Козлов Даниил Николаевич
daniilkozlov@gmail.com

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

1 курс магистратуры, весенний семестр 2014 г.

Преподаватель:

- Даниил Николаевич Козлов: daniilkozlov@gmail.com
- Кафедра физической географии и ландшафтоведения

Информационная поддержка:

- http://landscape.edu.ru
- лекционные и практические материалы, задания, статьи, ссылки на тематические сайты

Занятия:

- среда верхней недели 1-2 пары, 09:00-12:20, ауд. 2017, 2023
- лекции (50%), практические (50%)
- дома

Задания:

- реферат статьи 2012-13 года из каталога ELSEVIER
- тематические задания

Проверка знаний:

- практические (45%), вопросы экзамена (45%), активная работа (10%)

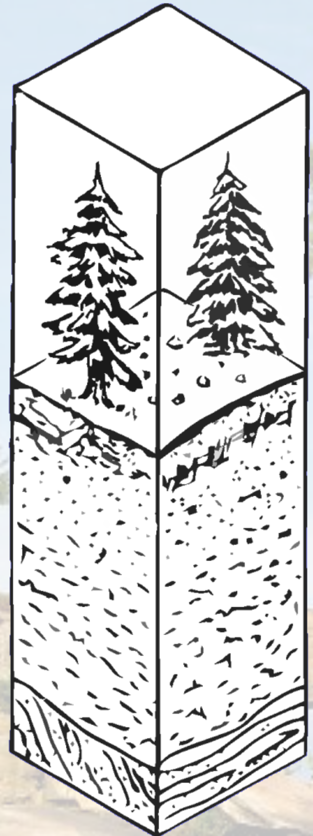
РАСПИСАНИЕ 2015

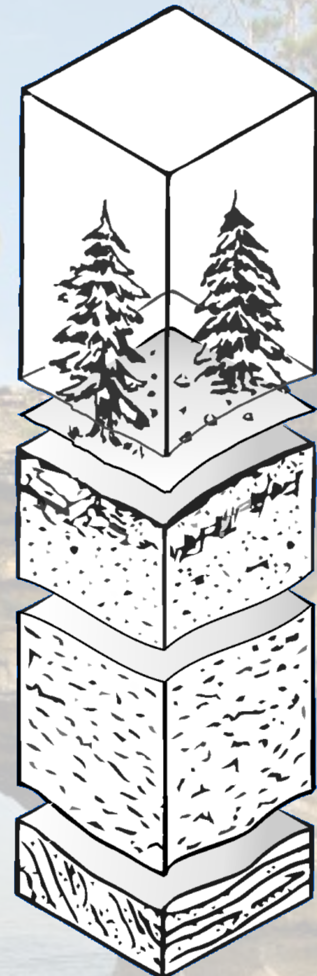
17.02	Цели, задачи и содержание курса Экспертные и формальные модели.	ДЗ
24.02 03.02 10.03	Проблемы статистического анализа данных в экологии и природопользовании	ДЗ
17.03 24.03	Проблемы цифрового картографического моделирования: геостатистика и индикационное картографирование	ДЗ
31.03 07.04	**Проблемы моделирования процессов самоорганизации в экологии и природопользовании**	**ДЗ**
14.04 21.04	Семинар по проблемам (доклады по статьям). Резерв	

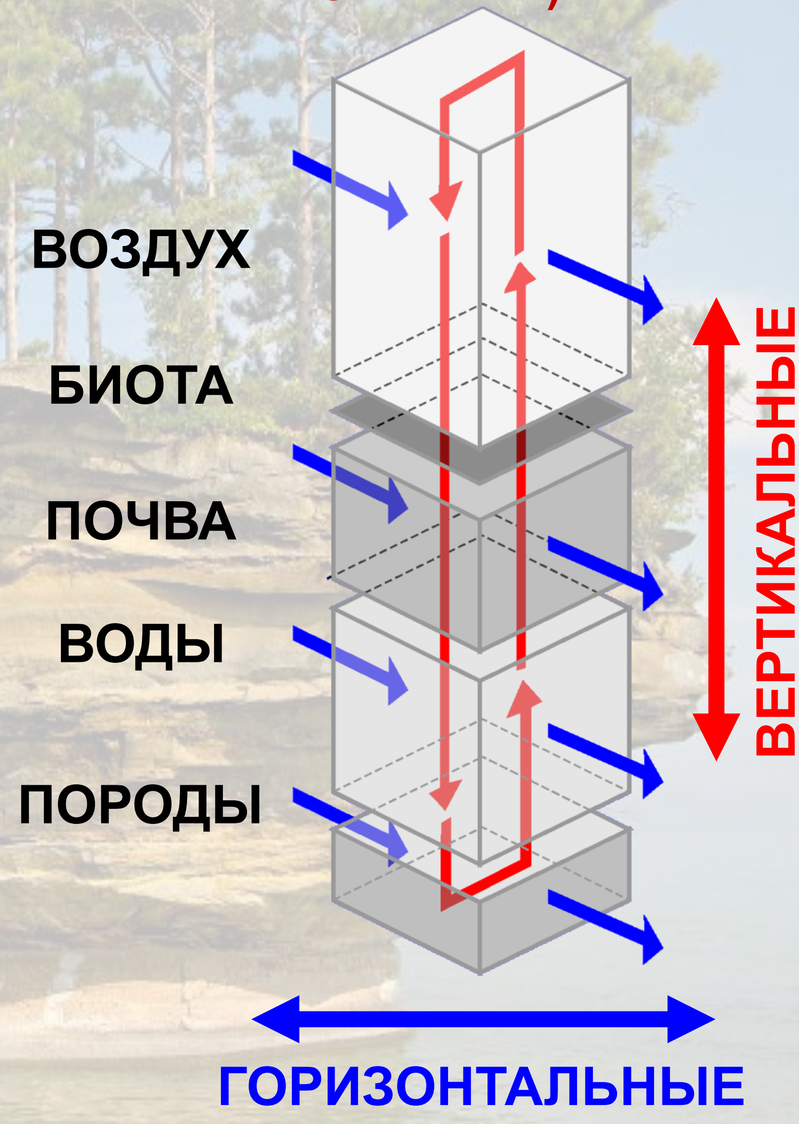
ИММИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

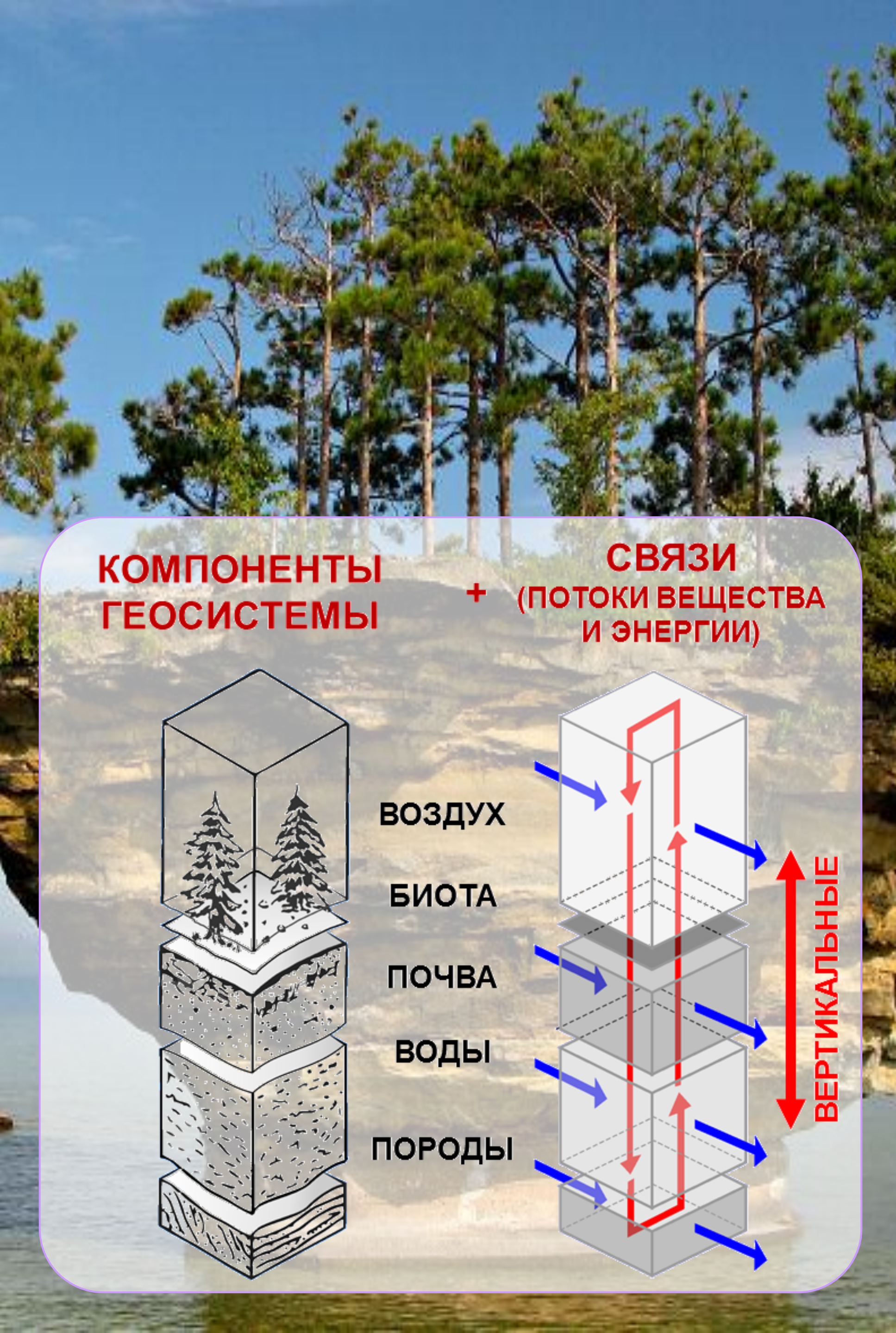
ГЕОСИСТЕМА = КОМПОНЕНТЫ ГЕОСИСТЕМЫ + СВЯЗИ (ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ)

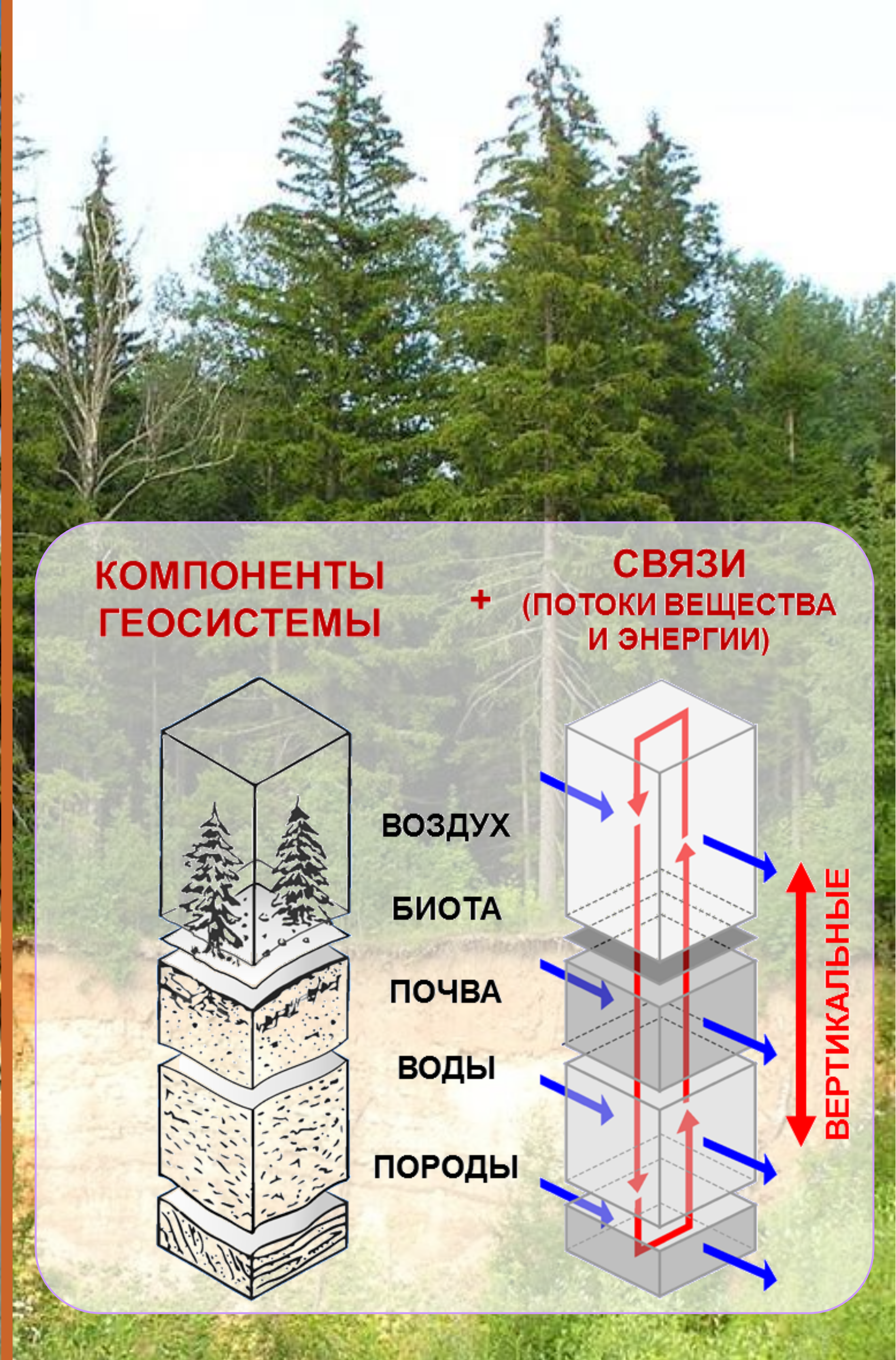




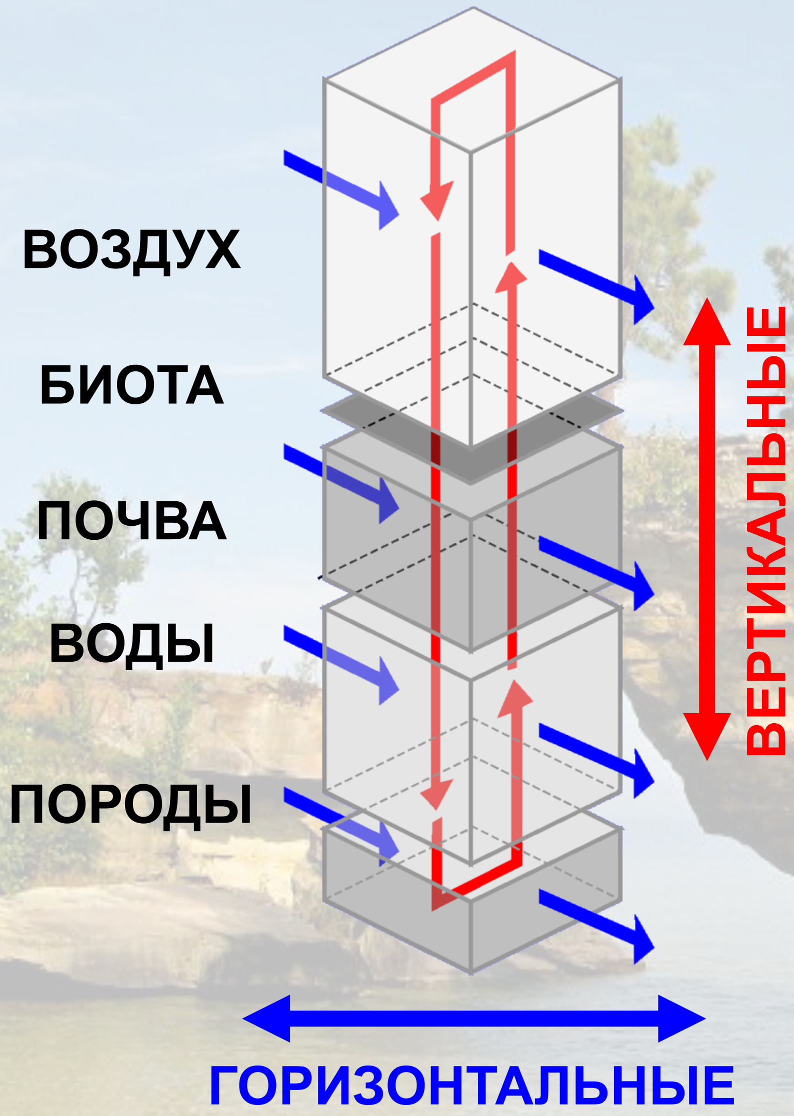


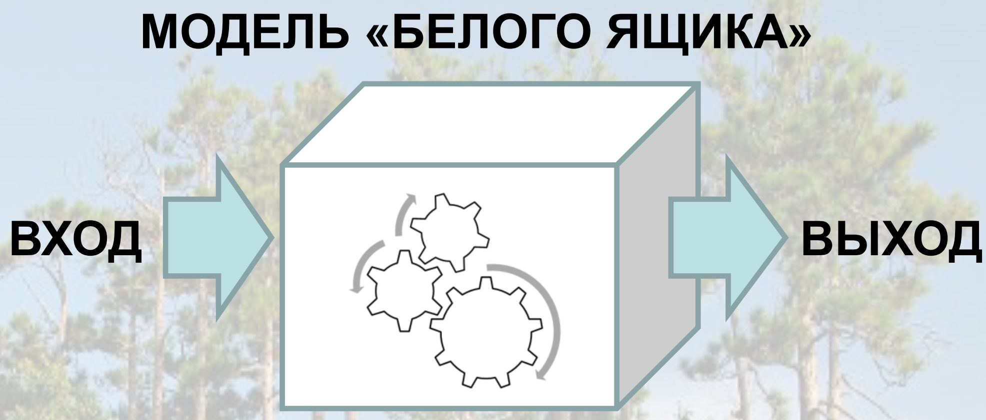
САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ С НОВЫМИ (ЭМЕРДЖЕНТНЫМИ) СВОЙСТВАМИ


КОМПОНЕНТЫ ГЕОСИСТЕМЫ
+
СВЯЗИ
(ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ)
ВОЗДУХ
БИОТА
ПОЧВА
ВОДЫ
ПОРОДЫ
ВЕРТИКАЛЬНЫЕ

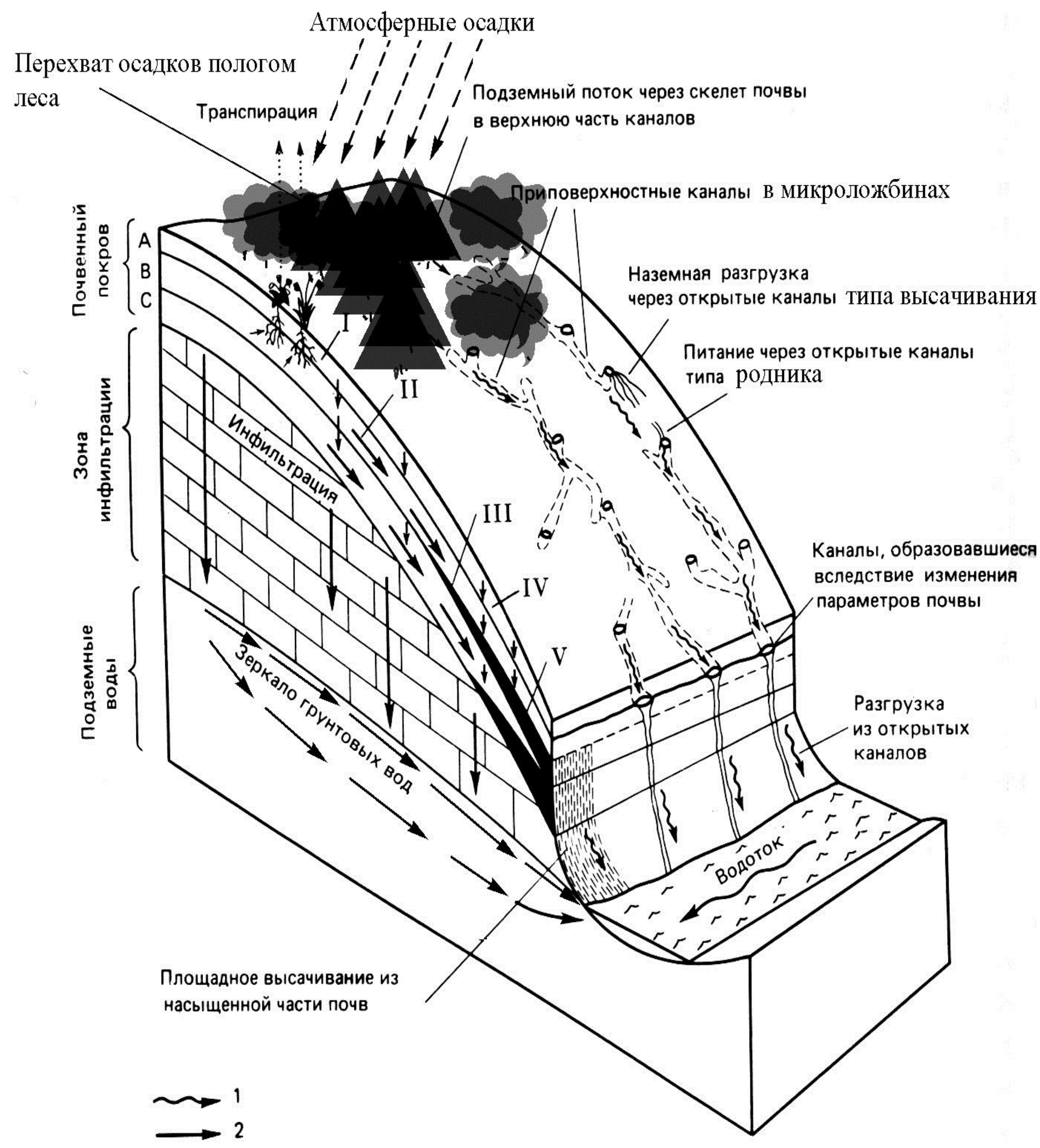

КОМПОНЕНТЫ ГЕОСИСТЕМЫ
+
СВЯЗИ
(ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ)
ВОЗДУХ
БИОТА
ПОЧВА
ВОДЫ
ПОРОДЫ
ВЕРТИКАЛЬНЫЕ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ





ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



ПЕРЕХВАТ ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ ПОЛОГОМ ЛЕСА

$$\frac{\partial R(z,t)}{\partial z} = -R(z,t)D(z,t)U(z)G(z)$$

$$\frac{\partial D(z,t)}{\partial t} = -R(z,t)D(z,t)G(z)/a(z) + [1-D(z,t)]E_0(z,t)/a(z)$$

$R(0,t) = R0(t)$; $D(z,0) = D0(z)$

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ДОЖДЕВОЙ СКЛОНОВЫЙ СТОК

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\sqrt{i(x)}}{n(x)}h^{5/3}\right] = R - I$$

$$h(0,t) = 0; \quad x = 0, \quad 0 \le t \le t_Q$$

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВЛАГИ В ПОЧВЕ :

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[D_W(\Theta)\frac{\partial \Theta}{\partial z} - K(\Theta)\right] - S(z,t)$$

$$\Theta(z,0) = \Theta_н(z) \qquad R(t) - E(t) = K(\Theta)\left(1 - \frac{\partial \psi}{\partial z}\right)\Big|_{z=0}$$

ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ – условия и ограничения

три фактора изменения численность популяции
рождаемость – смертность – миграция (эмиграции и иммиграции)

Глазами биолога четыре модели возрастающей сложности

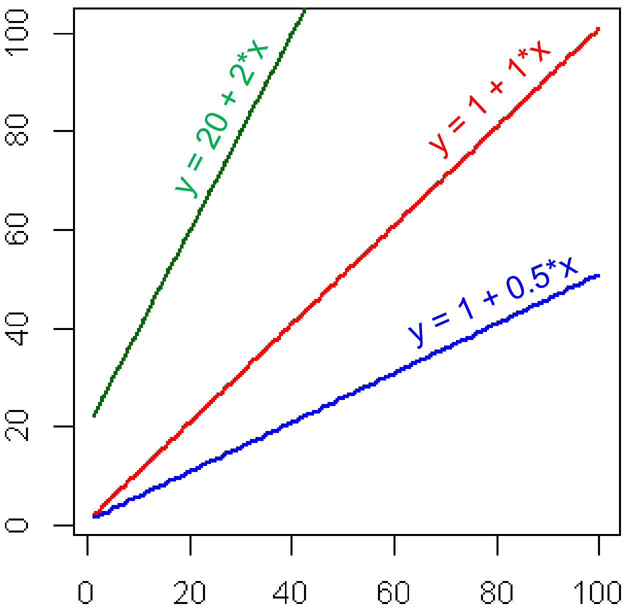
Популяция состоит из **N** неразличимых особей, связанных отношениями:

- **рождаемости и смертности** (естественный прирост);
- **рождаемости и внутривидовой конкурентной борьбой** (самоингибирование);
- **рождаемости и самоингибирования с запаздыванием;**
- **рождаемости/смертности**, самоингибирования с запаздываением, внутривидовой и межвидовой конкуренции

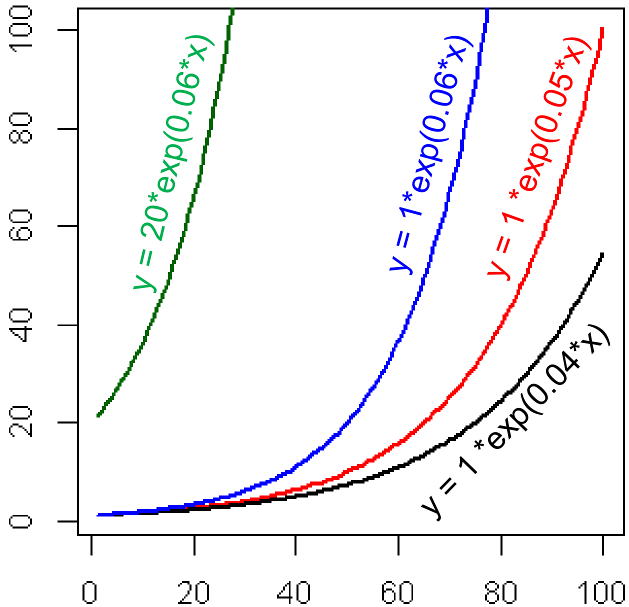
взгляд географа	**с позиции математика**	
	непрерывные	дискретные
сосредоточенные модели (рождаемость и смертность)	дифференциальные уравнения	алгебраические уравнения
пространственно-распределенные (миграция)	дифференциальные уравнения в частных производных	характерные модели (клеточные автоматы)

ГРАФИЧЕСКИЙ ОБРАЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

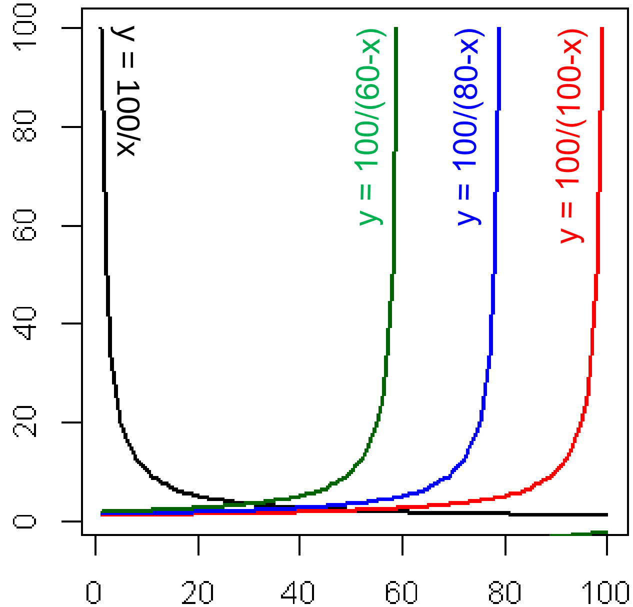
ЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ
y = a + b*x



ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ
y = a*exp(b*x) = a*e^(b*x)



ГИПЕРБОЛИЧЕКАЯ МОДЕЛЬ
y = a/(b-x)



a – пересечение с осью Y,
b – чувствительность Y к изменению X

a – макс. значение Y
b – критическое значение X, при котором Y → ∞

скорость изменений Y зависит от скорости изменения X
dY ~ a*dX

скорость изменений Y зависят от X
dY ~ a*X

скорость изменений Y зависят от X^2
dY ~ a*X^2

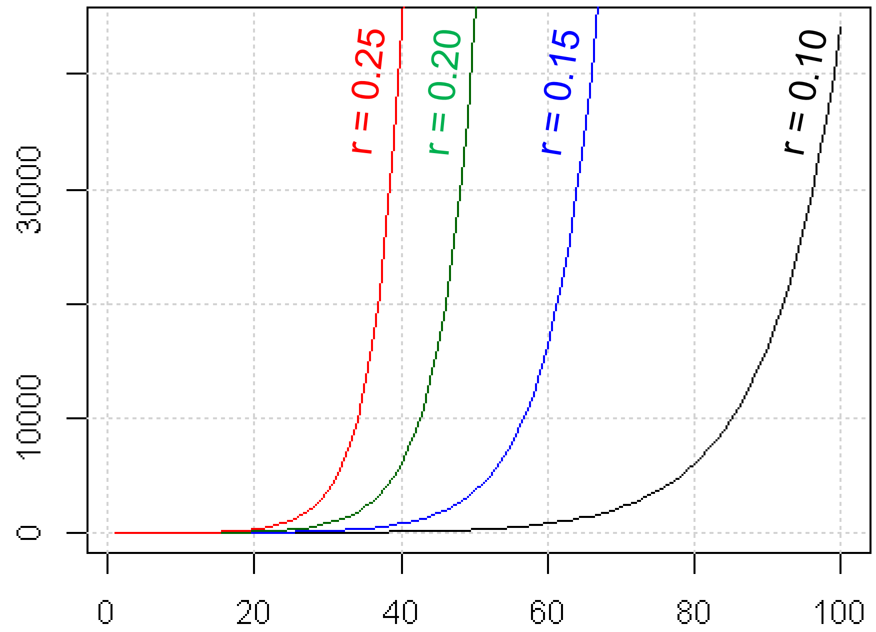
ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ – экспоненциальная модель роста

Популяция состоит из **N** неразличимых особей, связанных отношениями:

- **рождаемости (a) и смертности (b)**

$$dN/dt = r*N$$

т.е. приращение элементов зависит от числа элементов **N** и естественного прироста **r = a – b** (*Мальтус, 1798*)



Интегрирование по времени переводит систему
в отношение между начальной численностью популяции N_0 и численность на момент времени **t**

$$N_t = N_0*exp(r*t)$$

экспоненциальная модель роста в условиях неограниченности ресурсов

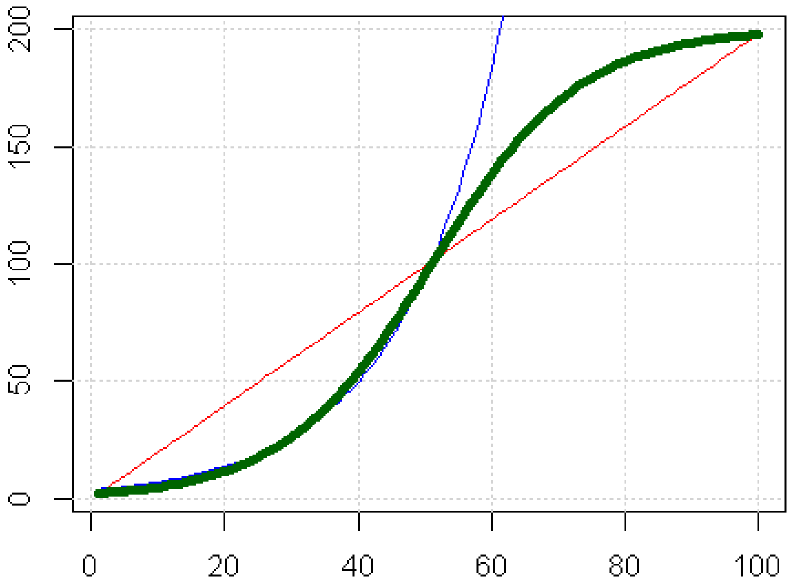
(освоение свободной экологической ниши)

```
t <- c(1:100) # дискретная шкала времени
N0 <- 2
plot(N0*exp(0.10*t), type="n", main="", xlab="", ylab="")
grid()
lines(t, N0*exp(0.10*t), type="l", col="black")     # r=0.10
lines(t, N0*exp(0.15*t), type="l", col="blue")      # r=0.15
lines(t, N0*exp(0.20*t), type="l", col="green")     # r=0.20
lines(t, N0*exp(0.25*t), type="l", col="red")       # r=0.25
```

ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ – логистическая модель роста

Популяция состоит из **N** неразличимых особей, связанных отношениями:

- **рождаемости, смертности и внутривидовой конкурентной борьбой** (самоингибирование)



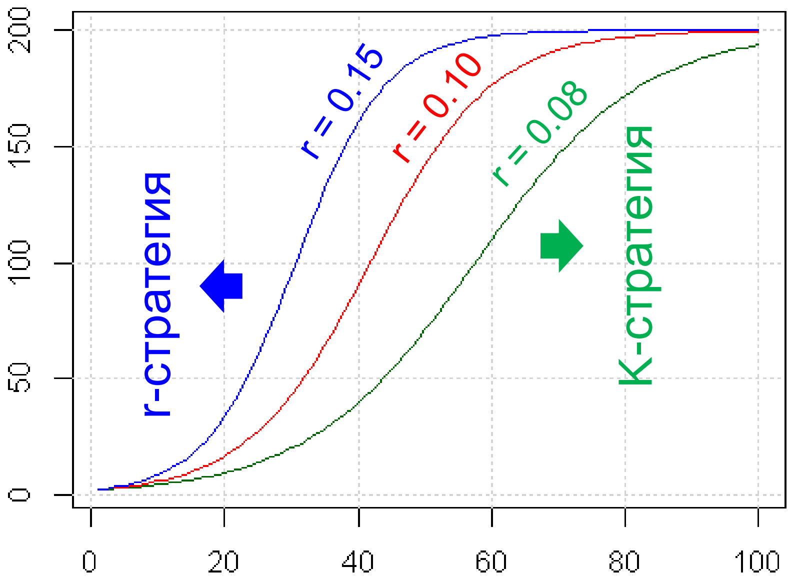
$$dN/dt = k*N, \quad k = r - c*N$$

(*Ферхюльст, 1840?*)

$$\frac{dN}{dt} = (r - cN)N = rN - cN^2 = rN\left(1 - \frac{cN}{r}\right)$$

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K}\right) \qquad K = \frac{r}{c}$$ – емкость среды

$$N_t = \frac{K \cdot N_0 \cdot e^{rt}}{K + N_0(e^{rt} - 1)}$$



логистическая модель роста в условиях ограниченности ресурсов

при Nt << K – экспоненциальный рост (~)

при Nt ≥ K/2 – самоингибирование

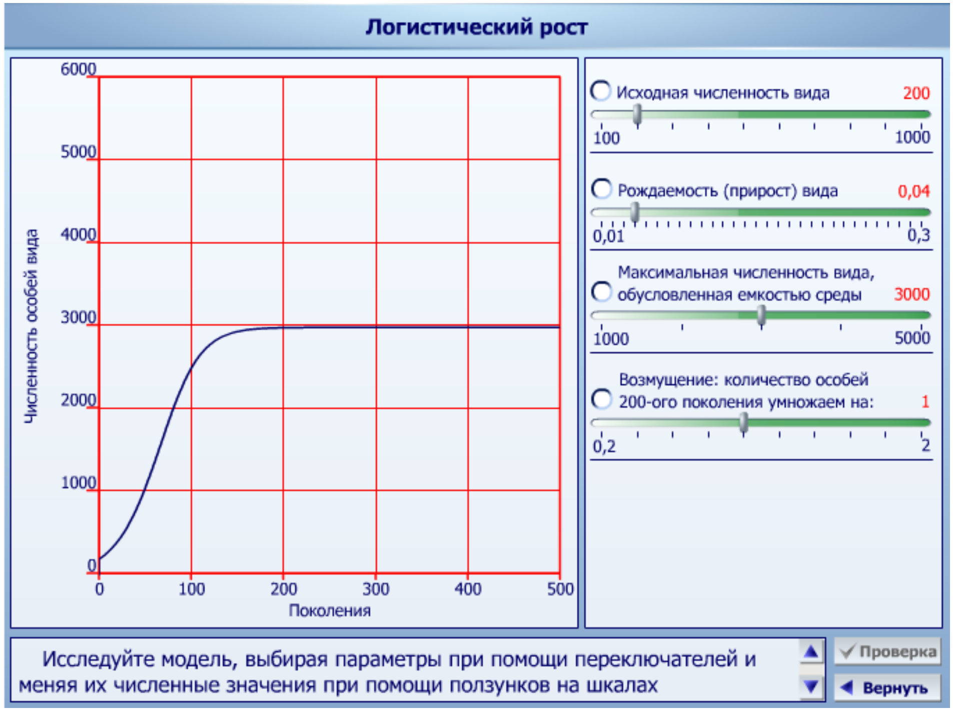
ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ

экспоненциальная модель роста в условиях неограниченности ресурсов

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

логистическая модель роста в условиях ограниченности ресурсов

$$N_t = \frac{K \cdot N_0 \cdot e^{rt}}{K + N_0(e^{rt} - 1)}$$



https://batrachos.com/Модель_Экспоненциальный_рост

https://batrachos.com/Модель_Логистический_рост

Д.А. Шабанов, А.Г. Козленко и М.А. Кравченко, 2008

ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ – логистическая модель роста

бифуркационная диаграмма

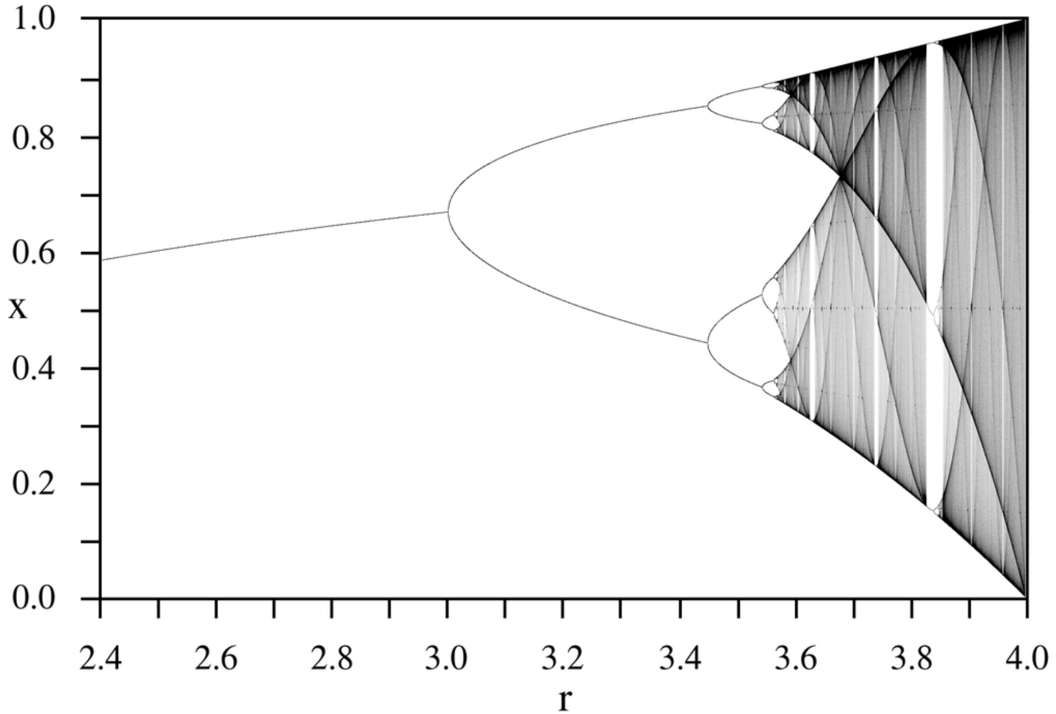
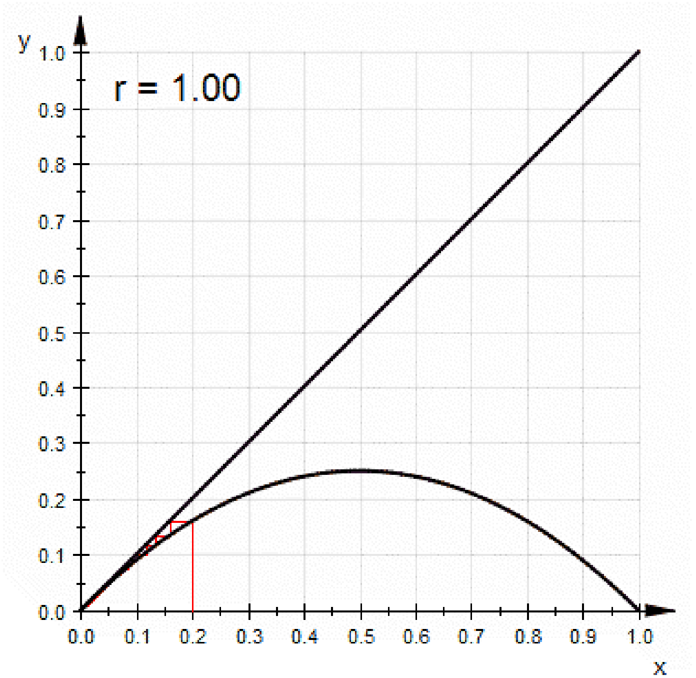


диаграмма Ламерея



$$x_{n+1} = r x_n (1 - x_n) \quad x = \frac{N}{N_{max}}$$

r ϵ (0:1) вымирание популяции, независимо от начальных условий;

r ϵ (1:2) стационарное значение, независимо от начальных условий;

r ϵ (2:3) стационарному значению, но вначале будет несколько колебаться вокруг него;

r ϵ (3;3.45) бесконечные колебания между двумя значениями;

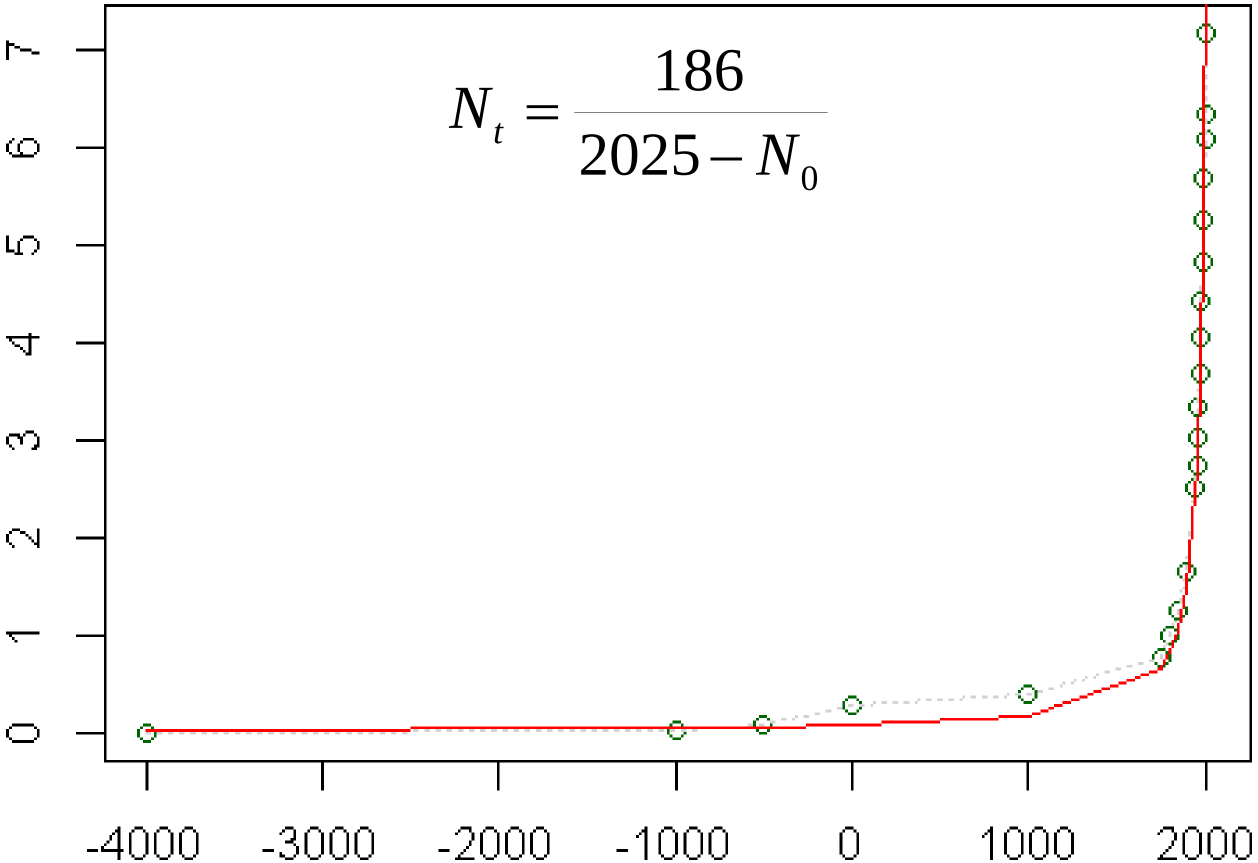
r ϵ (3.45; 3.54) бесконечные колебания между четырьмя значениями;

При дальнейшем увеличении r численность популяции будет колебаться между 8, 16, 32 и так далее значениями.

При значении приблизительно равном 3.57, начинается хаотическое поведение – небольшие изменения в начальных условиях приводят к несопоставимым отличиям дальнейшего поведения системы во времени. Однако существуют узкие, изолированные «окна» значений , при которых система ведет себя регулярно, обычно их называют «окнами периодичности».

ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ – гиперболическая модель роста

рост населения мира



Режим с обострением на основе положительной обратной связи. Определяется коллективным состоянием системы и выражается числом парных связей в системе населения мира. Так рост эффективно определяется взаимодействием, зависящим от объема знаний и информационных связей, которые играют основную роль в этом процессе.

Капица С. Модель роста населения Земли и экономического развития человечества // *Вопросы экономики*. 2000. № 12.

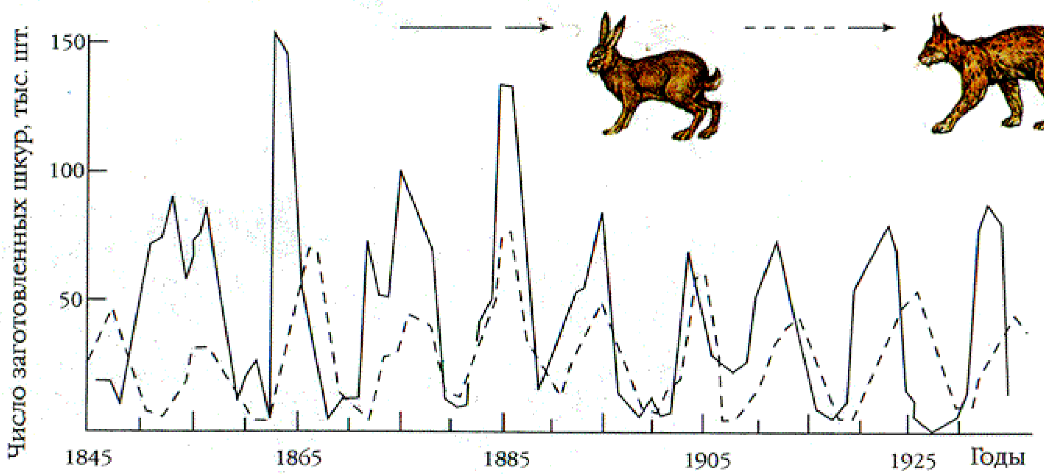
Капица С. П. Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. — М, 2002.

МОДЕЛЬ ХИЩНИК-ЖЕРТВА

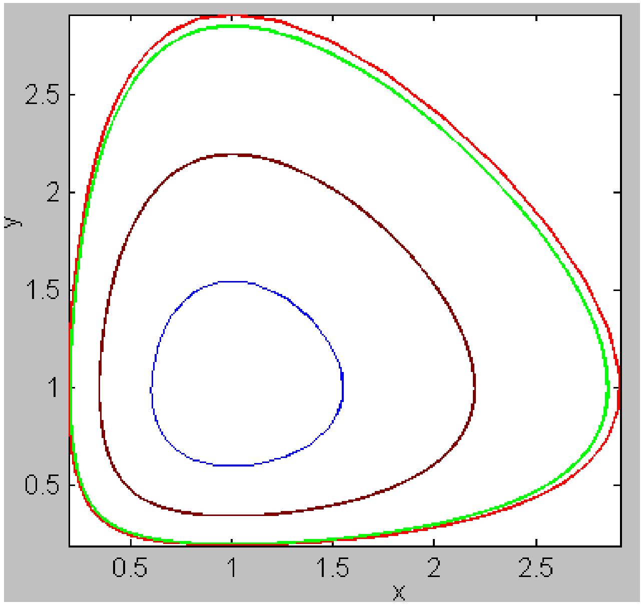
Популяция состоит из **N** неразличимых особей, связанных отношениями:

- **рождаемости, смертности**
- **внутривидовой и межвидовой конкуренции** (самоингибирование)

заготовка пушнины в Северной Америке, добытых Компанией Гудзонова залива



модель Лотки-Вольтерра (1925-1926 гг.)



численность хищника

численность жертвы

жертва (1) – $dN1/dt = r1 \times N_1 - \varepsilon \times N_1^2 - p1 \times N_1 \times N_2$, $\varepsilon = r1/K1$

хищник (2) – $dN2/dt = r2 \times N_2 - d \times N_1^2 + p2 \times N_1 \times N_2$, $d = r2/K2$

r – коэффициент рождаемости жертвы (хищника),

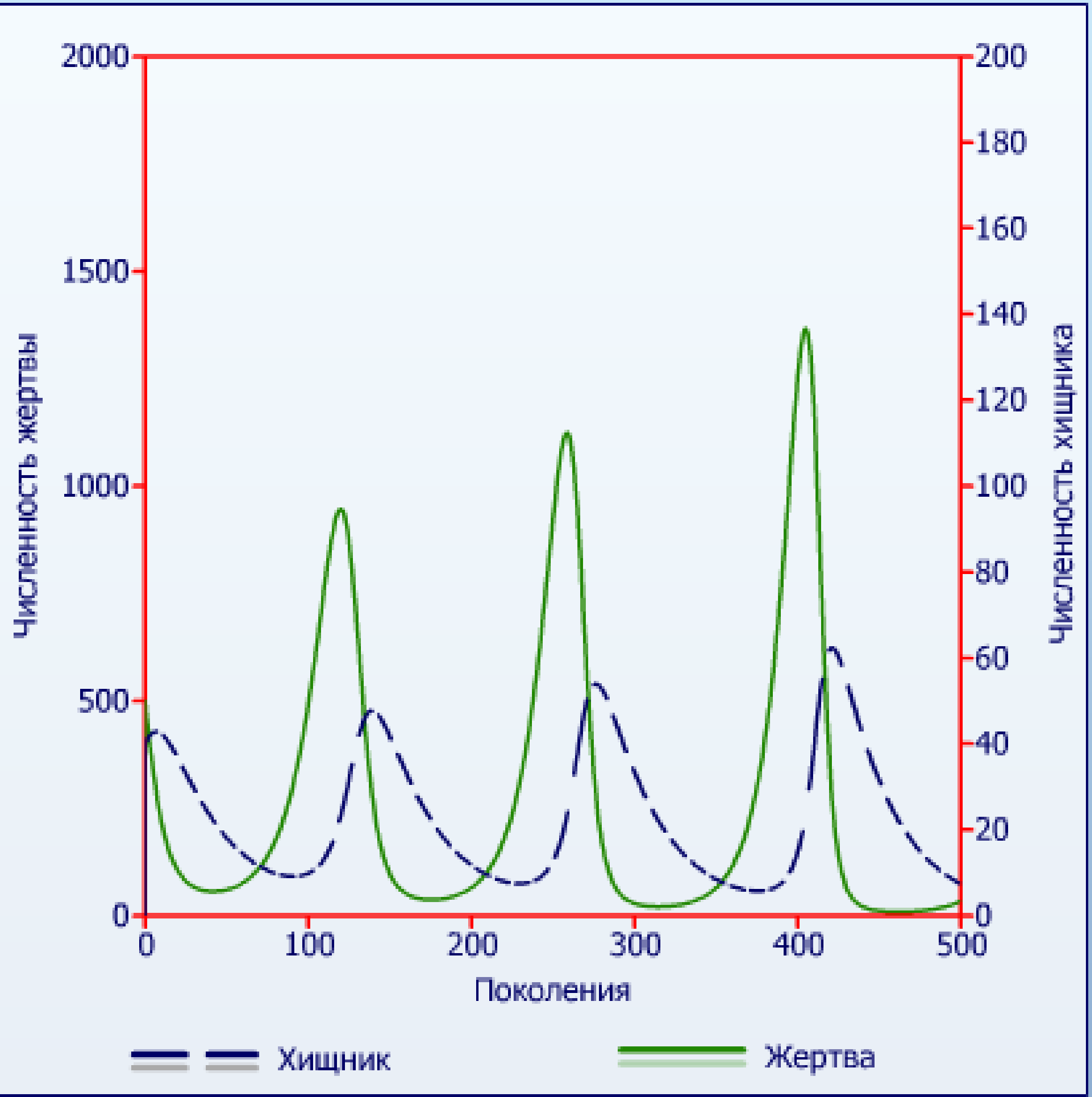
K - емкость среды,

p - вероятность успешной охоты

http://batrachos.com/Модель_Хищник-жертва

МОДЕЛЬ ХИЩНИК-ЖЕРТВА

http://batrachos.com/Модель_Хищник-жертва



Исследуйте модель, выбирая параметры при помощи переключателей и меняя их численные значения при помощи ползунков на шкалах

Далее
Вернуть

ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ – условия и ограничения

три фактора изменения численность популяции
рождаемость – смертность – миграция (эмиграции и иммиграции)

Глазами биолога четыре модели возрастающей сложности

Популяция состоит из **N** неразличимых особей, связанных отношениями:

- **рождаемости и смертности** (естественный прирост);
- **рождаемости и внутривидовой конкурентной борьбой** (самоингибирование);
- **рождаемости и самоингибирования с запаздыванием;**
- **рождаемости/смертности**, самоингибирования с запаздываением, внутривидовой и межвидовой конкуренции

взгляд географа	**с позиции математика**	
	непрерывные	дискретные
сосредоточенные модели (рождаемость и смертность)	дифференциальные уравнения	алгебраические уравнения
пространственно-распределенные (миграция)	дифференциальные уравнения в частных производных	характерные модели (клеточные автоматы)

КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ GOLLY

sourceforge

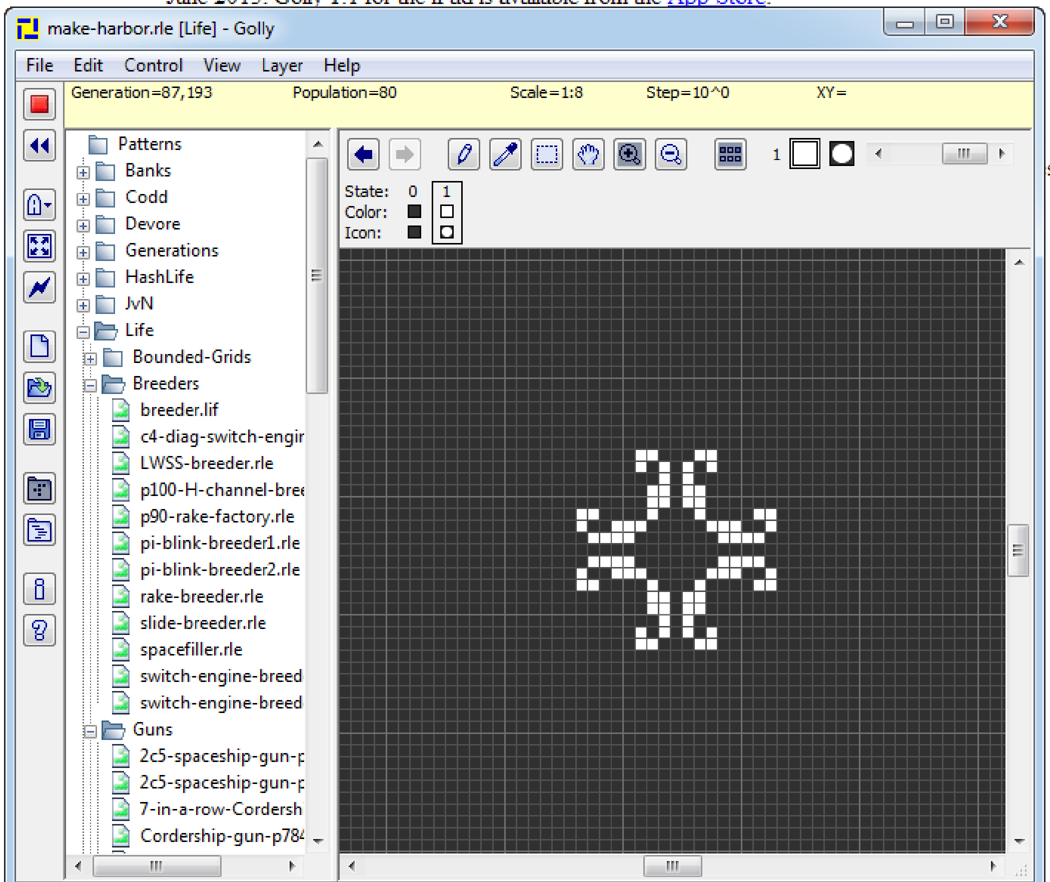
built with wxWidgets Cross-Platform GUI Library

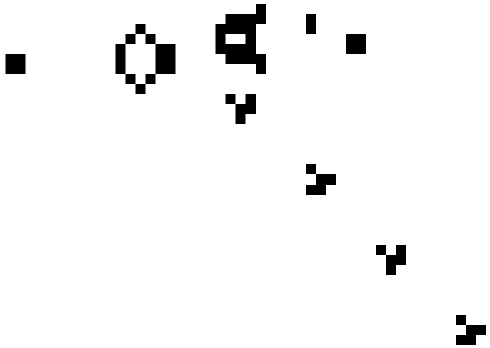
http://golly.sourceforge.net/

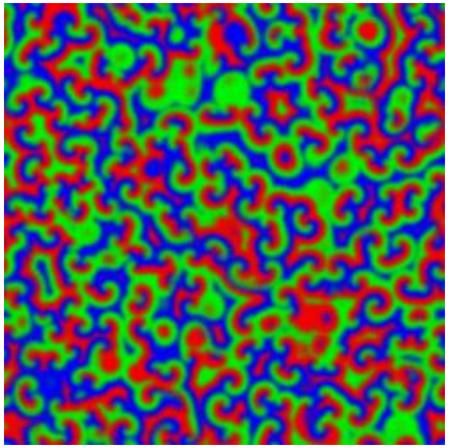
Golly is an open source, cross-platform application for exploring Conway's Game of Life and other cellular automata. The primary authors are Andrew Trevorrow and Tom Rokicki, with code contributions by Tim Hutton, Dave Greene, Jason Summers, Maks Verver and Robert Munafo.

NEWS:

- December 2013: Golly 2.6 for Windows/Mac/Linux has been released (see the changes).
- November 2013: Golly 1.0 for Android is now available at Google Play.
- June 2013: Golly 1.1 for the iPad is available from the App Store.







ЗАДАНИЕ

- Рассмотреть влияние управляющих параметров на кривые численности особей модельного сообщества с экспоненциальным, логистическим ростом и с отношениями «Хищник-Жертва»;
- Прочитать описание, историю и область применения Клеточных автоматов и их частного случая Игра Жизнь (англ. Conway's Game of Life);
- Скачать-установить-запустить программу Golly - простое и удобное средство моделирования клеточных автоматов. С ее помощью открыть из библиотеки несколько моделей, например HashLife-mosquito5.mc, и попробовать нарисовать несколько собственных;
- Посмотреть видеоролик, демонстрирующий реализацию модели "Хищник-жертва" средствами клеточных автоматов.