

Математические модели в экологии в СССР



Галина Юрьевна
Ризниченко

Кафедра биофизики
биологического ф-та
Московского государственного
университета им.
М.В.Ломоносова,

Пушино Экомод октябрь 2013

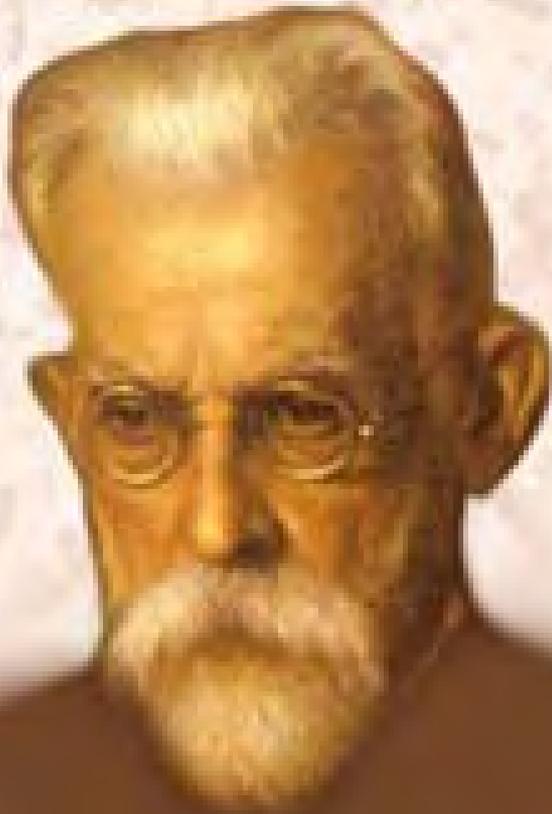
тел: +7(095)9390289; E-mail:
riznich@biophys.msu.ru

Владимир Иванович Вернадский

(1863-1945)

«Большая часть научной работы заключается в поиске математических соотношений.

Найдя их, наш ум успокаивается, и нам кажется, что вопрос, который нас мучил, решен.»

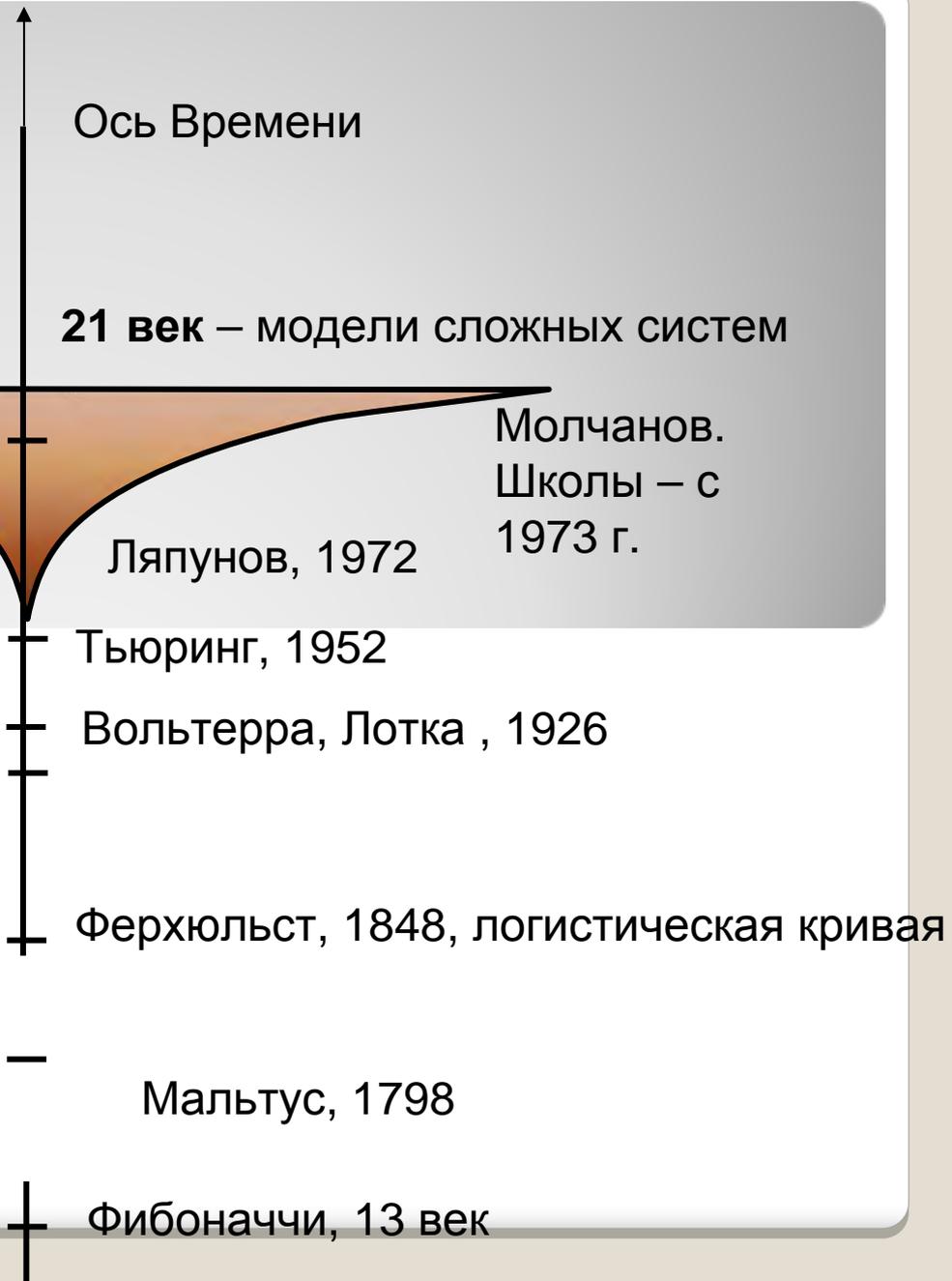


Модели в биологии и экологии

2-я половина 20 века.
Качественные (базовые)
нелинейные модели

1900

1800



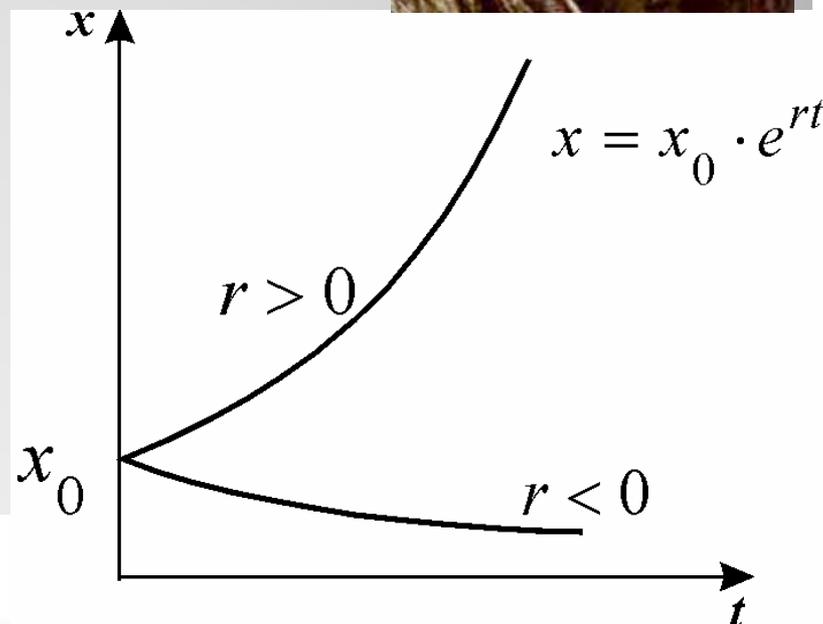
Докомпьютерная эра – линейный мир.

Линейный мир

- **Линейное дифференциальное уравнение.**

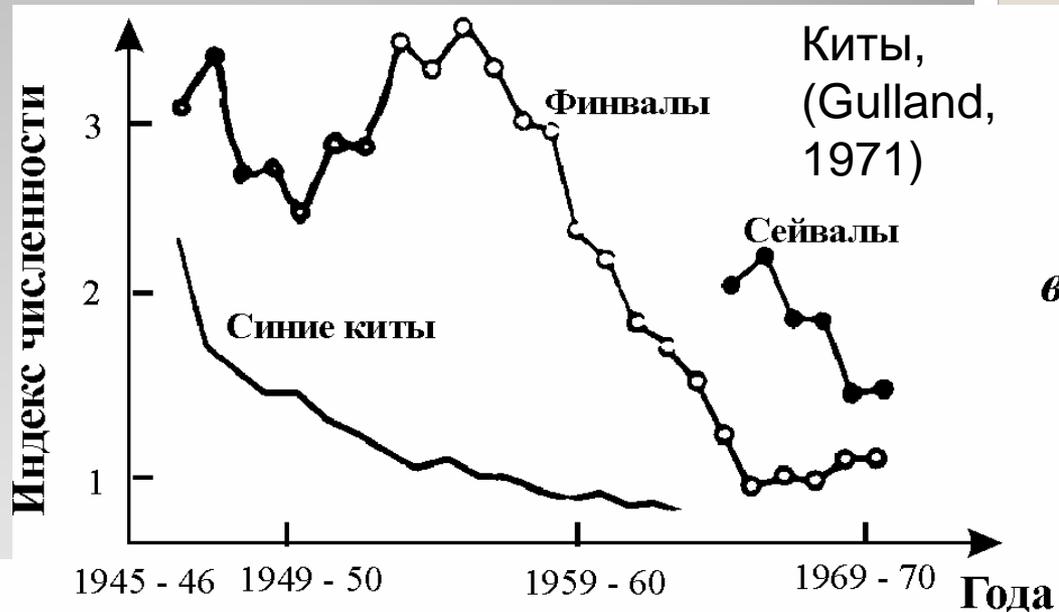
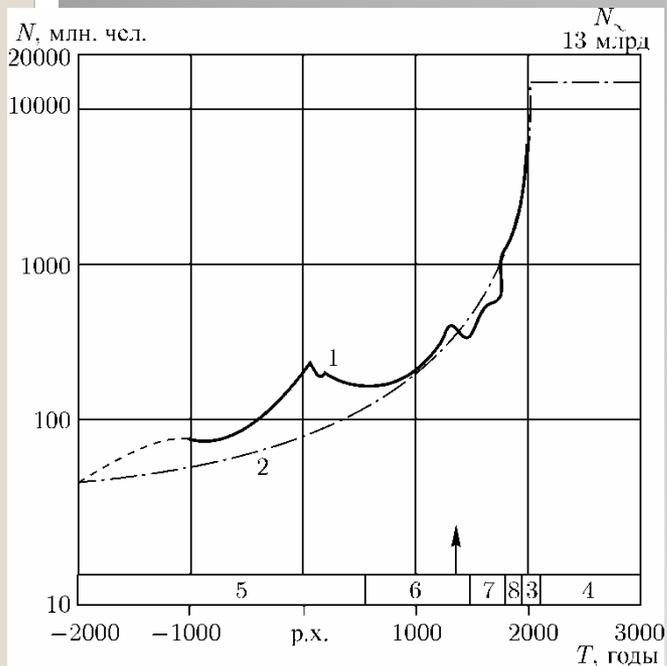
Уравнение роста популяции Мальтуса (1798)

$$\frac{dx}{dt} = rx .$$

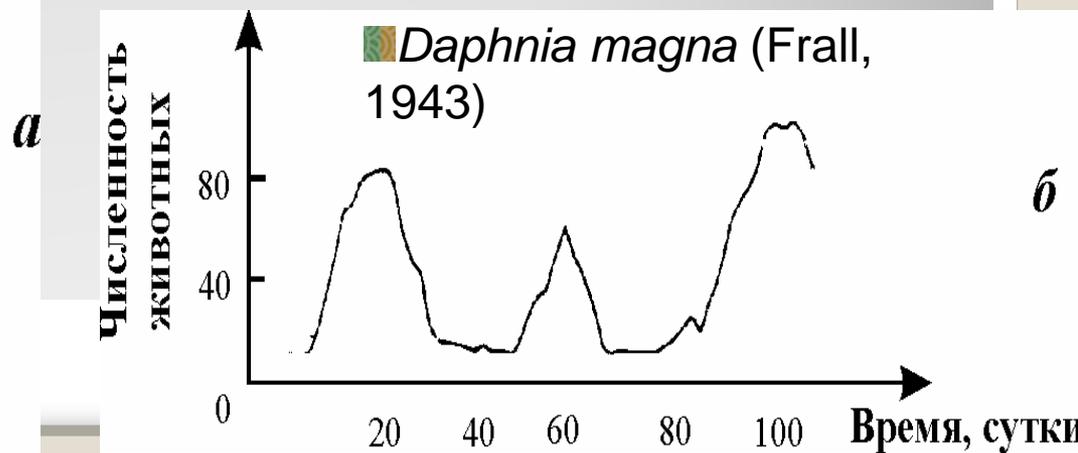


Нелинейный мир

Рост человечества. Капица. 2004



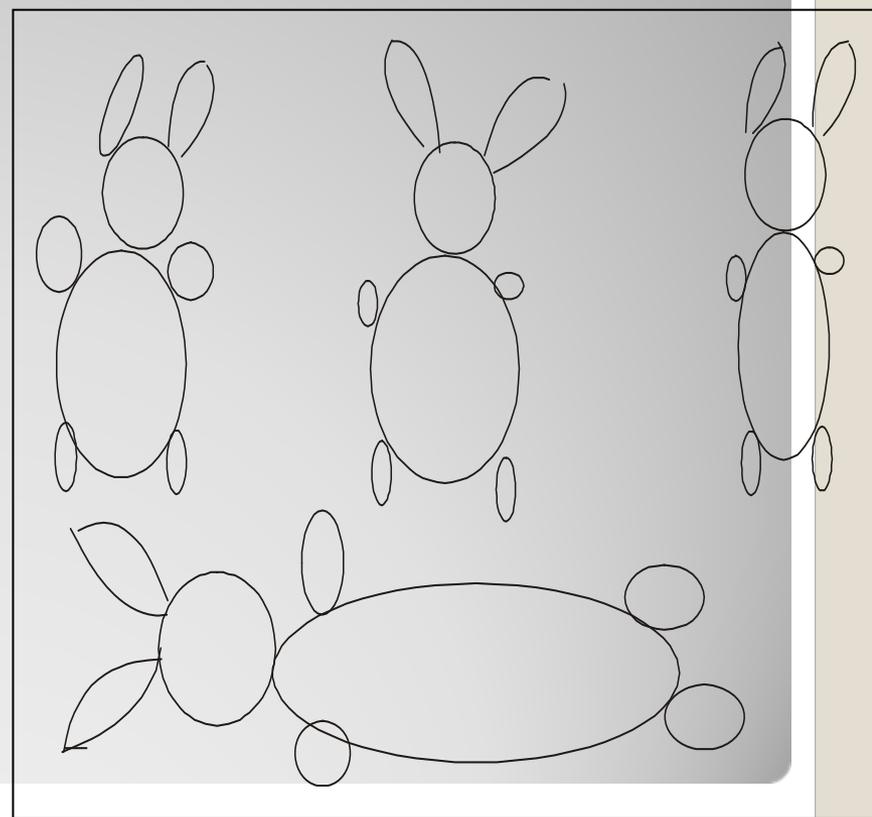
Поголовье овец, тыс.



Уравнение логистического роста (Ферхюльст, 1845)

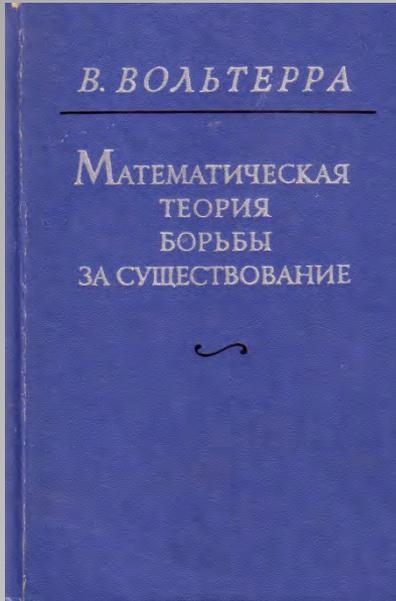
$$\frac{dx}{dt} = rx\left(1 - \frac{x}{K}\right)$$

r – константа скорости роста
 K – емкость экологической ниши



K – системный фактор

• Вито Вольтерра



Vito Volterra. Lecons sur la Theorie Mathematique de la Lutte pour la Vie. Paris, 1931).

Русский перевод книги Вольтерра вышел в 1976 г. под названием: «Математическая теория борьбы за существование» М., Наука, 1976
Изд. РХД, 2004

Послесловие Ю.М.Свирижева

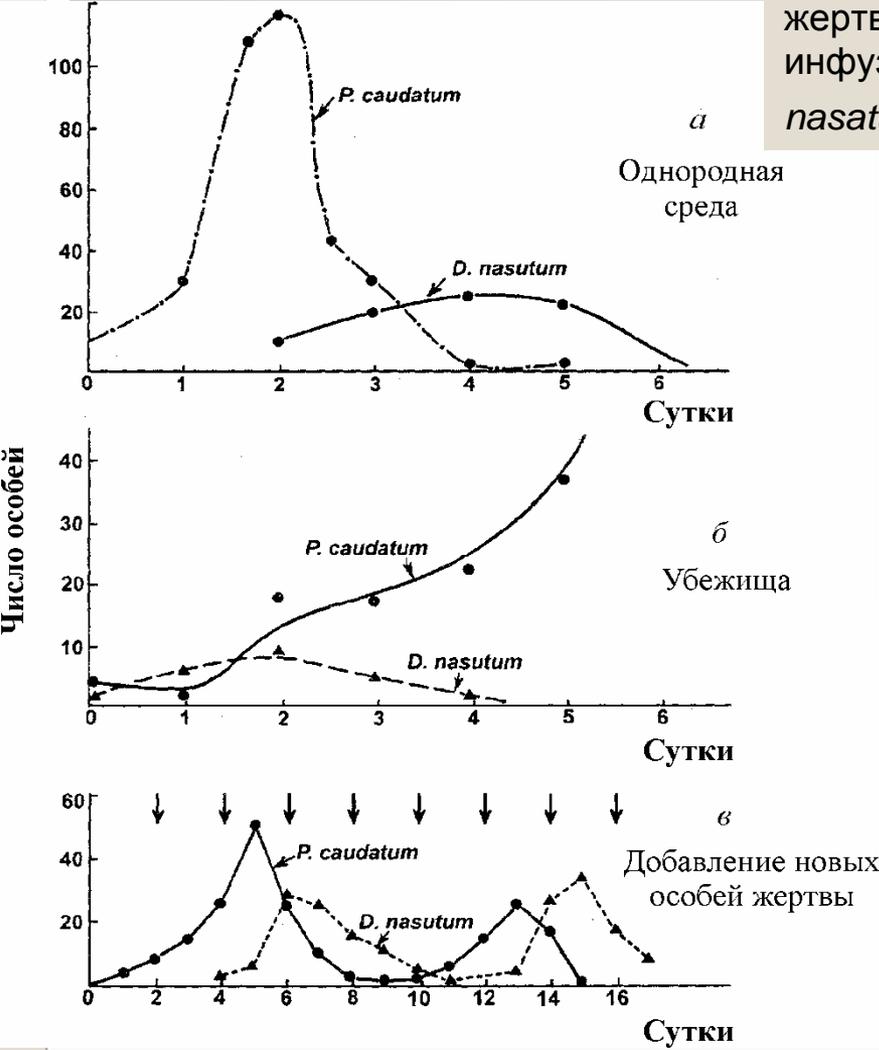
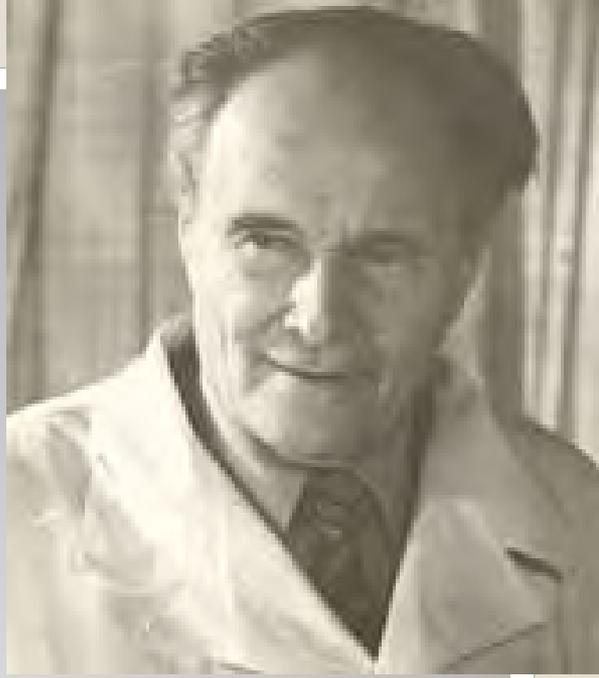


**Модели динамики популяций –
математический полигон моделей в
биологии**

Георгий Францевич Гаузе

1910-1986

Инфузория *Paramecium caudatum* служит жертвой для другой инфузории *Didinium nasutum* – хищника.



Gause G.F. The struggle for existence. Baltimore, The Williams and Wilkins Company, 1934

Гаузе Г.Ф. Борьба за существование. М.-Ижевск, ИКИ-РХД, 2002

В 1942 г. Г.Ф. Гаузе и М.Г. Бражникова открыли первый в нашей стране оригинальный антибиотик грамицидин С (советский)

- Теория динамических систем
- **Нелинейная** динамика
- Теория самоорганизации
- Теория хаоса (Theory of chaos)
- **Nonlinear** science
- Теория фракталов

цель которых – понять суть нелинейных процессов в сложных системах

В последней трети 20 века развился комплекс наук - синергетика

Сходные уравнения описывают процессы разной природа - изоморфизм

Компьютер – подсобное средство качественного исследования

Линейный мир

- Однозначная зависимость причины и следствия. Единственное стационарное состояние
- Гауссово распределение
- Малая роль случайности
- Диффузия – выравнивает концентрации
- Гладкие границы. Целая пространственная размерность

Нелинейный мир

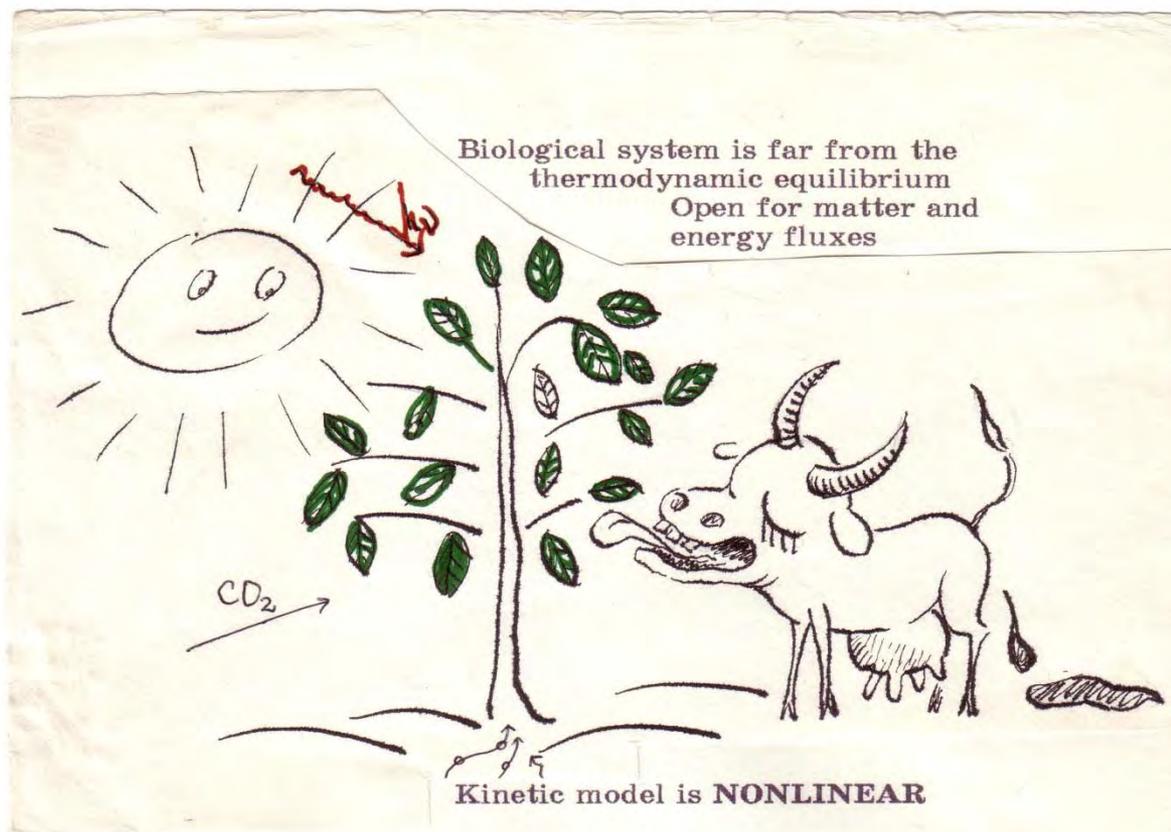
- Неоднозначность
- Мультистационарность
- Колебания
- Детерминированный хаос
- Степенные распределения
- Пространственно-временная самоорганизация: автоволны
- Диссипативные структуры
- Фрактальность

20 век – переход из «линейного мира» в «нелинейный мир»

20 век – 2 половина
Качественные
модели

ТОЛЬКО В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ БЫВАЮТ

Базовые
модели
биологических
систем -
нелинейные



Only in NONLINEAR SYSTEM

SELFORGANIZATION IN TIME:

1. selfoscillation
2. multistability
3. quasystochastic regimes in deterministic systems

SELFORGANIZATION IN SPACE

1. autowaves
2. dissipative structures
(nonequilibrium steady distributions)
3. stochastic in space regimes



**Александр
Михайлович Ляпунов
1857-1918**



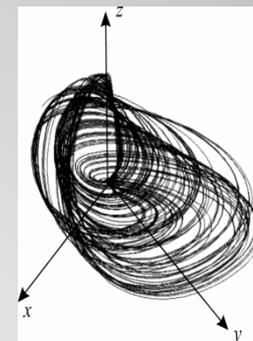
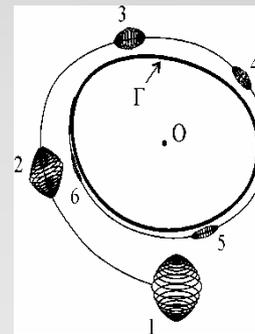
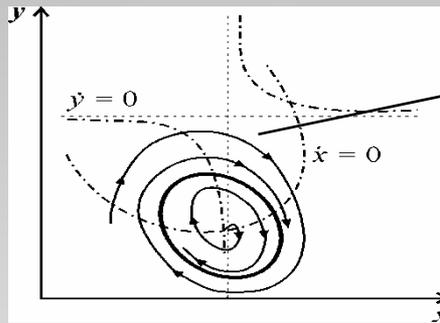
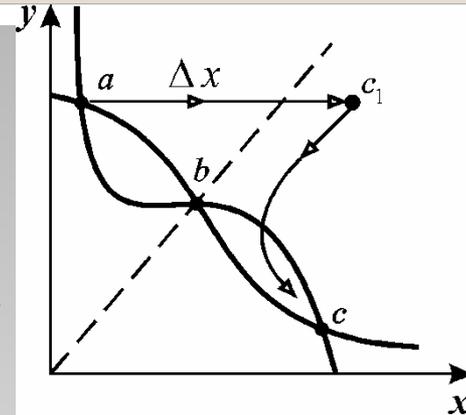
**Жюль Анри Пуанкаре́
(Jules Henri Poincaré)
1854-1912**

- Мультистационарность

- Колебания

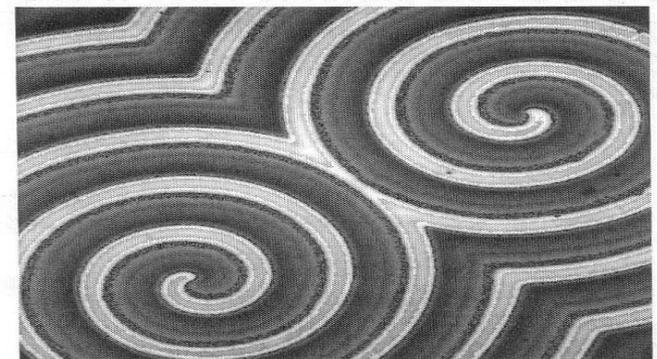
- Хаос

- Пространственно-временные структуры.
- Автоволновые процессы



Основные свойства нелинейных систем

Все эти свойства присущи живым системам



Turing A.M. The chemical basis of morphogenesis.
 Phil.Trans.R.Soc. London B, 1952



Алан Тьюринг
 1912-1954



Илья Пригожин
 1917-2003

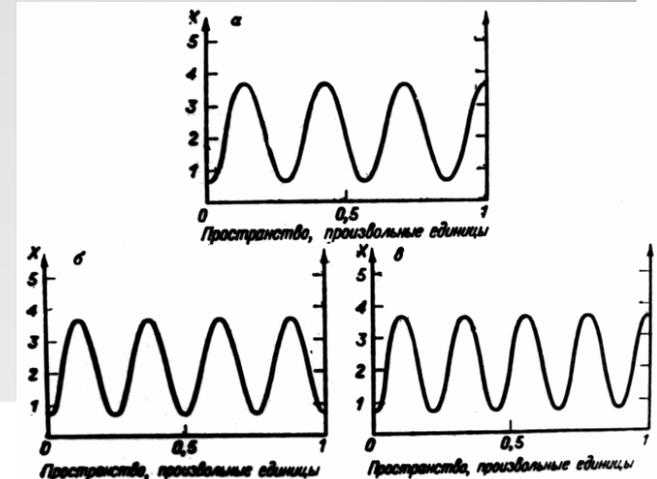
$$\frac{\partial x}{\partial t} = P(x, y, r) + D_x \frac{\partial^2 x}{\partial r^2}$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = Q(x, y, r) + D_y \frac{\partial^2 y}{\partial r^2}$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} = A + X^2 Y - (B+1)X + D_x \frac{\partial^2 X}{\partial r^2}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = BX - X^2 Y + D_y \frac{\partial^2 Y}{\partial r^2}$$

Пространственно-временные режимы
 Алан Тьюринг
 Илья Романович Пригожин и его школа.
 Р.Лефевр – формирование «Бушей» в саванне



Какими уравнениями можно описать наблюдаемую нелинейность?

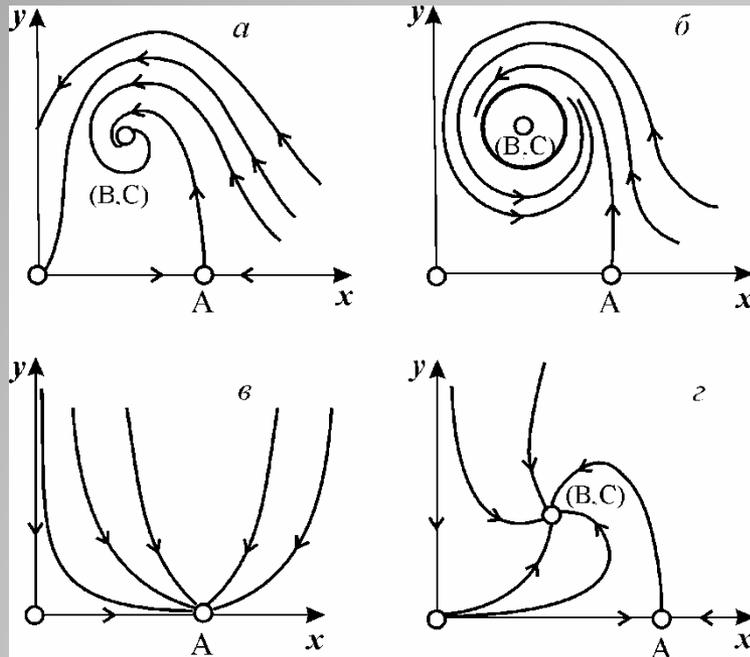
- Какие типы поведения могут описать данные уравнения при разных значениях параметров

- В. Вольтерра, А. Лотка
- А. Н. Колмогоров, Д. С. Чернавский,
- А. М. Молчанов
- А. Д. Базыкин
- М. Розенцвейг,
- МакАртур
- Дж. Мюррей,
- А. Т. Уинфри

$$\frac{dx}{dt} = k_1(x)x - L(x)y,$$

$$\frac{dy}{dt} = k_2(x)y.$$

x – жертва
 y – хищник



Фазовые портреты системы описывающей взаимодействие двух видов при разных соотношениях параметров.



Колмогоров А. Н. Качественное изучение математических моделей динамики популяций. // Проблемы кибернетики. 1972. Вып. 25.

Перевод статьи, опубликованной в итальянском журнале в 1936

Андрей Николаевич Колмогоров

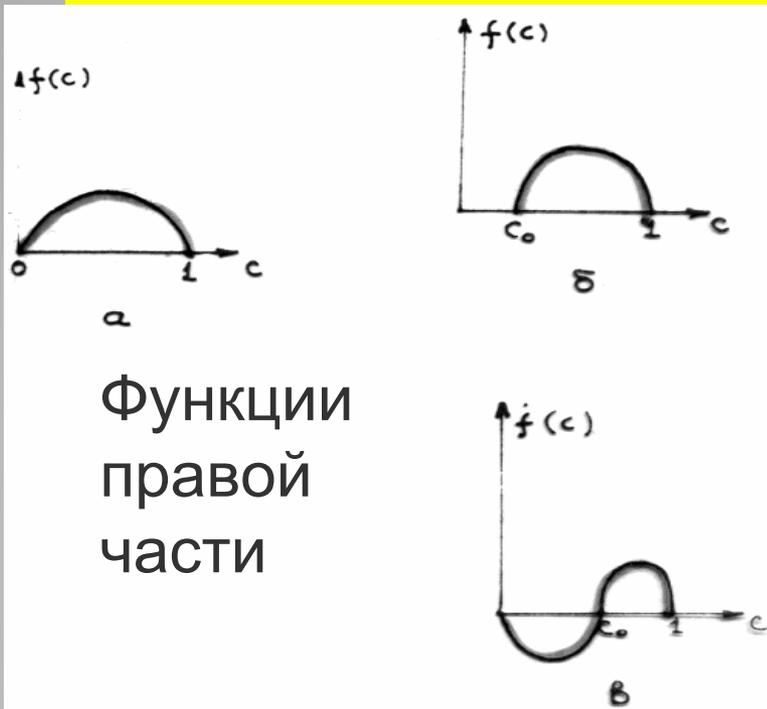
1903-1987

Человечество всегда мне представлялось в виде множества блуждающих в тумане огоньков, которые лишь смутно чувствуют сияние, рассеиваемое всеми другими, но связаны сетью ярких огненных нитей, каждый в одном, двух, трех... направлениях. И возникновение таких прорывов через туман к другому огоньку вполне разумно называть "ЧУДОМ".



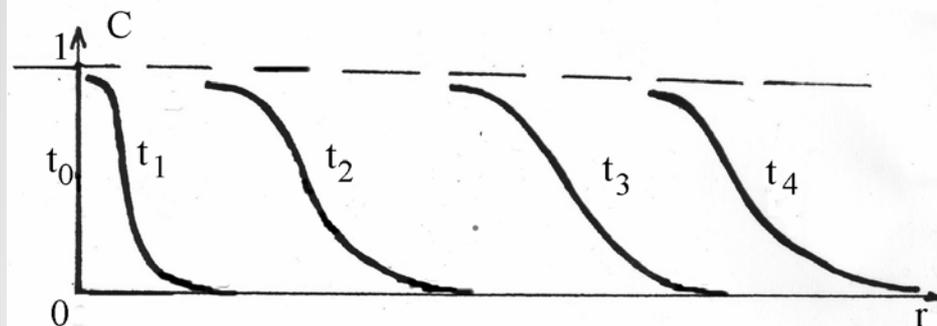
Великий советский математик, один из основоположников современной теории вероятностей. Фундаментальные результаты в топологии, математической логике, теории турбулентности, теории сложности алгоритмов и др.. Много сделал для математического образования и популяризации математики.

Модель распространения волны Петровского-Колмогорова-Пискунова.



Функции
правой
части

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + f(C)$$



Колмогоров А.Н., Петровский Н.Г., Пискунов Н.С. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием вещества, и его применение к одной биологической проблеме. *Бюл. МГУ, сер. Математика и механика* 1(6): 1-26, 1937

Георгиевич

Петровский

1901-1973



выдающийся советский математик и деятель
отечественного образования. С 1951 по 1973 гг. — ректор
Московского государственного университета им.
М.В.Ломоносова

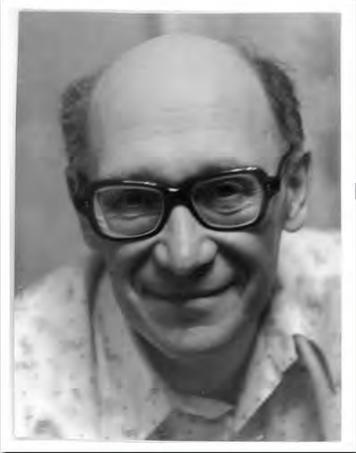
молчанов альберт мака... Молчанов А.М. - выдано...
ecomodelling.ru/molchanov/pages.php?id=index

Научограды
Научные
ШКОЛЫ

А.М. Молчанов (1928 - 2011)

Главная

Альберт Макарьевич Молчанов
(14 июня 1928 - 23 июня 2011)



Профессор, доктор физико-математических наук
Директор-организатор Научно-Исследовательского Вычислительного Центра АН СССР
Директор Института математических проблем биологии РАН

Design & Programming © 2007-2010 Web-Studio "Ocherk-Design"

7:11
17.10.2013

Мемориальный сайт Альберта Макарьевича Молчанова ИМПБ

И.В.Флоринский и др.

Основные научные результаты А.М.Молчанова

критерий дискретности спектра оператора Шрёдингера
(критерий Молчанова, 1952);

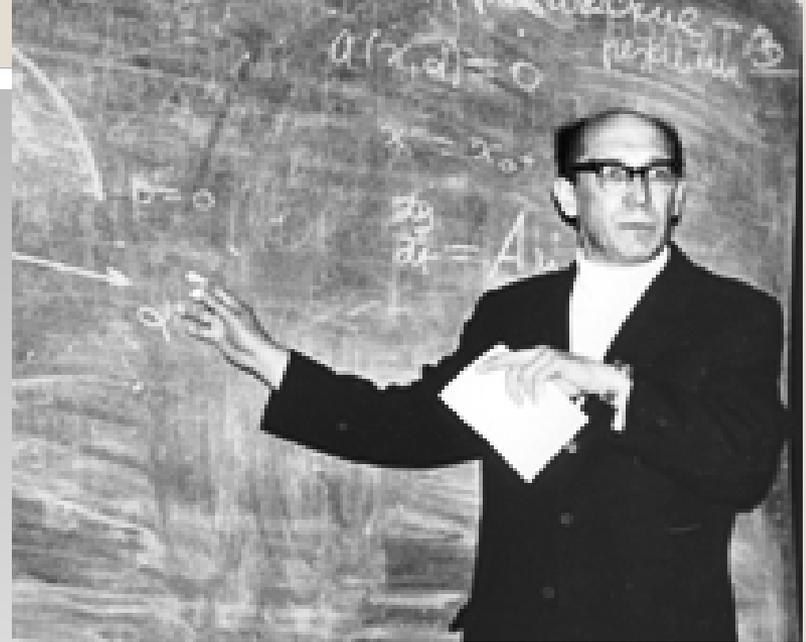
расчет точечного взрыва в неоднородной атмосфере (численное решение, совместно с К. И. Бабенко и В. В. Русановым, 1955),

условие устойчивости нелинейных систем, нейтральных в линейном приближении (теорема Молчанова, 1961)

гипотеза о роли колебательных процессов в эволюции (1967),
гипотеза резонансной структуры Солнечной системы (гипотеза Молчанова, 1968),

математическая модель иммунитета (1970),

эргодическая гипотеза сукцессии (1975).



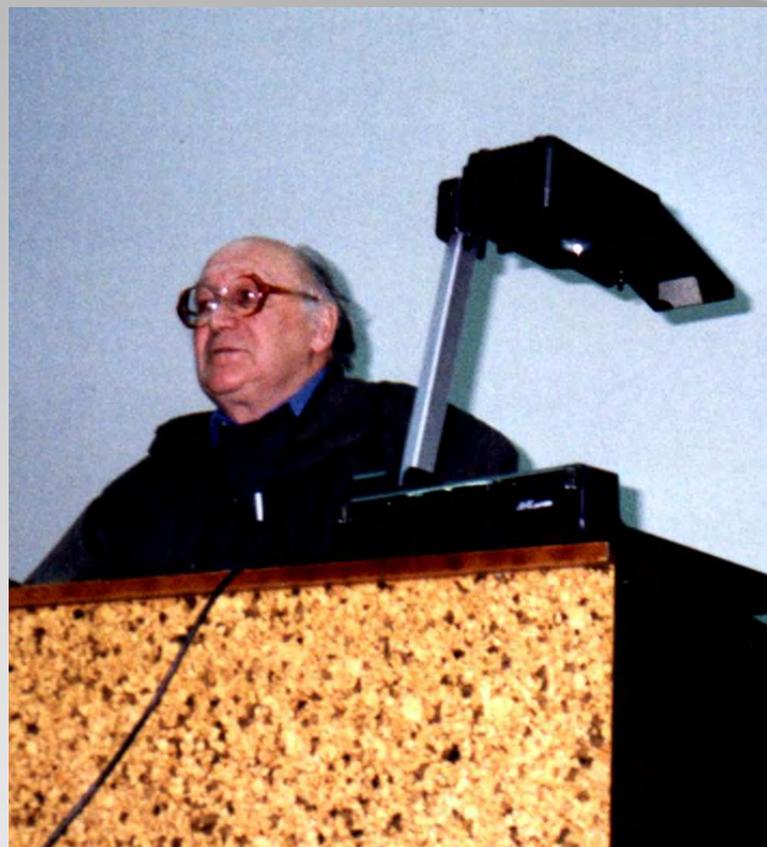
- |
- I Март 1973г. Мозжинка, Одинцовский р-он, Московская обл.
- II Март 1974г. Ивантеевка, Московская обл.
- III Январь 1975г. Пушино, Московская обл.
- IV Февраль 1976 г. п. Мозжинка, Одинцовский р-он, Московская обл.
- V Февраль 1977 г. п. Мозжинка, Одинцовский р-он, Московская обл.
- VI Март 1978 Пансионат «Ёлочки», с. Левково, Пушкинский р-он, Московская обл.
- VII Февраль 1980 Пансионат «Зеленоградский», Пушкинский р-он, Московская обл.
- VIII Апрель 1983 г. п. Мозжинка, Одинцовский р-он, Московская обл.
- IX Апрель 1984 г. с. Велегож, Заокский р-он, Тульская обл.
- X Март 1986 г. с. Велегож, Заокский р-он, Тульская обл.
- XI Апрель 1989 г. п. Мозжинка, Одинцовский р-он, Московская обл.
- XII Апрель 1992г. Ростов, Ярославская обл.

Всесоюзные школы по математическому моделированию сложных биологических систем



Александр Дмитриевич
Базыкин (1940-1994)

Хибник, Левитин, Кузнецов,
Березовская, Апонины,
Борисюк и др.



Альберт Макарьевич Молчанов
(1927-2011)

Качественные модели

Александр Дмитриевич Базыкин

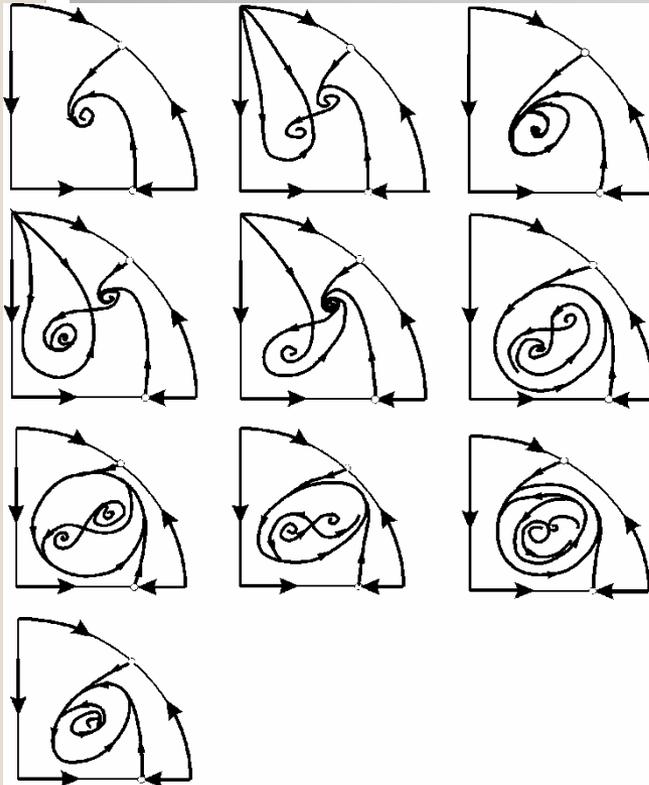
$$\frac{dx}{dt} = x - \frac{xy}{1 + \alpha x} - \varepsilon x^2,$$

$$\frac{dy}{dt} = -\gamma y + \frac{xy}{1 + \alpha x} - \mu y^2.$$

Набор фазовых портретов системы (9.18), возможных в конечной части первого квадранта и соответствующих областям 1 - 10 параметрического портрета рис. 9.8 (Базыкин, 2003). Фазовые портреты изображены в положительном двуугольнике сферы Пуанкаре (бесконечность отображается на внутренность сферы конечного радиуса)



1940-1994



Базыкин А.Д. Биофизика взаимодействующих популяций. М., Наука, 1985

Bazykin AD (1998) Nonlinear Dynamics of Interacting Populations. World Scientific, Singapore

Базыкин А.Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. М.-Ижевск, ИКИ-РХД, 2003



Кафедра биофизики Физфак МГУ

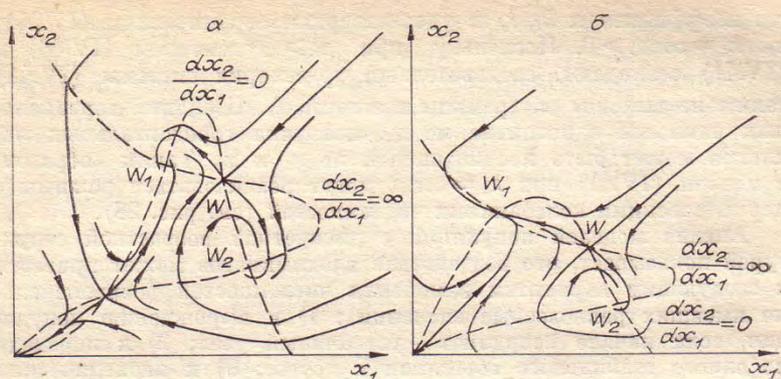
выпуск 1968

Студенты: А.Д.Базыкин, В.А.Твердислов, М.Д.Корзухин

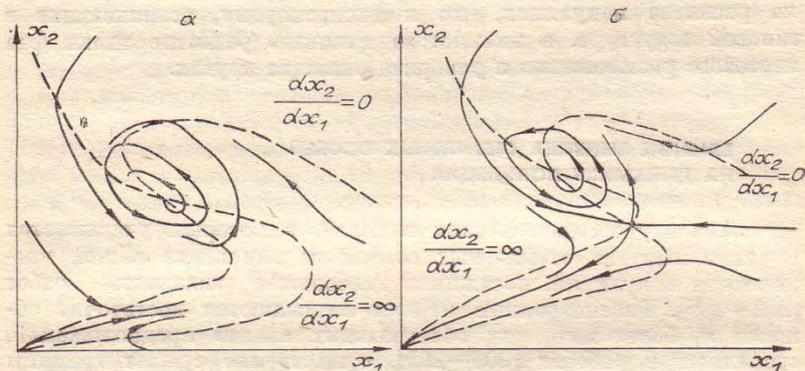
Из книги
 Льва Владимировича
 Недорезова
 «Моделирование вспышек
 массовых размножений
 насекомых»
 Новосибирск, 1986

**Р.Г.Хлебопрос,
 А.С.Исаев,
 Ф.С.Березовская,
 Л.В.Недорезов**

**Модели
 размножения
 насекомых**



Р и с. 27. Фазовые портреты модели (IV.40). Триггерные режимы.
 а — начало координат является устойчивым узлом, б — седлом; W, W₁, W₂ — стационарные точки.



Р и с. 28. Фазовые портреты модели (IV.40). Циклические колебания численности.
 а — точка (0, 0) является седлом, б — устойчивым узлом.

гальных — по x_1 . Некоторые из возможных режимов модели (IV.40) представлены на рис. 27. Если взаимодействие особей в популяции таково, что коэффициент k_2 растет с ростом численности популяции Θ , то изоклина горизонтальных наклонов может быть неоднозначной функцией по x_1 и x_2 и в модели (IV.40) могут реализоваться режимы с циклическими колебаниями численностей (рис. 28).

Модель популяции с возрастной структурой, соответствующей цепи переходов (IV.38), описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -k_1 x_1 + k_4 x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} &= k_2 r x_1 - k_3 x_2 + k_4 (m-1) x_2, \end{aligned} \quad (IV.41)$$



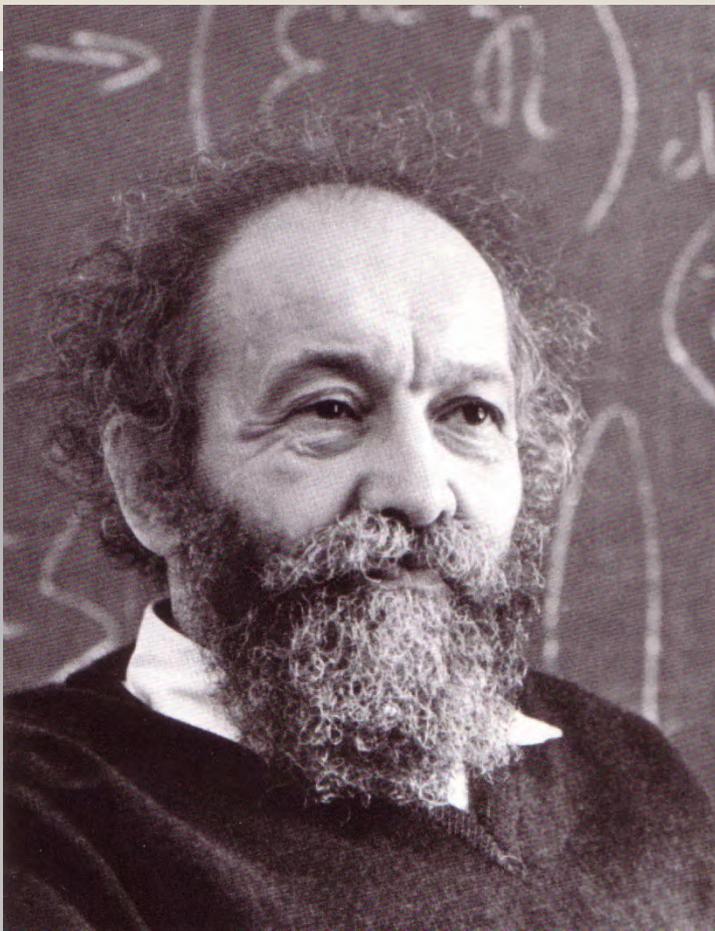
А. Н.Ляпунов
Н.В.Тимофеев-Ресовский
И.А.Полетаев
А.М.Молчанов
Ю.М.Свирижев
А.Д.Базыкин
В.В.Алексеев

ДК Мозжинка

А.А.Титлянова
Д.С.Чернавский
Ю.М.Романовский
Н.В.Степанова
А.Б.Рубин
Р.Г.Хлебопрос
Ф.С.березовская
А.С.Комаров и др.



Первая школа 1973



А.А.Ляпунов, 1944

А.А.Ляпунов (1911-1973)
Задачи теоретической биологии
Проблемы Кибернетики, 1972

Фото из книги Н.Н.Воронцов. «А.А.Ляпунов. Очерк жизни и творчества. Окружение и личность». Изд. Новый хронограф, 2011



Сотрудники отдела:
Ю.И.Гильдерман,
Ю.Г.Карев,
С.Тресков,
К.Н.Кудрина

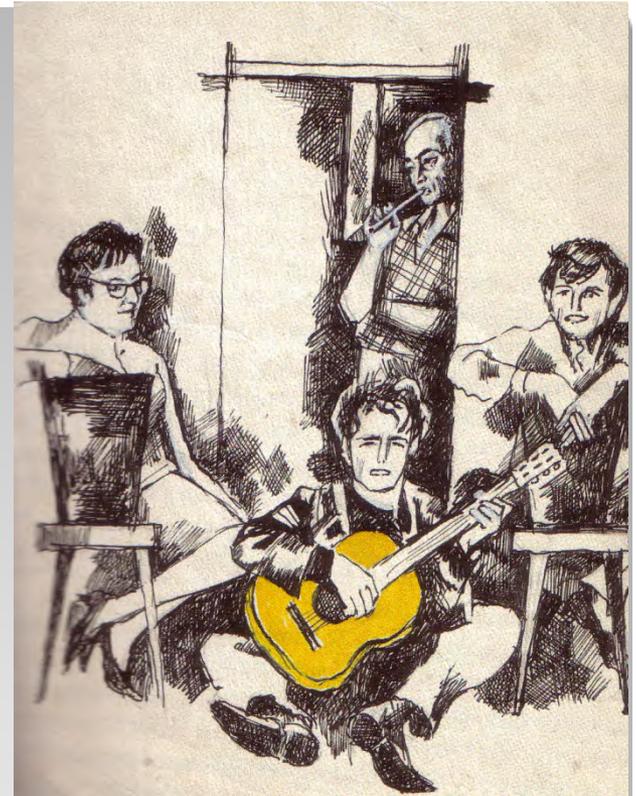


Рис. из книги А.А.Титляновой
«Рассыпанные страницы».
Москва-Новосибирск, 2009

**Игорь Андреевич
Полетаев (1915-1983)
L-системы**

Хищник-жертва
Рост растения

В 1976 г. по инициативе Н.Н. Моисеева в ВЦ АН СССР создается Лаборатория математической экологии, которой Ю.М. Свирежев руководил 25 лет



Логофет
Тарко
Пасеков
Воеводин
Белотелов
Саранча
Шакин
и др.

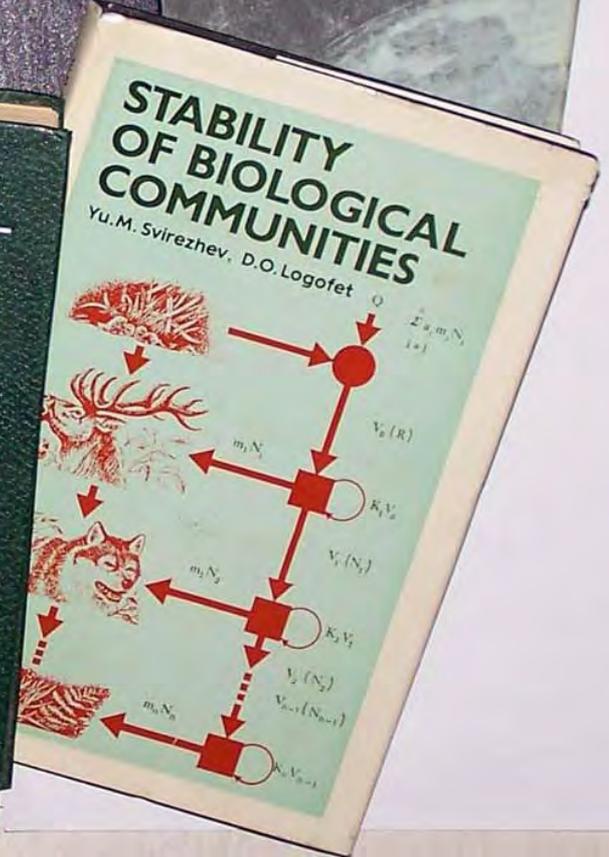
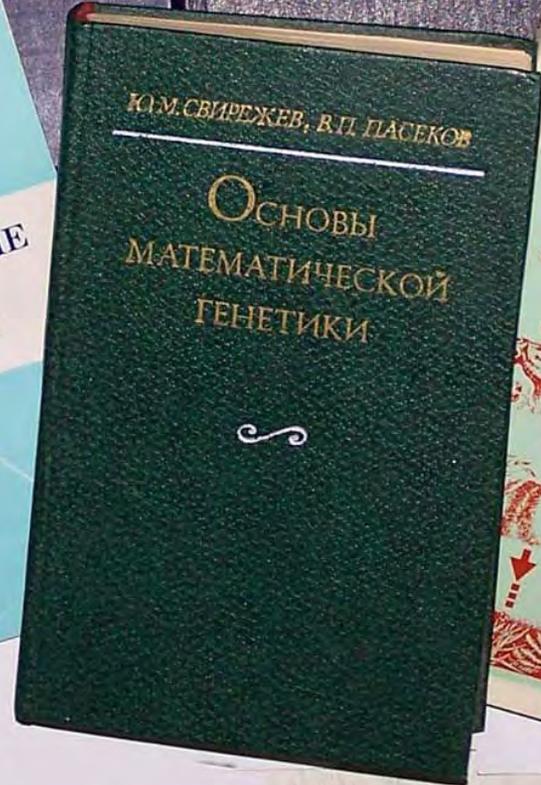
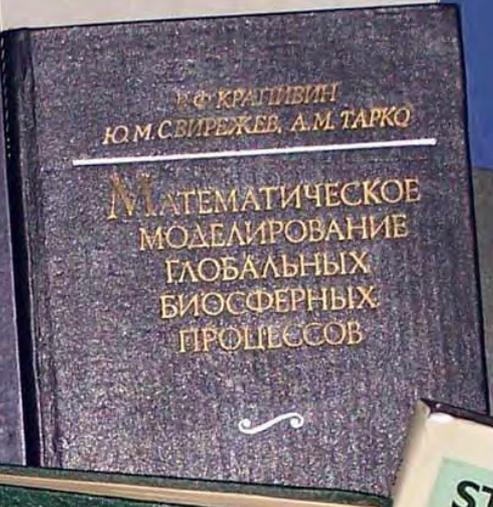
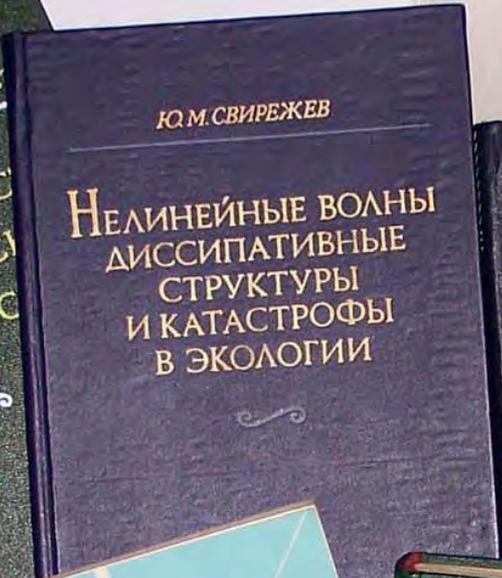


Юрий Михайлович Свирежев

(1938-2007)

Моделирование экосистем,
Глобальное моделирование





Модели Водных систем

- Первая книга:
- Меншуткин В.В. Математическое моделирование популяций и сообществ водных животных. Л., Наука, 1971

- Ростов-на-Дону
- Акад. И.И.Ворович
- (1920-2001)

- Александр Горстко
- Юрий Домбровский
- Алексей Сурков
- Юрий Тютюнов и др.



МОРСКИЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

ИСТОРИЧЕСКИЕ ХРОНИКИ Морской экологический журнал, 2011, т. 10:1, с. 104 - 105

ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ МЕНШУТКИН:
ЖИВОЙ КЛАССИК МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
(к 80-летию со дня рождения)



В. В. Меншуткин

(фото: test.hse.spb.ru/info/personal/vmenshutrin.aspx)

В 2010 г. исполнилось 80 лет Владимиру Васильевичу Меншуткину, учёному, специалисту в области математического и имитационного моделирования в биологии, физиологии, лимнологии и океанологии.

Родился Владимир Васильевич 20.06.1930 в г. Иркутске. После окончания Ленинградского кораблестроительного института работал в области корабельных энергетических установок (ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова), но вскоре его интересы сместились в область гидрофизики (Лимнологический ин-т Сибирского отд. РАН), а затем он увлёкся изучением и моделированием популяций рыб. Начался путь блестящего модельера биологических систем... В 1965 г. В.В. защитил кандидатскую диссертацию «Математическое моделирование популяций промысловых рыб», а в 1974-м – докторскую («Математическое моделирование популяций и сообществ водных животных»). За построение модели сообщества рыб

направления моделирования сложных экологических и социальных систем.

Г. Г. Винберг весьма уважал и ценил В.В. Меншуткина, который принимал участие во многих семинарах лаборатории Г.Г., где много лет работали и работают его ученики – А. А. Умнов, Т. И. Казанцева (Приходько). Помню, ещё молодым студентом я спросил В. В. Меншуткина: «Какие разделы математики надо изучить поглубже, чтобы успешно моделировать экологические системы?» И он ответил, что надо сначала глубоко вникнуть в сущность биологических процессов, которые я хочу моделировать, а затем искать математический метод, адекватный моделируемому процессу/системе. Достаточно много общаясь с различными модельерами, и именитыми в том числе, я не встречал ни одного, кто бы погружался в понимание биологической сущности так, как он. Сам В.В. моделировал различные водные экосистемы и процессы в них, как в пресных водоёмах, так и в морях. Многие годы работая в Институте эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, он успешно моделировал не только экологические системы, но и физиологические (например, модель нервного механизма взлета и посадки саранчи). В 1992 г. в Институте эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН он организует Лабораторию моделирования эволюции, с 1998-го (В. В. перешел на работу в Международный экологический центр Польской Академии наук). Совместно с акад. РАН Ю. В. Наточиным они разрабатывают имитационную модель происхождения многоклеточных животных. Совместно с Б.М. Медниковым Владимиру Васильевичу удалось создать математическую модель эволюции

Алексеев Вячеслав Викторович (1940-2007)

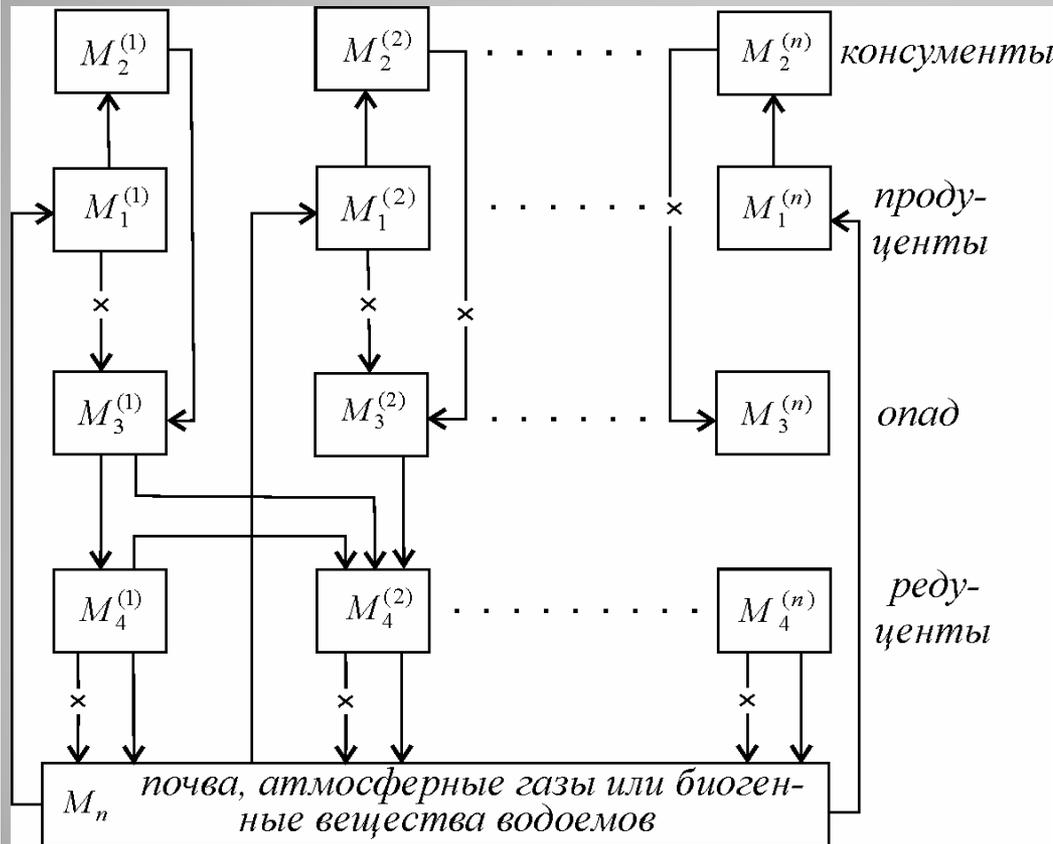


Схема потоков вещества по трофическим пирамидам в замкнутой экосистеме

Алексеев В.В. Динамические модели водных биоценозов. *Человек и биосфера* 1: 1-137, 1976

Алексеев В.В., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Физическое и математическое моделирование экосистем. СПб, Гидрометеиздат, 1992

Алексеев В.В. и Лоскутов А.Ю. О возможности управления системой со странным аттрактором. В: Израэль Ю.А. (Ред.) Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 8. Л., Гидрометеиздат, 1985

С.-Петербург (Ленинград)

Доклад Александра Топаж

Ротмир Александрович

Полуэктов

Борис Заславский

Илья Вол

Красноярск

Рем Григорьевич

Хлебопрос,

Н. Абросов,

Н. Печуркин,

А. Дегерменджи

Владивосток

Доклад Ефим Фрисман

Ярославль

Колесов

И др.

Г.Ю. Ризниченко

ЛЕКЦИИ

по математическим моделям
в биологии

ЧАСТЬ 1



R&C
Dynamics



БИОФИЗИКА
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

Г.Ю. Ризниченко

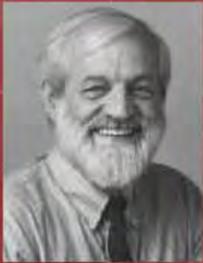
ЛЕКЦИИ

по математическим
моделям в биологии



R&C
Dynamics

Перевод 1-го (2009) и 2-го (2011) тома Д.Мюррей. Изд. РХД



Джеймс Д. Мюррей – профессор университетов Вашингтона и Оксфорда, член Королевского научного общества Великобритании и иностранный член Французской Академии наук, имеет почетные звания многих университетов мира. Автор более 200 научных статей и нескольких книг, основатель и директор Центра математической биологии университета в Оксфорде.

Джеймс Мюррей
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ



R&C
Dynamics



БИОФИЗИКА
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

Джеймс Мюррей
**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
БИОЛОГИЯ**

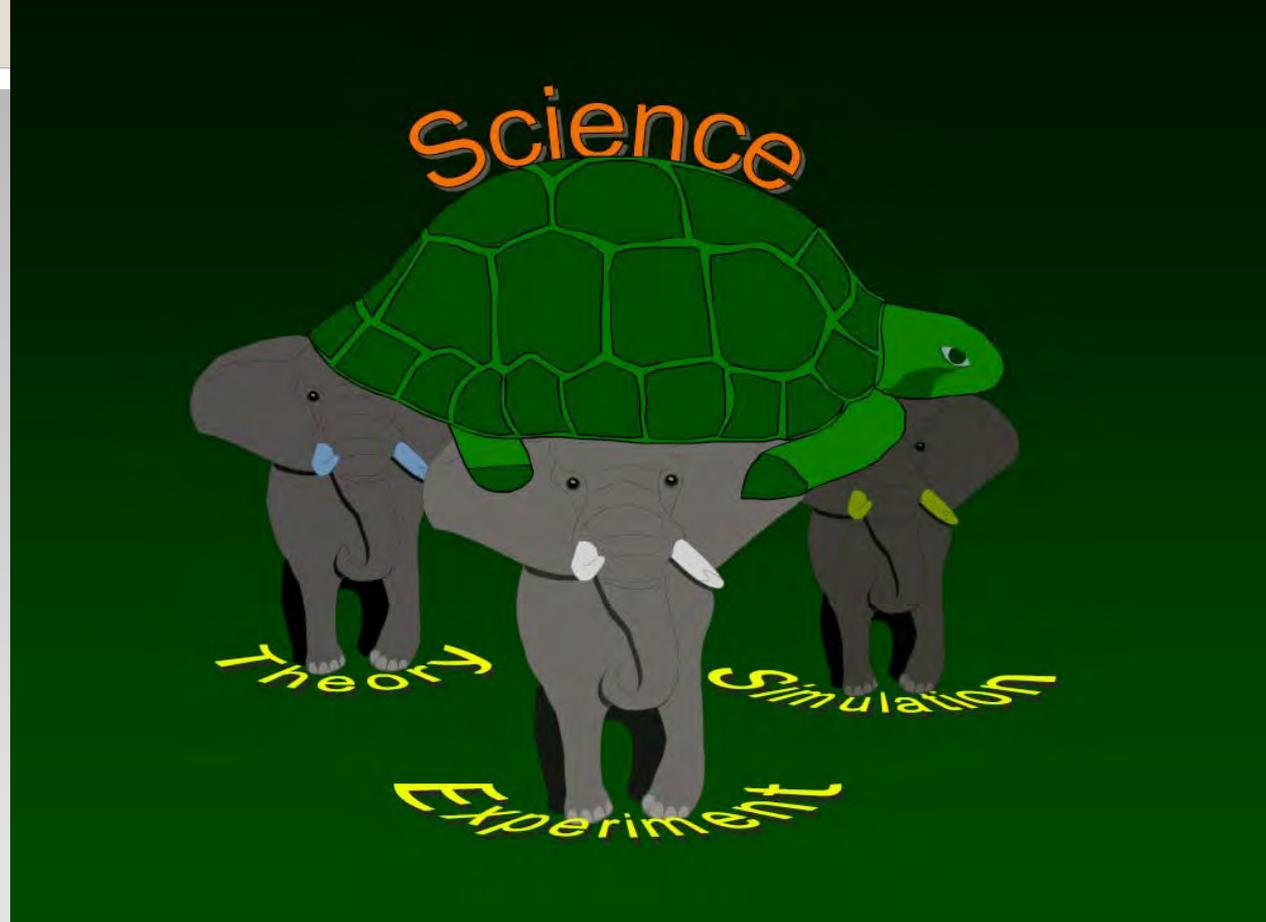


ТОМ 1: ВВЕДЕНИЕ

R&C
Dynamics



- 21 век
- Компьютеры
- Сложные системы



Теория Эксперимент Информационные технологии

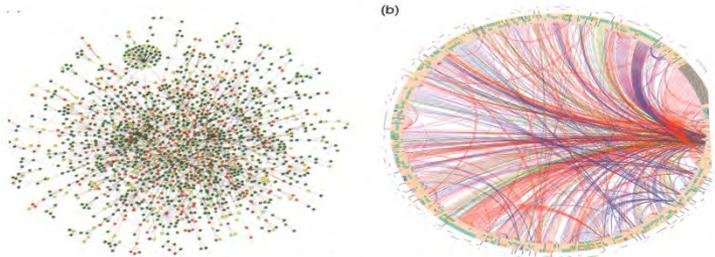
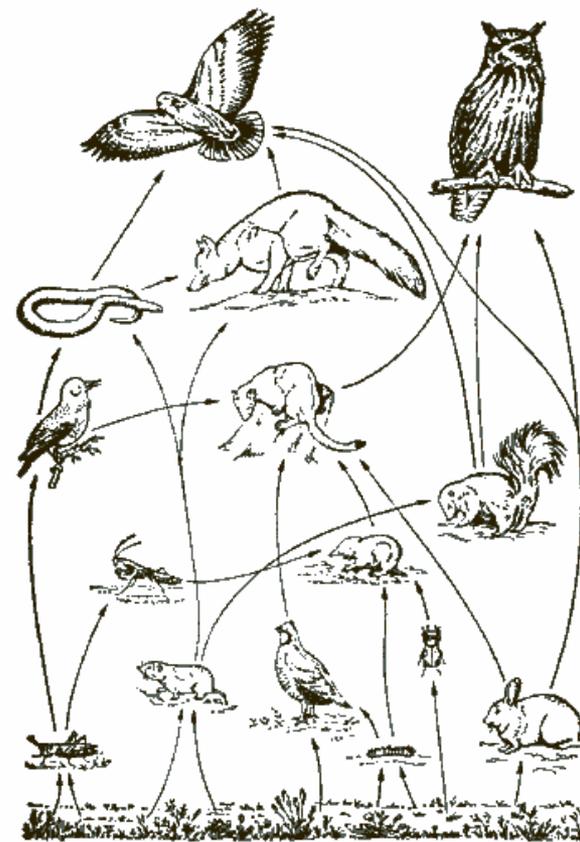
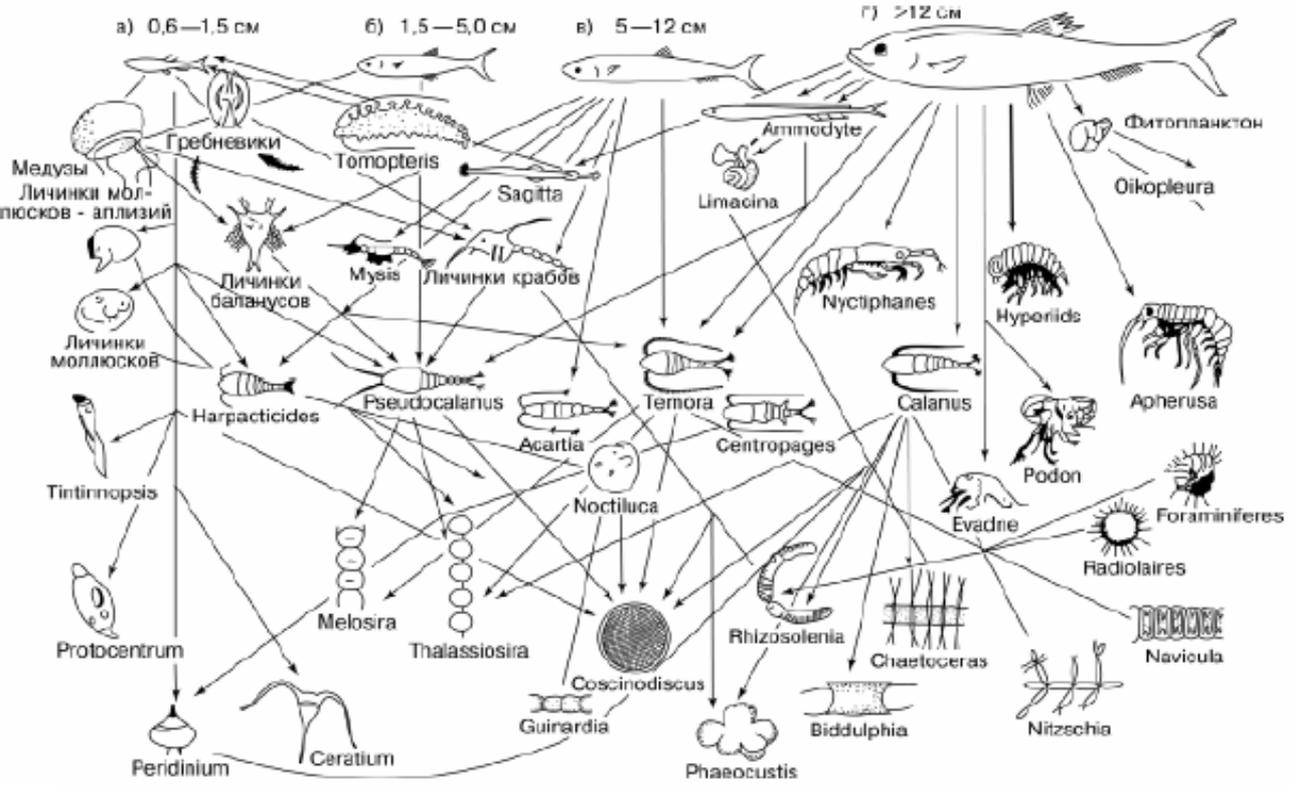


Figure 8.1 Biological networks. (a) Network of protein-protein interactions in yeast. From Jeong et al. [4]. (b) Regulatory interactions between *E. coli* genes. Genes shown as colored segments associated with the structural description of the gene's main function. Curve colors express the nature of relation (red: inhibition, blue: activation, green: dual regulation), and the traces around the circle indicate autoregulation. Courtesy of S. Ortiz, L. Rico, and A. Valencia.

Systems biology. A Textbook.
 Klipp et al.



Пищевые связи в простой трофической сети (по Р. Риклефсу).



Трофические связи в морском сообществе

Трофические сети

21 век – Системная биология.

Изучение сложных систем регуляции

Классификация

- **"top-down"** и **"bottom-up"**, в зависимости от способа построения модели.
- При **'top-down'** подходе моделирование идет от наблюдения некоторых свойств целой системы и построения гипотез о причинах такого наблюдаемого поведения.
- В этом случае переменные модели соответствуют наблюдаемым характеристикам системы, а модель описывает возможный механизм, посредством которого реализуется такое поведение системы. (например, динамика концентраций опр веществ)
-
- **"bottom-up"** подход начинает с изучения свойств отдельных компонентов системы и затем интегрирует их с целью предсказания свойств целой системы. Близкое к этому разделение модельных подходов на "hypothesis-driven" and "data-driven".
- **"middle-out"** подход, когда моделирование начинается с некоторого промежуточного уровня (например уровня клетки или с уровня метаболизма), а затем система расширяется до включения как более низких, так и более высоких уровней организации.

- **Rule-based modeling** - позволяет успешно справляться с проблемой комбинаторной сложности. Например, когда каждый компонент может быть в нескольких состояниях, и возможны разные типы взаимодействий между компонентами. Число комбинаций состояний, которые нужно рассматривать, становится слишком большим, не поддающимся традиционным способам моделирования из-за большого размера ОДУ системы - невозможно решать и анализировать. Биологические взаимодействия определяют в терминах "правил", которые могут определяться как формальным специальным языком, так и графическим способом (более удобно для пользователя)

Agent based modeling (ABM) и Rule-based modelling.

обзор по ABM - <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20835989>,

<http://mook.inf.ed.ac.uk/twiki/bin/view.cgi/SysBioClub/InformalForums>.

- Эти подходы предназначены для того чтобы объединять описания для разных временных/пространственных шкал и модели, построенные разными методами (например объединять дискретное и непрерывное описание).
-
- Обзоры:
- hybrid modelling:
www.csl.sri.com/~tiwari/papers/hsc04b.ps
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20525331>
- Multi-scale modeling (with examples from biology):
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21212881>

Hybrid и Multi-scale modeling.

Научный интерес

- До 2 половины 20 века
- Фибоначчи, Мальтус, Мендель –
- 2 половина 20 века:
- Качественные модели нелинейной динамики
- (В.Вольтерра, А.Н.Колмогоров, В.Мюррей, Д.С.Чернавский, А.М.Молчанов, А.Д.Базыкин
- Принципиальные вопросы кибернетики
- (А.А.Ляпунов, И.А.Полетаев)
- Пространственно-временные распределения
- А.Тьюринг, И.Пригожин, Ю.М.Романовский, В.И.Кринский, А.Б.Медвинский

Системная биология

- Медицина
- Фармакология
- Биотехнология
- Экология
- Информационные технологии
- Суперкомпьютеры

Мотивация исследований



Бюст **Вергилия** у
входа в его склеп в Неаполе

Имя при рождении:
Публий Вергилий Марон

Дата рождения:
15 октября 70 до н. э.

Место рождения: Мантуи

Дата смерти:
21 сентября 19 до н.э.

Род деятельности:
древнеримский поэт

**«Все может надоесть, кроме
понимания» Вергилий**



Спасибо за внимание

Проф. МГУ
Галина Юрьевна
РИЗНИЧЕНКО

2013