

# Хаос в биологических системах

Чирятьева А. Е., гр. 14315,  
кафедра биомедицинской физики ФФ НГУ

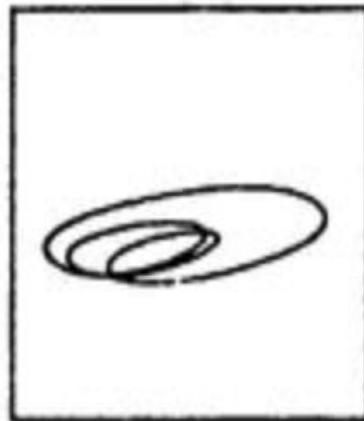
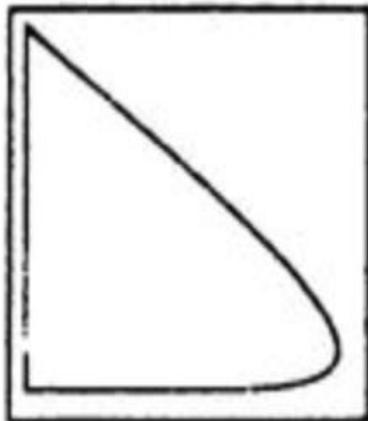
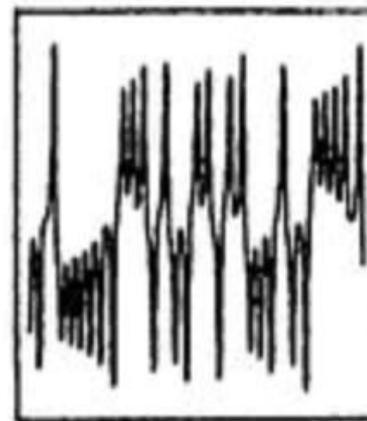
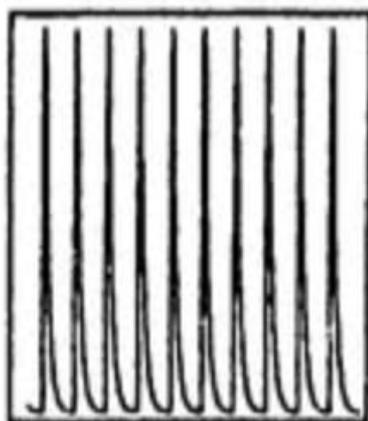
- Определение детерминированного хаоса
- Хаос в биосистемах
  - ✓ Экология и популяции
  - ✓ Ткани и органы
  - ✓ Клетки и молекулы
- Выводы

# Что такое хаос?

Хаос  $\neq$  дезорганизация

Детерминированный (динамический) хаос – явление, которому подвержены динамические системы при наличии неустойчивости по отношению к начальным условиям.

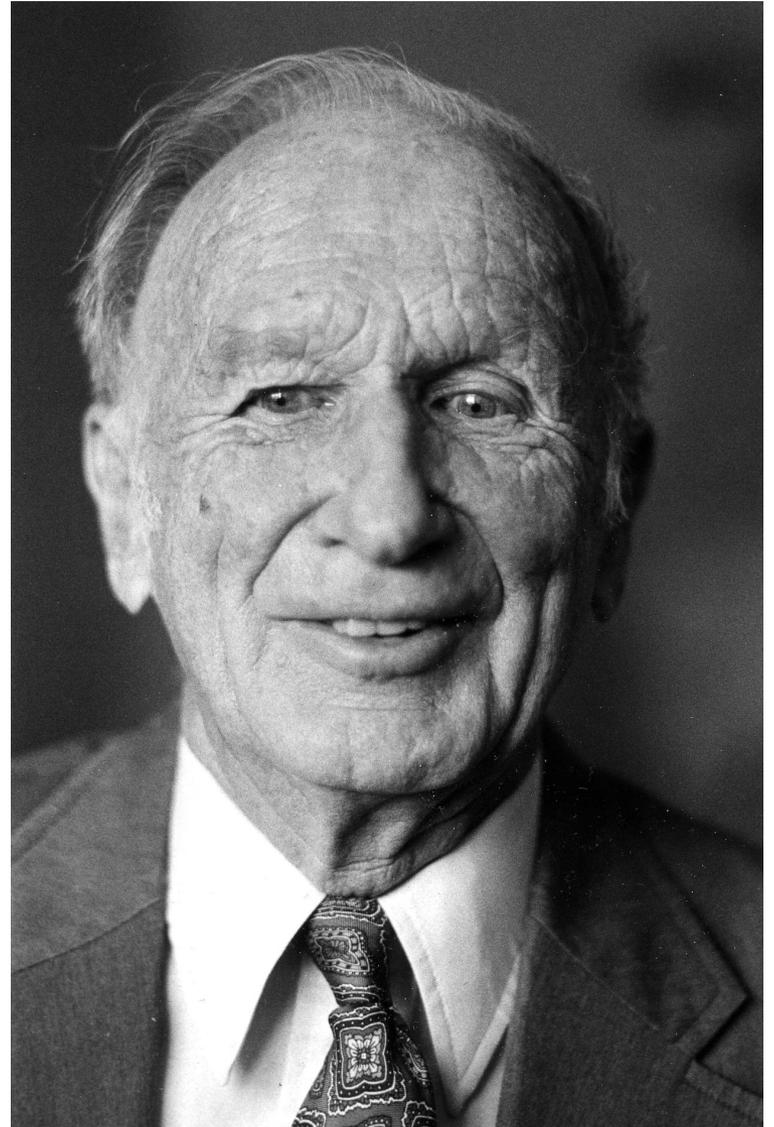
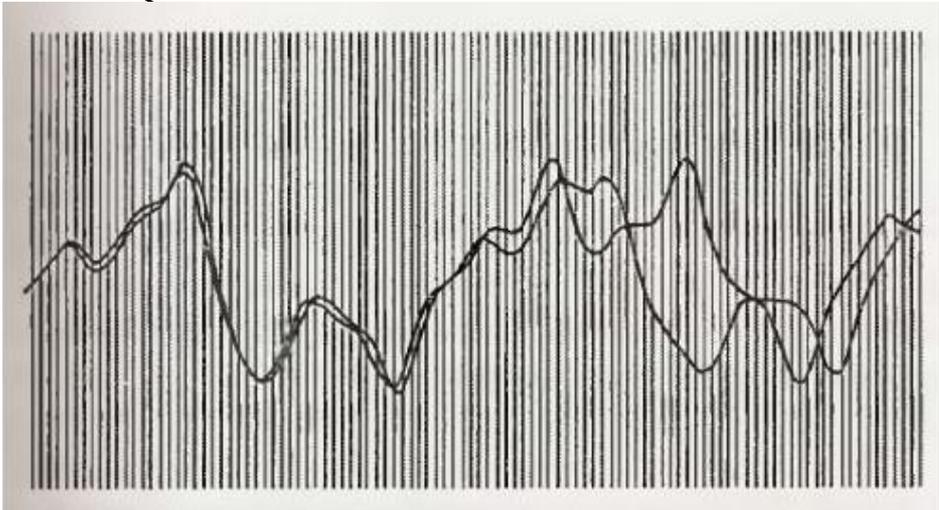
Построение временных последовательностей (вверху) и траекторий в фазовом пространстве (внизу) для различных систем

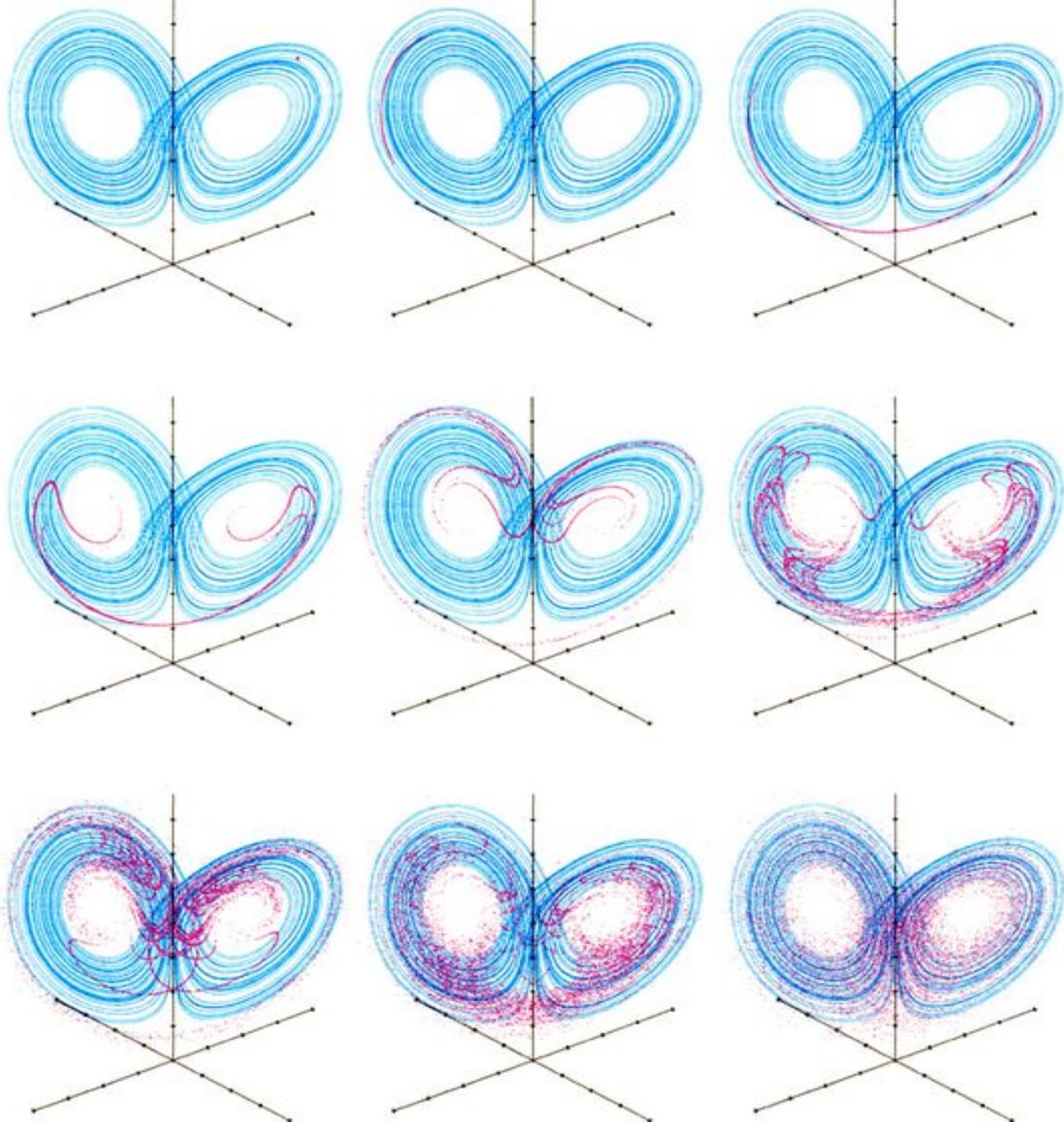


# Система Лоренца

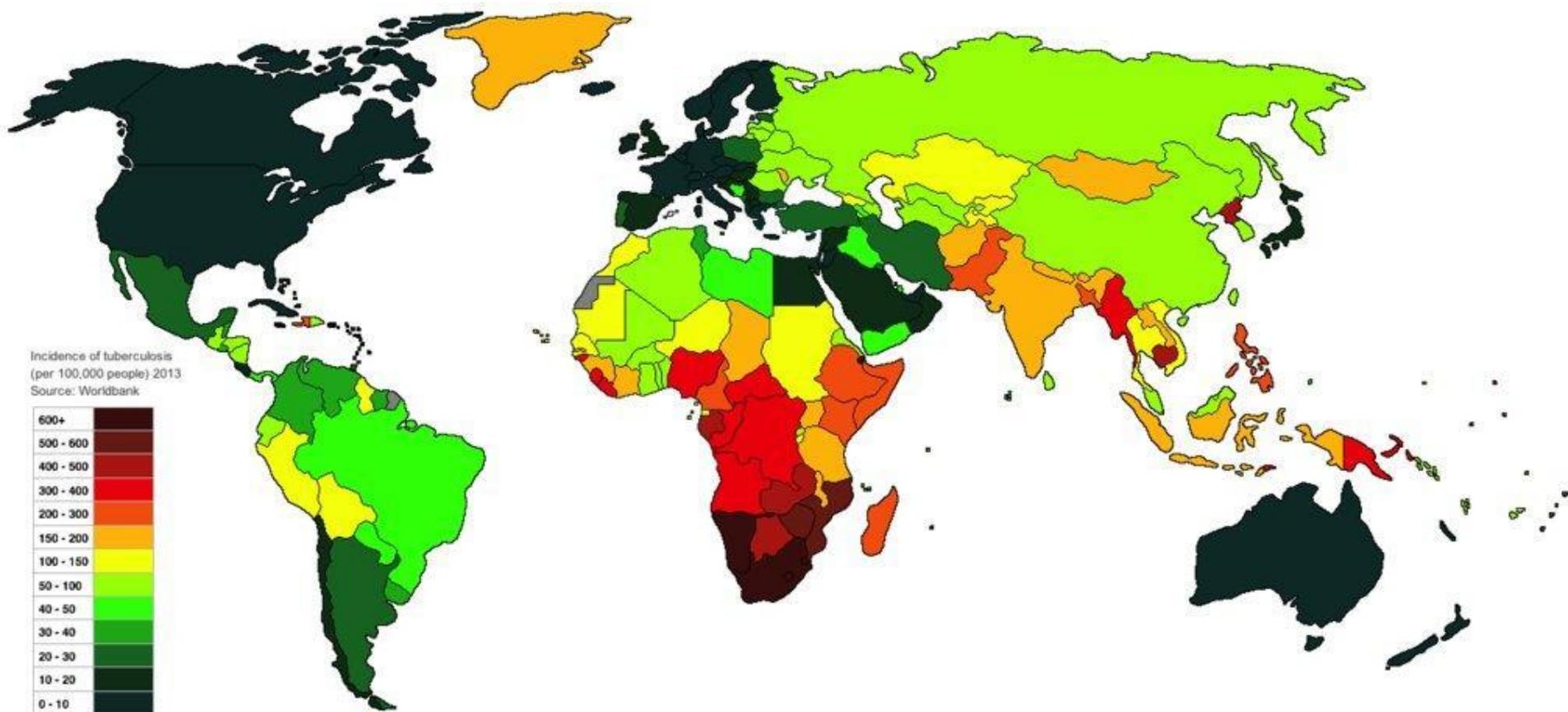
- Эдвард Нортон Лоренц (1917-2008)

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(r - z) - y \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases}$$

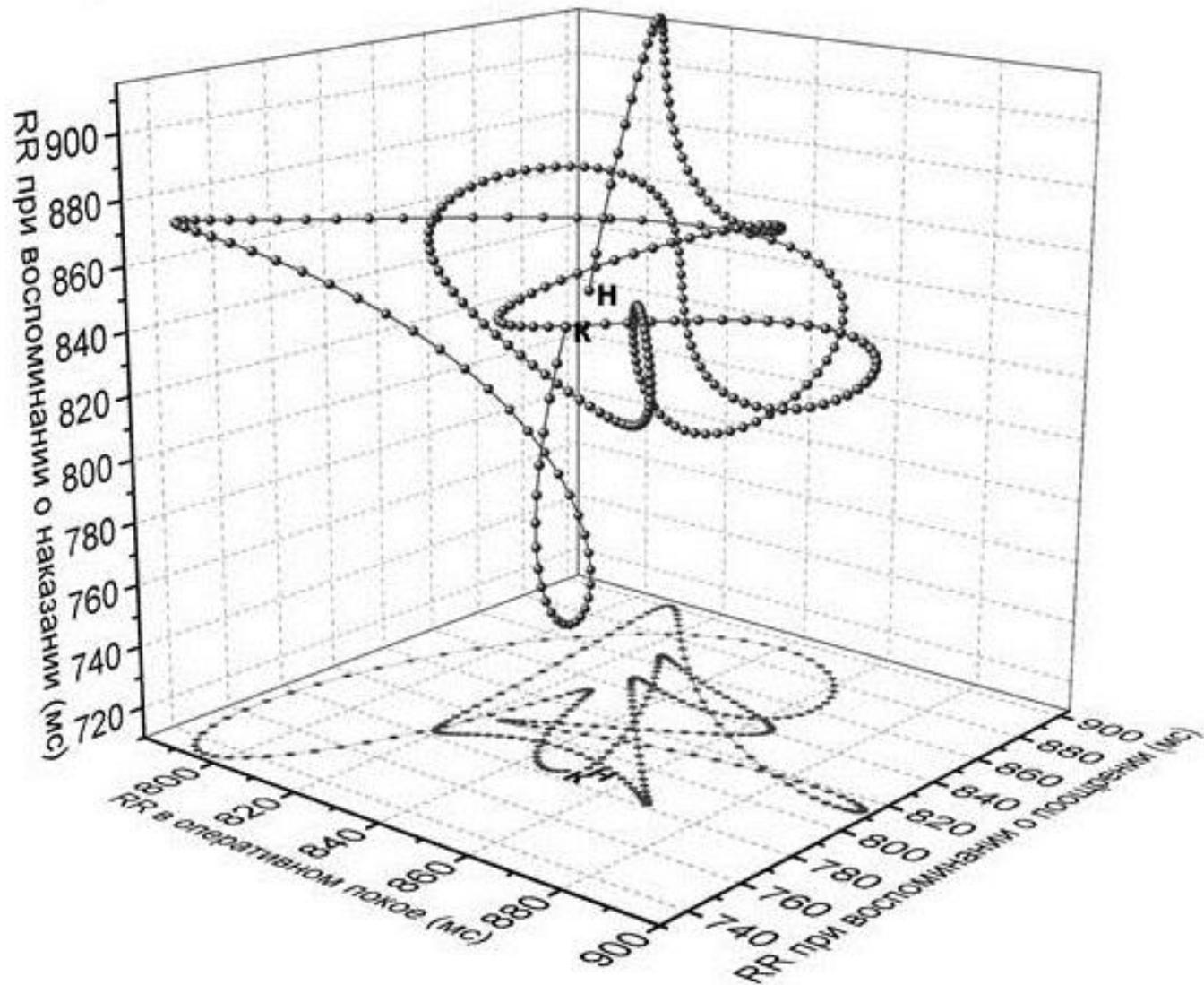




# Количество граждан, заболевших туберкулезом на каждые 100 000 населения в 2013 году



# Траектории сердечного ритма



# Мутации ДНК



# Прогнозирование эволюции генов

$$\begin{cases} P_i'(t) = 0 & i \notin J(t) \\ P_i'(t) = \sum_{j=1}^{64} \left( A^{(t)} - I \right)_{ji} P_j(t) & i \in J(t) \end{cases}$$

- $P(t)$  – вероятность появления тринуклеотида  $i$  в момент времени  $t$
- $A^{(t)}$  – матрица мутаций в момент времени  $t$ , причём  $A^{(t)}_{ij} = P^{(t)}(i \rightarrow j)$  – вероятность того, что  $i$ -тый нуклеотид мутирует в  $j$ -тый
- $J(t)$  – набор всех нуклеотидов в момент времени  $t$

# Дискретизация

$$\begin{cases} P_i(t_k) = P_i(t_{k-1}) & i \notin J(t) \\ P_i(t_k) = h \sum_{j=1}^{64} \left( A^{(k)} - I \right)_{ji} P_j(t_{k-1}) + P_i(t_{k-1}) & i \in J(t) \end{cases}$$

- $h = t_k - t_{k-1}$
- На каждом отрезке  $[t_{k-1}, t_k]$   
 $A^{(t)} = A = \text{const}$

# Выводы

Наличие неустойчивости по отношению к начальным условиям обуславливает возникновение неопределённости поведения системы во времени – детерминированного хаоса.

Биологические системы на всех уровнях организации демонстрируют хаотическое поведение.

# Литература

1. Глейк Д. Хаос. Создание новой науки. Санкт-Петербург: Амфора, 2001
2. Кратчфилд Д. П., Фармер Д. Д., Паккард Н. Х., Шоу Р. С. Хаос// В мире науки. 1987. №2
3. Nikolaeva E. I., Vergunov E. G., Dobrin A. V. Application of the instruments of a nonlinear analysis in psychophysiological research on an example of description of a heart rate dynamics of children with left and right predominance in the emotional state of different valence// Modern problems of science and education. 2014. № 6
4. Исаева В. В., Чернышев А. В., Шкуратов Д. Ю. Фракталы и хаос в морфологии организма// Вестник ДВО РАН. 2001. №2
5. Bahi J. M., Guyeux C., Perasso A. Chaos in DNA evolution.// International Journal of Biomathematics. 2016. Vol. 9, №. 5