

# **ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА И ХИМИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: ВВОДНЫЙ КУРС**

## **Лекция 2 Системные свойства гуминовых веществ**

**И.В. Перминова**

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова



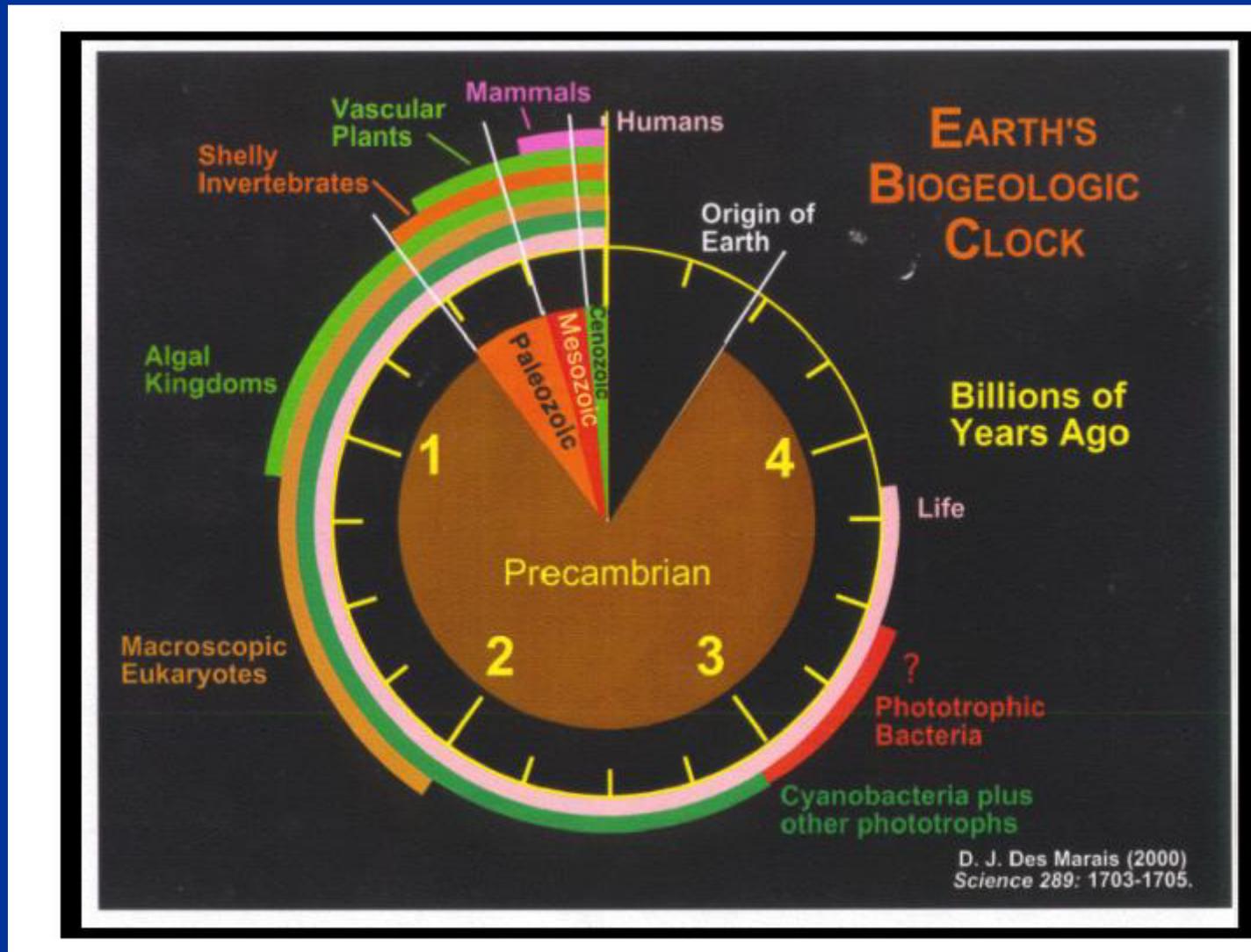
**LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY**

# Содержание

- Определение системы
- Свойства систем
- Определение гуминовых веществ
- Свойства диссипативных систем
- Системные свойства гуминовых веществ
- Определение (рабочее) системы гуминовых веществ



# Начало...



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМЫ

**Система** – это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которые образуют определенную целостность, единство (Садовский)

**Система** – это совокупность объектов, обладающая интегративным свойством (Жилин)

**A system** is a set of interacting elements that form an integrated whole (Hall and Fagen)

**A system** is a set of elements in dynamic interaction, organized for a goal (De Rosnay)



**Система – это совокупность объектов, находящихся в динамическом взаимодействии друг с другом, организованных для выполнения цели (поддержания и воспроизведения интегративного свойства системы)**



# СВОЙСТВА СИСТЕМ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ

**Наличие интегративного свойства,  
не сводимого к сумме объектов**

**Наличие цели – поддержание  
и воспроизведение  
интегративного свойства,  
благодаря чему система  
функционирует и развивается**

**Наличие множества  
взаимодействующих между  
собой объектов**

**Наличие системы взаимосвязей,  
внутренней организации системы,  
направленной на выполнение  
цели**



# СВОЙСТВА СИСТЕМ (из Wikipedia – в сети)

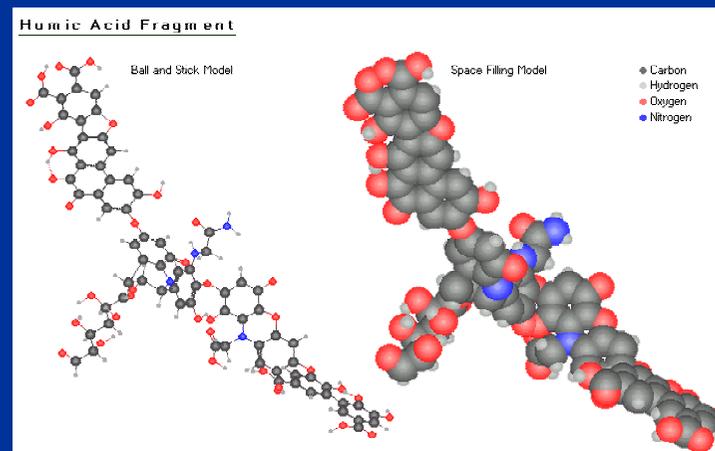
1. **целостность** — первичность целого по отношению к частям;
2. **неаддитивность** — принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих её компонентов;
3. **синергичность** — однонаправленность (или целенаправленность) действий компонентов усиливает эффективность функционирования системы;
4. **эмерджентность** — цели (функции) компонентов системы не всегда совпадают с целями (функциями) системы;
5. **мультипликативность** — как позитивные, так и негативные эффекты функционирования компонентов в системе обладают свойством умножения, а не сложения;
6. **взаимодействие и взаимозависимость** системы и внешней среды;
7. **структурность** — возможно разложение системы на компоненты;
8. **иерархичность** — каждый компонент системы может рассматриваться как система (подсистема) более широкой глобальной системы;
9. **непрерывность** функционирования и эволюции;
10. **целенаправленность**;
11. **адаптивность** — стремление к состоянию устойчивого равновесия, которое предполагает адаптацию параметров системы к изменяющимся параметрам внешней среды (однако «неустойчивость» может выступать и в качестве условия динамического развития);
12. **альтернативность** путей функционирования и развития;
13. **приоритет интересов системы более широкого (глобального) уровня** перед интересами её компонентов;
14. **надёжность** — функционирования системы при выходе из строя одной из компонент, сохраняемость проектных значений параметров системы в течение запланированного периода времени

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

**Гуминовые вещества** – это более или менее темнокрашенные азотсодержащие высокомолекулярные соединения преимущественно кислотной природы  
(Орлов Д.С. , 1990, с.48)

**Humic substances** – a series of relatively high molecular weight, yellow to black colored substances formed (in soil) by secondary synthesis reactions.  
(Stevenson, 1994, p. 33)

**Humic substances** are a general category of naturally occurring, biogenic, heterogeneous organic substances generally characterized as yellow to black in colour, of high molecular weight, and refractory.  
(Aiken et al. 1985)



# ИНТЕГРАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ?????????? (перечислены в процессе дискуссии)

**1) устойчивость к биоразложению** в условиях высокой биологической активности (Шинкарев А.А.)

*Поправки к первому признаку:*

**динамическая** устойчивость к биоразложению

**относительная** устойчивость к биоразложению

**кинетическая** устойчивость к биоразложению

2) Различие в физиологической активности целого и фракций

3) Комплексность/сложность свойств ГВ

# СИСТЕМНЫЕ СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ (ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ)

**Системообразующий признак гуминовых веществ (интегративное свойство)** – кинетическая устойчивость к биохимическому разложению в условиях высокой биологической активности

**Цель системы гуминовых веществ** – поддержание кинетической устойчивости к биохимическому разложению

Множественность индивидуальных компонентов (фракций)

Наличие множества разнотипных взаимодействий между компонентами (ковалентные, ионные, водородные, ван-дер-ваальсовы связи)



# ФУНКЦИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В СИСТЕМЕ «ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО»

## **Функция системы гуминовых веществ –**

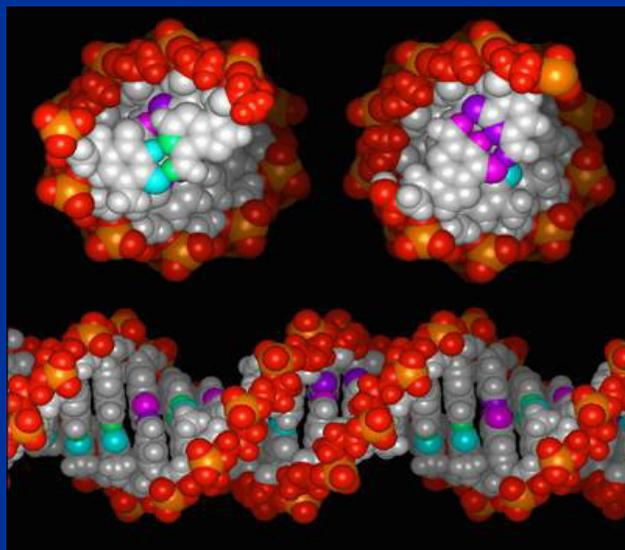
создание и поддержание резервуара органических соединений - продуктов «вторичного» синтеза, образуемых при разложении остатков живых организмов под воздействием микроорганизмов и абиотических факторов среды

## **Способ реализации функции –**

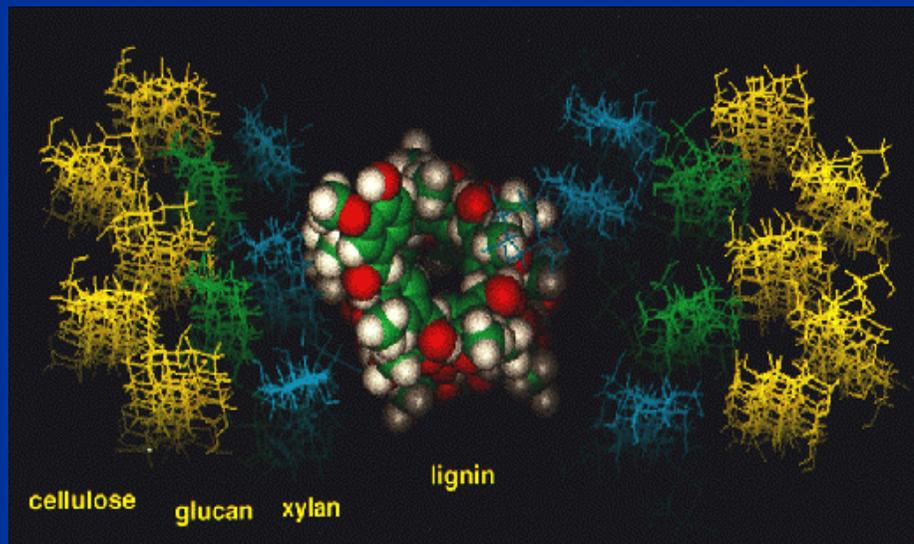
создание высокого уровня неупорядоченности структуры (поливариантность), препятствующего появлению ферментов, специализированных на разложении ГВ



# ГЕНЕРАЦИЯ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР

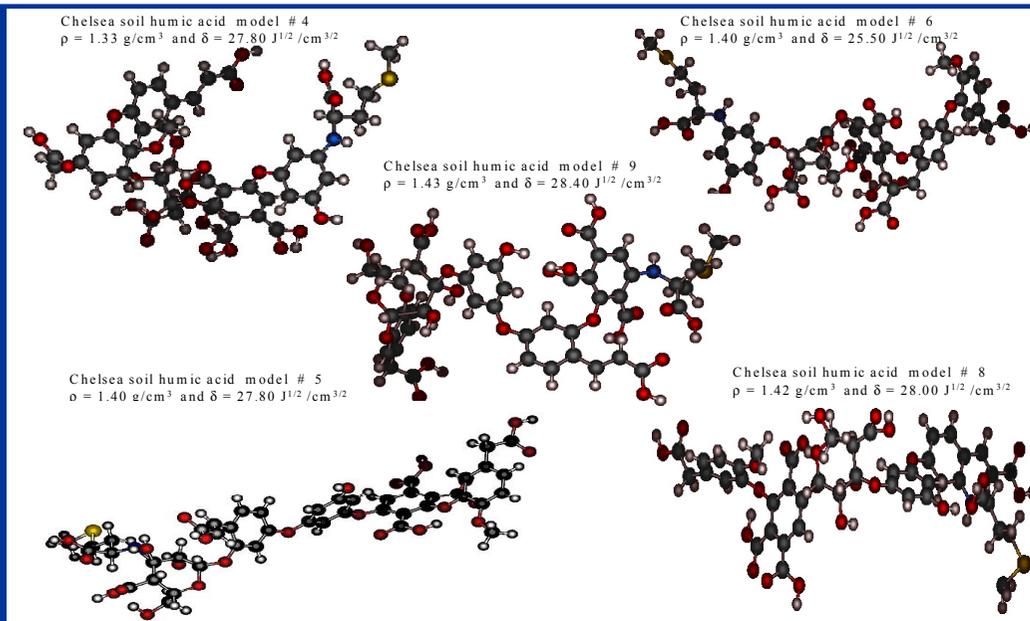


+



$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{NH}_3$

+



# СВОЙСТВА ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

**Открытые системы**, в которых наблюдается прирост энтропии, называют **диссипативными**. В таких системах энергия упорядоченного движения переходит в энергию неупорядоченного хаотического движения, в тепло.

Если отток энтропии превысит ее внутренний рост, начинают происходить **самоорганизационные процессы**, создание диссипативных структур.

"Пригожин назвал эти системы "диссипативными структурами", чтобы отразить тот факт, что они поддерживают и развивают свою структуру посредством разрушения других структур в процессе метаболизма, и таким образом создают энтропию – беспорядок, которая затем рассеивается в форме отходов.

В диссипативных химических структурах динамика самоорганизации представлена в своей простейшей форме, проявляя, однако, большинство характерных признаков жизни - самовосстановление, адаптацию, эволюцию и даже примитивные формы "ментальных" процессов. Единственная причина, почему они не считаются живыми - это то, что они не воспроизводят себя или не формируют клетки. Таким образом, эти удивительные системы представляют собой промежуточное звено между живой и неживой материей". (Фритьоф Капра «Системный взгляд на жизнь»)

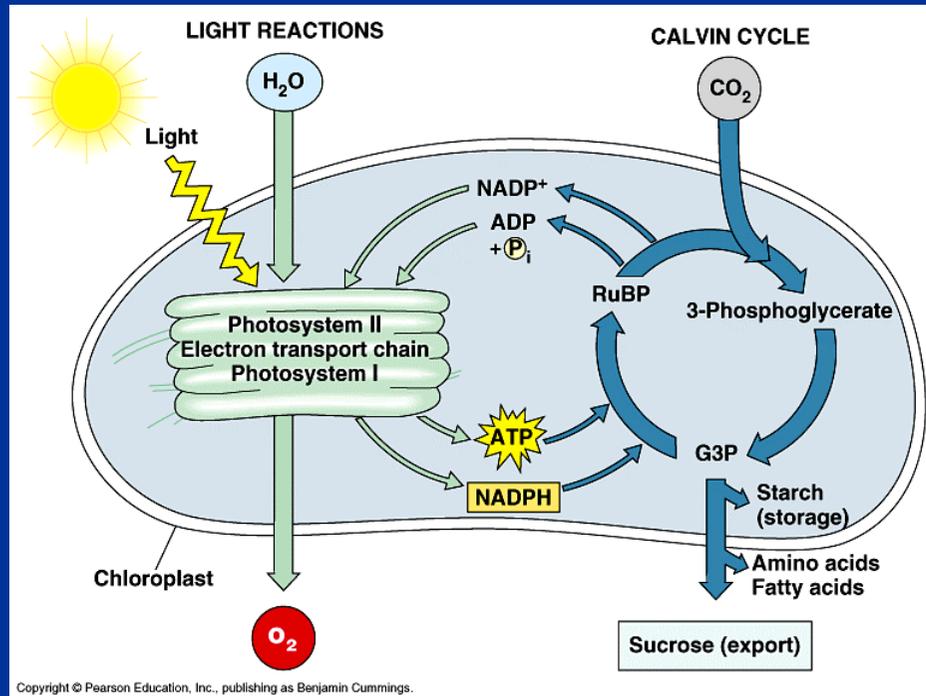
# УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДС

(Климонтович, 1994)

- **Диссипативные структуры** могут образовываться только в открытых системах. Только в них возможен приток энергии, компенсирующий потери за счет диссипации и обеспечивающий существование более упорядоченных состояний.
- **Диссипативные структуры** возникают в макроскопических системах, то есть в системах, состоящих из большого числа элементов (атомов, молекул, макромолекул, клеток и т.д.). Благодаря этому возможны коллективные - синергетические взаимодействия, необходимые для перестройки системы.
- **Диссипативные структуры** возникают лишь в системах, описываемых нелинейными уравнениями для макроскопических функций (например, кинетические уравнения Больцмана, уравнения газовой динамики и гидродинамики, уравнения Максвелла в электродинамике и т.д).
- Для возникновения **диссипативных структур** нелинейные уравнения должны при определенных значениях управляющих параметров допускать изменение симметрии решения (например, переход от молекулярного теплопереноса к конвективному теплопереносу по ячейкам Бенара).



# СИНТЕЗ БИОМАССЫ – ИСТОЧНИКА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ



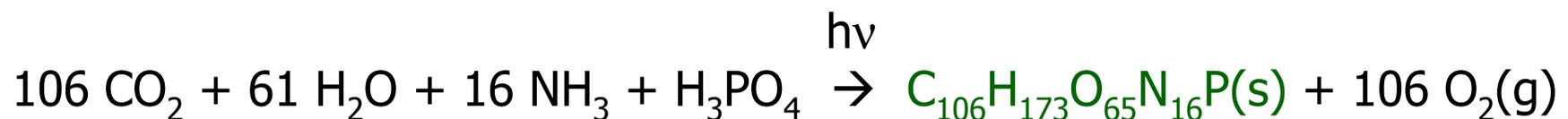
## Брутто-формула биомассы

морского фитопланктона:



(corrected Redfield formula)

*Credit to: E.M.Perdue*



## Biomass Heating Value

~20 GJ/dry tonn HHV, or 18.5 GJ/t LHV at 10% moisture (ash free)



# РАЗЛОЖЕНИЕ БИОМАССЫ

Окисление до низкомолекулярных соединений  
(максимальный рост энтропии)



$$S = k \cdot \ln W \Rightarrow \Delta S = k \cdot \ln(W_t/W_0),$$

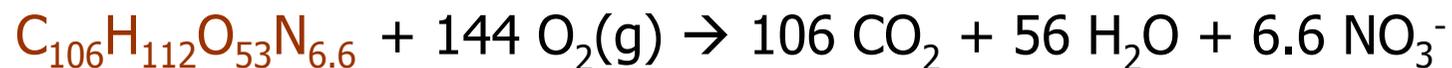
где  $k$  – постоянная Больцмана,  $W$  – число микросостояний в данном макросостоянии

$G_{\max}$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$G_{\min}$

Разложение с образованием гуминовых веществ -  
- самоорганизация – минимизация производства энтропии



$$\Delta G = \sum \Delta G_i$$

$$i = 1, \dots, n$$

$G_{\max}$



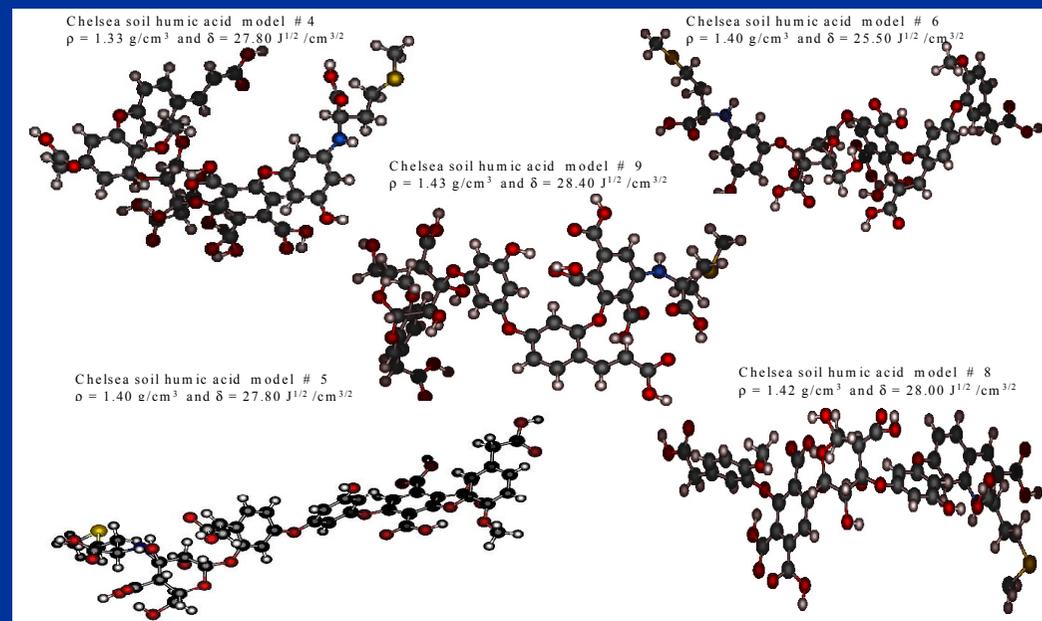
# ПРИЗНАКИ САМООРГАНИЗАЦИИ

- **Отсутствие внешнего контроля** (автономность)
- **Динамичность процесса** (эволюция во времени)
- **Колебания** (поиск значений параметров/шум)
- **Возникновение симметрии** (потеря свободы/появление разнородности)
- **Глобальный порядок** (возникновение из локальных взаимодействий)
- **Рассеивание** (использование энергии/неравновесные процессы)
- **Нестабильность** (самоусиливающиеся эффекты/нелинейность)
- **Несколько положений равновесия** (много аттракторов)
- **Критичность** (краевые эффекты/фазовые переходы)
- **Избыточность** (нечувствительность к повреждениям)
- **Самостоятельность** (восстановление/механизмы воспроизведения)
- **Адаптивность** (функциональность/учёт внешних изменений)
- **Сложность** (много одновременных критериев или целей)
- **Иерархичность** (множественные уровни самоорганизации)



# СИСТЕМНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Гуминовые вещества - это сложные системы природных органических или минерал-органических соединений, кинетически устойчивых к биоразложению, образующихся в результате вторичного синтеза путем самоорганизации в молекулярные ансамбли с высокой степенью неупорядоченности структуры и полидисперсности молекулярных масс .



# ВЫВОДЫ

1. Гуминовые вещества – сложные диссипативные системы, образующиеся в процессе разрушения высокоупорядоченных живых систем.
2. Интегративный признак системы гуминовых веществ – кинетическая устойчивость к биохимическому разложению.
3. Функция гуминовых веществ в системе «планетарное органическое вещество» – создание и поддержание резервуара органических соединений в виде продуктов «вторичного синтеза».
4. Реализация функции достигается путем самоорганизации разлагающихся остатков живого органического вещества в молекулярные ансамбли с высокой степенью неупорядоченности структуры и полидисперсности молекулярных масс.



# РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985.
- Хакен Г. Синергетика. М: Мир, 1980.
- Климонтович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем. М.: Янус, 1995.
- Климонтович Ю.Л. Физика открытых систем. *Успехи физических наук*. 1966. Т. 168.
- Самоорганизация и наука . Под ред. И.Г. Акчурина и В.И. Аршинова. М.: Арго, 1994.
- Руденко А.П. Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция открытых каталитических систем. 1999. В сб. «Синергетика». Том 2. М. Изд-во МГУ. С. 17-35.
- Шинкарев А.А. 2005. Теоретико-экспериментальные исследования фракционного состава органических компонентов почв лесостепи Среднего Приволжья. Автореферат докт. дисс. Ростовский государственный университет. Ростов-на-Дону

