

# НЕЙРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КАК ОДНА ИЗ ОСНОВ МЕТОДОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕНТАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЧЕЛОВЕКА

Горбунов Иван Анатольевич СПбГУ факультет психологии  
*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ  
и РГНФ в рамках научных проектов*

*№ 16-06-00182 РФФИ и*

*№ 13-06-00625 РГНФ*

# РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ

- С 80-х годов началось бурное развитие математического моделирования нейросетей, проявившееся сначала в интересе к «ассоциативным» сетям Хопфилда, а затем в разработке алгоритма обратного распространения ошибки Руммельхартом и соавторами. Стало понятно, что работа нейронной сети, ее самообучение и другие функции, существенно отличаются от компьютерных алгоритмов, зато очень похожи по динамике и результатам на психические явления.
- В современной психофизиологии часто используется методология математических моделей нейронных сетей (ММНС) для описания механизмов различных психических явлений и их моделирования (Arbib M. A. The handbook of brain theory and neural networks. – MIT press, 2003.)



# СВОЙСТВА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

- Одновременность работы множества элементов модели, качественно увеличивающая быстродействие при решении сложных задач, требующих работы с многомерными данными.
- Невозможность однозначного управления нейросетью, что не позволяет легко ее перепрограммировать в отличие от типичного компьютера.
- Возможность самообучения, то есть оптимизации работы на основе перестройки параметров нейросети с целью минимизации ошибок, возникающих при работе сети.
- Алгоритм работы нейросети модифицируется в процессе ее функционирования. Данные, заложенные в нее прошлым опытом обучения, в дальнейшем меняются, что представляет из себя процесс изменения синаптических связей между нейронами (весов межнейронных связей). Процесс управления сетью, в основном, упирается в организацию предъявляемых ей данных, то есть процессом обучения.



# СМЕНА В МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ «МЕТАФОРЫ»

- Компьютерная метафора - базирующаяся на понимании психики, как реализуемой мозгом компьютерной программы.
  - Последовательность операций в процессе обработки данных
  - Жестко заложенные схемы или алгоритмы операций
  - Обучение как действие по алгоритму операции, в результате неизменность схемы со временем
- Нейросетевая метафора
  - Параллельность операций
  - Самообучение, изменчивость алгоритмов
  - Обочение – внешний принцип, не связанный с реализуемым алгоритмом поведения



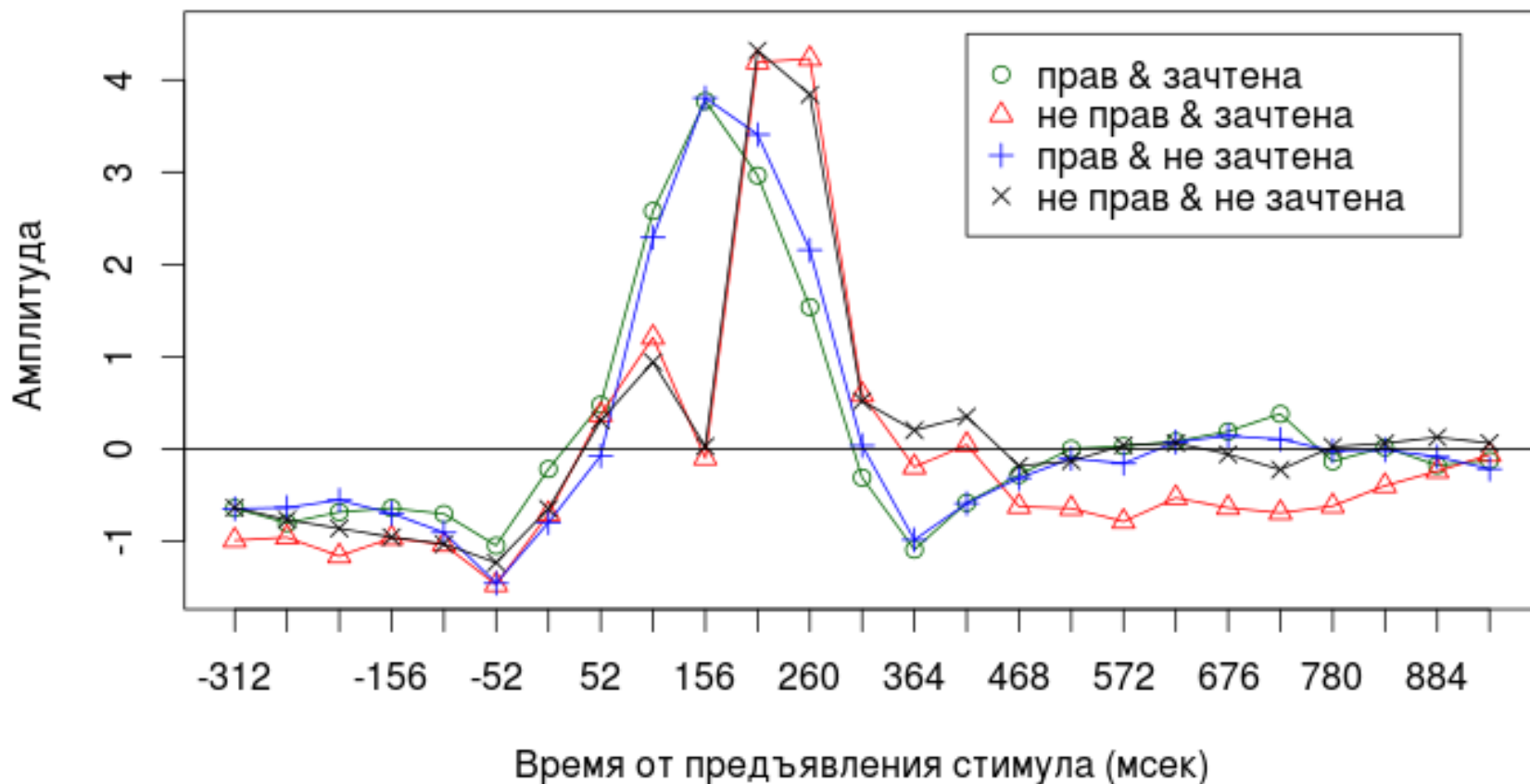
# СХОДСТВА РАБОТЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОСЕТЕЙ И ПСИХИКИ

В основе обучения нейросети, лежит избегание ошибок отклонения от целевой функции (Rummelhart)

В классической психофизиологии множество теорий базируется на идее научения как минимизации ошибки прогноза средовых событий (Hull C.L., Анохин П.К, Rescorla R. Wagner A., Швырков В.Б., Friston K.)

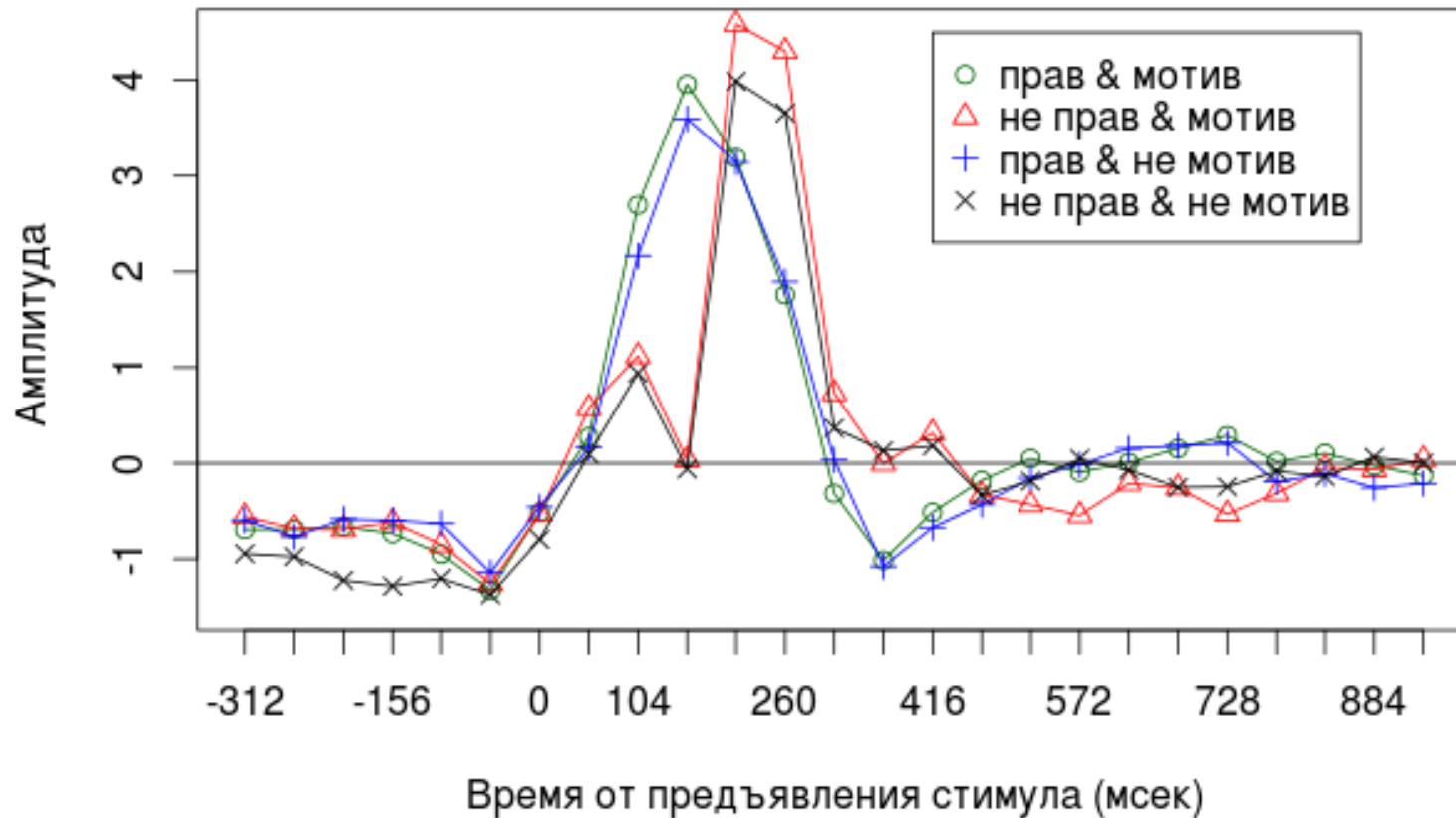
*УСРЕДНЁННЫЕ ВП ПО ФАКТОРАМ ПРАВИЛЬНОСТИ  
ПРОБЫ И «ЗАЧТЕННОСТИ» ЗАДАЧИ. (ЗАЙНУТДИНОВ М.Р.  
2011)*

**Усредненные ВП по отведению Cz.**

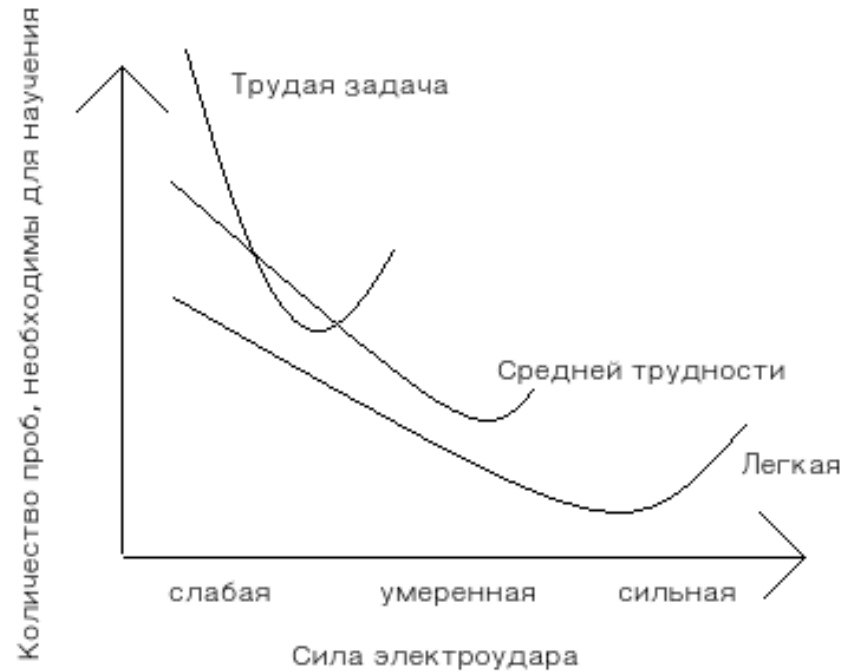
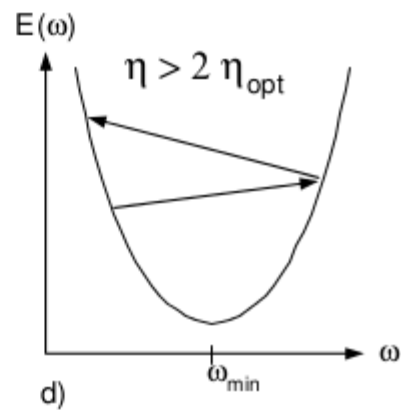
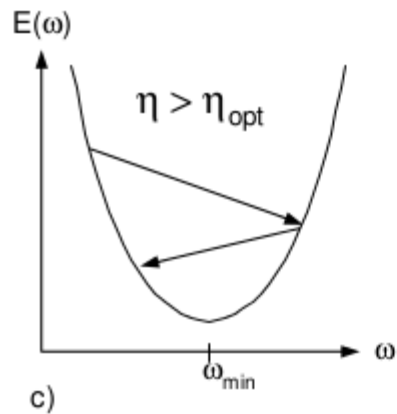
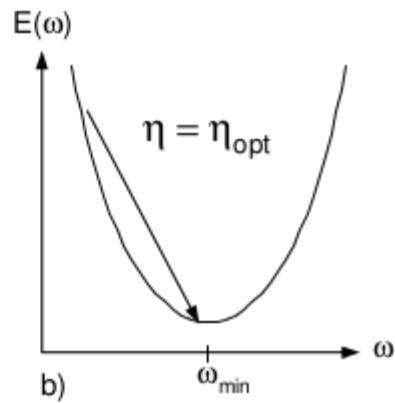
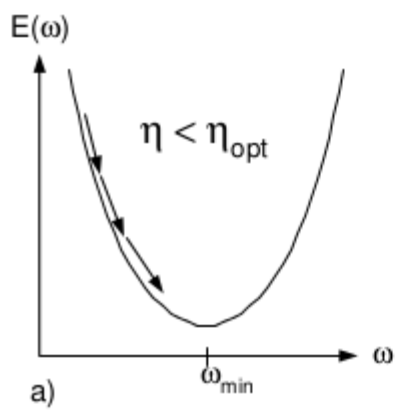


# СВЯЗЬ РЕАКЦИИ НА ОШИБКУ И МОТИВАЦИИ

Усредненные ВП по отведению Cz.

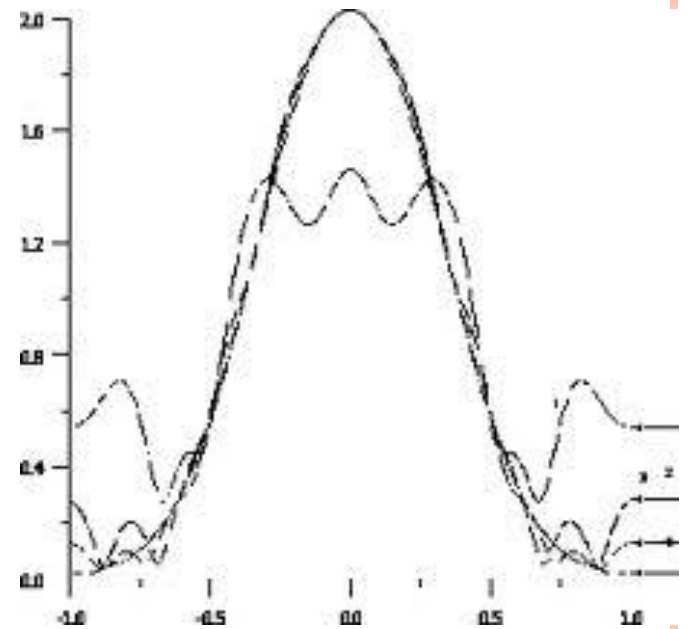
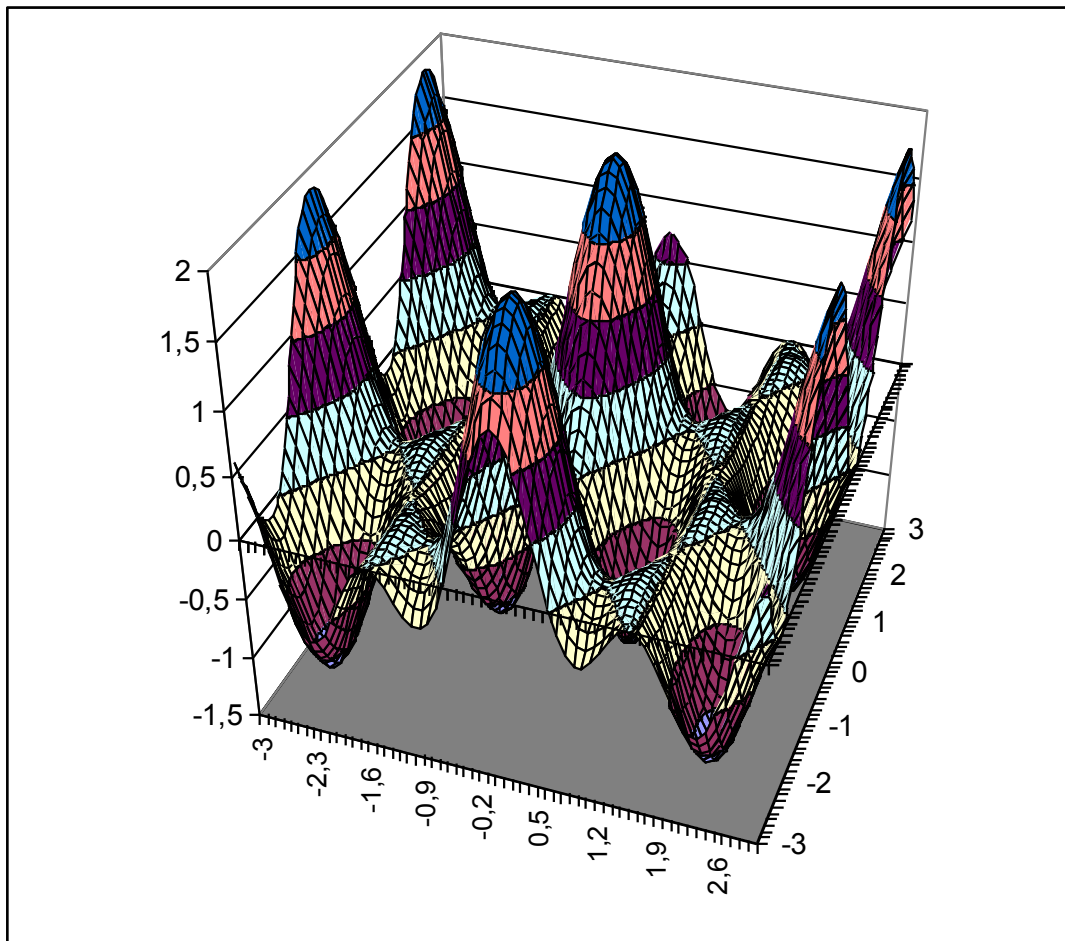


# СВЯЗЬ МОТИВАЦИИ И УСПЕШНОСТИ ОБУЧЕНИЯ





# ПОВЕРХНОСТЬ РЕШЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

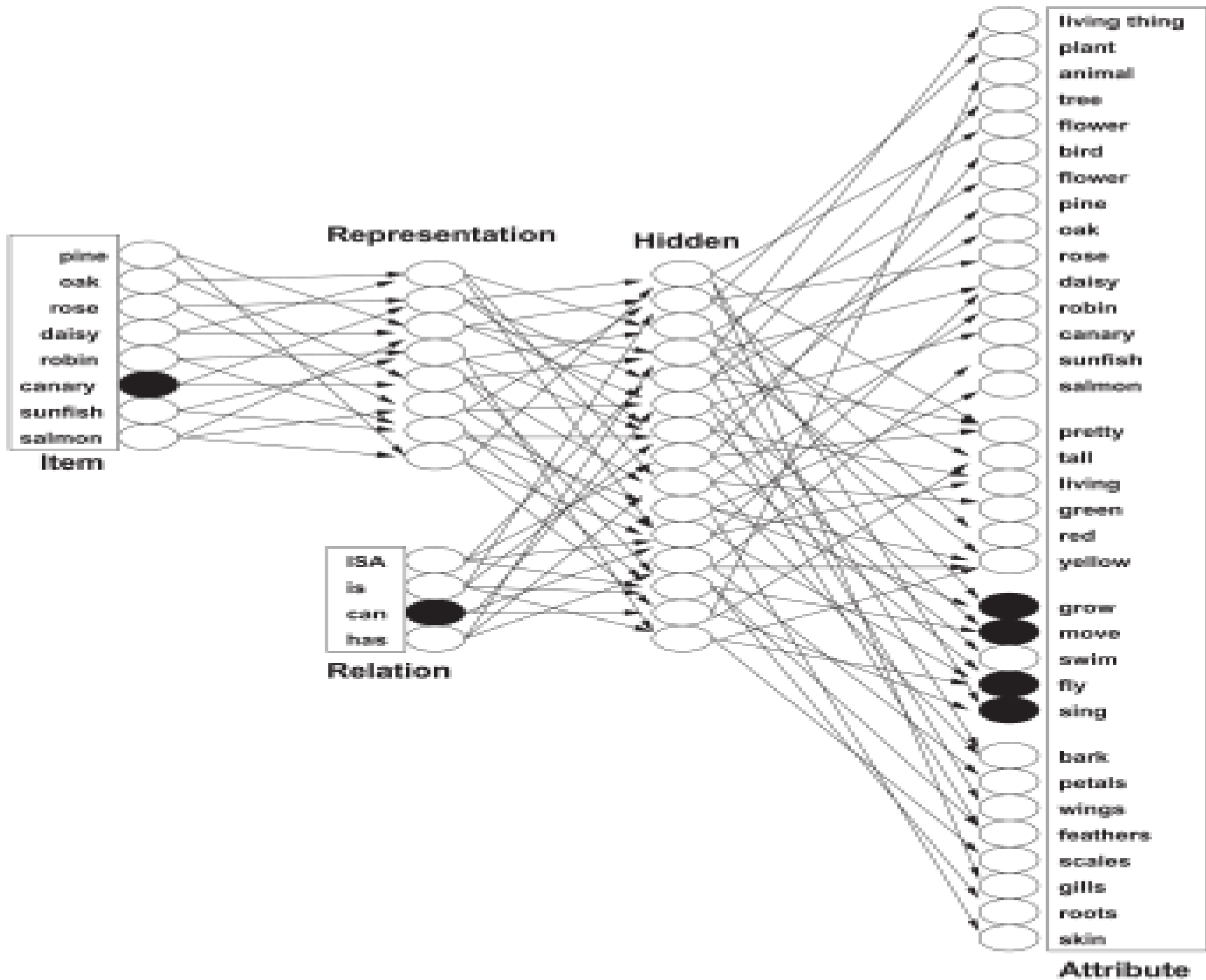


# СХОДСТВА РАБОТЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОСЕТЕЙ И ПСИХИКИ

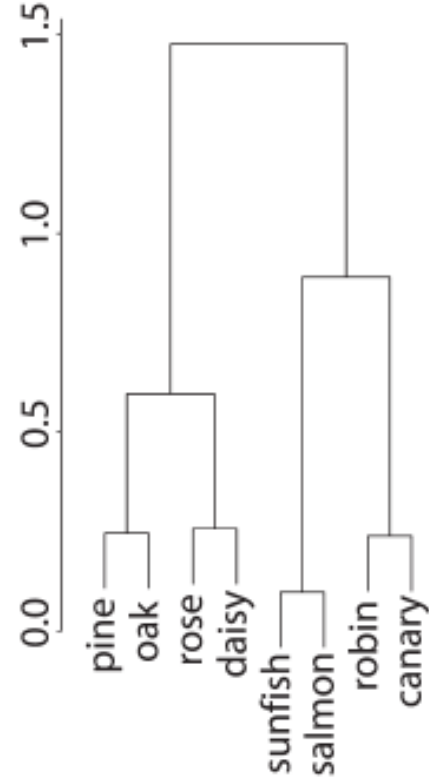
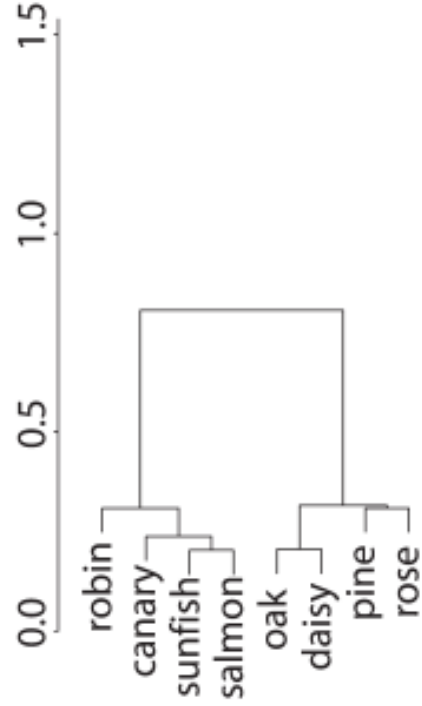
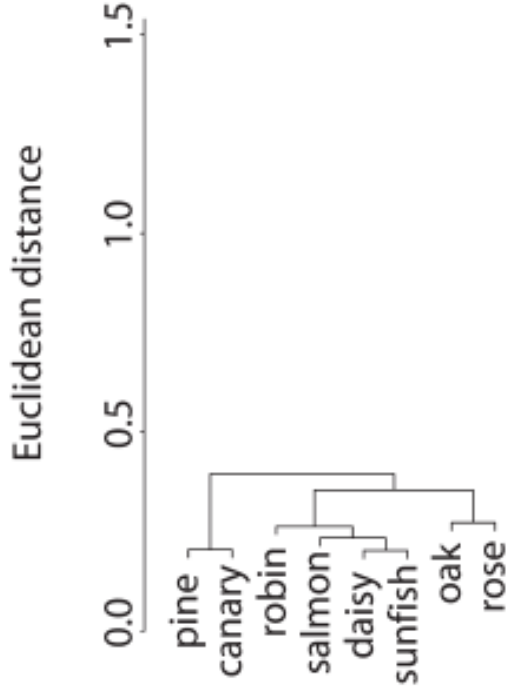
В процессе самообучения (при определенных условиях организации опыта обучения ММНС) можно наблюдать феномен дифференциации образов, а при работе с семантическим материалом дифференциации понятий (Rogers T. et al. 2004).

Обучение и развитие вербального мышления ребенка также идет по пути дифференциации понятий от более общих классов к более частным



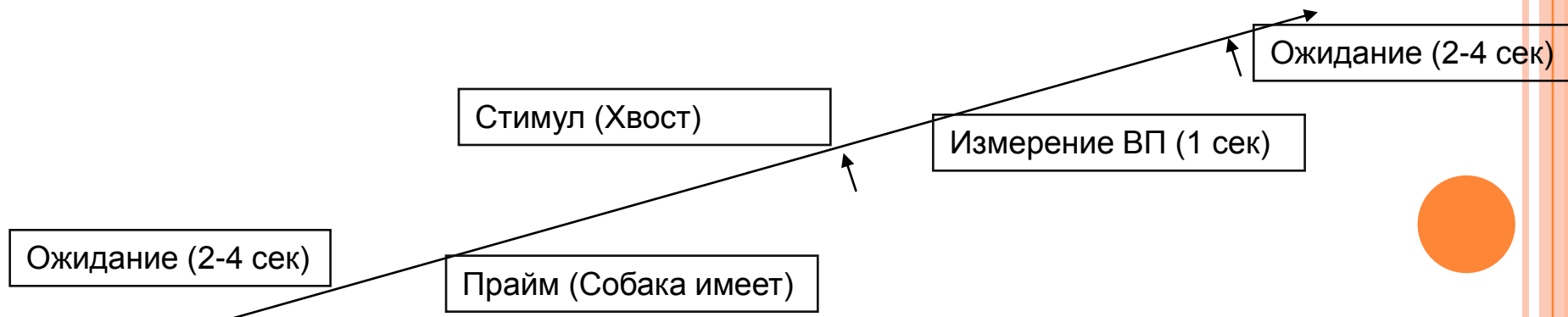


# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОНЯТИЙ В LANGWITH WEB

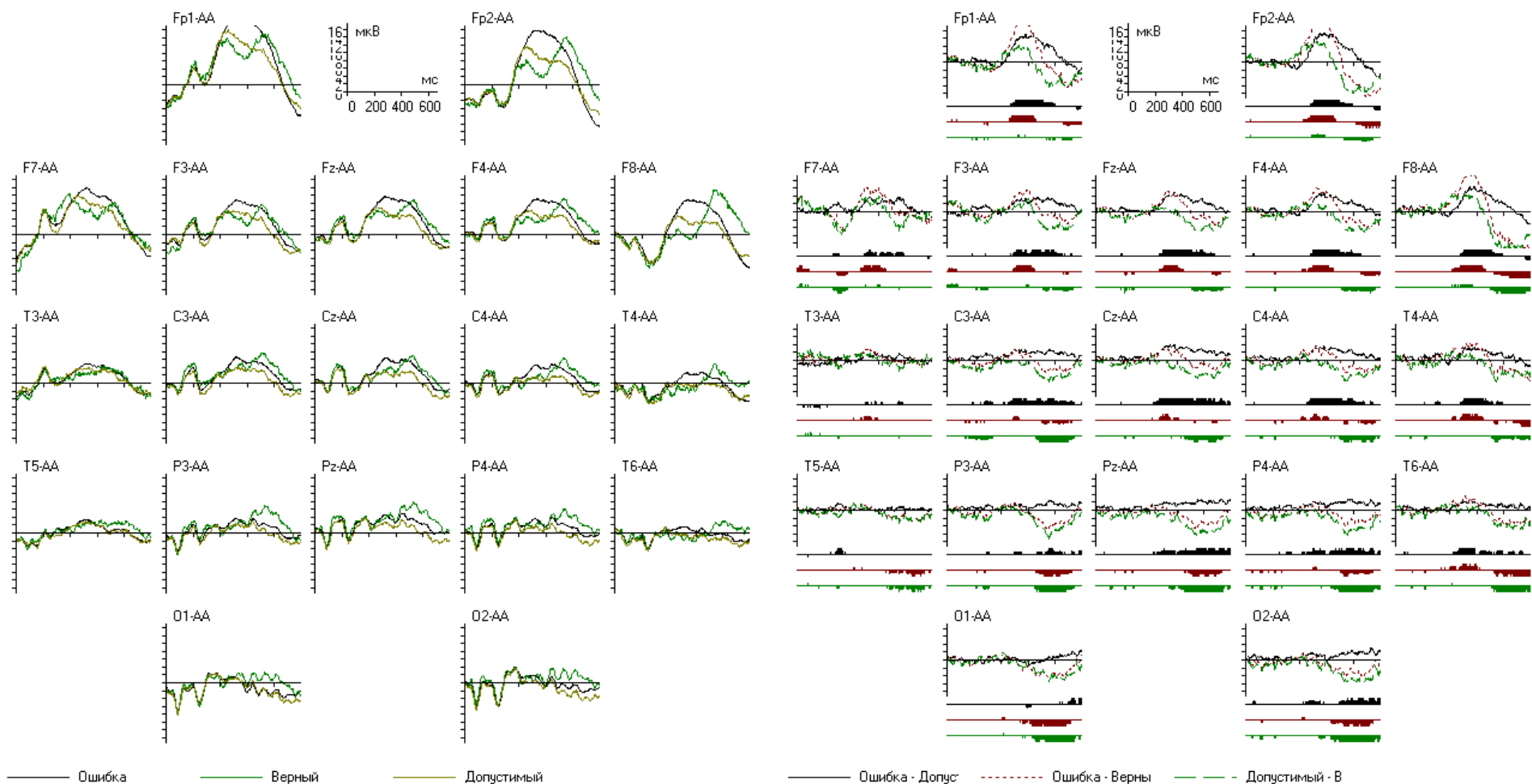


# ПЛАН ЭКСПЕРИМЕНТА

- Предъявление стимула (фильма) который воздействует на семантическое пространство
- Регистрация суждений испытуемого о семантической близости стимулов
- Регистрация ВП на признаки объектов



УСРЕДНЕНИЕ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ ОДНОГО ИЗ ИСПЫТУЕМЫХ. ИЗОБРАЖЕНЫ ОТДЕЛЬНО ВП, КОГДА ИСПЫТУЕМОМУ ПРЕДЪЯВЛЯЛИСЬ «ОШИБКА», «ДОПУСТИМЫЙ» И «ВЕРНЫЙ» СТИМУЛЫ



# СХОДСТВО РАБОТЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОСЕТЕЙ И ПСИХИКИ

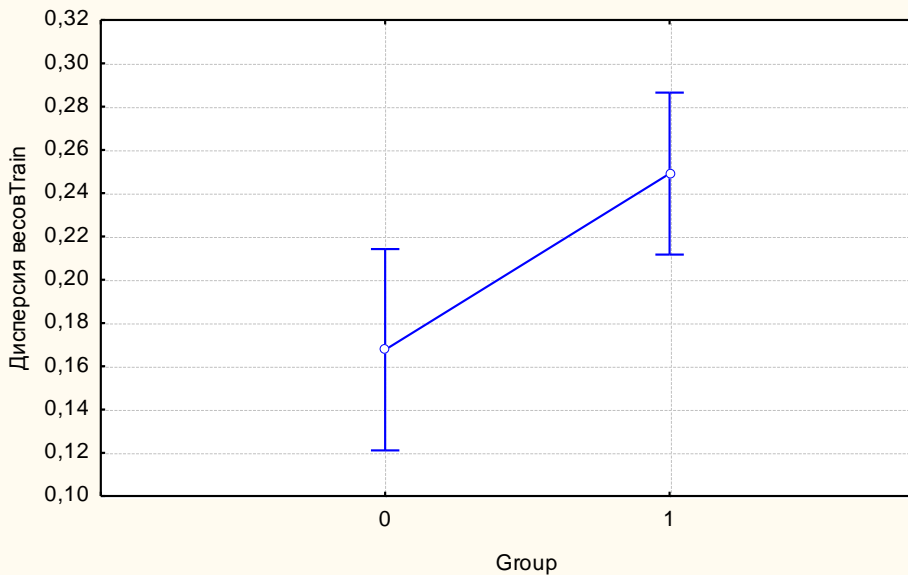
**ММНС работает по принципу ассоциации между различными образами, подаваемыми на ее вход, что позволяет на основе этого ассоциативного принципа применять правила, оптимизированные и приобретенные на одном материале, к другим данным, что в некоторых случаях создает эффект порождения новых знаний (Rogers T. T. et al. 2004).**

**Мышление человека также использует ассоциативный принцип для решения эвристических задач, когда методы решения одного класса задач используются для решения задач другого класса**



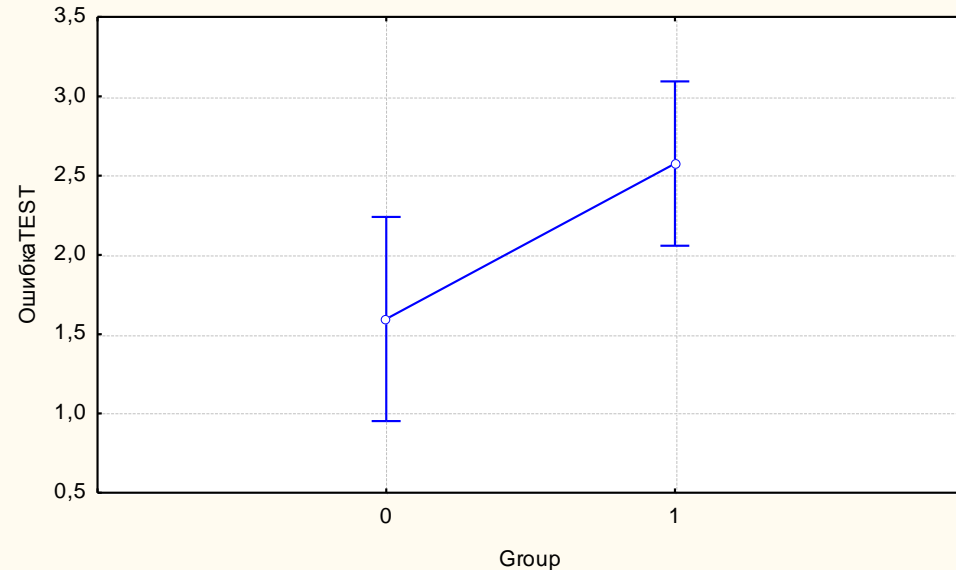
# ВЛИЯНИЕ СТИМУЛА (ФИЛЬМА) НА МОДЕЛЬ СЕМАНТИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Group; LS Means  
Wilks lambda=,69274, F(3, 24)=3,5484, p=,02949  
Effective hypothesis decomposition  
Vertical bars denote 0,95 confidence intervals



*Различия по параметру дисперсия весов в матрице связей модели семантического пространства, обученной по субъективным суждениям испытуемого между группой смотревшей фильм, сюжет которого сильно затрагивает семантическое пространство модели и группой, которая смотрела другие фильмы*

Group; LS Means  
Wilks lambda=,69274, F(3, 24)=3,5484, p=,02949  
Effective hypothesis decomposition  
Vertical bars denote 0,95 confidence intervals

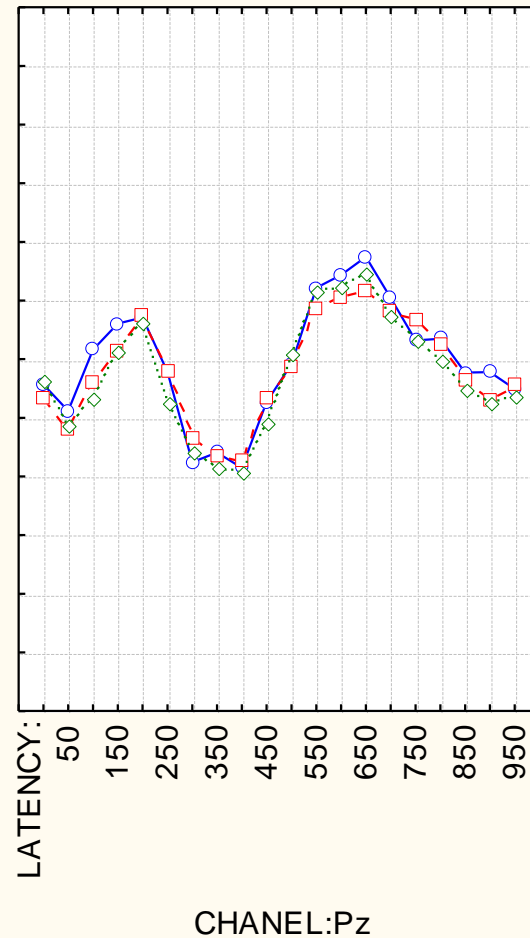
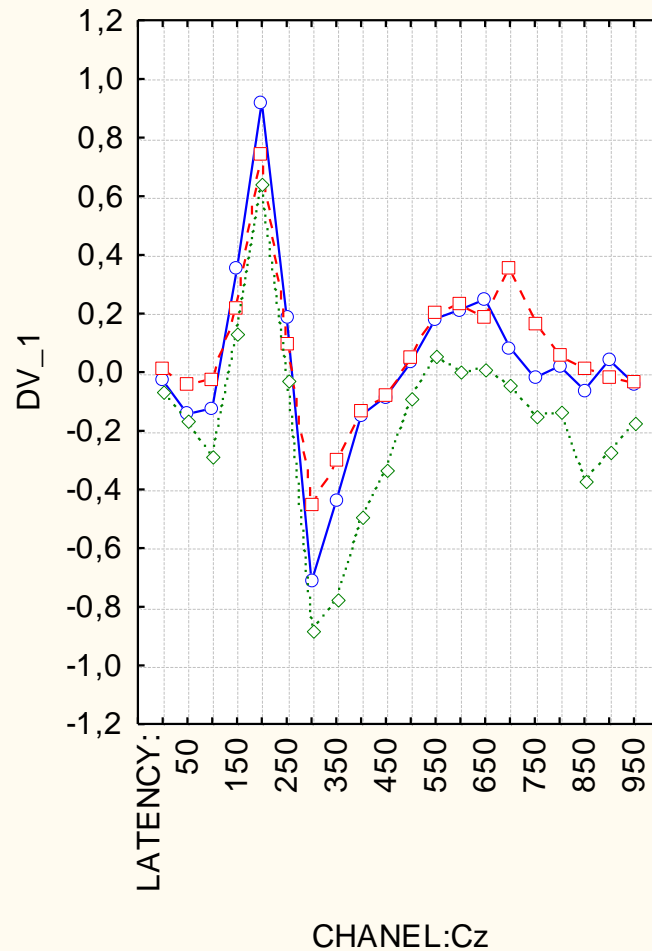


*Различия по параметру ошибки распознавания расстояний между объектом и его признаком в модели семантического пространства, обученной по субъективным суждениям испытуемого между группой смотревшей фильм, сюжет которого сильно затрагивает семантическое пространство модели и группой, которая смотрела другие фильмы*



# ОТВЕДЕНИЯ Cz и Pz

CHANEL\*LATENCY\*Relation; LS Meэ  
Current effect:  $F(38, 111112)=2,7972, p=,0000$   
Effective hypothesis decompositio



- Relation Далекое
- Relation Среднее
- Relation Близкое



# КАЧЕСТВО ДИСКРИМИНАНТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОСМАТРИВАЕМОГО СЮЖЕТА ПО ПАРАМЕТРАМ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Classification Matrix (Spreadsheet6_(Recovered).sta) Rows: Observed classifications Columns: Predicted classifications			
	Percent - Correct	Sablya - p=,50000	Naparniki - p=,50000
Sablya	86,36364	19	3
Naparniki	86,36364	3	19
Total	86,36364	22	22

Classification Functions; grouping: group (Spreadsheet6_(Recovered).sta)		
	Sablya - p=,50000	Naparniki - p=,50000
hidden_w_variance_train	40,5538	97,8552
Shubin_var_w_test	-6,9276	23,6107
Vanya_mean_w_test	-20,5465	-11,3013
Sabya_var_w_train	53,8812	33,8035
reps_neur_test	2,7031	2,1293
Sabya_var_w_test	69,3979	42,8072
attr_w_variance_train	128,5370	114,6100
Constant	-23,9832	-20,9611

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТУИЦИИ

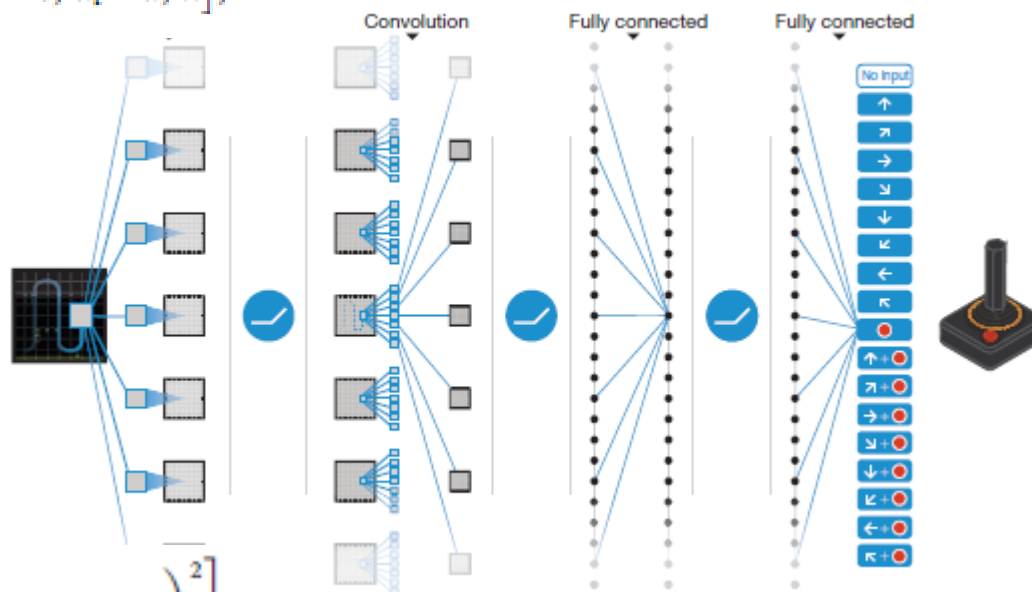
# LETTER

doi:10.1038/nature14236

## Human-level control through deep reinforcement learning

Volodymyr Mnih<sup>1\*</sup>, Koray Kavukcuoglu<sup>1\*</sup>, David Silver<sup>1\*</sup>, Andrei A. Rusu<sup>1</sup>, Joel Veness<sup>1</sup>, Marc G. Bellemare<sup>1</sup>, Alex Graves<sup>1</sup>, Martin Riedmiller<sup>1</sup>, Andreas K. Fiedjeland<sup>1</sup>, Georg Ostrovski<sup>1</sup>, Stig Petersen<sup>1</sup>, Charles Beattie<sup>1</sup>, Amir Sadik<sup>1</sup>, Ioannis Antonoglou<sup>1</sup>, Helen King<sup>1</sup>, Dharshan Kumaran<sup>1</sup>, Daan Wierstra<sup>1</sup>, Shane Legg<sup>1</sup> & Demis Hassabis<sup>1</sup>

$$Q^*(s,a) = \max_{\pi} \mathbb{E} [r_t + \gamma r_{t+1} + \gamma^2 r_{t+2} + \dots | s_t = s, a_t = a, \pi],$$



$$L_i(\theta_i) = \mathbb{E}_{(s,a,r,s') \sim U(D)} \left[ \left( r + \gamma \max_{a'} Q(s', a'; \theta_i^-) - Q(s, a; \theta_i) \right)^2 \right]$$

# СХОДСТВО РАБОТЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОСЕТЕЙ И ПСИХИКИ

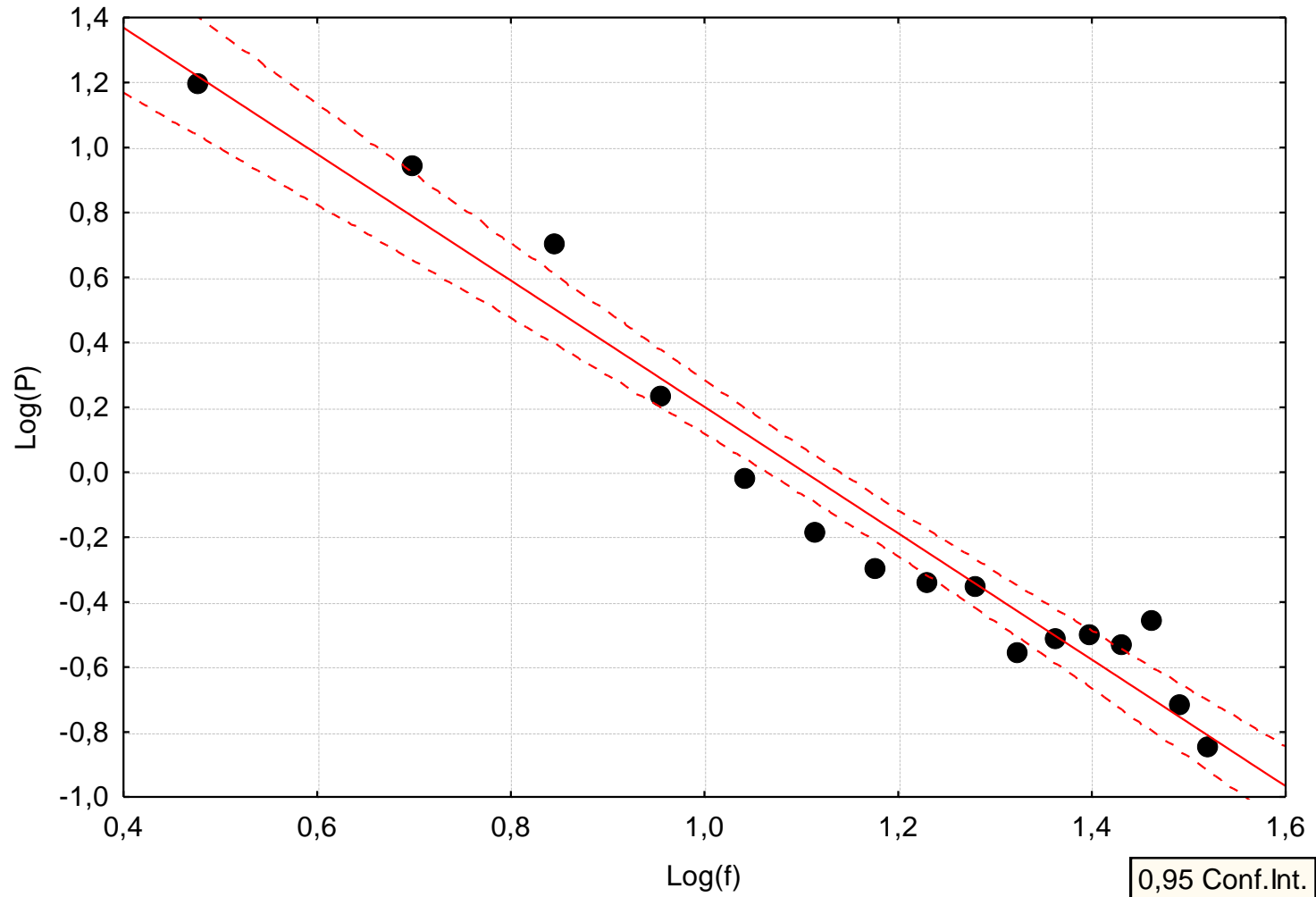
При выполнении задач, сопровождающихся самообучением, наблюдается определенная динамика. Она характеризуется скачкообразным изменением эффективности работы (минимизации функции ошибок), что сопровождается, например, эффектом возникновения одних и тех же повторяющихся ошибок, связанным с преодолением локальных минимумов поверхности ошибки при обучении. (Хайкин С. 2008).

В процессе вербального мышления человека также прослеживается определенная нейродинамика связанная с изменением сложности работы мозга

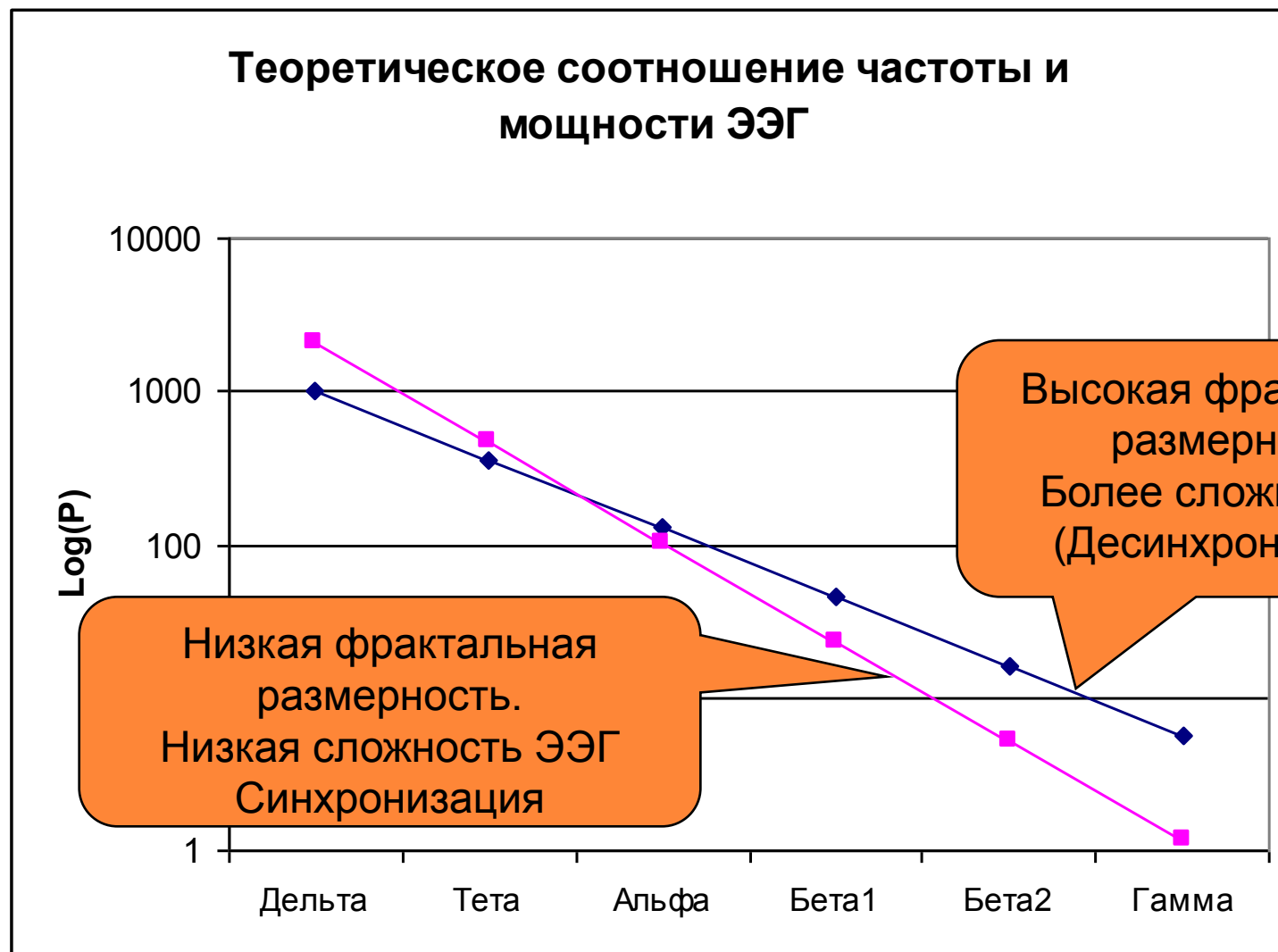
# СООТНОШЕНИЕ ЛОГАРИФМА ЧАСТОТЫ ЭЭГ И ЛОГАРИФМА МОЩНОСТИ (УЧАСТОК ЭЭГ ПРИ ЧТЕНИИ ТЕКСТА)

$$\text{Log}(P) = 2,1471 - 1,946 * \text{Log}(f)$$

Correlation:  $r = -,9774$

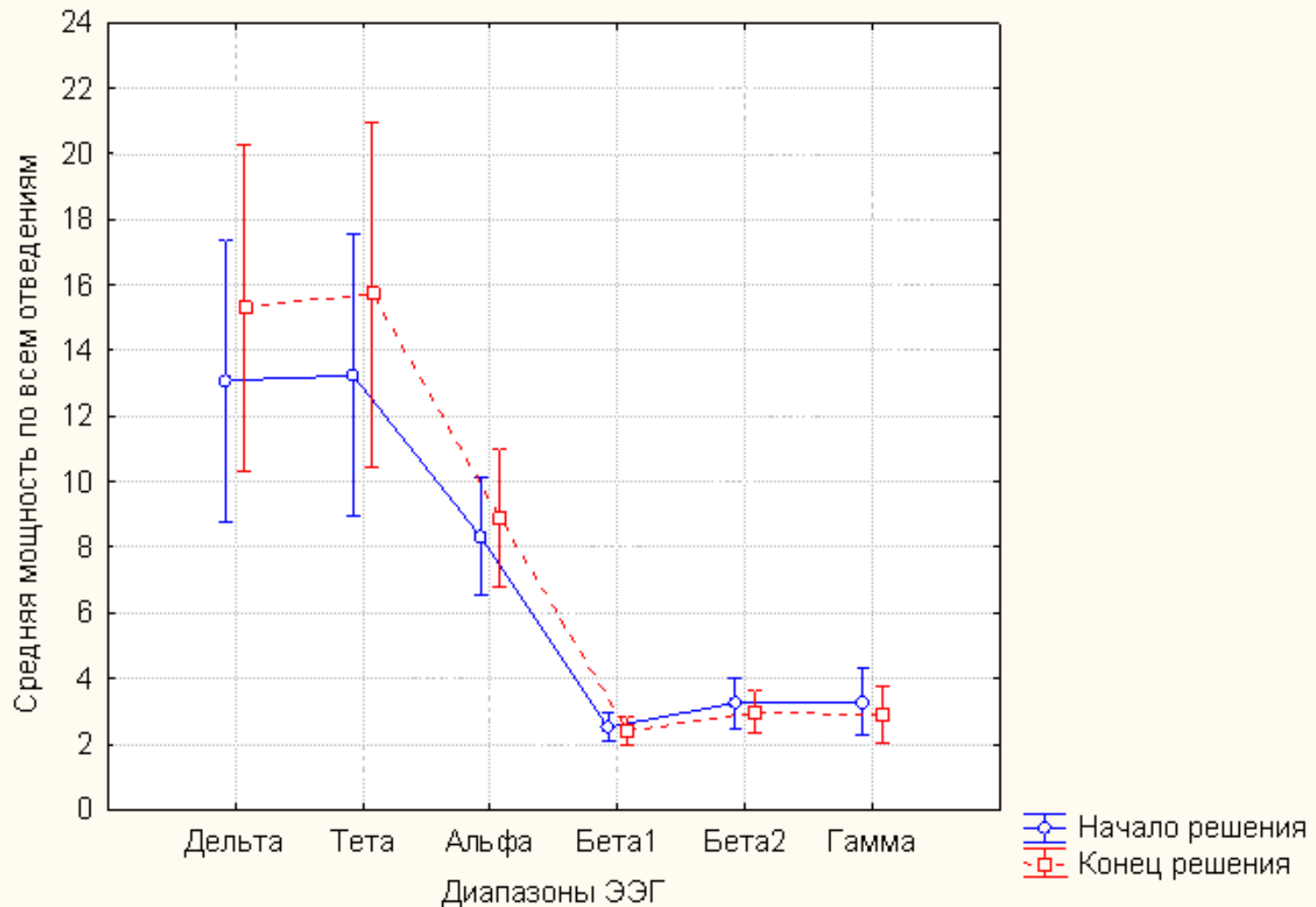


# НАКЛОН ГРАФИКА ОПРЕДЕЛЯЕТ «СЛОЖНОСТЬ» КРИВОЙ ЭЭГ



Холодная М.А., ЩЕРБАКОВА О.В., ГОРБУНОВ И.А., ГОЛОВАНОВА И.А. ИЗМЕНЕНИЕ ФС ГОЛОВНОГО МОЗГА В ПРОЦЕССЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НА ПОНЯТИЙНОЕ МЫШЛЕНИЕ

Current effect:  $F(5, 2390)=27,349, p=0,0000$   
Effective hypothesis decomposition  
Vertical bars denote 0,95 confidence intervals



# ИЗМЕНЕНИЕ МЕРЫ СЛОЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЗГА ПРИ ОСОЗНАНИИ СМЫСЛА ТЕКСТА (ТКАЧЕВА Л.О. 2010)

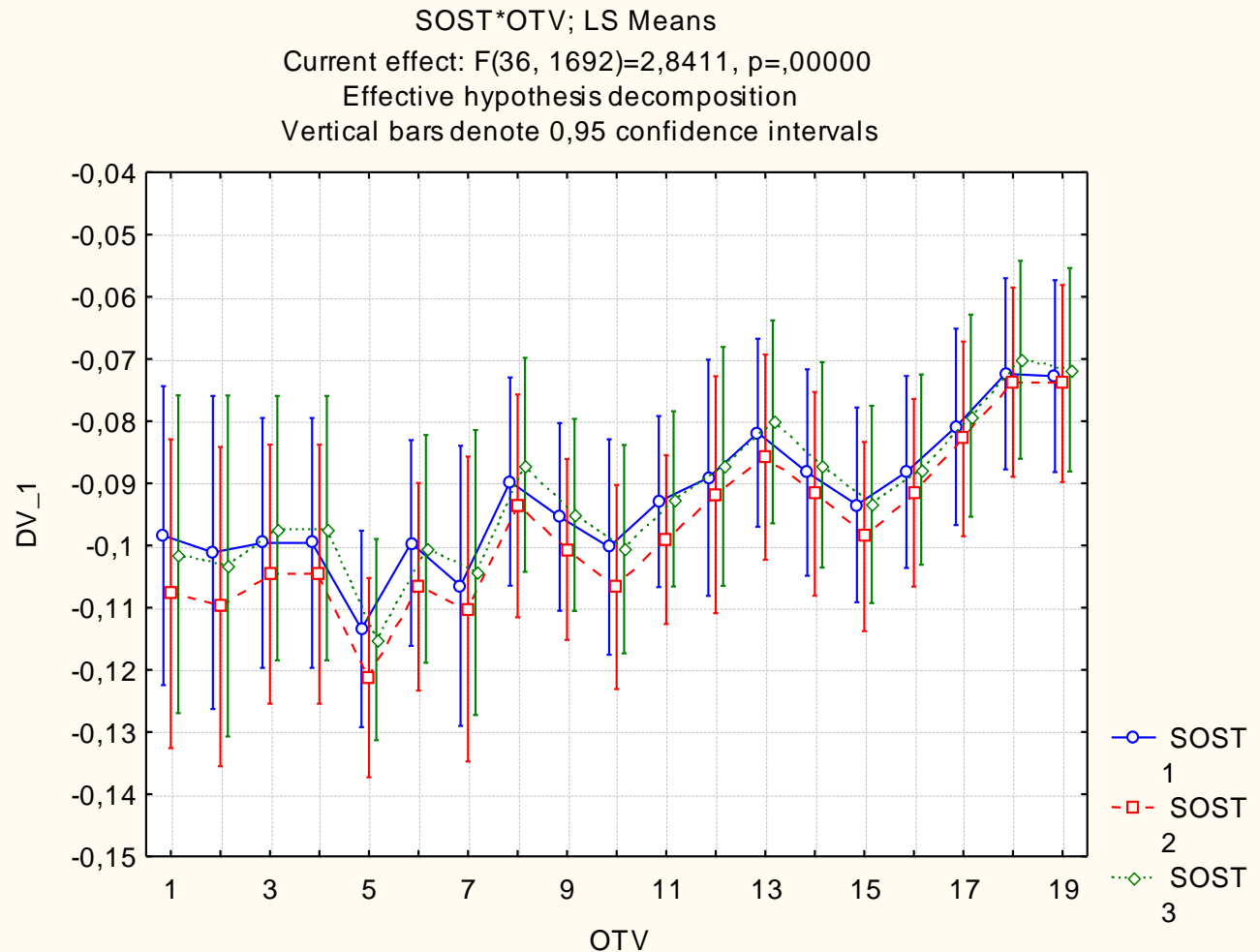
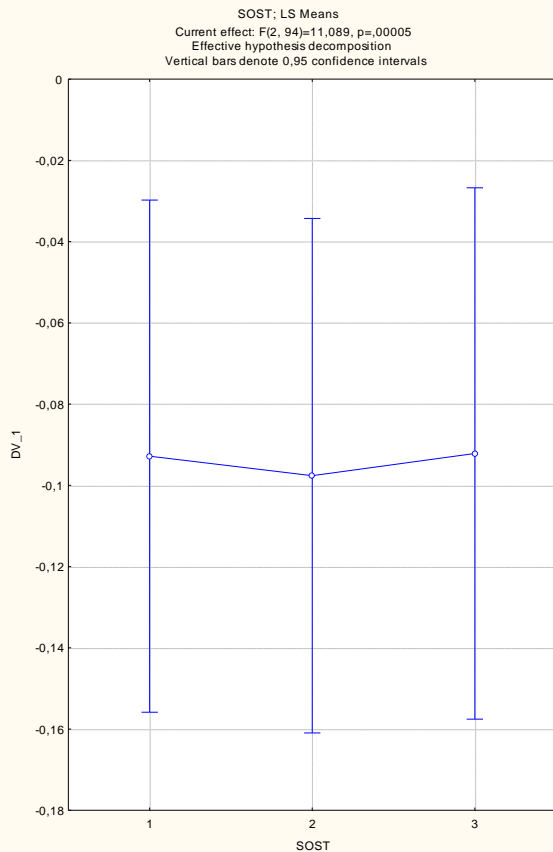
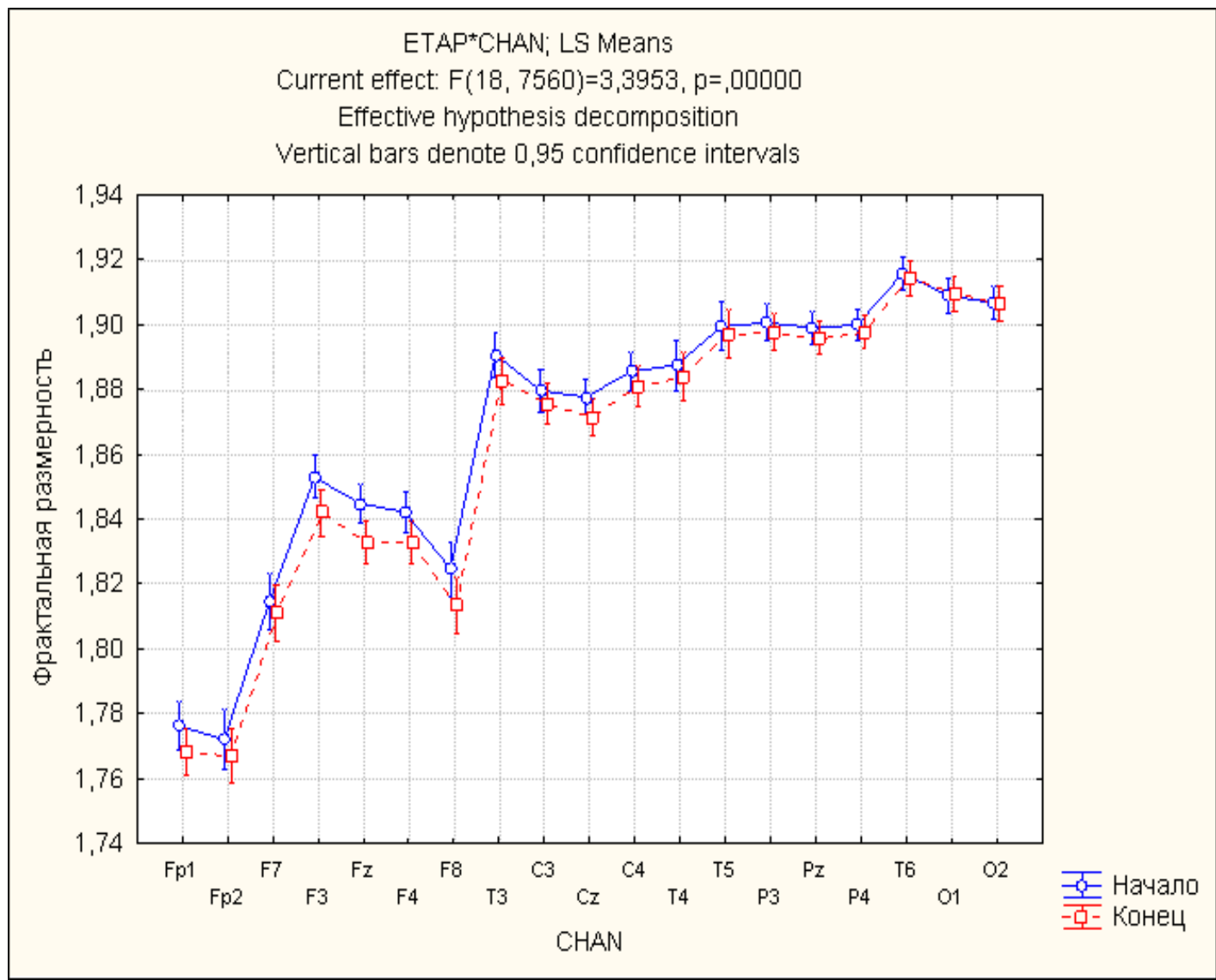




График изменений величины фрактальной размерности по всем каналам ЭЭГ как отдельным измерениям на первом (на графике – «Начало») и последнем (на графике – «Конец») этапах решения стимульной



# ВОЗНИКНОВЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ОШИБОК В ПРОЦЕССЕ СЕНСОМОТОРНОГО НАУЧЕНИЯ И СПОСОБЫ ИХ КОРРЕКЦИИ

(Андрянова  
Наталья Владимировна)

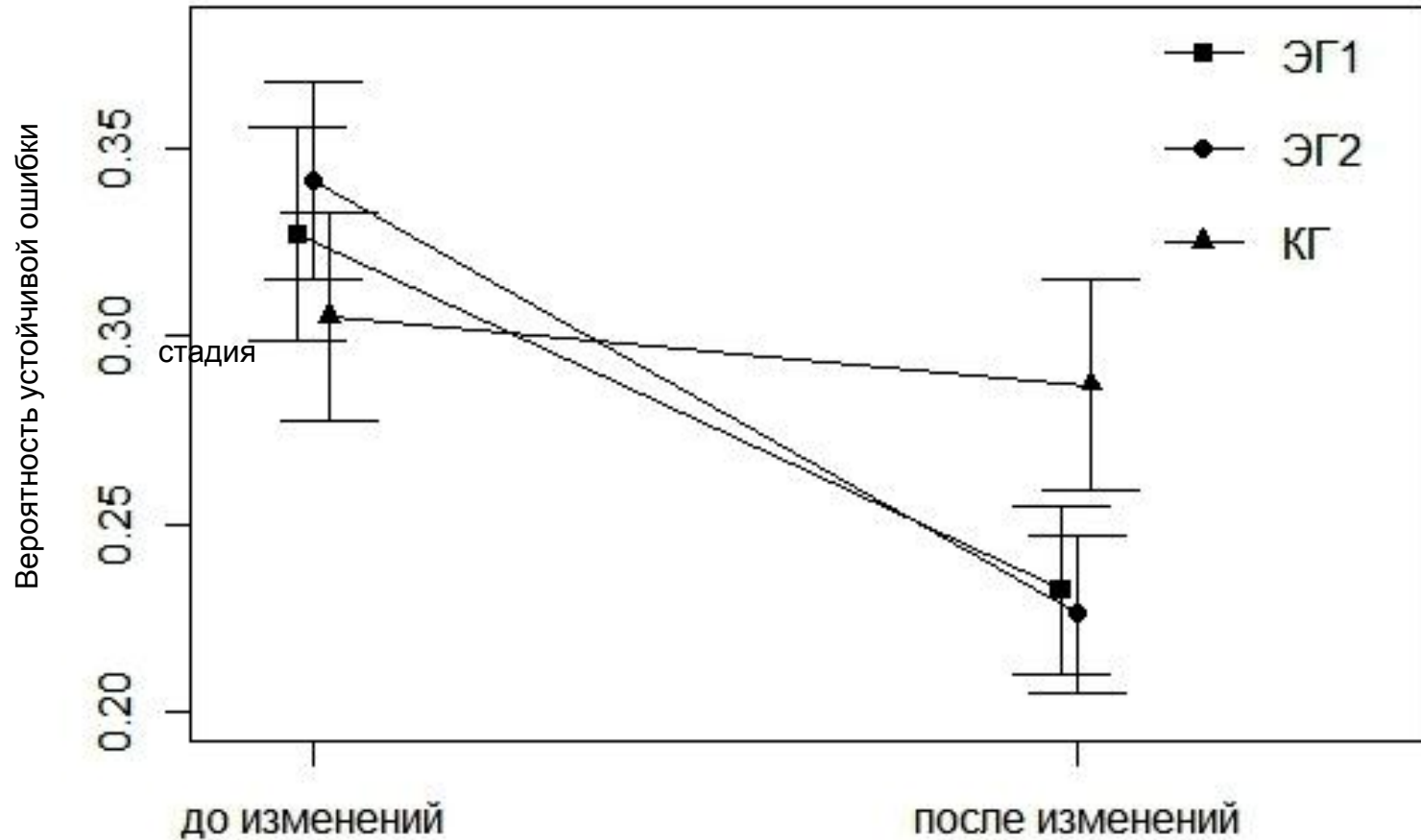


Рисунок 3. Вероятность устойчивой ошибки в группах на разных стадиях эксперимента



# ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОСЕТЕЙ СУЩЕСТВЕННО РАЗЛИЧАЮТСЯ

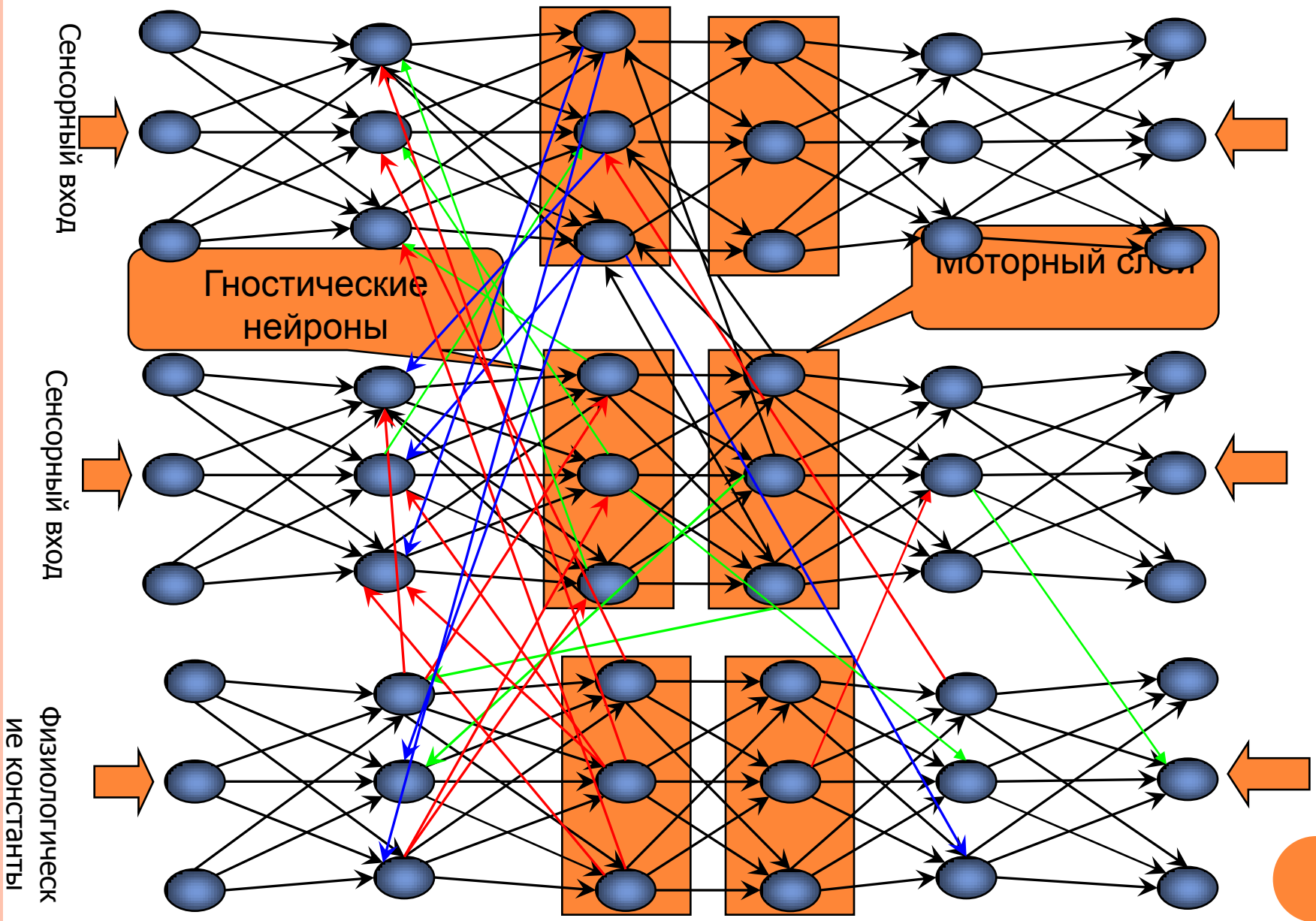
- Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. – Издательский дом Вильямс, 2008.
- Arbib M. A. The handbook of brain theory and neural networks. – MIT press, 2003.
- Arecchi F. T. Chaotic neuron dynamics, synchronization, and feature binding: quantum aspects //Mind and Matter. – 2003. – Т. 1. – №. 1
- Fera F. et al. Neural mechanisms underlying probabilistic category learning in normal aging //The Journal of Neuroscience. – 2005. – Т. 25. – №. 49
- Gorbunov I. Semenov P. Brain centers model and its applications to EEG Analysis// International conference on neural computation. Portugal, Funchal-Madeira, 2009
- Mnih V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning //Nature. – 2015. – Т. 518. – №. 7540
- Oh J. et al. Action-conditional video prediction using deep networks in atari games //Advances in Neural Information Processing Systems. – 2015
- Rogers T. T., McClelland J. L. Semantic cognition: A parallel distributed processing approach. – MIT press, 2004.
- Zhao J. et al. Stacked what-where auto-encoders //arXiv preprint arXiv:1506.02351. – 2015.



Предсказанные события

Предсказанный результат действия

Предсказанное изменение физиологических констант



Сенсорный вход

Сенсорный вход

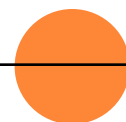
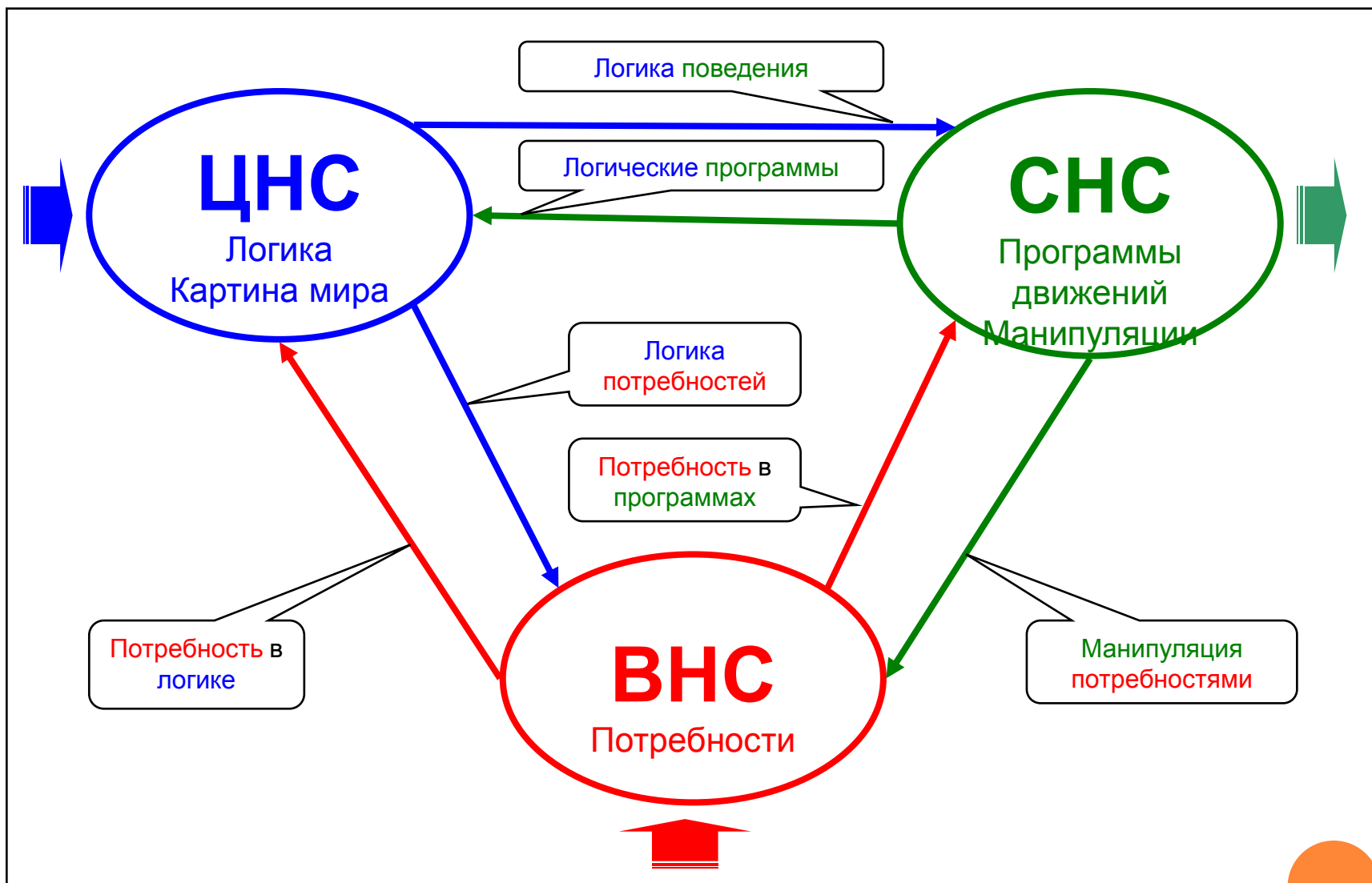
Физиологические константы

Гностические нейроны

Моторный слой



Предсказанное изменение физиологических констант



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПСИХИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ВОЗМОЖНО ПРИ  
МОДЕЛИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИИ  
ДИНАМИКИ РАБОТЫ СОВОКУПНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ  
МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И СРАВНЕНИЮ  
РЕЗУЛЬТАТОВ И ДИНАМИКИ РАБОТЫ ТАКОЙ  
«НЕЙРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ» С РЕАЛЬНОЙ  
НЕЙРОДИНАМИКОЙ И РЕЗУЛЬТАТАМИ РАБОТЫ  
ПСИХИКИ

