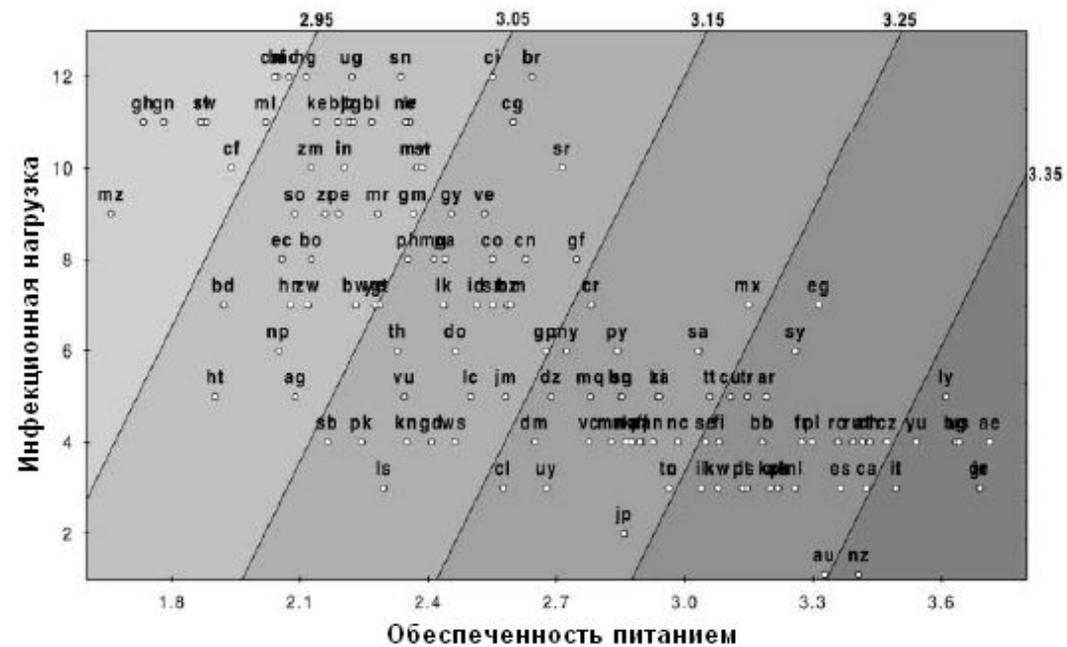
$P_t = \exp(-m) \frac{(v_t E_t)^d}{c + (v_t E_t)^d}$  (коэффициент  $m$  интерпретируется как средовая смертность,  $v_t$  - доля энергии, направляемая на выживание )

# Вес тела при рождении

Оптимизационная модель

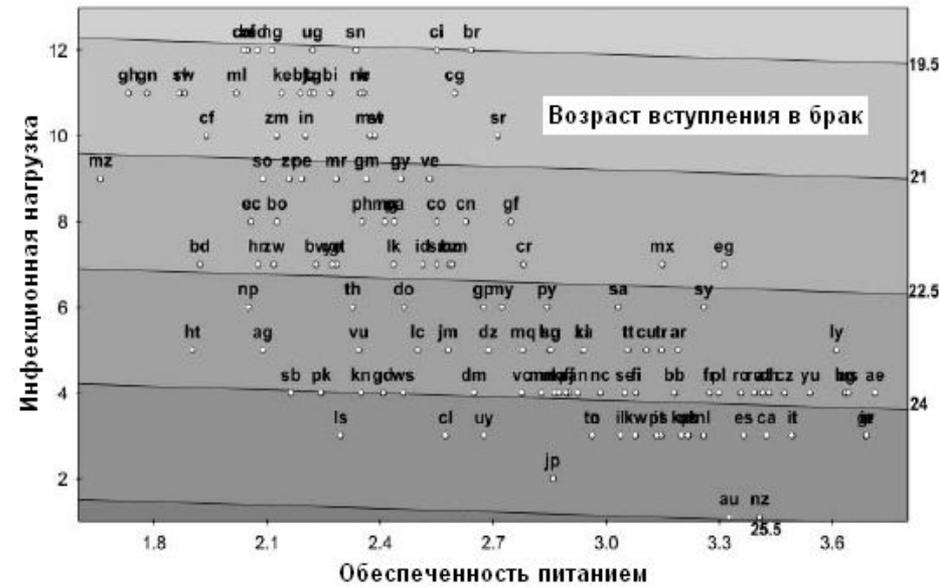
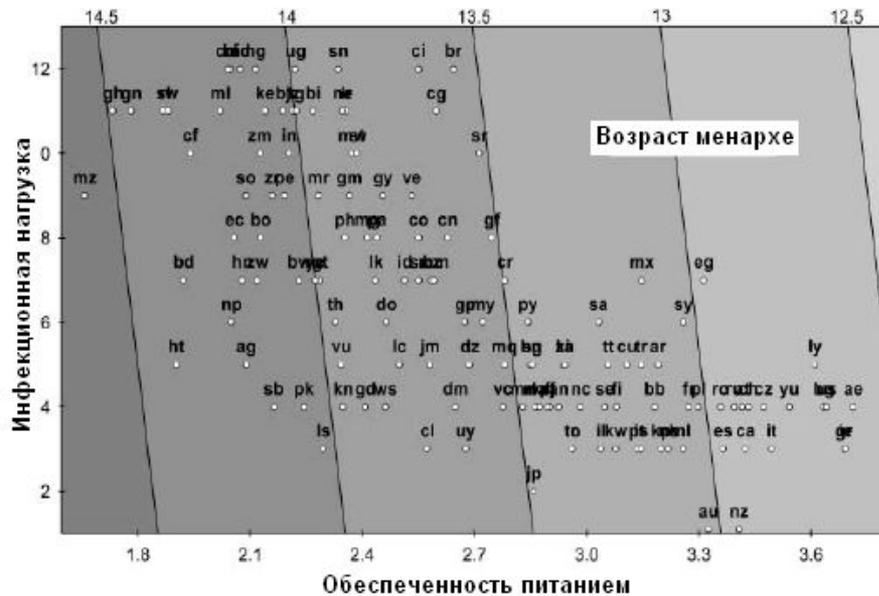
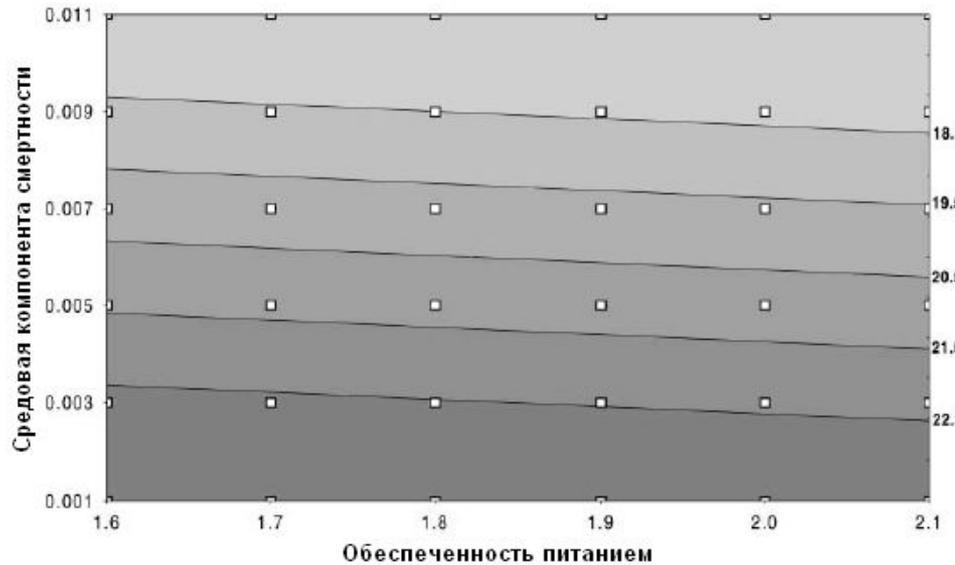


Наблюдаемый паттерн



# Возраст репродуктивной зрелости

Оптимизационная  
МОДЕЛЬ

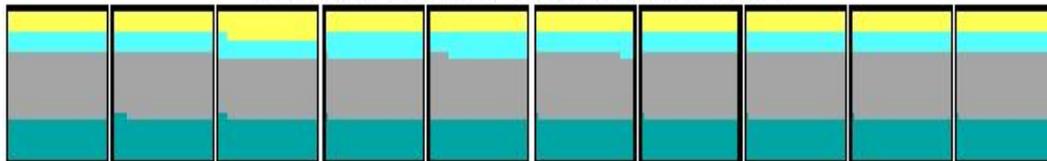


Наблюдаемые паттерны

# Почему женщины, по сравнению с мужчинами, имеют меньшую массу тела, более ранний возраст репродуктивной зрелости, большую продолжительность жизни и ограниченный репродуктивный период?

## Женщины

Оптимальная стратегия репарации



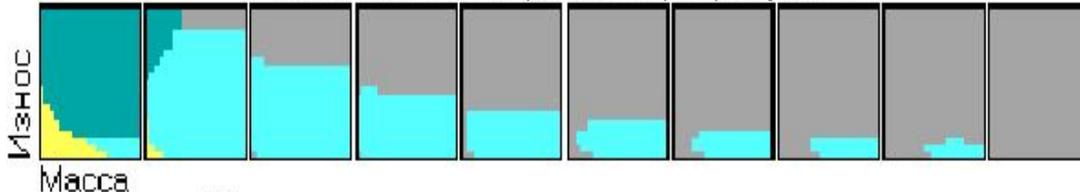
желтый – 0-10% на репарацию

голубой – 10-25%

серый – 25-45%

синий – 45-100%

Оптимальная стратегия репродукции



желтый – рост (0)

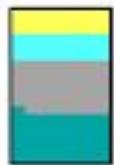
голубой – накопление репр. энергии (1)

серый – освобождение (2)

синий - менопауза (3)

— Накопленная репродуктивная энергия →

## Мужчины



Оптимальная стратегия репарации



Оптимальная стратегия репродукции

Teriokhin A.T., Budilova E.V.

**Evolutionarily optimal networks for controlling energy allocation to growth, reproduction and repair in men and women.**

*Artificial Neural Networks. Application to Ecology and Evolution* (ed. by S. Lek and J.F. Guegan). Berlin: Springer Verlag, 2000, 225-237.

Teriokhin A.T., Budilova E.V., Thomas F., Guegan J.F.

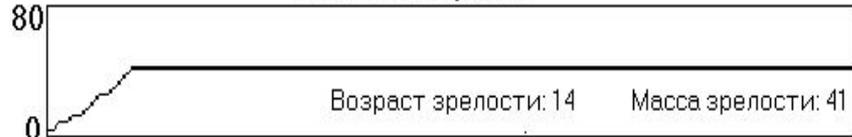
**Worldwide Variation in Life-Span Sexual Dimorphism and Sex-Specific Environmental Mortality Rates.**

*Human Biology*, August 2004, v. 76, no. 4, 623-641

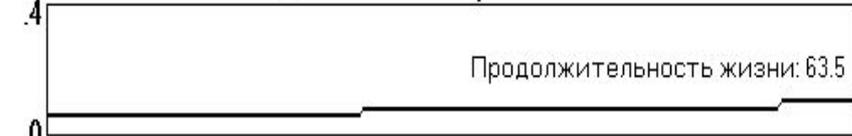
# Почему женщины, по сравнению с мужчинами, имеют меньшую массу тела, более ранний возраст репродуктивной зрелости, большую продолжительность жизни и ограниченный репродуктивный период?

## Женщины

Динамика роста



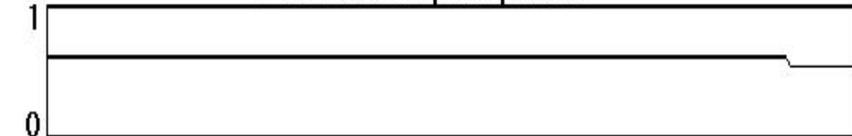
Динамика старения



Динамика репродуктивного накопления



Расходы на репарацию

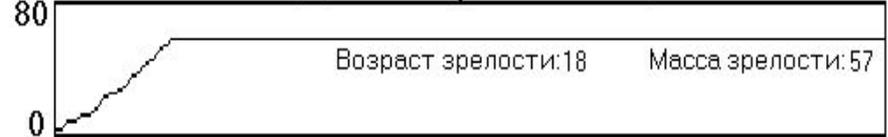


Стратегия репродукции

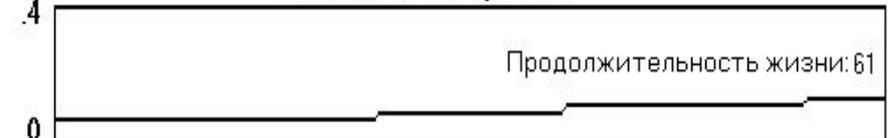


## Мужчины

Динамика роста



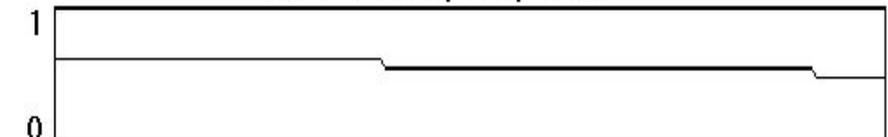
Динамика старения



Динамика репродуктивного накопления



Расходы на репарацию



Стратегия репродукции



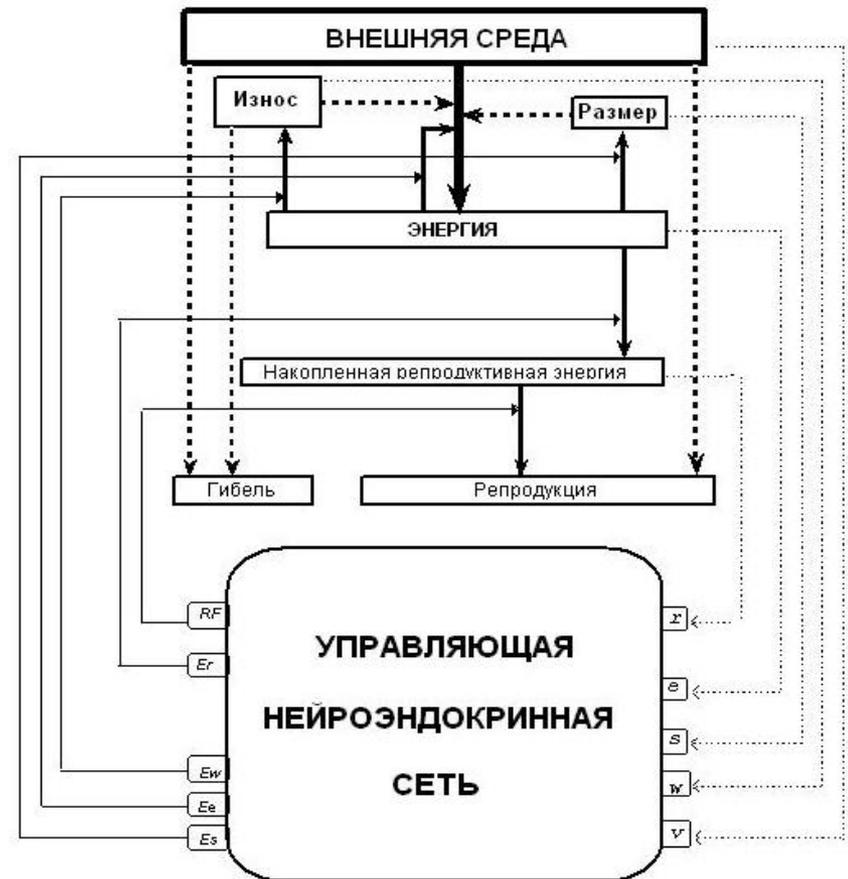
# Artificial Neuronal Networks



Application to Ecology  
and Evolution



Springer



**Teriokhin A.T., Budilova E.V. Evolutionarily optimal networks for controlling energy allocation to growth, reproduction and repair in men and women. *Artificial Neural Networks. Application to Ecology and Evolution* (ed. by S. Lek and J.F. Guegan). Berlin: Springer Verlag, 2000, 225-237.**

УДК 612.8

А. Т. ТЕРЕХИЦ, Е. В. БУДИЛОВА

## СЕТЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ

Биологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

*Дается обзор основных идей и понятий нового методологического подхода к описанию и пониманию регуляторных процессов в организме — так называемого коннекционистского, или сетевого, подхода. Рассматриваются сетевые модели нервной, иммунной, эндокринной и генной регуляции, вводится представление об организме как о целостной сетевой системе. Предлагается новый подход к регуляции состояния организма, названный авторами ассоциативным управлением, и обсуждаются его возможные применения для коррекции состояния организма.*

# Заключение

**Изучение эволюционно-экологических аспектов связи между окружающей средой и здоровьем позволяет глубже понять механизм этой связи и на этой основе выработать более эффективные стратегии улучшения здоровья**

First, some discomfoting conditions, such as pain, fever, cough, vomiting and anxiety, are actually neither diseases nor design defects but rather are evolved defenses.

Second, conflicts with other organisms—*Escherichia coli* or crocodiles, for instance—are a fact of life.

Third, some circumstances, such as the ready availability of dietary fats, are so recent that natural selection has not yet had a chance to deal with them.

Fourth, the body may fall victim to tradeoffs between a trait's benefits and its costs; a textbook example is the sickle cell gene, which also protects against malaria.

Fifth, the process of natural selection is constrained in ways that leave us with suboptimal design features, as in the case of the mammalian eye.

Why hasn't natural selection eliminated a particular disease?

Why do our bodies have certain flaws of engineering that make us susceptible to particular medical complications?

Might certain modern diseases and ailments be the result of a mismatch between our biological heritage and our modern-day lifestyles?

Are characteristic physiological responses to disease in fact adaptive defenses that have developed over evolutionary time? <sup>27</sup>

# Principles of natural selection generally applicable to understanding human biology in health and disease.

- 1) Natural selection cannot build perfect designs because it compromises between different adaptations – bipedal walking vs. large brain size.
- 2) Will maintain a disease gene if it confers an advantage in a particular environment – sickle cell disease, alpha- & beta-thalassemia, Hb E syndrome, G6PD deficiency, Tay-sachs, cystic fibrosis.
- 3) Has shaped many human genes to ancient lifestyles (i.e. a hunter-gathering versus modern life-way) explaining chronic diseases like obesity, and type II diabetes.
- 4) Favors genes maximizing reproduction even if they compromise health (PKU, hemochromatosis, fragile X syndrome etc.) or longevity (Alzheimer's, atherosclerosis, prostate hyperplasia)
- 5) Explains the "arms race" between pathogens and us. We have evolved defenses both natural – fever, diarrhea, vomiting, inflammation – and manufactured – antibiotics. Pathogens evolve counterstrategies like antibiotic resistance, and manipulation of our defenses for their spread.