Центр нейронаук и когнитивных наук МГУ



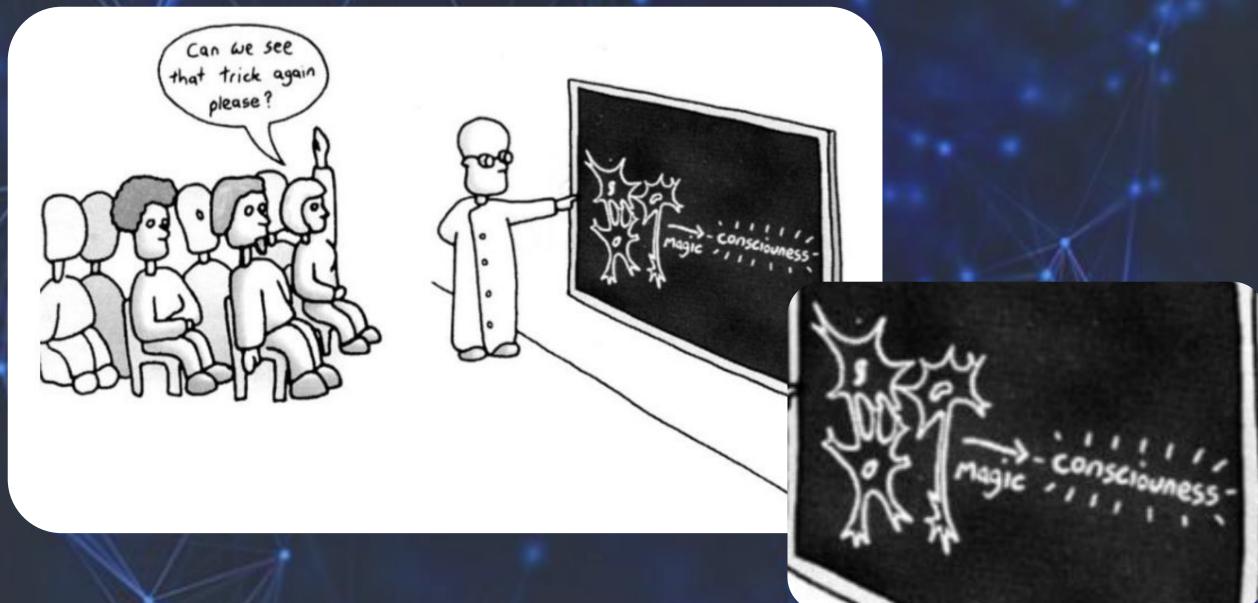
# Теория сложных сетей как мост между физикой и нейронаукой

### Поспелов Никита Андреевич

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

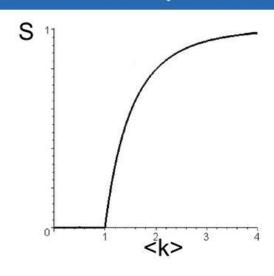
Санаторий РАН «Звенигородский» 21.10.2018

## Нейробиология и теория сознания

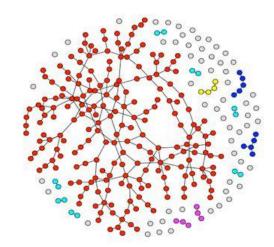


### 0. Фазовый переход в графе Эрдеша - Реньи

#### Connectivity ("Percolation") of Random Graphs



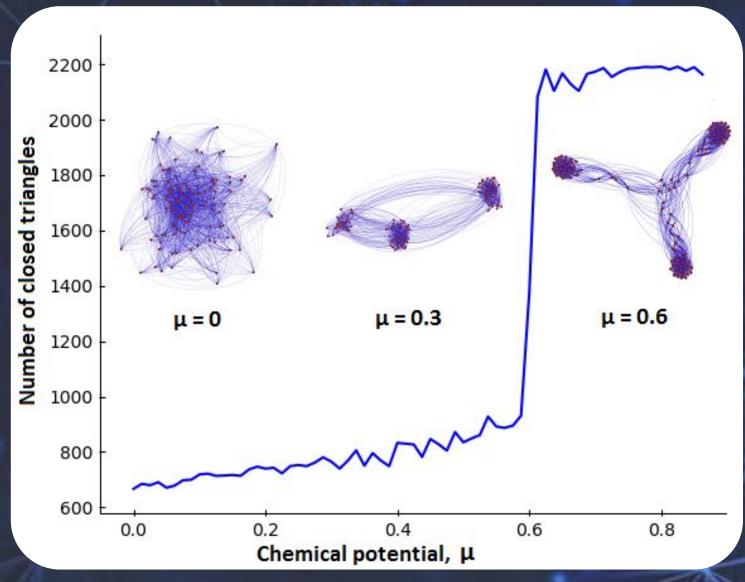
S: the fraction of nodes in the giant component,  $S=N_{GC}/N$ 

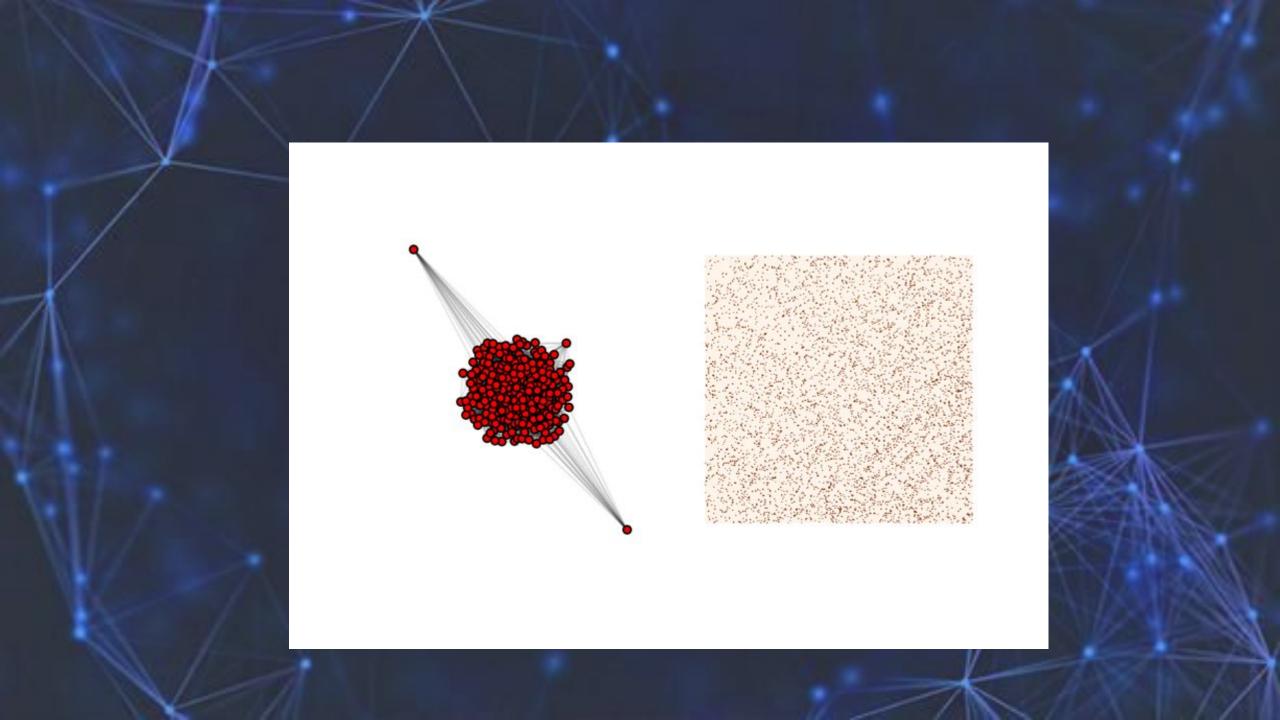


there is a phase transition at <k>=1:

- ♦ for <k> < 1 there is no giant component</p>
- ♦ for <k>> 1 there is a giant component
- ❖ for large <k> the giant component contains all nodes (S=1)

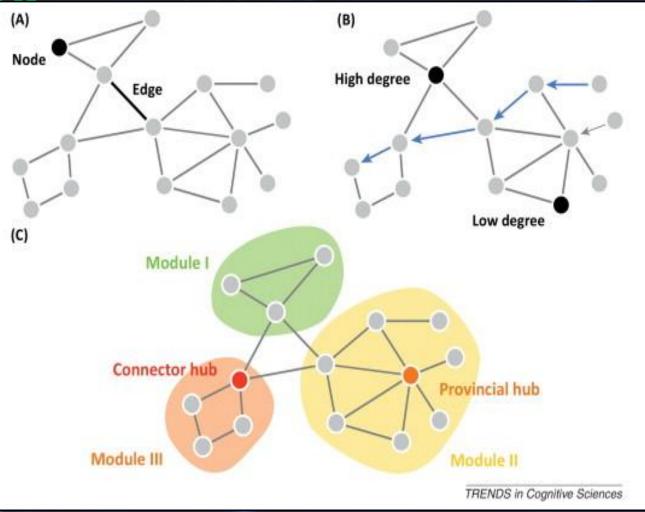
http://linbaba.files.wordpress.com/20 10/10/erdos-renyi.png 1. Эволюция случайной сети в сторону увеличения кластеризации



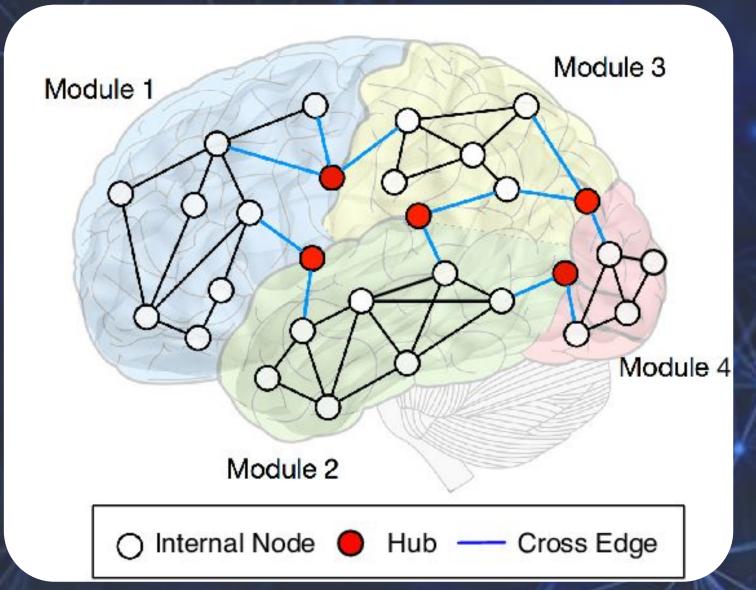


### Структура кластеризованной сети

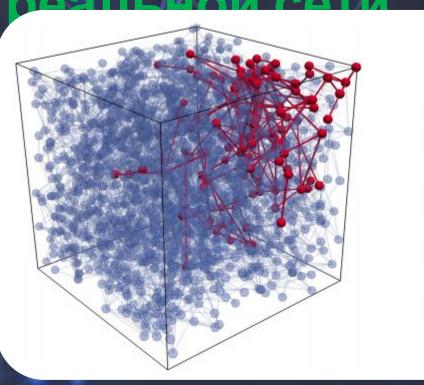
мозга

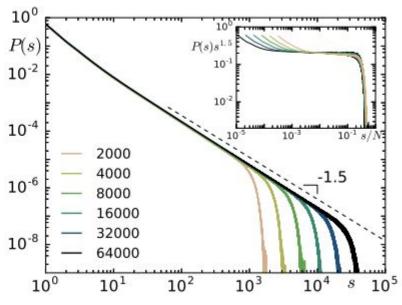


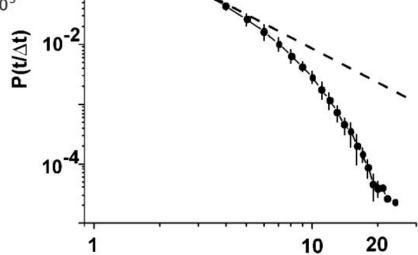
# Структура кластеризованной сети мозга



### 2. Распределение лавин в модельной и





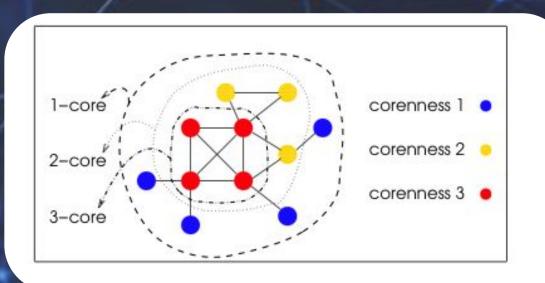


life time (t/ $\Delta$ t)

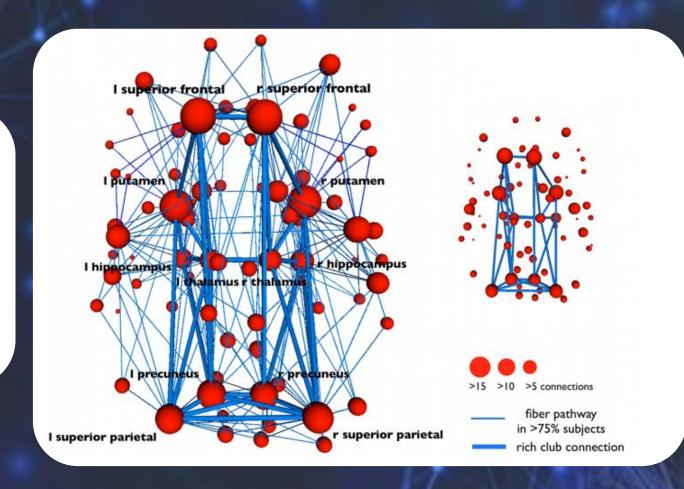
**Avalanches in Barabashi-Albert networks** 

**Avalanches in neuronal cultures** 

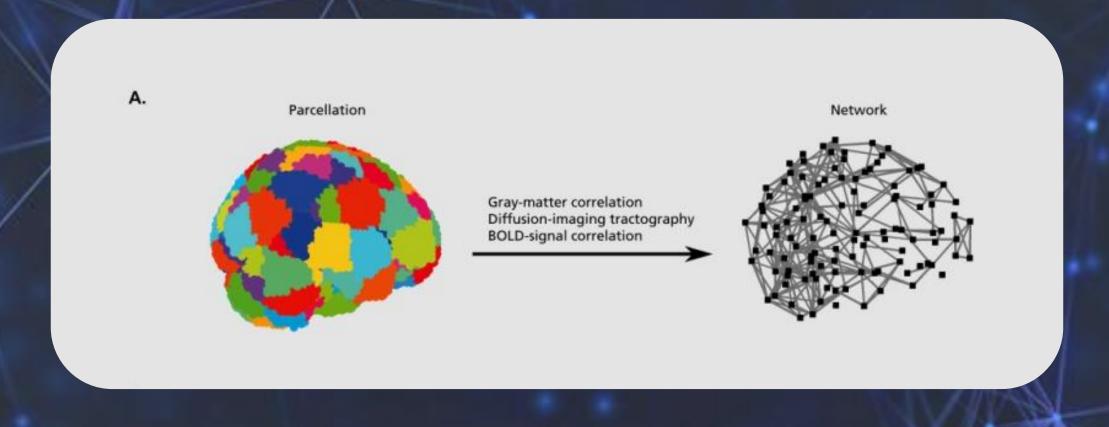
## 3. «Клуб избранных» в сетях



K-core



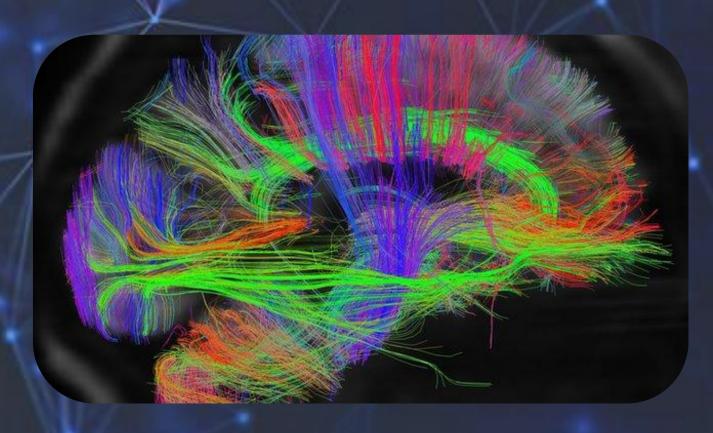
Rich club

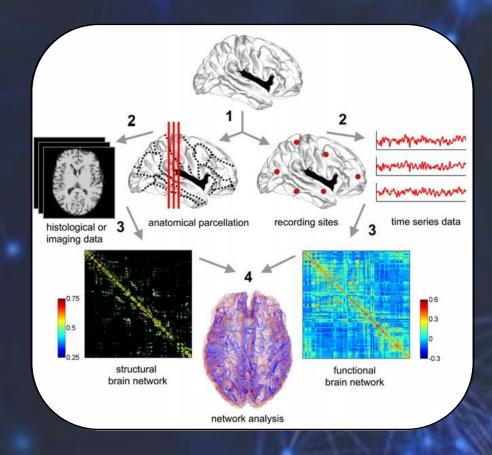


Структурные (анатомические) сети – массив структурных связей между нейронами, их группами или большими областями мозга

**Функциональные сети** – массив статистических корреляций между областями, на которые разбивается мозг или его часть

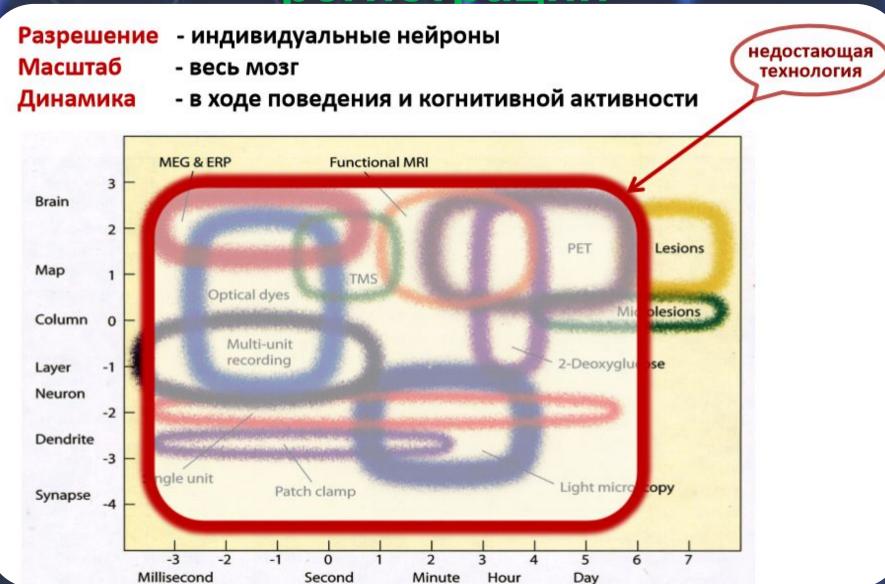
### Сетевой анализ мозга



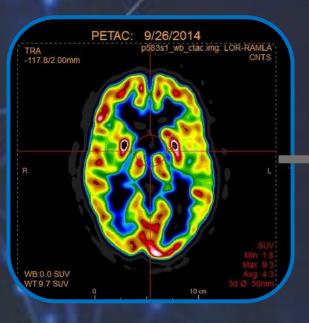


Визуализация коннектома Получение сетей разного типа

# Современное состояние методов регистрации



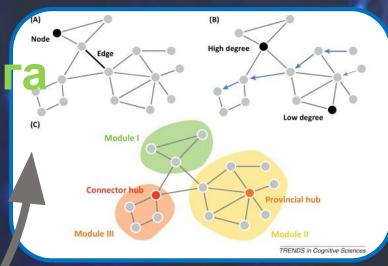
#### Математический анализ сетей мозга



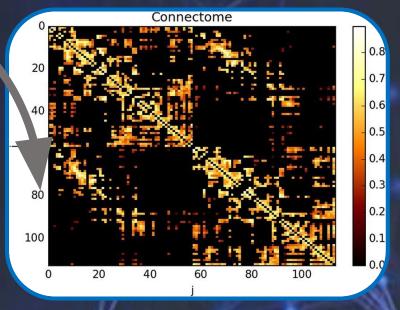
Набор изображений или анатомических данных



Построение структурной или функциональной сети мозга (коннектома)

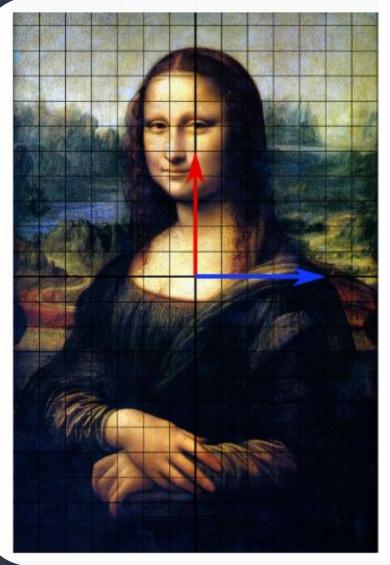


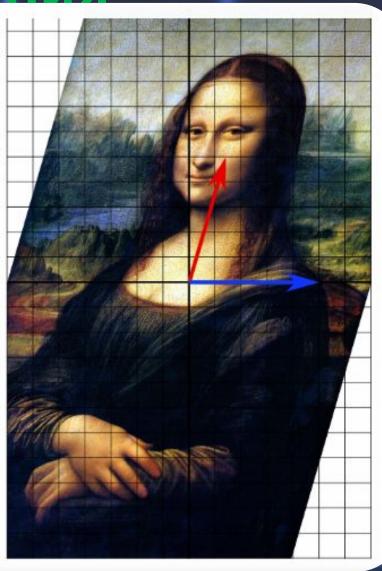
### **Теория сложных сетей** (локальные свойства)

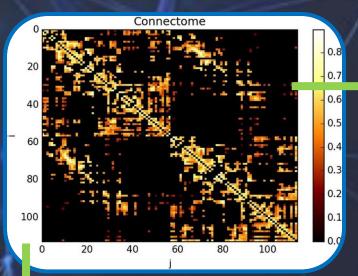


Спектральная теория графов (глобальные свойства)

# Собственные вектора & собственные значения





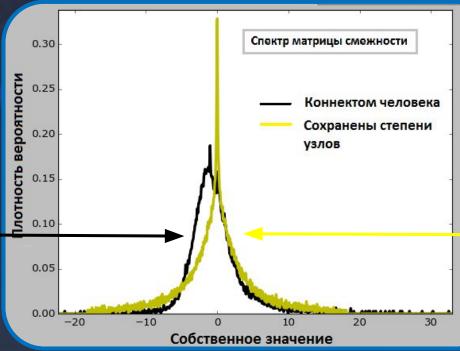


## Алгоритмы рандомизации

Матрица A исходной сети

$$\det(A - \lambda I) = 0$$

Собственные значения



Матрица А<sup>′</sup> рандомизированной сети

$$\det(A' - \lambda I) = 0$$

Собственные значения

Спектр сети

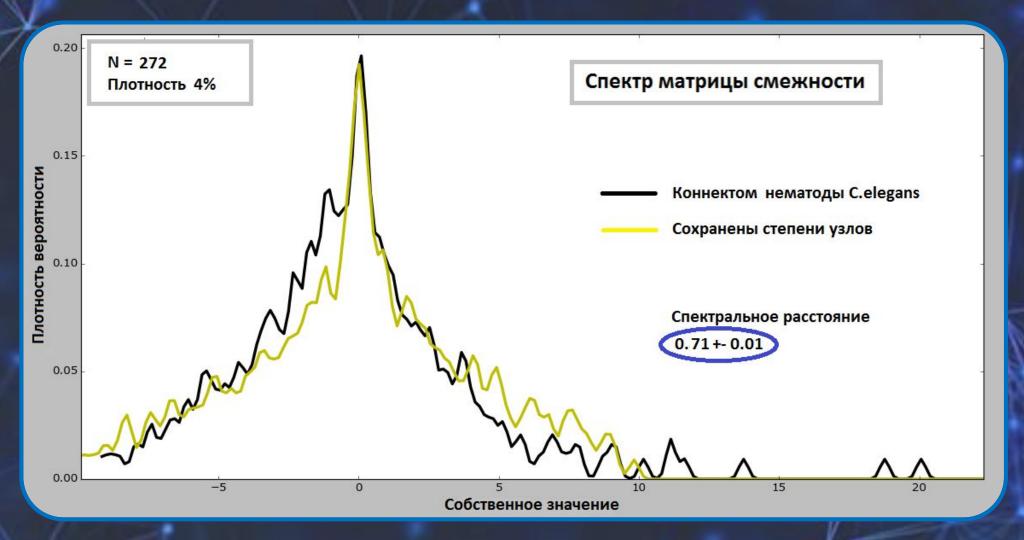
### Полученные результаты

1. Сильные отличия коннектома человека от рандомизированной копии (в ср. с другими)



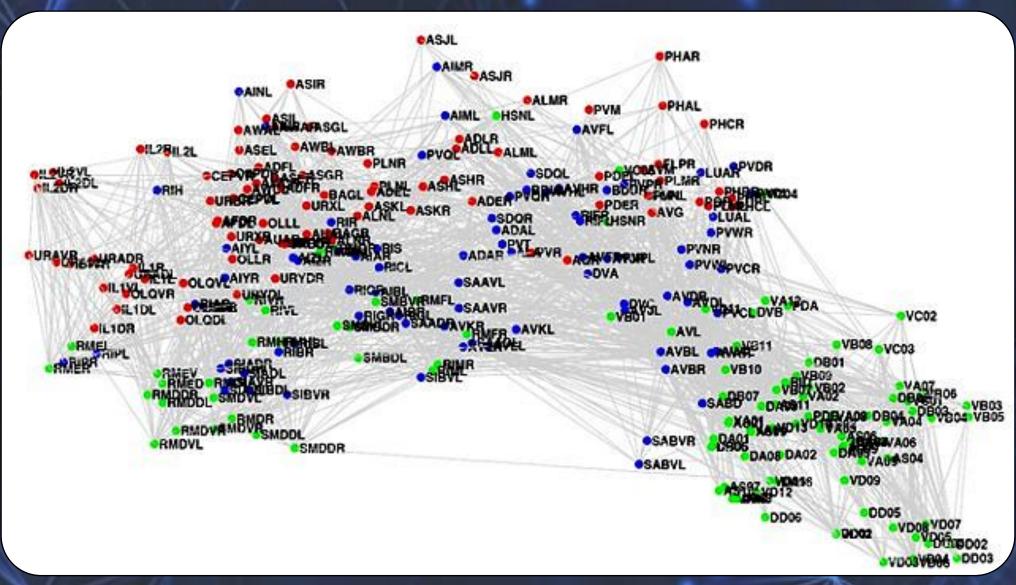
Спектр коннектома макаки и его рандомизированной копии

# Сильно ли отличаются ли спектры сетей разных организмов от своих случайных аналогов?

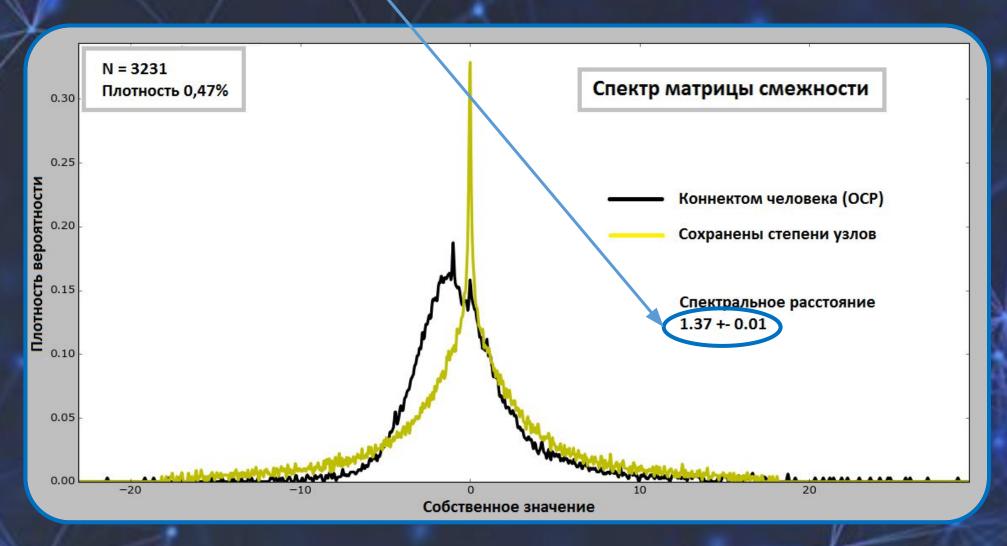


Спектр коннектома нематоды C.elegans и его рандомизированной копии

### Коннектом нематоды C.elegans

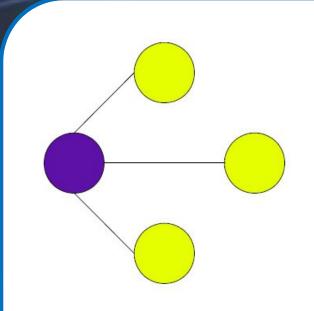


#### Коннектом человека сильнее отличается от своей случайной копии

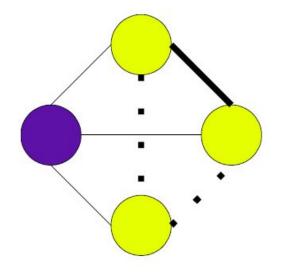


Спектр коннектома человека и его рандомизированного аналога

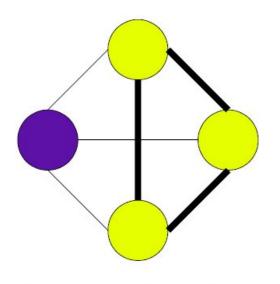
# 2. Локальная кластеризация оказывает важное влияние на спектр



(a) Нет связей между соседями: **C** = **0** 



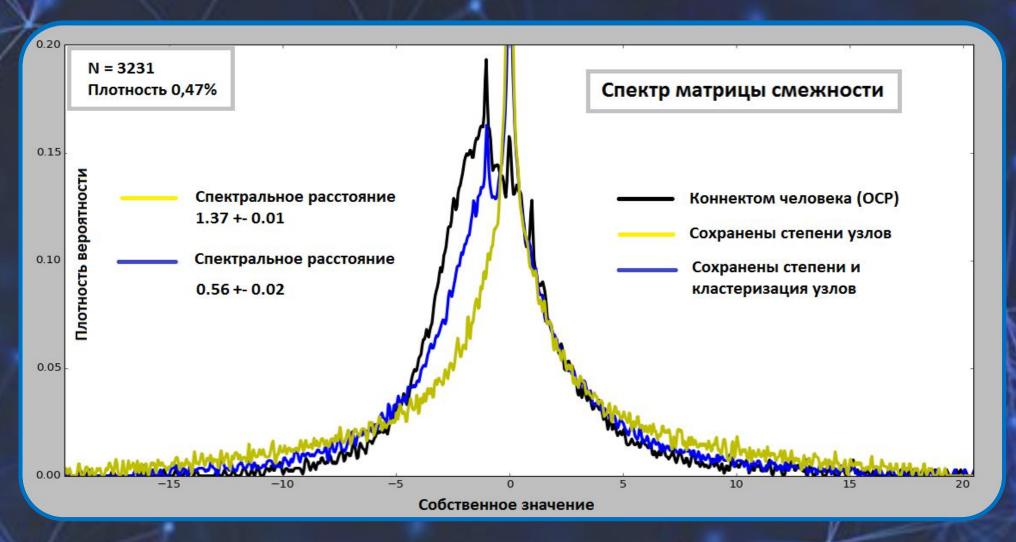
(b) Одна связь между соседями: **C** = **1/3** 



(c) Три связи между соседями: **C** = **3/3** 

Локальный коэффициент кластеризации

# 2. Локальная кластеризация оказывает важное влияние на спектр



Спектр коннектома человека и его рандомизированных аналогов

### Выводы

- Коннектом человека демонстрирует существенную неслучайность по сравнению с сетями других животных. Это может быть следствием эволюционного отбора, действующего на нервную сеть.
- 2. <u>Локальная кластеризация</u> во многом определяет форму спектра коннектома и, следовательно, играет важную роль в структуре исследуемых сетей.

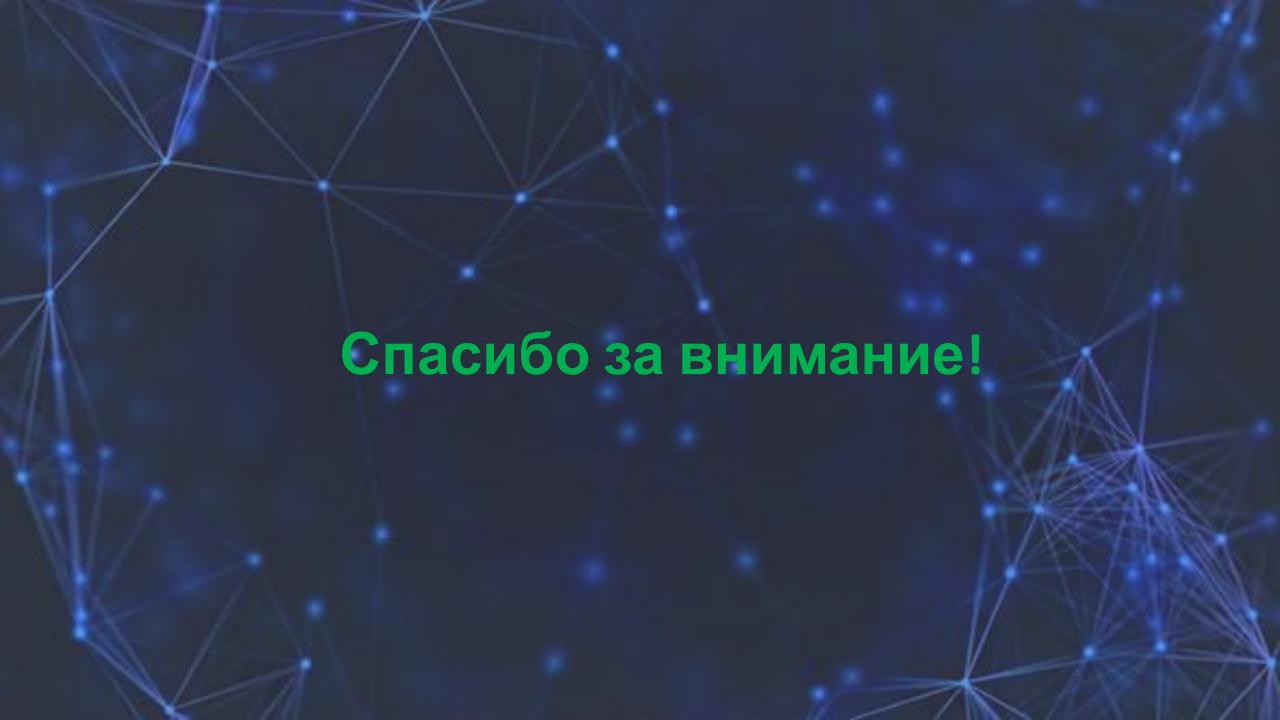
#### Контакты

- Никита Поспелов: <a href="mailto:nik-pos@yandex.ru">nik-pos@yandex.ru</a>; VK, TG @niveous\_dragon
- Сергей Константинович Нечаев, д. ф.-м. н., Directeur de Recherche au CNRS Université Paris-Sud:

sergei.nechaev@gmail.com

 Константин Владимирович Анохин, член-корреспондент РАН, директор Центра нейронаук и когнитивных наук МГУ:

k.anokhin@gmail.com



## Синхронизация подсетей

