

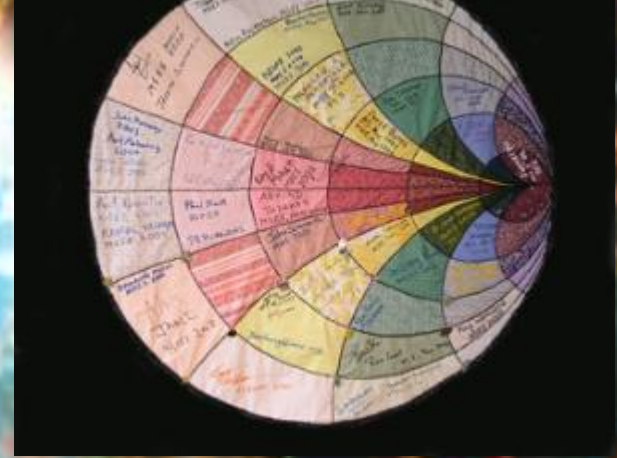
# Естественнонаучные основы психогенеза

Заведующий лабораторией  
психофизиологии к.пс. н.  
Горбунов Иван Анатольевич

# Классификация наук (Кедров)



# Энтропия



$$dS = \frac{dQ}{T}$$

- Понятие энтропии было впервые введено в 1865 году Рудольфом Клаузиусом. Он определил изменение энтропии термодинамической системы при обратимом процессе как отношение общего количества тепла  $\Delta Q$  к величине абсолютной температуры  $T$  (то есть тепло, переданное системе, при постоянной температуре):

# Связь энтропии с вероятностью

- В 1877 году Людвиг Больцман установил связь энтропии с вероятностью данного состояния. Позднее эту связь представил в виде формулы Макс Планк:

$$S = k * \ln(\Omega)$$

- где константа  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К названа Планком постоянной Больцмана, а  $\Omega$  — статистический вес состояния, является числом возможных микросостояний (способов) с помощью которых можно перейти в данное макроскопическое состояние.
- Существует мнение, что мы можем смотреть на  $\Omega$  и как на меру беспорядка в системе. В определённом смысле это может быть оправдано, потому что мы думаем об «упорядоченных» системах как о системах, имеющих очень малую возможность конфигурирования, а о «беспорядочных» системах как об имеющих очень много возможных состояний. Собственно, это просто переформулированное определение энтропии как числа микросостояний на данное макросостояние.

# Информационная энтропия

- Энтропия — это количество информации, приходящейся на одно элементарное сообщение источника, вырабатывающего статистически независимые сообщения
- Информационная **двоичная энтропия** для независимых случайных событий  $x$  с  $n$  возможными состояниями (от 1 до  $n$ ,  $p$  - функция вероятности) рассчитывается по формуле:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) * \log_2 p(i)$$

- Таким образом, энтропия события  $x$  является суммой с противоположным знаком всех произведений относительных частот появления события  $i$ , умноженных на их же двоичные логарифмы[1]. Это определение для дискретных случайных событий можно расширить для функции распределения вероятностей.

# Нормальное распределение

The background of the slide features a serene sunset over a vast, calm ocean. The sky transitions from a deep blue at the top to a bright orange and yellow near the horizon. A soft, multi-colored reflection, resembling a rainbow, is visible on the water's surface, extending from the left side towards the center. The overall mood is peaceful and natural.

# Эксцесс нормального распределения



# Литература



- И. Пригожин, Г. Николис Познание сложного, изд. ЛКИ, 2008
- Г. Хакен : «синергетика, Введение: Неравновесные фазовые переходы и самоорганизация в области физики, химии и биологии", 3-й ред. enl. ЭНЛ. ed. издание New York: Springer-Verlag, 1983. Нью-Йорк: Springer-Verlag, 1983.
- Shannon, Claude E.: Prediction and entropy of printed English, The Bell System Technical Journal , 30:50-64, January 1951.



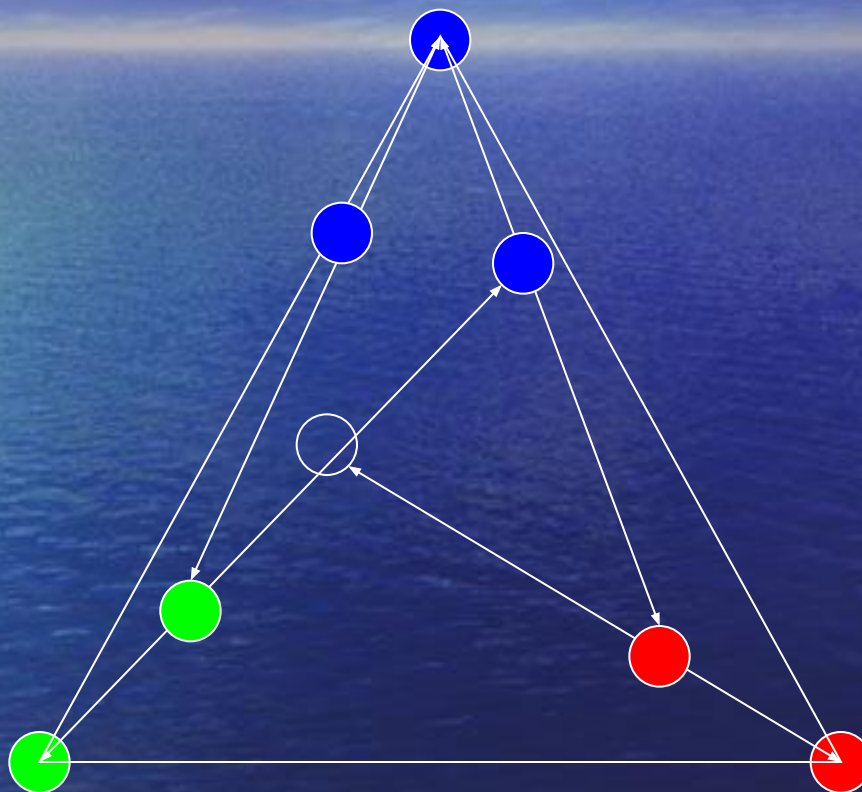
# Выводы

- Постепенное рассеивание энергии во вселенной после большого взрыва с неизбежностью приводит к нарушению статистической равновероятности событий и, таким образом происходят информационные перестройки порождающие «сложные системы»
- В «сложной системе» невозможно прогнозировать ее состояние на далекий промежуток времени.
- Сложная система характеризуется фазовыми переходами, когда внезапно происходит переупорядочивание элементов системы и возникают локальные участки, обладающие особыми свойствами
- Поведение «сложных систем» по некоторым параметрам очень похоже на психические явления.

# Модель психогенеза



# Треугольник Серпинского



# Папоротник

$$x_{(n+1)} = a x_n + b y_n + c$$

$$y_{(n+1)} = d x_n + e y_n + f$$

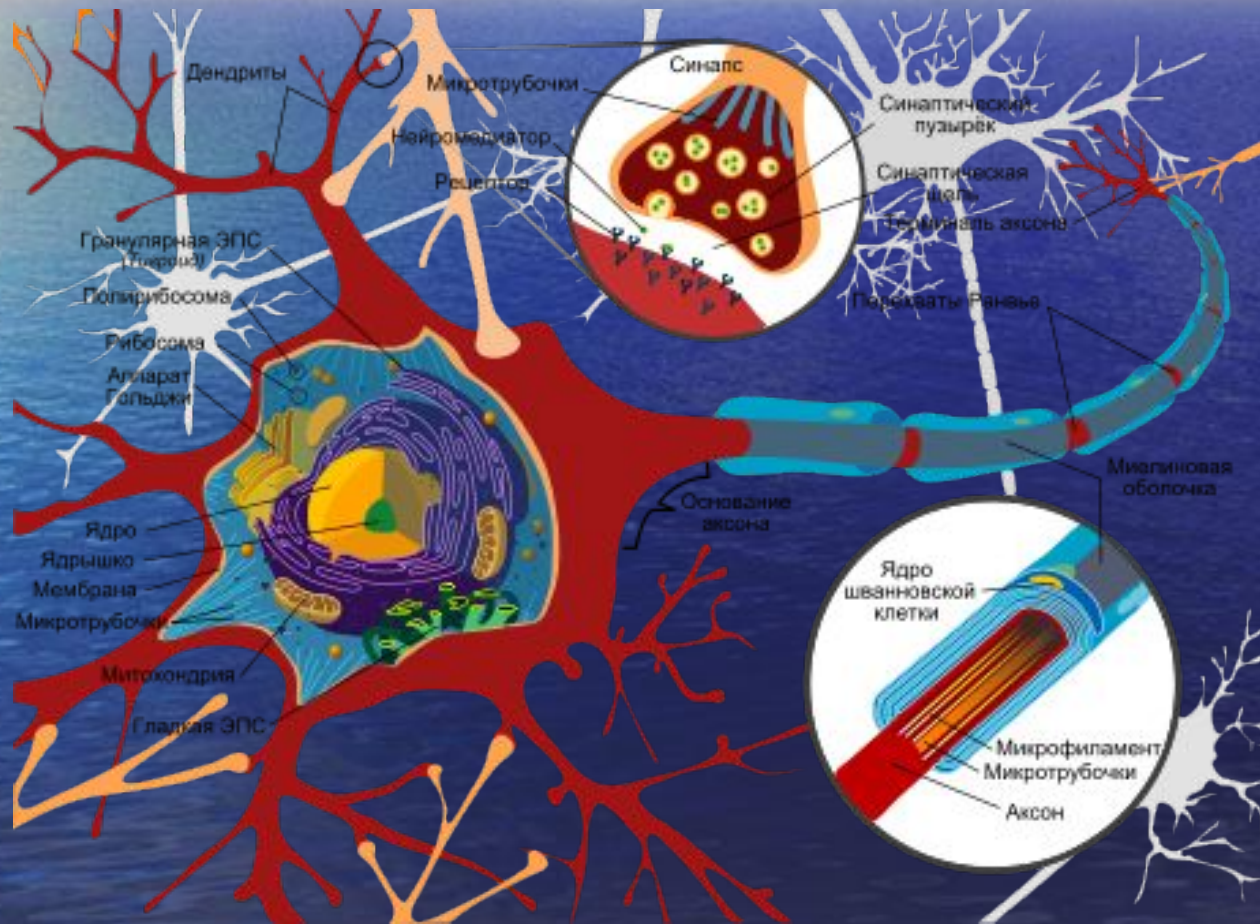


-	set1	set2	set3	set4
a	0.0	0.2	-0.15	0.75
b	0.0	-0.26	0.28	0.04
c	0.0	0.23	0.26	-0.04
d	0.16	0.22	0.24	0.85
e	0.0	0.0	0.0	0.0
f	0.0	1.6	0.44	1.6
p	0.1	0.08	0.08	0.74

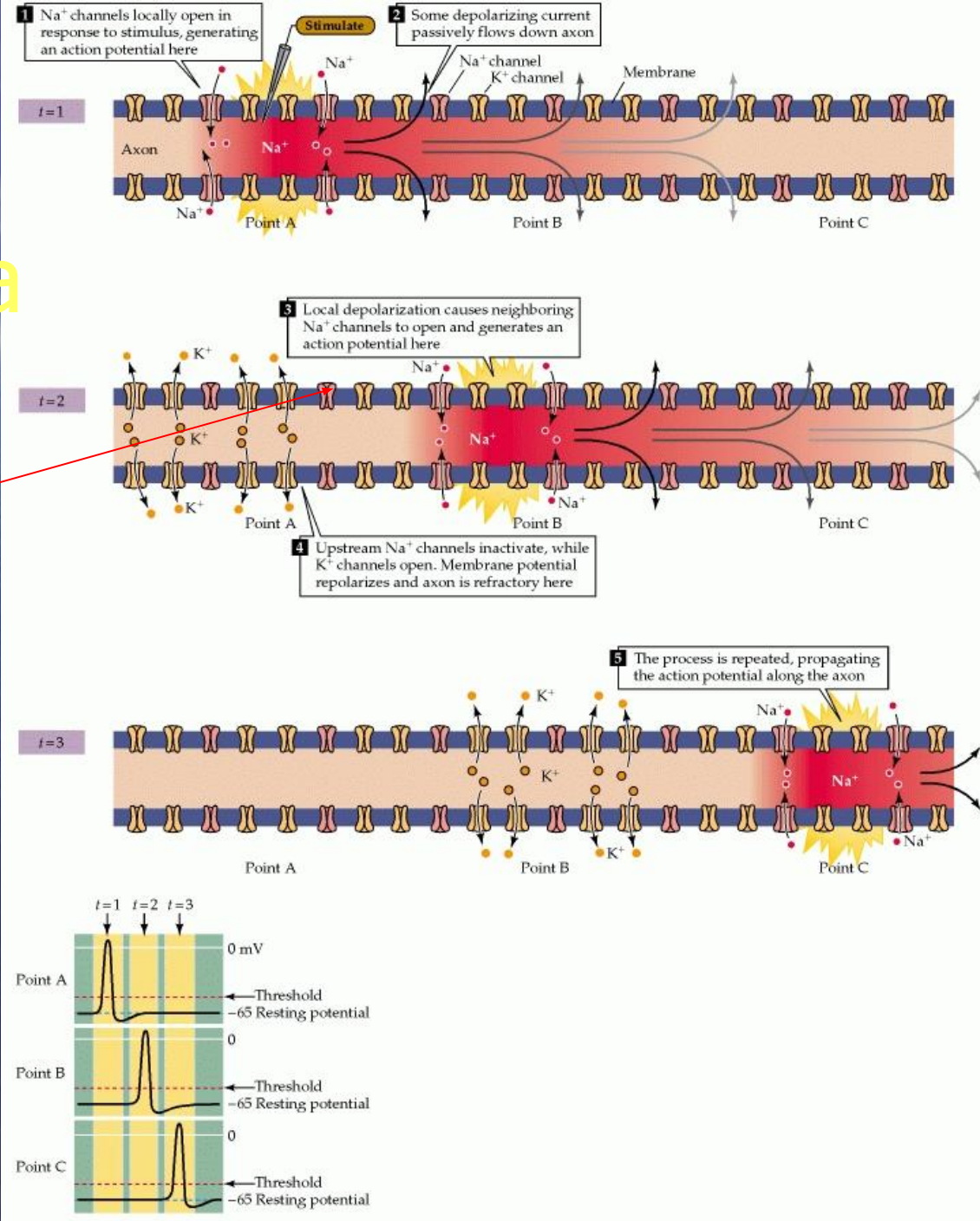
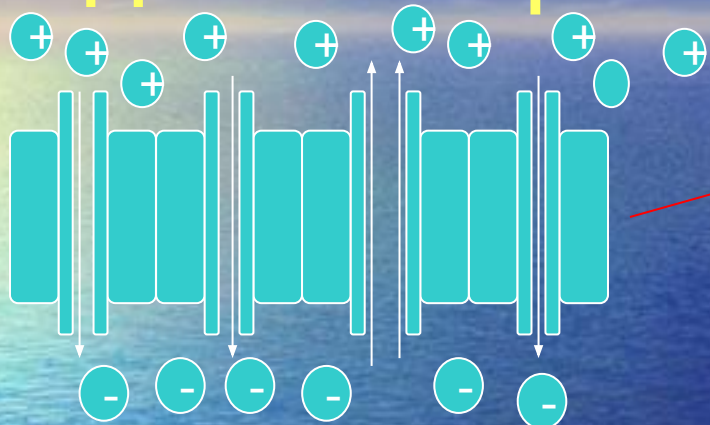
# Изменение меры сложности мозга при осознании смысла текста



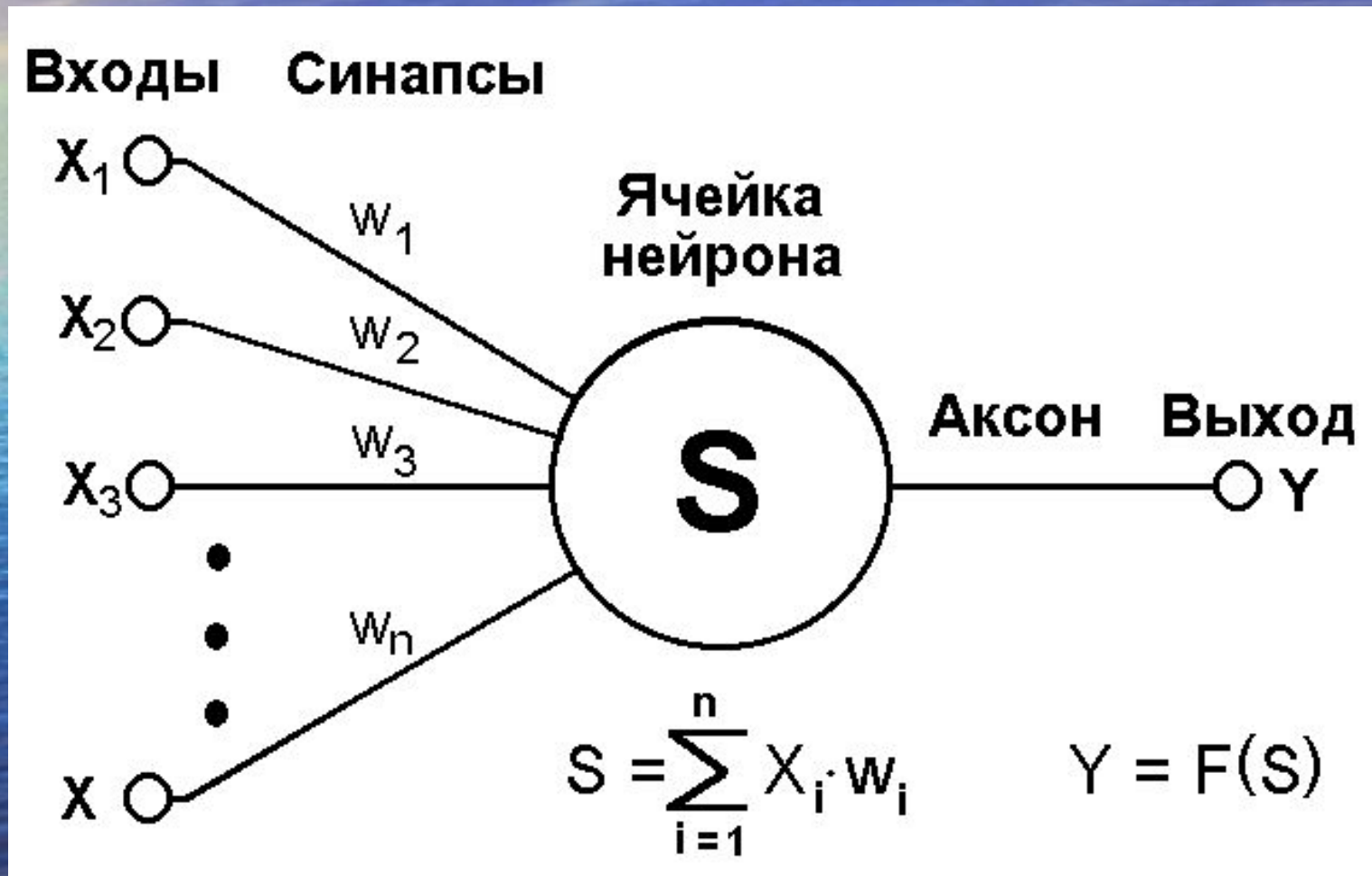
# Электрические процессы и нервная система



# Нервный импульс и модель нейрона



# Модель нейрона





# Нейросети

- Все модели нейронных сетей основаны на нескольких биологических фактах [Hebb D. O. 1949, Hubel D. H., Wiesel T. N. 1977, Perreto P. Niez I. 1986]:
- а) минимальным структурным элементом является "нейрон", состояние которого может быть описано одним числом  $S$ , соответствующим частоте паттерна импульсации реального нейрона. В эксперименте обычно наблюдается два состояния нейрона (торможение и активность) с плавным переходом между ними. Это можно смоделировать введением энергетической функции  $H_0(f)$  с двумя минимумами при  $f=S_1, S_2$ , благодаря которой нейрон большую часть времени находится в состоянии, близком к  $S_1$  или  $S_2$ . Часто используется другое (изинговское) представление ( $S_{1,2} = +1, -1$ ). Иногда используется более традиционное для нейробиологии представление изинговских переменных  $S=2V-1$  ( $V=0; 1$ ), где  $V=0$  и  $V=1$  отвечает заторможенному и активному нейронам соответственно;
- б) процесс распознавания осуществляется через параллельную нейронную динамику с начальной конфигурацией, соответствующей входному образу (состояния нейронов соответствуют поступившему неполному или зашумленному образу), при которой конечная (стабильная) конфигурация отвечает идеальному записанному образу.
- в) информация о записанных образах содержится в свойствах межнейронных взаимодействий [McCulloch W. A; Pitts W. 1943, Hebb D. O. 1949]. Имеется по крайней мере два типа синаптических контактов (возбуждающие и тормозные), их число обеспечивает возможность записи достаточного количества информации. Сила синаптической связи модифицируется при обучении для записи требуемой информации.
- В большинстве из рассматриваемых моделей сила синаптической связи описывается вещественным числом  $J$ , принимающим бесконечное число возможных значений.
- г) ассоциативность памяти: полный образ может быть восстановлен при предъявлении его фрагмента;
- д) разрушение небольшой части нейронов не влияет на возможность потери записанной информации.

# Нейросети модель Хопфилда

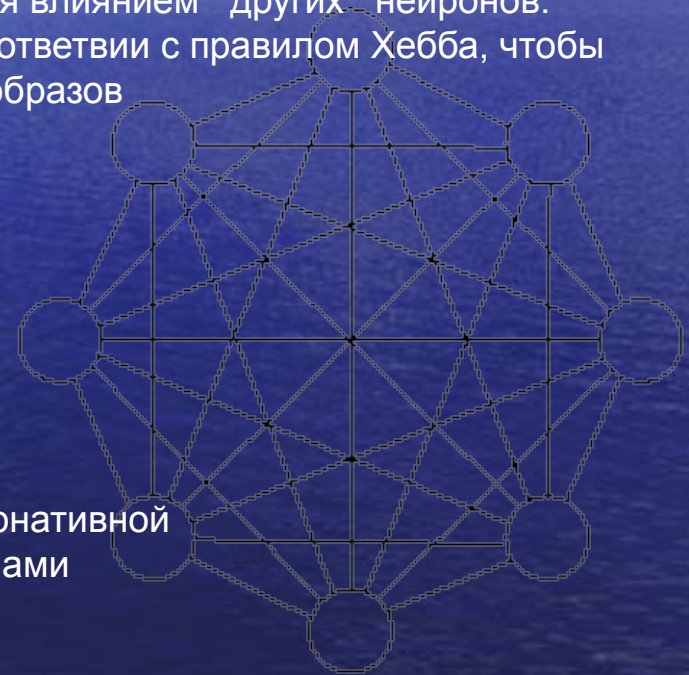
В модели Хопфилда каждая изинговская спиновая переменная  $S_i$ , описывающая нейрон  $i$ , направлена параллельно полю  $h_i$ , которое определяется влиянием других нейронов:

$S_i = \text{sign}(h_i)$ ,  $h_i = \sum_j J_{ij} S_j$ , константы  $J_{ij}$  выбираются в соответствии с правилом Хебба, чтобы обеспечить правильное воспроизведение записанных образов

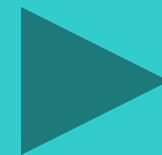
$$J_{ij} = \sum_{\alpha} \xi_i^{\alpha} \xi_j^{\alpha}, \quad (1.1)$$

где индекс  $\alpha$  нумерует различные образы ( $\alpha=1 \dots k$ ). В альтернативной формулировке стабильные конфигурации  $S_i$  являются минимумами гамильтониана

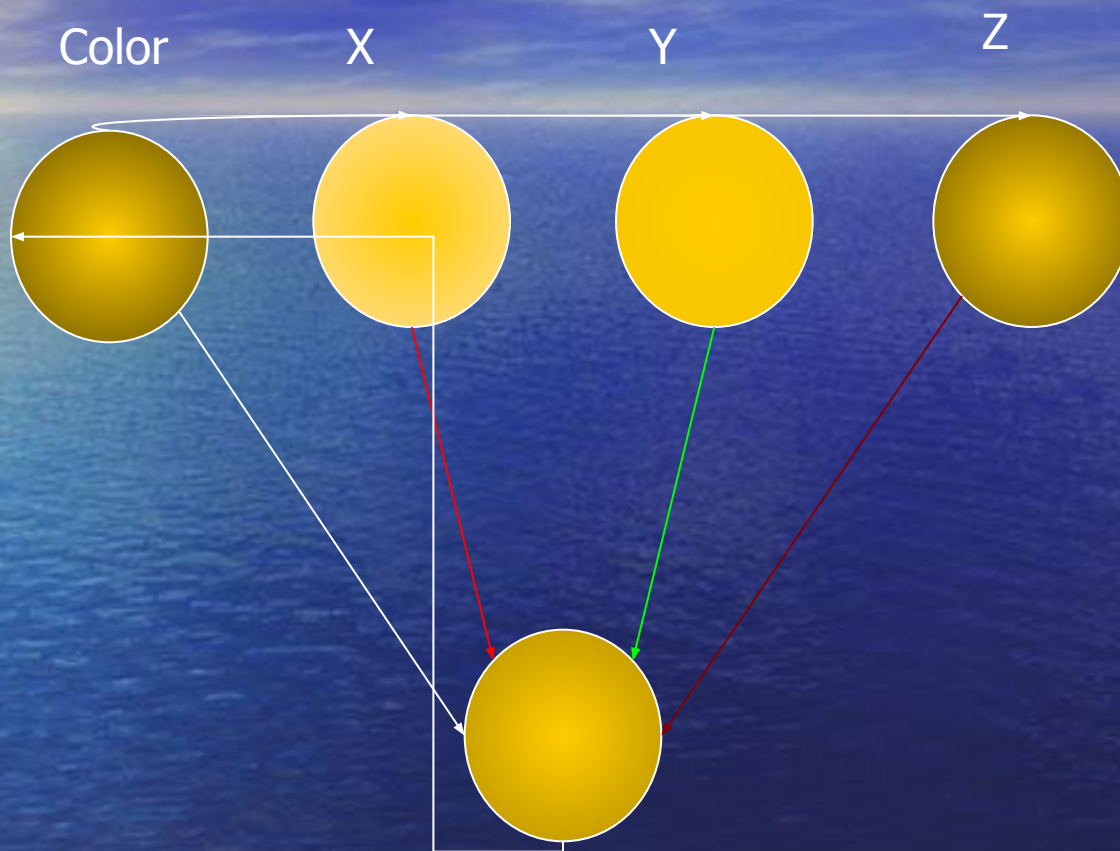
$$H = -1/2 \sum_{ij} J_{ij} S_i S_j, \quad (1.2)$$



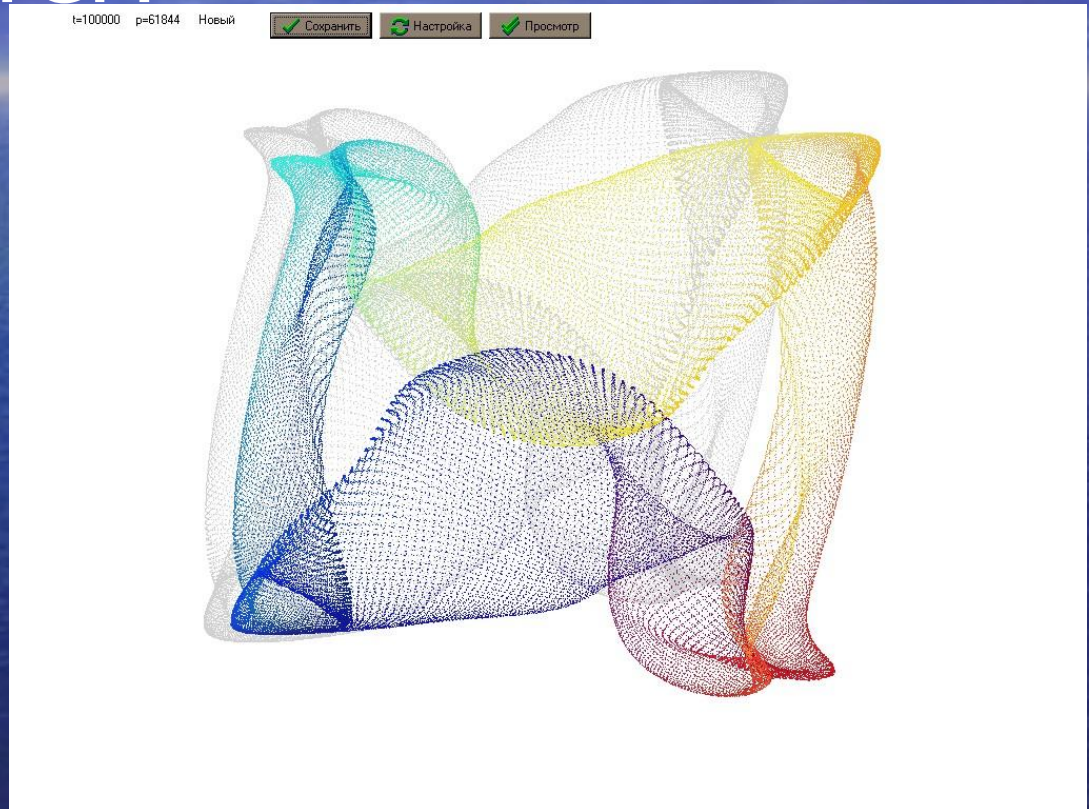
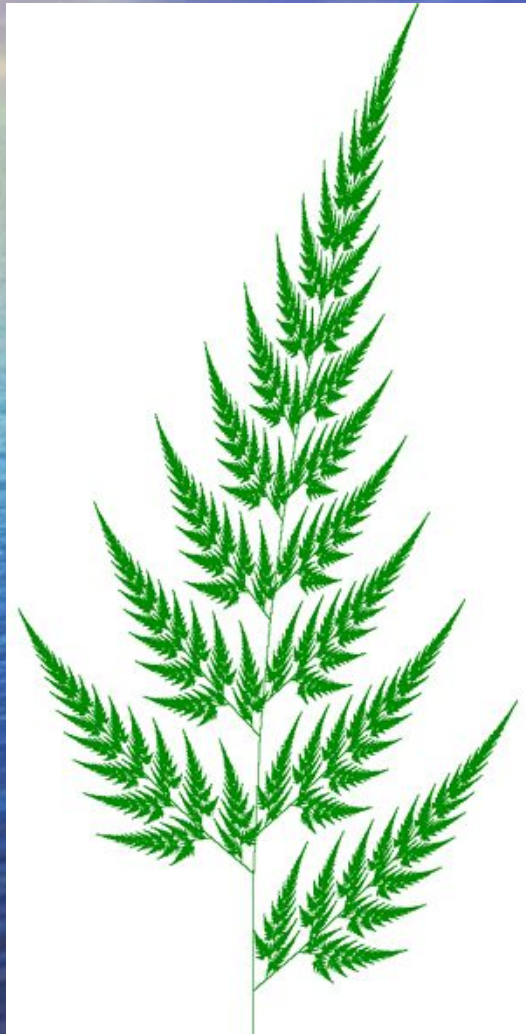
Сеть Хопфилда



# Нейронная сеть



# Примеры поведения моделей СЛОЖНЫХ СИСТЕМ



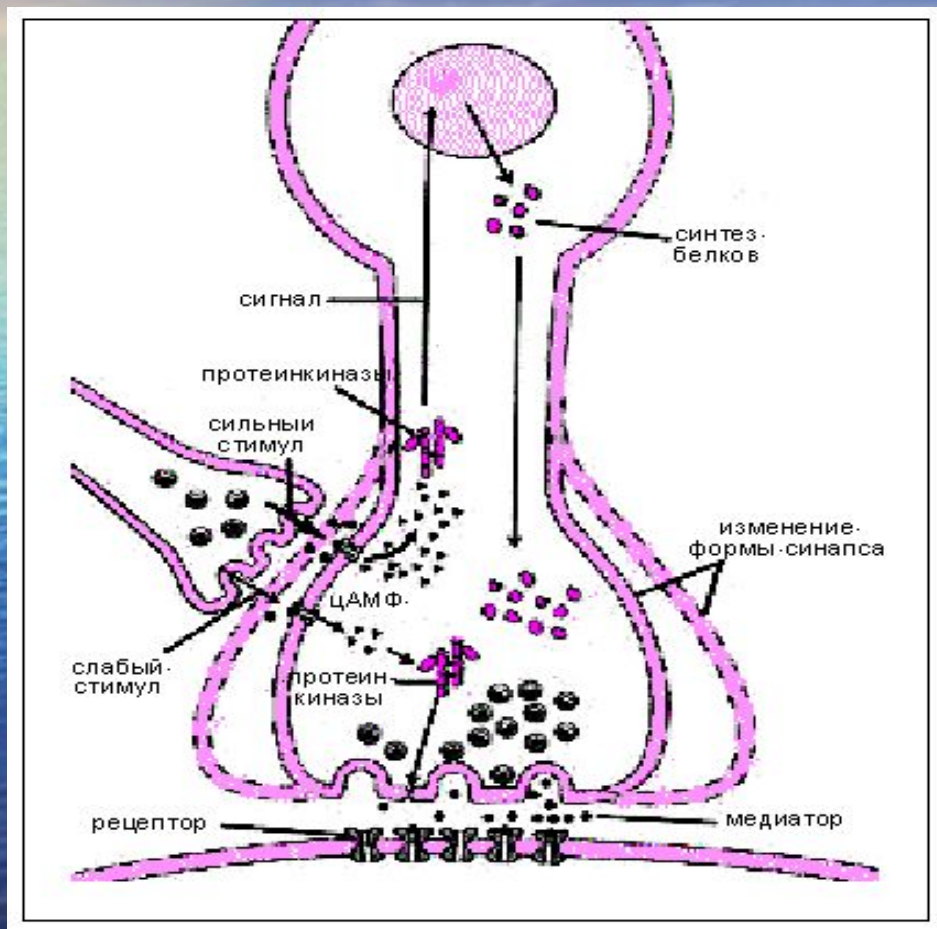
# Литература

- Ходжкин А. Нервный импульс. М., Мир, 1965
- Доценко Вик. С., Иоффе Л. Б., Фейгельман М. В., Цодыкс М. В. Статистические модели нейронных сетей // В кн.: Итоги науки и техники. Серия «Физические и математические модели нейронных сетей». Том 1. Часть I. «Спиновые стекла и нейронные сети» / Ред.: А. А. Веденов. – М.: ВИНТИ, 1990.
- Осовский С. Нейронные сети для обработки информации Изд-во: Финансы и статистика, 2002.

# Выводы по прошлому занятию

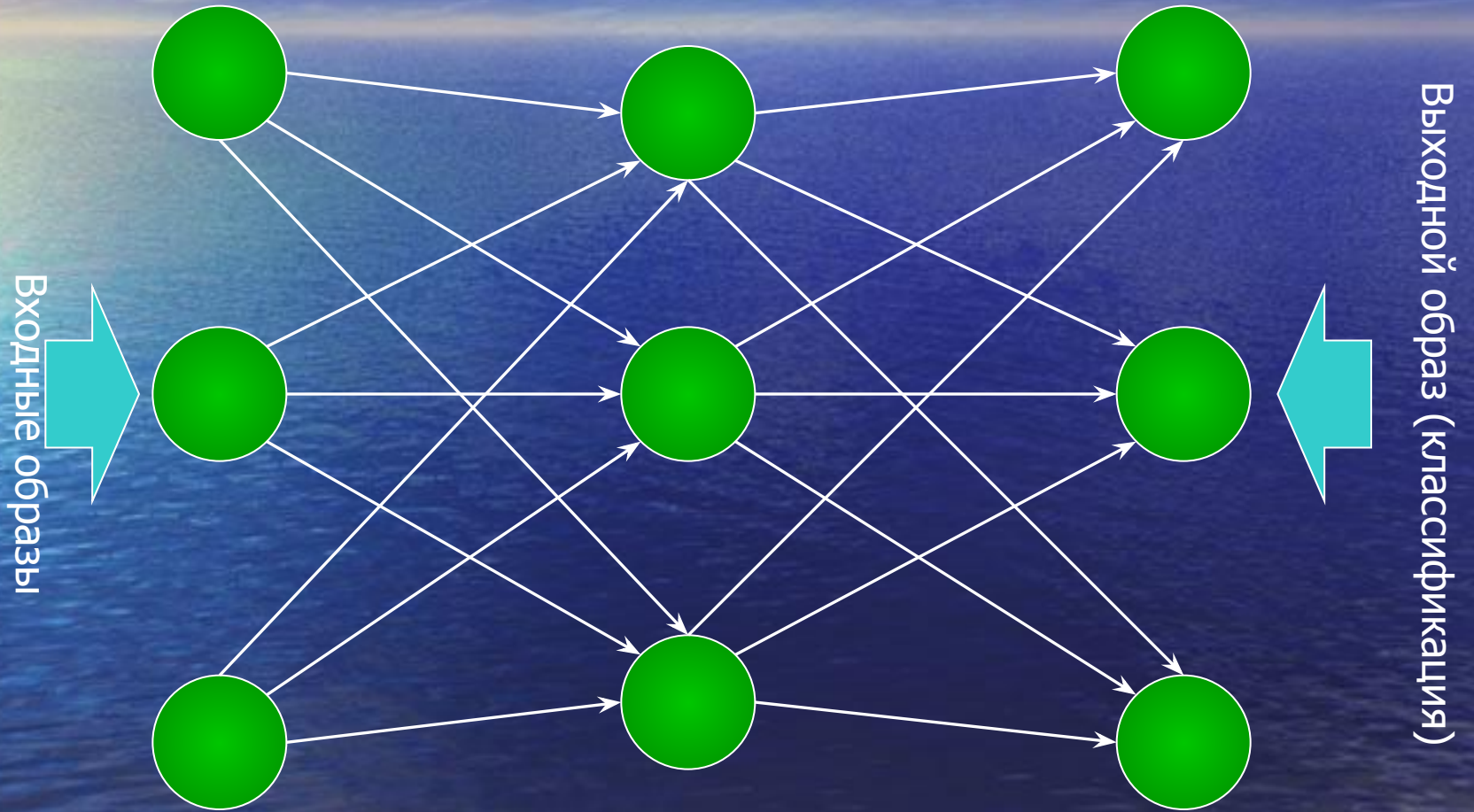
- Психогенез – процессы, происходящие на информационном стыке двух сред, осуществляемом нервной системой - внутренней средой организма и внешней средой, характеризующиеся появлением в ней неравновесных состояний, изменениями энтропии, процессами локализации и структурирования, изменения связей между модулями нервной системы, и порождающие «сложное» поведение.
- Например, процесс осознания смысла текста характеризуется изменением «сложности» биоэлектрической активности мозга.
- Передача информации в нервной системе осуществляется с помощью биоэлектрических процессов, характеризующихся медленной скоростью, но параллельных по времени.
- Поведение нейросети и информация, записываемая в ней целиком зависит от силы связей, объединяющих элементы сети «нейроны».
- Одна из упрощенных моделей нервной системы – математическая модель нейросети может обладать определенным «сложным поведением», характеризующимся аттрактором фрактальной размерности

# Модификация синапса



- Молекулярный механизм формирования долговременной памяти.
- При изучении защитного рефлекса (втягивание жабры в ответ на стимуляцию сифона) у морского зайца установлено, что нейромедиаторы, действующие на клетку, вызывают в ней каскад молекулярных реакций (показано стрелками).
- В результате изменяется форма и функции синапсов, что приводит к длительным модификациям защитного рефлекса.

# Модель перцептрона





# Алгоритм модификации связей

$$y = f(S) \quad f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$$

$$f'(x) = af(x)(1 - f(x))$$

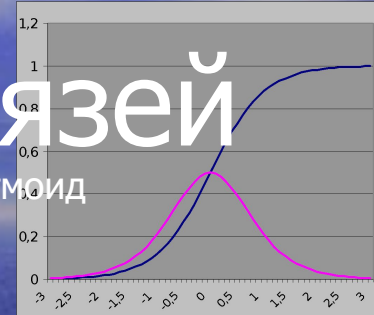
$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2$$

$$\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{dS_j}$$

$$\delta_j^n = \left[ \sum_k^N \delta_k^{n+1} \cdot w_{jk}^{n+1} \right] \frac{dy_j}{dS_j}$$

$$\Delta w_{ij}^n = -\eta \cdot \delta_j^n \cdot x_i^n$$

- Функция активации – сигмоид



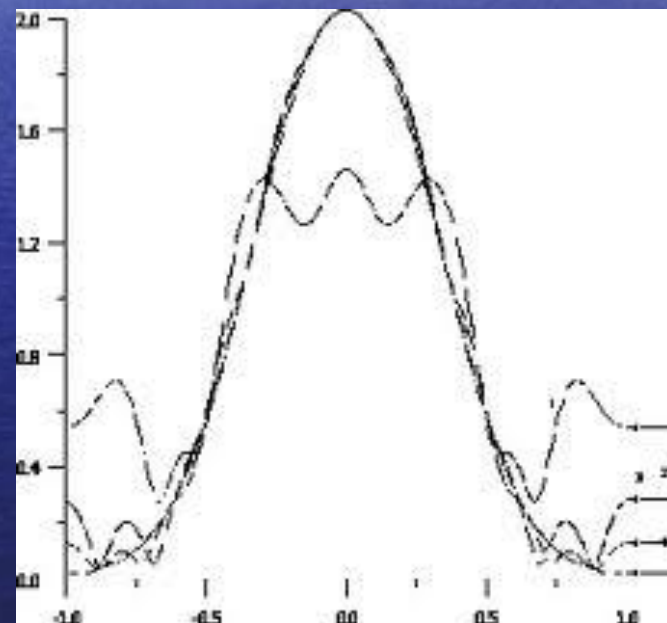
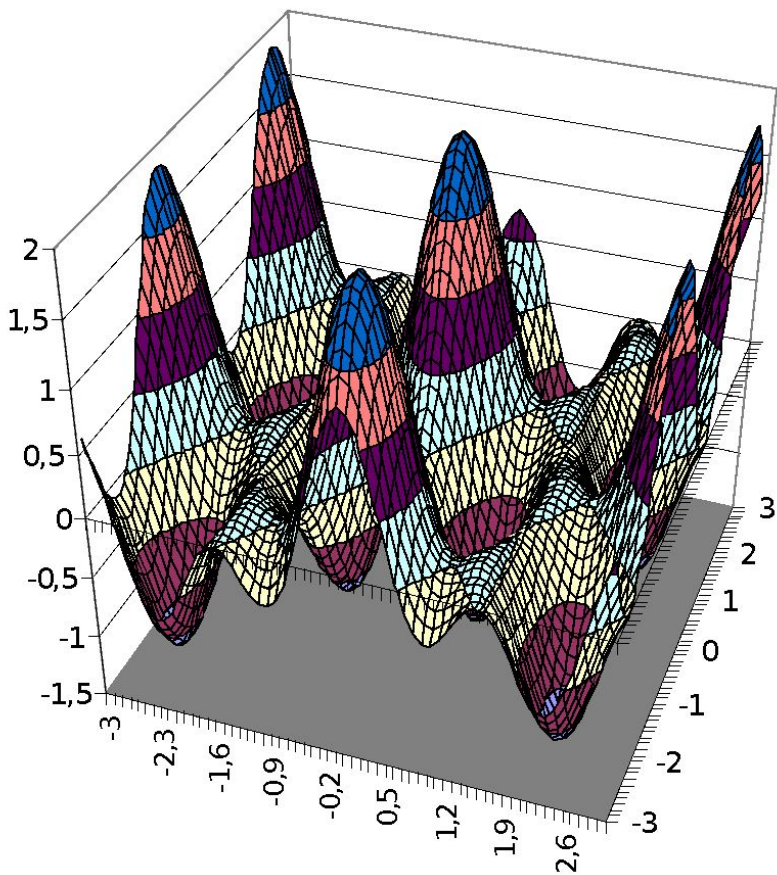
- Производная функции активации
- Функция вычисляющая ошибку
- $y_j$  – значение  $j$ -го выхода нейросети,  $d_j$  – целевое значение  $j$ -го выхода,  $p$  – число нейронов в выходном слое
- Вспомогательная функция зависит от ошибки, производной активации нейрона
- Рекурсивная формула, вычисляющая сигму от последнего слоя к первому
- Вычисление величины модификации связи между нейронами

$$w_{ij}^n = w_{ij}^n(t-1) + \Delta w_{ij}^n t$$

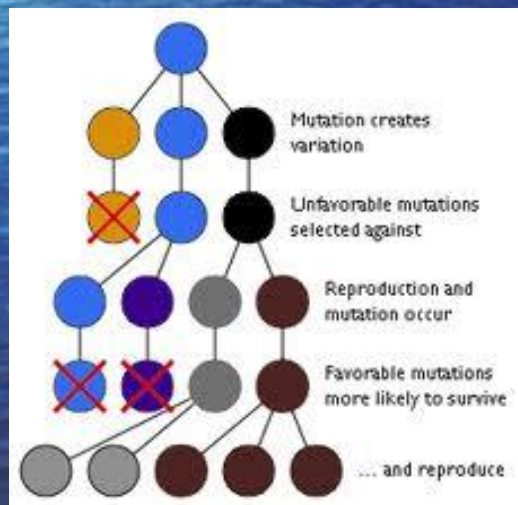
# Полный алгоритм обучения нейросети:

- 1. Подать на вход НС один из требуемых образов и определить значения выходов нейронов нейросети.
- 2. Рассчитать  $\delta N$  для выходного слоя НС и рассчитать изменения весов  $\Delta w_{ij}$  выходного слоя  $N$  по формуле.
- 3. Рассчитать по формулам (11) и (13) соответственно  $\delta n$  и  $\Delta w_{ij}$  для остальных слоев НС,  $n=N-1..1$ .
- 4. Скорректировать все веса НС
$$w_{ij}^n = w_{ij}^n(t-1) + \Delta w_{ij}^n t$$
- 5. Если ошибка существенна, то перейти на шаг 1

# Поверхность решений диагностического алгоритма



# Генетические алгоритмы



- Алгоритмы эвристического решения большого класса задач, основанные на эволюционной динамике. Преимущества – устойчивость к локальным минимумам, отсутствие необходимости знаний о характеристиках решаемой задачи.

The screenshot shows a video player interface with the following elements:

- Просмотренное** (Watched): Повторить (Repeat), Нравится (Like), Отправить (Share)
- Следующее** (Next): Evolution of neural network robotic controllers. Источник: hkou78. Просмотров: 18226. Видео от партнеров.
- Video thumbnails for: Сканирование тела для iPhone - снимаем, Ant Colony Optimization and, Генетические алгоритмы. avi, and 20: Введение в генетические.
- Player controls at the bottom: play button, volume icon, 0:11 / 0:11, 360p, and navigation icons.

# В чем генетика реализует приспособительные возможности организма

- Структура белков синтезируемых в организме
- Структура органов и тканей
- Структура нервной сети (начальная) :  
Генетические программы, начальная точка обучения

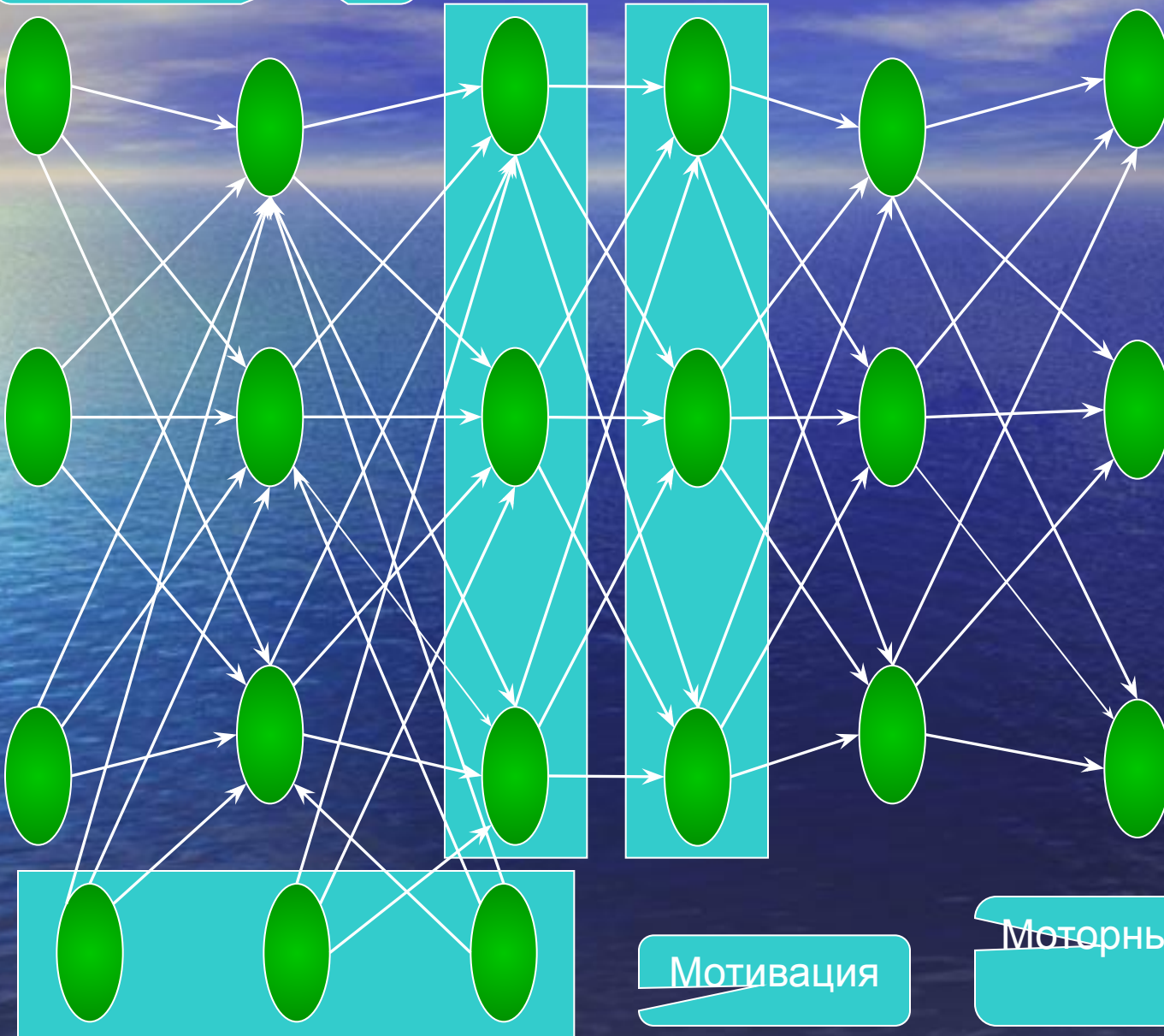
# Литература

- *Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: Учебное пособие — 2-е изд.. — М: Физматлит, 2006*
- *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы — 2-е изд.. — М: Горячая линия-Телеком, 2008*

# Выводы по прошлому занятию

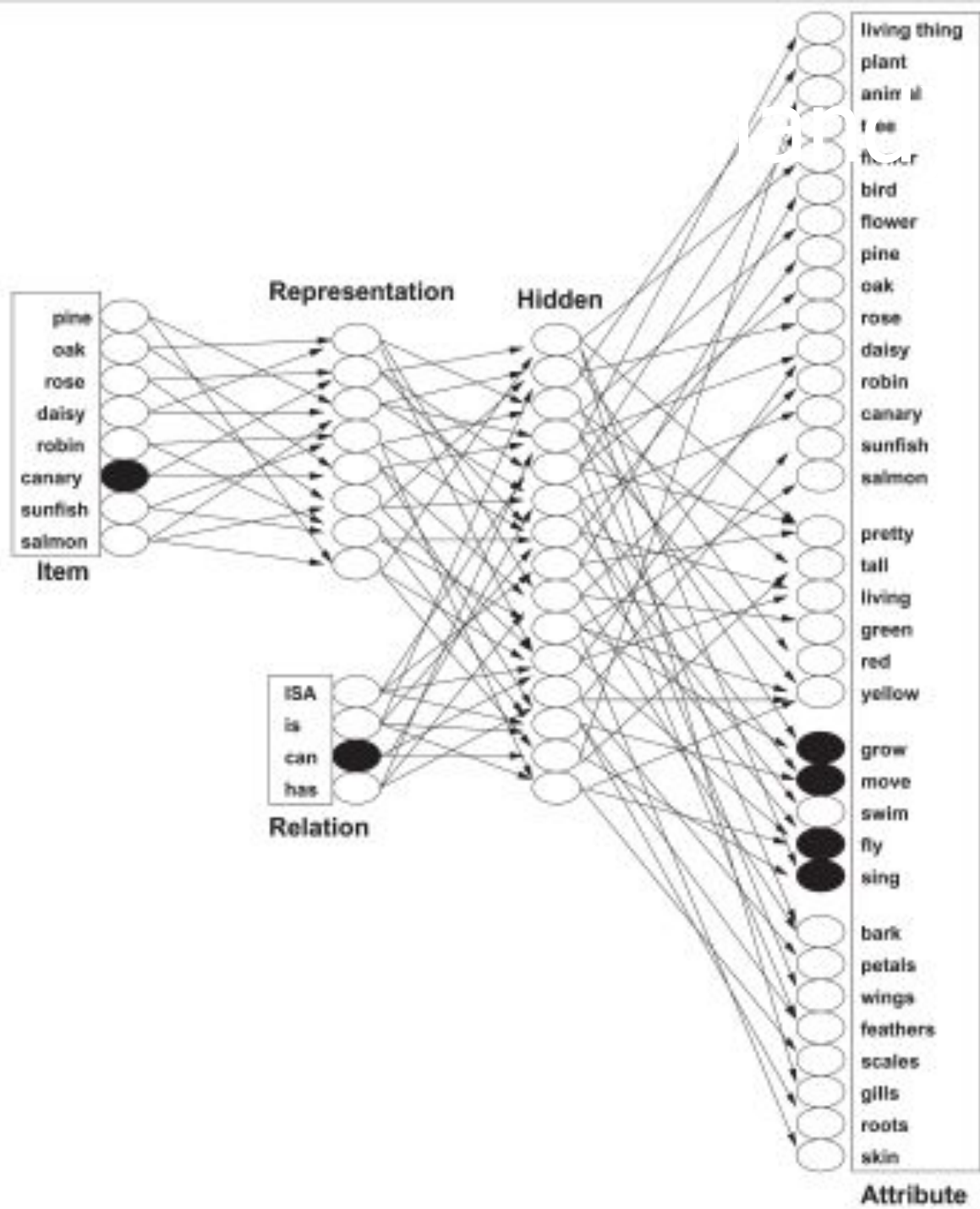
- Одной из самых мощных и быстрых на сегодняшний день самообучающихся диагностических систем (аналогов человеческих ощущений и восприятия) является модель многослойного перцептрона с возможностью самообучения - алгоритмом Back propagation error.
- В нервной системе человека аналогом самообучения является модификация химических синапсов.
- Проблемой самообучения перцептронов является попадание в локальные минимумы поверхности решений, переобучение и необходимость внешнего учителя.
- Внешнего учителя можно заменить процессом формирования образа будущего результата действия и сличением этого образа с реальным результатом
- Генетические алгоритмы (аналог естественного отбора в биологии) лишены проблемы локальных минимумов.
- Сочетание естественного отбора, задающего начальную точку обучения, наиболее близкую к вероятным «глобальным» минимумам и самообучения позволяет организму быстро адаптироваться в изменяющихся условиях среды

Гностические  
нейроны

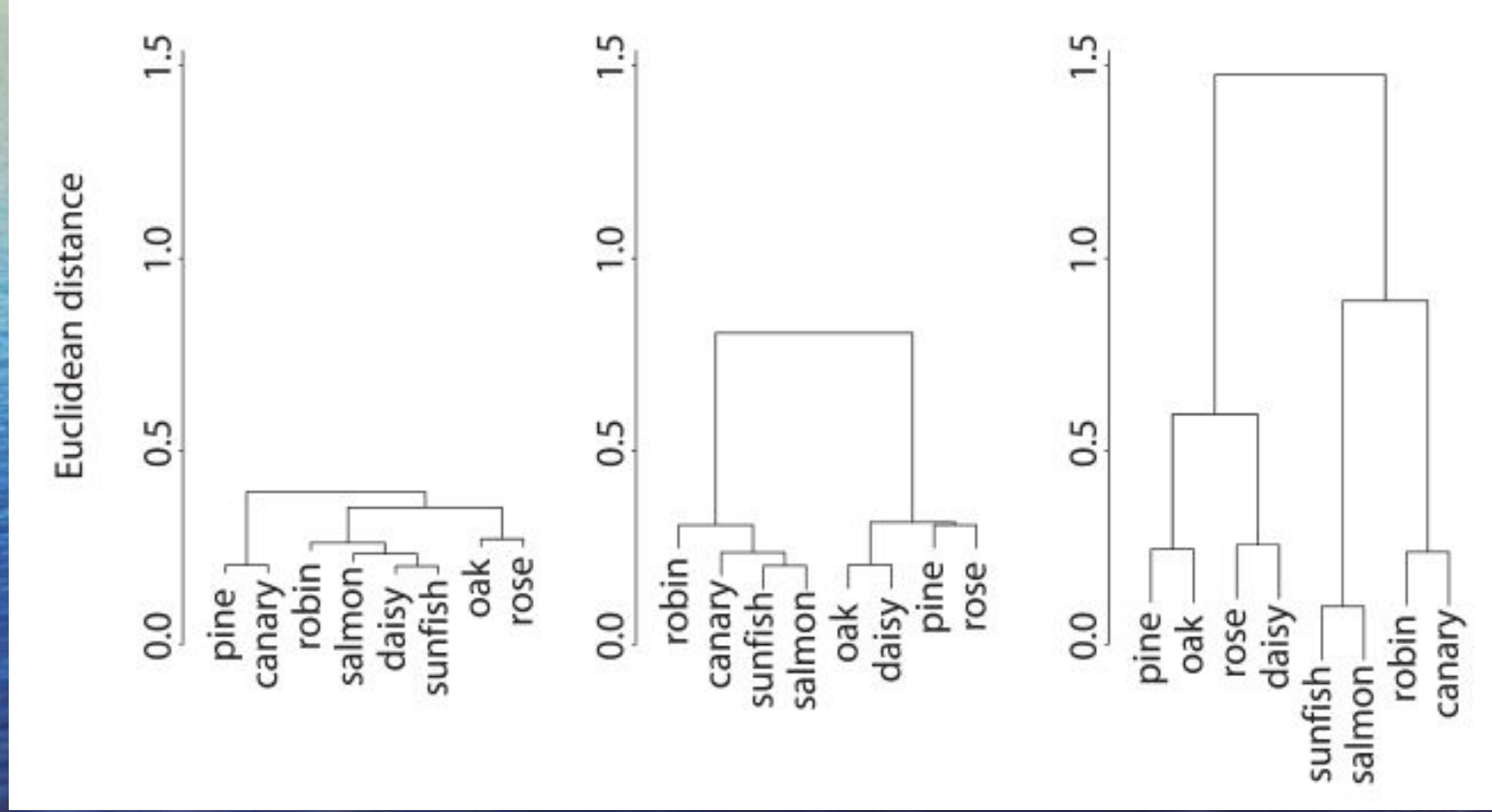


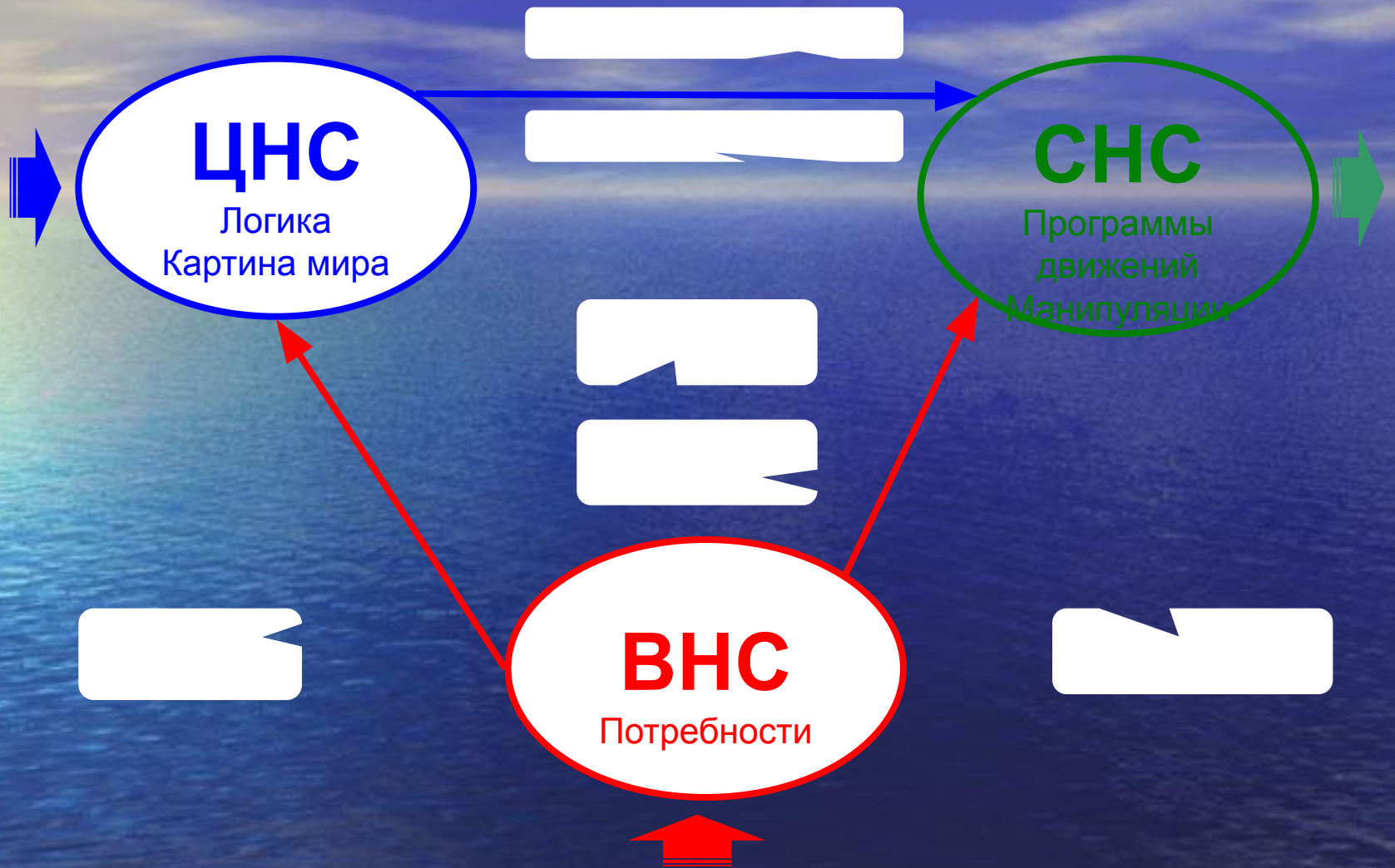


# Language

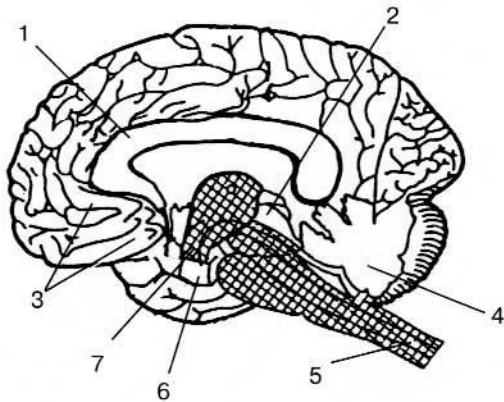


# Классификация понятий в Langwith Web





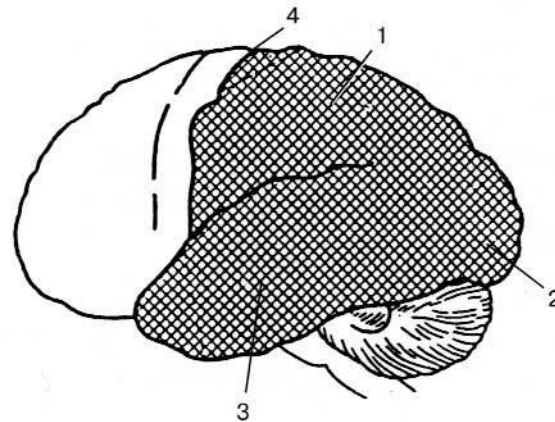
# Функциональные блоки мозга (А.Р. Лурия)



А

**А** — первый блок регуляции общей и избирательной неспецифической активации мозга, включающий ретикулярные структуры ствола, среднего мозга и диэнцефальных отделов, а также лимбическую систему и медиобазальные отделы коры лобных и височных долей мозга:

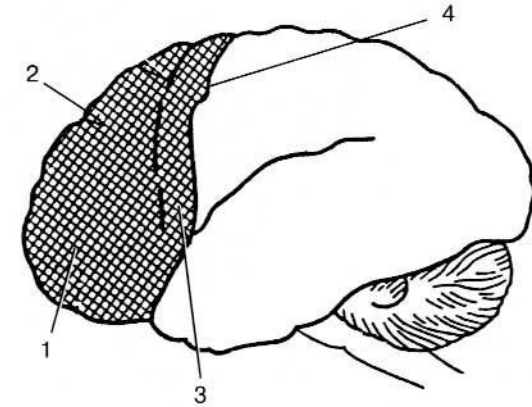
- 1 — мозолистое тело,
- 2 — средний мозг,
- 3 — медиобазальные отделы правой лобной доли мозга,
- 4 — мозжечок,
- 5 — ретикулярная формация ствола,
- 6 — медиальные отделы правой височной доли мозга,
- 7 — таламус;



Б

**Б** — второй блок приема, переработки и хранения экстероцептивной информации, включающий основные анализаторные системы (зрительную, кожно-кинестетическую, слуховую), корковые зоны которых расположены в задних отделах больших полушарий:

- 1 — теменная область (обще-чувствительная кора),
- 2 — затылочная область (зрительная кора),
- 3 — височная область (слуховая кора),
- 4 — центральная борозда;

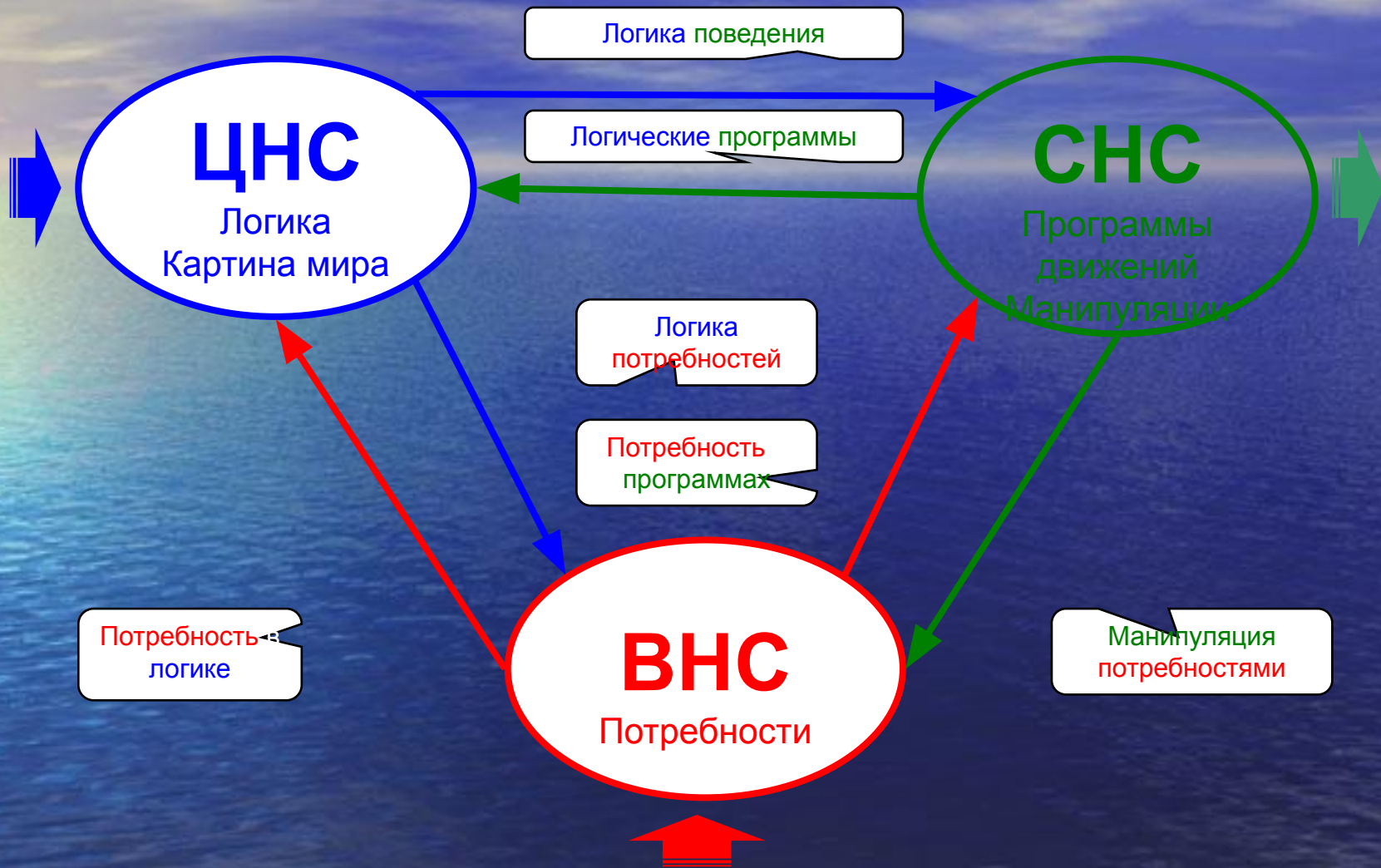


В

**В** — третий блок программирования, регуляции и контроля за протеканием психической деятельности, включающий моторные, премоторные и префронтальные отделы мозга с их двусторонними связями:

- 1 — префронтальная область,
- 2 — премоторная область,
- 3 — моторная область (прецентральная извилина),
- 4 — центральная борозда,

*(По Хомской)*



# Литература

- Timothy T. Rogers, James L. McClelland *Precis of Semantic Cognition: A Parallel Distributed Processing Approach: BEHAVIORAL AND BRAIN SCIENCES* (2008) 31, 689–749
- Балин В.Д. *Психическое отражение*, С-Пб 2000
- Горбунов И.А. *Диагностические возможности психофизиологических характеристик человека// Автореф. На соиск. Уч. Степ. Канд. Псих. Наук, С-Пб, 2005*

# Выводы по предыдущему занятию

- Нейросеть на основе перцептрона распознающего образ среды, после моторного действия может быть принята как модель формирования функциональной системы (Анохин П.К.) с АРД.
- Комбинация нейросетевой модели функциональной системы и мотивационной сети, воздействующей на нее с целью выделения подсети, способствующей удовлетворению той или иной потребности и связанной с внутренней средой организма позволяет предположить возможность моделирования самообучающейся системы, которая удовлетворяет собственные потребности с большей эффективностью
- Существуют самообучающиеся модели нейросети, описывающие семантические связи между понятиями. При обучении таких нейросетей могут формироваться обобщающие понятия (нейроны промежуточных слоев), и на основе ассоциаций такая модель «догадывается» о новых признаках того или иного объекта.
- Комбинация трех функциональных блоков нервной системы, прообразами которых могут являться перечисленные модели нейросетей, позволяет представить психогенез таких понятий как этика, эстетика, воля, привычки, ритуалы, мышление и рефлексия. Это одни из наиболее сложных психических явлений.

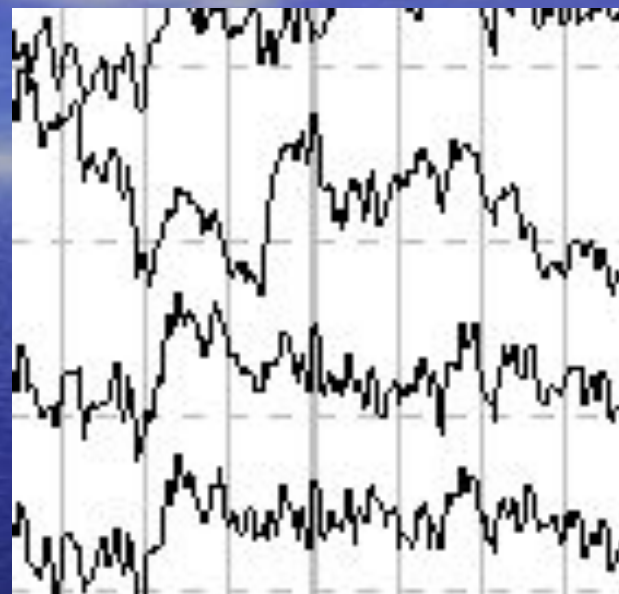
# Определение ЭЭГ

- Впервые этот термин применен Бергером (Berger 1929): ЭЭГ - кривая полученная в результате регистрации электрической активности любого отдела мозга независимо от расположения электродов
- ЭЭГ – кривая регистрирующая электрическую активность с поверхности черепа больших полушарий мозга.
- Смежные методы:
  - ЭКоГ (электрокортикограмма) – непосредственно с поверхности коры мозга
  - ЭТГ (электроталамограмма) с поверхности таламуса
  - Электроцеребеллограмма - с поверхности мозжечка

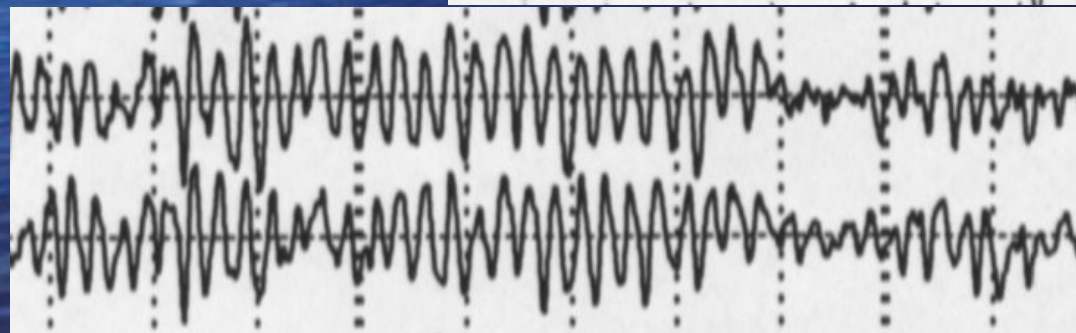
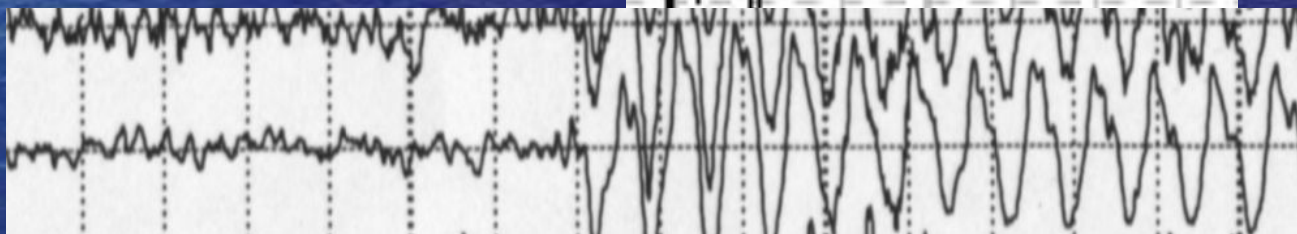


# Компоненты ЭЭГ

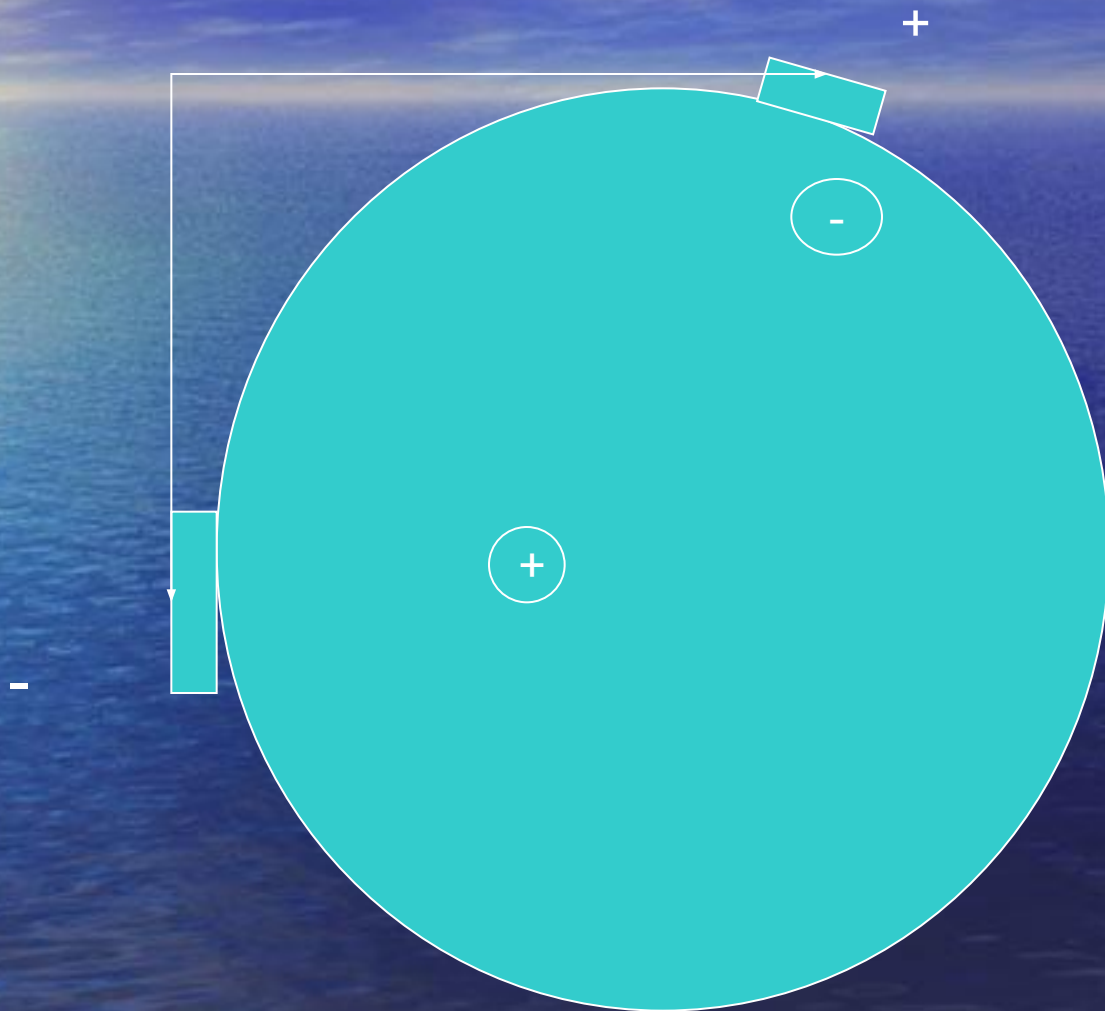
- Отдельные волны и комплексы



- РИТМЫ



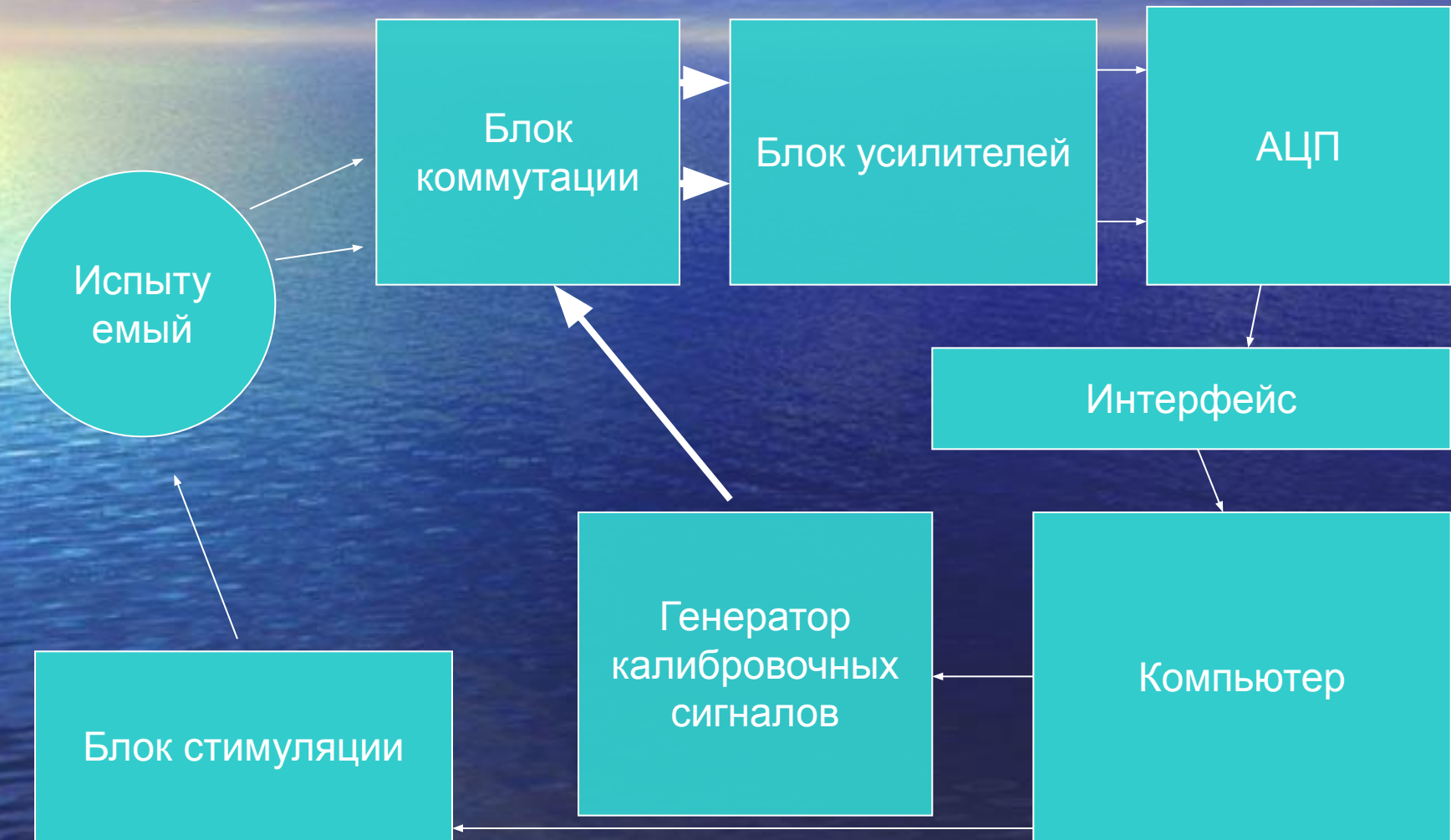
# Отведение разности потенциалов



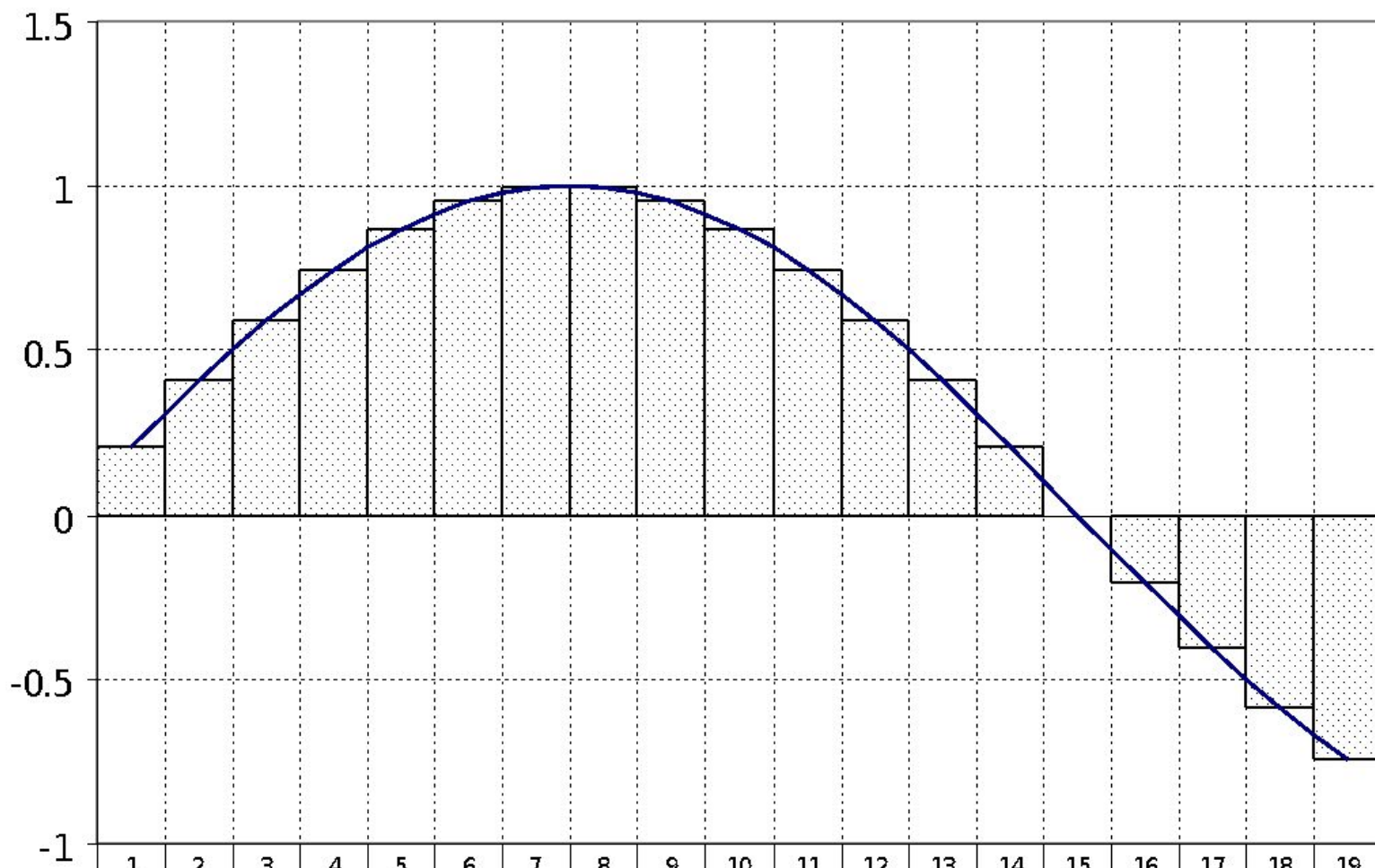
# Электрoэнцефалограф



# Структурная схема цифрового электроэнцефалографа



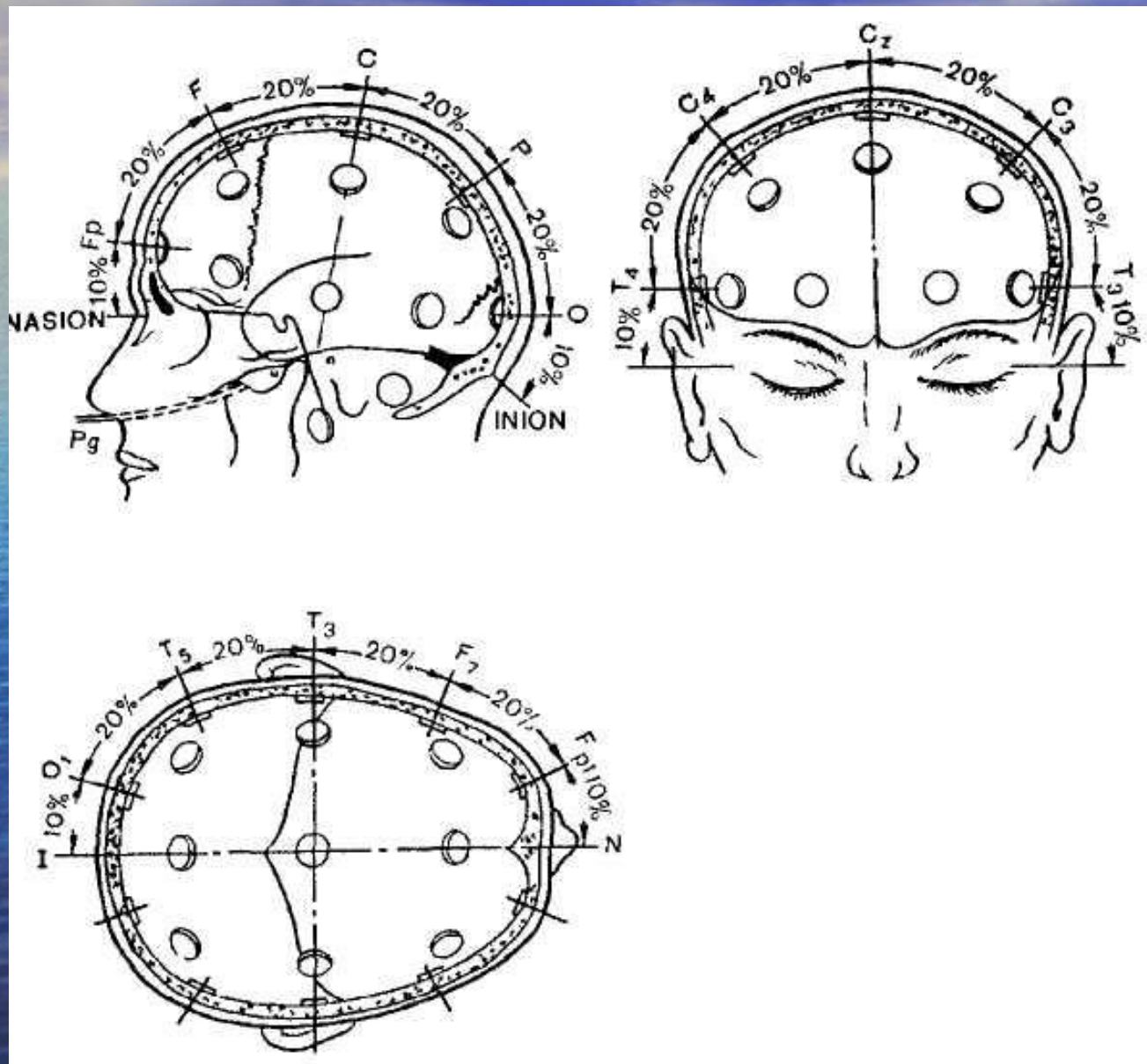
# Аналогово-цифровое преобразование



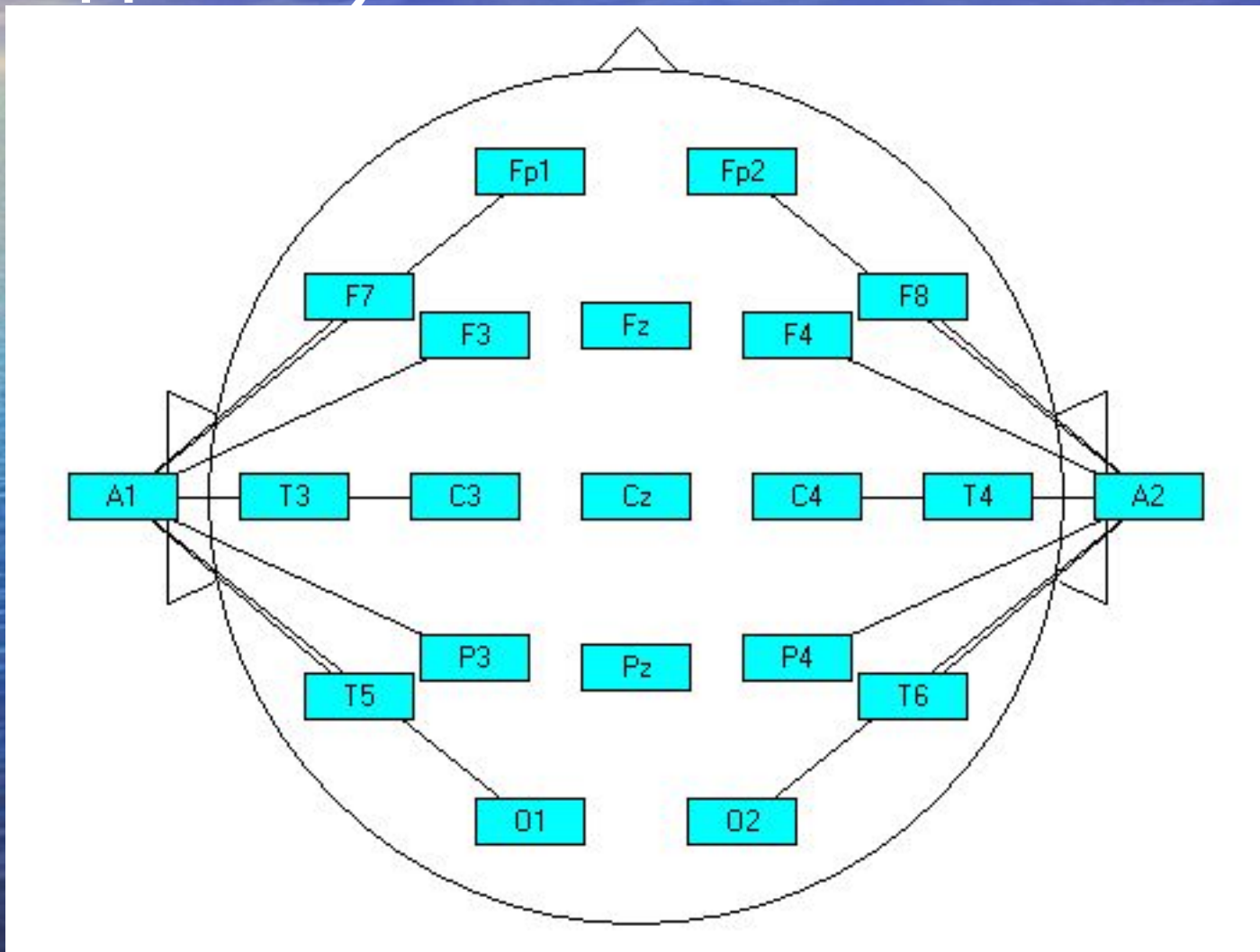
Числа	0.208	0.407	0.588	0.743	0.866	0.951	0.995	0.995	0.951	0.866	0.743	0.588	0.407	0.208	1E-16	-0.21	-0.41	-0.59	-0.74
Аналоговый сигнал	0.208	0.407	0.588	0.743	0.866	0.951	0.995	0.995	0.951	0.866	0.743	0.588	0.407	0.208	1E-16	-0.21	-0.41	-0.59	-0.74

Числа — Аналоговый сигнал

# Отведения система 10-20% (Джаспер)



# Вид сверху (Монополярное отведение)

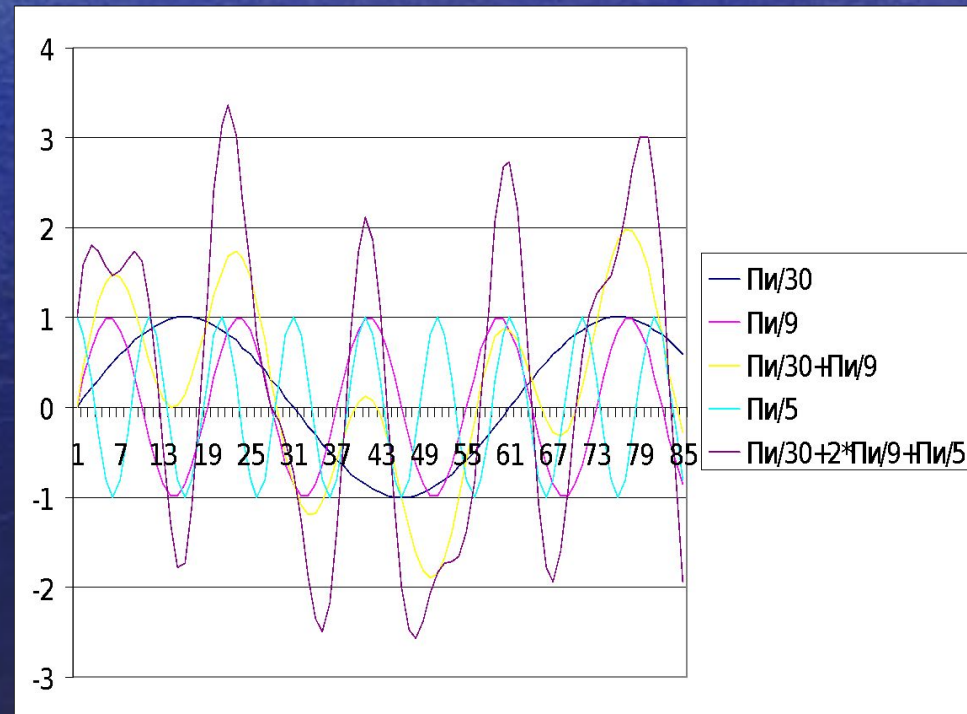
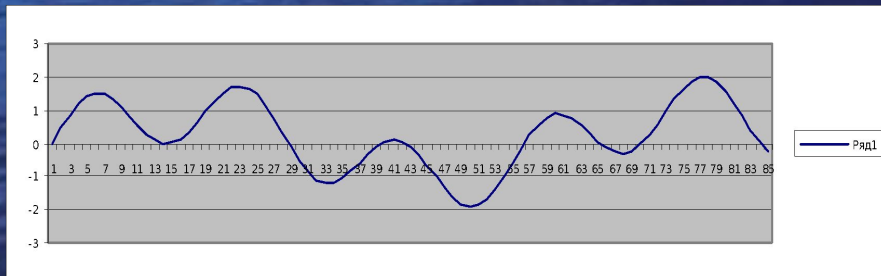
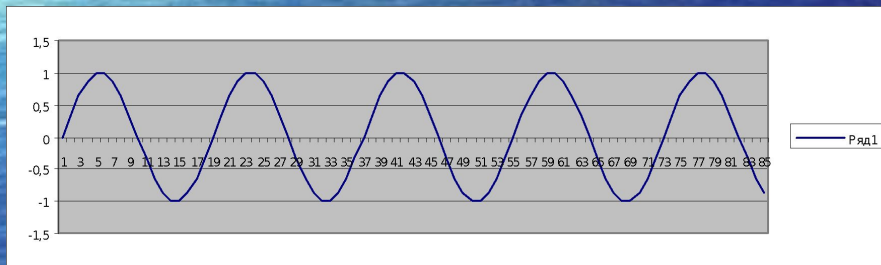
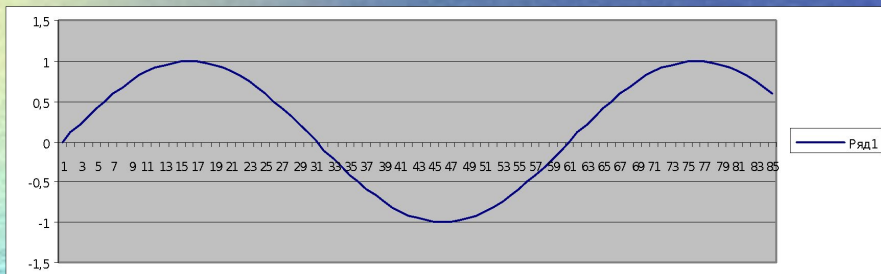


# Основные ритмы ЭЭГ

Название	Частоты	Состояние
Дельта	1-4Гц	Глубокий сон, Кома
Тета	5-7Гц	Патологии (сниж. ФС)
Альфа	8-13Гц	Норма, Фон ЗГ
Бета1	14-20Гц	Активность, стресс
Бета2	21-30Гц	Активное внимание
Гамма	30-Гц	Активное внимание, мышление, сознание



# Спектральный анализ



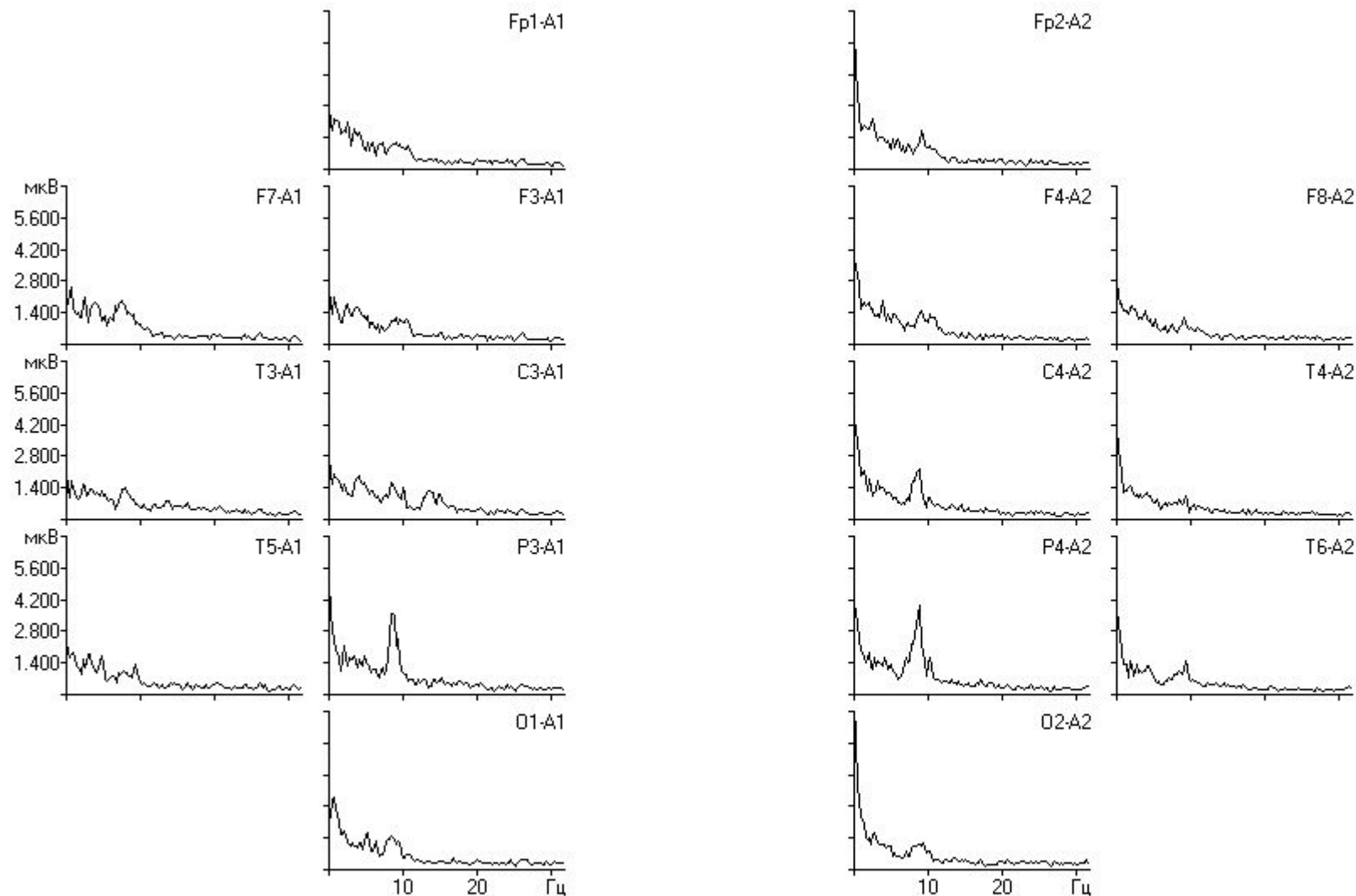
# Спектральный анализ

WinEEG - [WinSrc3 Болдырев Георгий]

Файл Запись Правка Вид Формат Анализ Настройка Окна Помощь

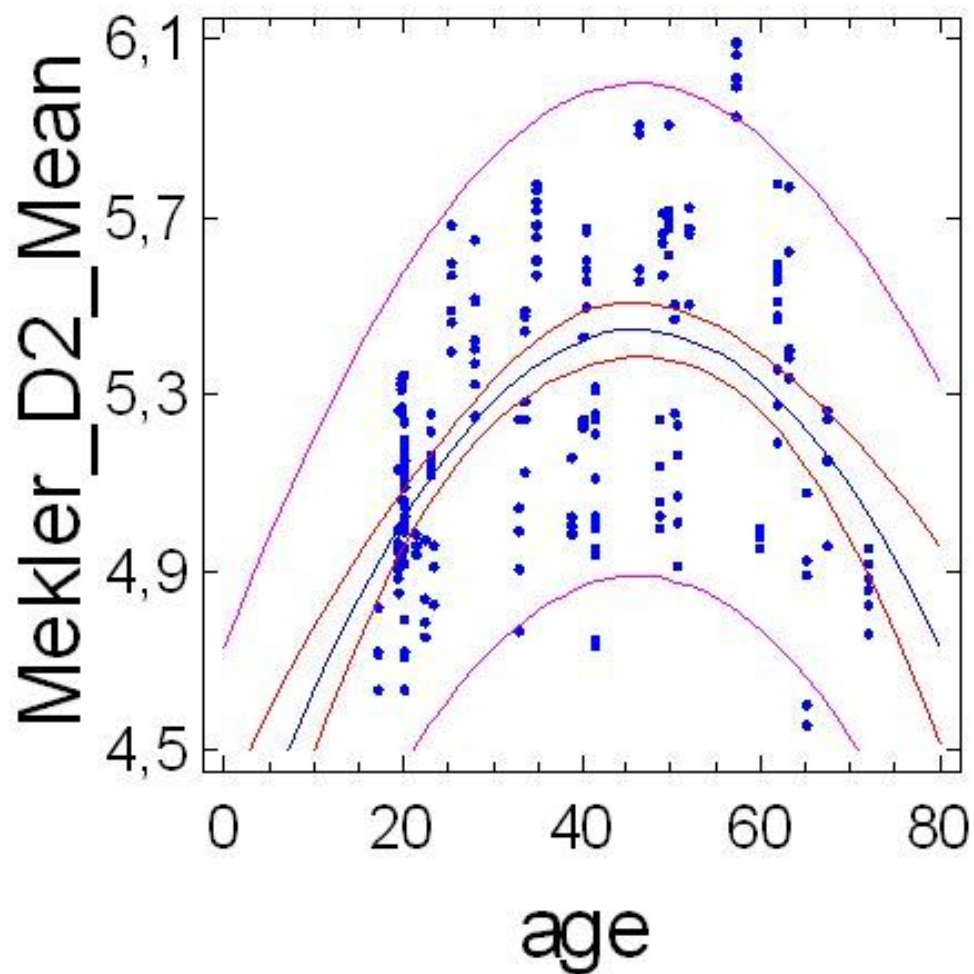


Фрагмент: Фон ЗГ    Задержка (сек):    Программа ФС: ВП 30    Частота ФС: 18

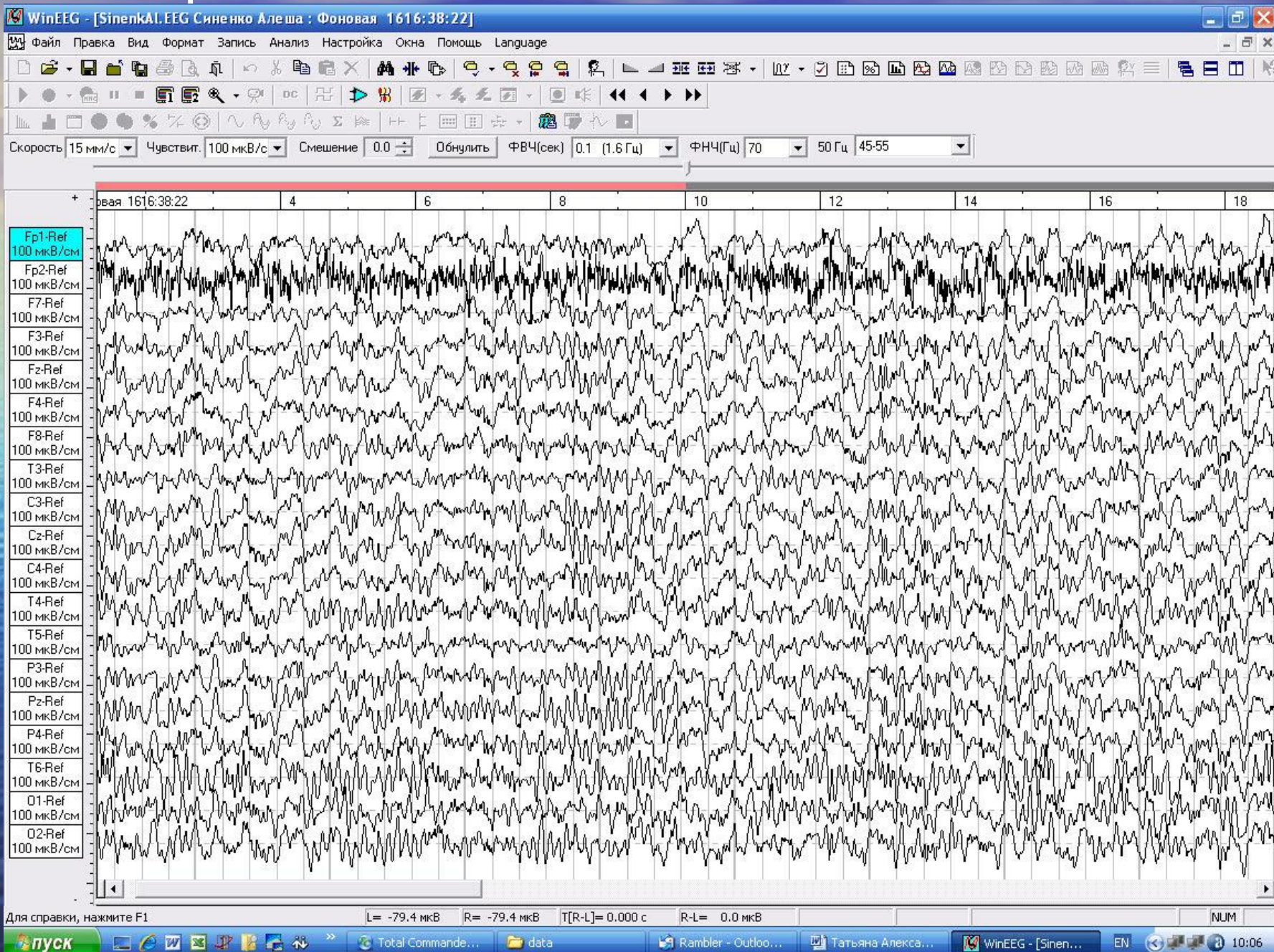


7.0  
0.0  
Шка  
7.0 мкВ  
Един  
А мкВ  
ФС  
Нет  
Разн  
100%  
Кан  
Велич  
Част

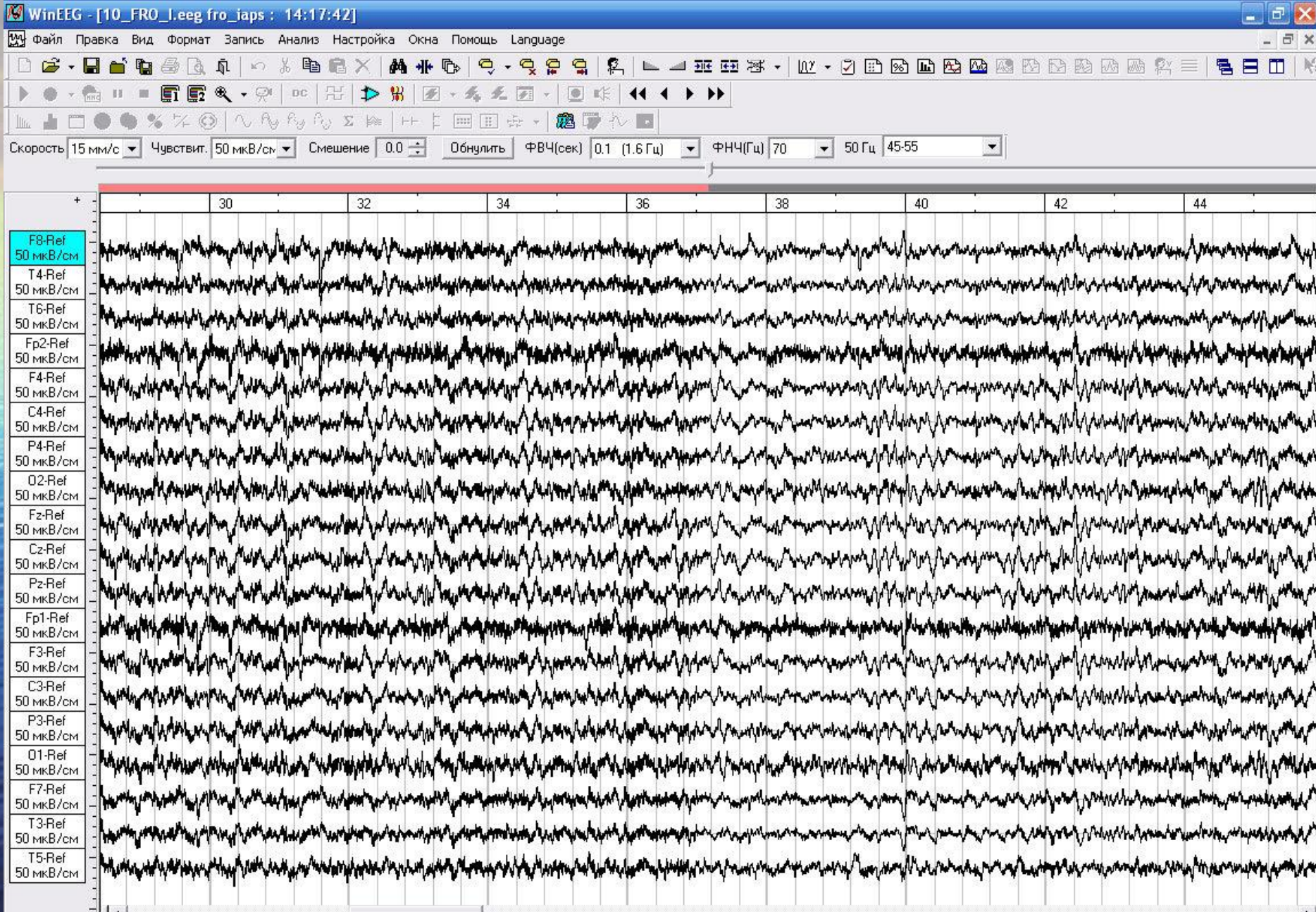
## Plot of Fitted Model



# ЭЭГ ребенка 5 лет



# ЭЭГ взрослого человека 22 г.



# Литература

- Гусельников В.И. Электрофизиология головного мозга (курс лекций) М., Высшая школа, 1976.
- Л. Р. Зенков Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии М. МедПрессИнформ 2004
- *Вассерман Е.Л., Карташев Н.К., Полонников Р.И.* Распознавание типов патологии у детей с односторонними поражениями головного мозга с использованием анализа фрактальной динамики электроэнцефалограмм // Труды СПИИРАН. 2002. Вып. 1. Т. 1. С. 333–345

# Вызванные потенциалы мозга

Занятие 2

## Event-Related Potentials (Vaughan, 1969 )

- В характеристиках ССП проявляется связь активности мозга с событиями во внешней среде:
  - например, с предъявлением стимулов
  - во внешне наблюдаемом поведении испытуемого (например, с двигательной активностью)
  - с психологическими характеристиками активности испытуемого (например, с ожиданием или с принятием решения) [Rockstroh et al., 1982].



# История

- Связь электрической активности мозга с событиями в окружающей среде и поведении впервые была продемонстрирована и описана англичанином Р.Кейтоном (Richard Caton) в 1875–1887 гг. и независимо от него русским ученым В.Я. Данилевским в 1875 г. [Brazier, 1984].
- В 1890–1891 гг. А. Беком были исследованы потенциалы на свет в окципитальной коре и на звук – в височной. В 1898 г. В.Е. Ларионовым было проведено сопоставление вызванной электрической активности в разных областях коры

# Параметры и особенности ВП

- Частотный диапазон 0-300 Гц. В отдельных исследованиях до 3 кГц
- Амплитуда 1-10 мкВ
- Длительность -1-1000 мс
- Монополярный метод отведения (обычно)
- Аналогово-цифровое преобразование
- Многократное предъявление

# Усреднение

- В основе выделения ССП из сигнала ЭЭГ лежат следующие допущения:
  - в ситуации многократного повторения события регистрируемый сигнал ЭЭГ ( $SUM_i(t)$ ) является суммой двух компонентов: спонтанной ЭЭГ  $S_i(t)$  и потенциала, связанного с событием  $P_i(t)$ ;
  - компонент  $S_i(t)$  распределен случайно для ряда последовательных повторений события;
  - компонент  $P_i(t)$  постоянен для всех повторений события, т.е. сигнал при  $i$ -м повторении события в момент  $t$  представляет сумму:

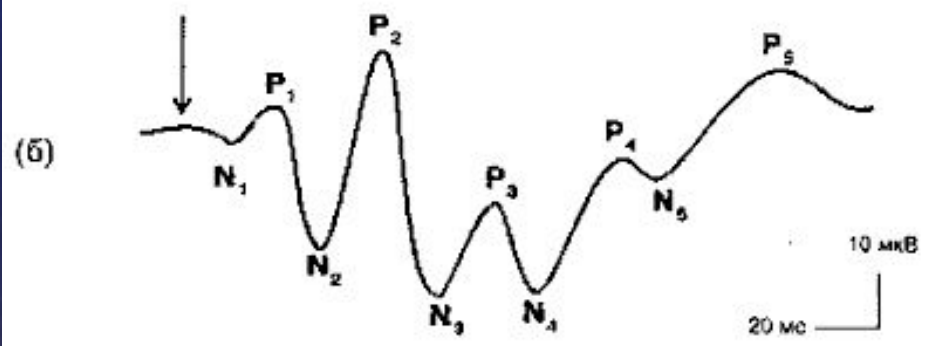
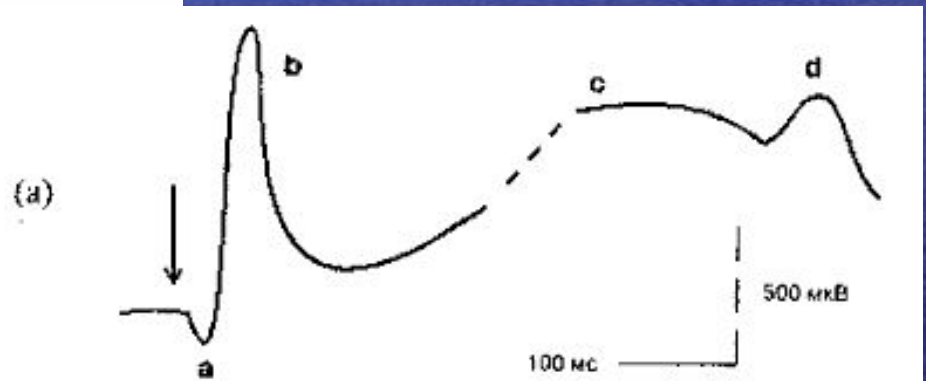
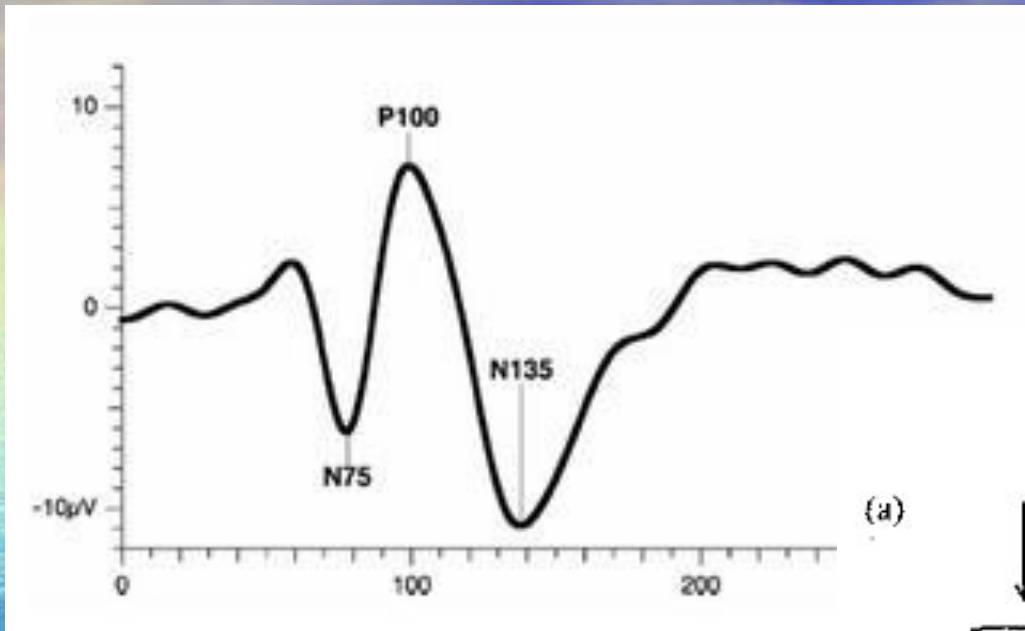
$$SUM(i)_t = S(i)_t + P(i)_t$$

- При суммировании  $N$  сигналов, зарегистрированных при последовательных повторениях события, компонент  $P_i(t)$  будет устойчив, а  $S_i(t)$ , как ошибка среднего значения, изменяется пропорционально величине  $1/N$ .
- Иногда среднее арифметическое целесообразно заменять медианой

# Количество предъявлений

- при суммировании 25 реализаций ЭЭГ в полученном ССП отношение сигнал/шум будет 1 : 5,
- при 100 реализациях – 1 : 10
- Для обычных ВП и УНВ достаточно 30-50 реализаций
- Для стволовых ВП более 4000

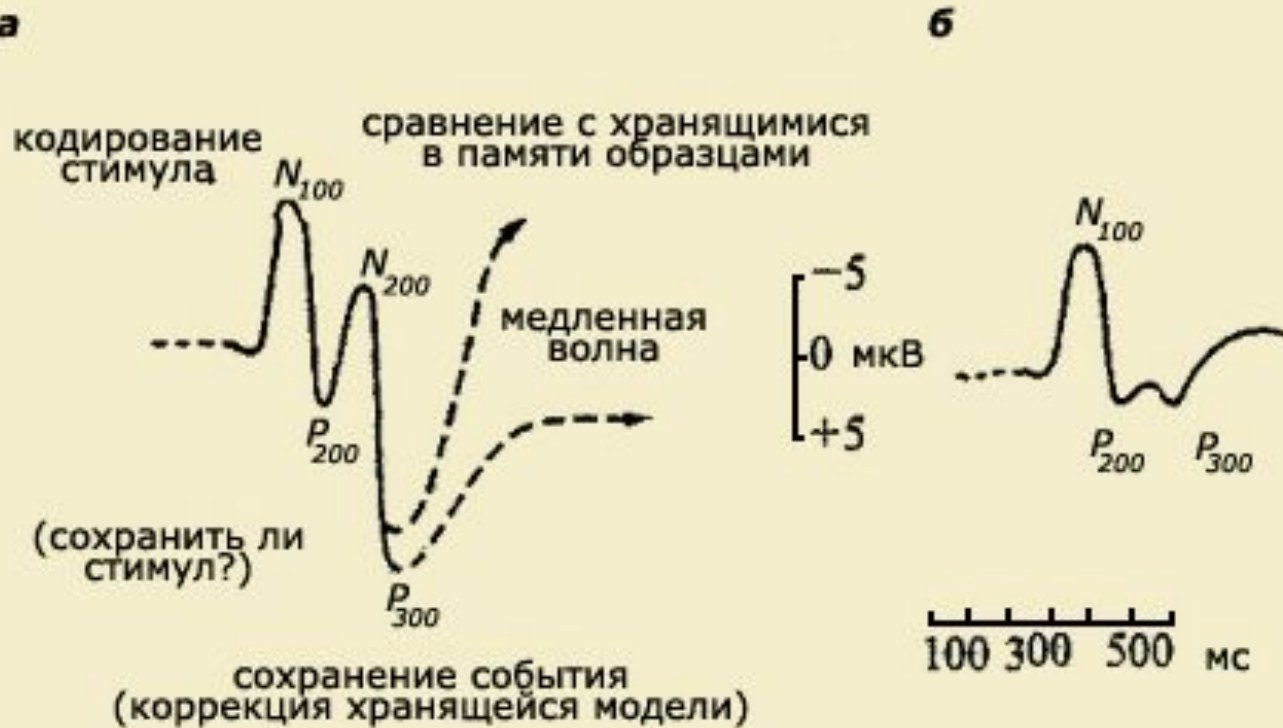
# Различные волны



# Варианты последующего анализа

- Визуальное или компьютерное выделение амплитуд и латентностей определенных волн (P100, N200, P300)
- Определение компонентов ВП отличающихся в различных состояниях или при предъявлении различных стимулов, при протекании различных психических процессов
- Локализация дипольных источников потенциалов

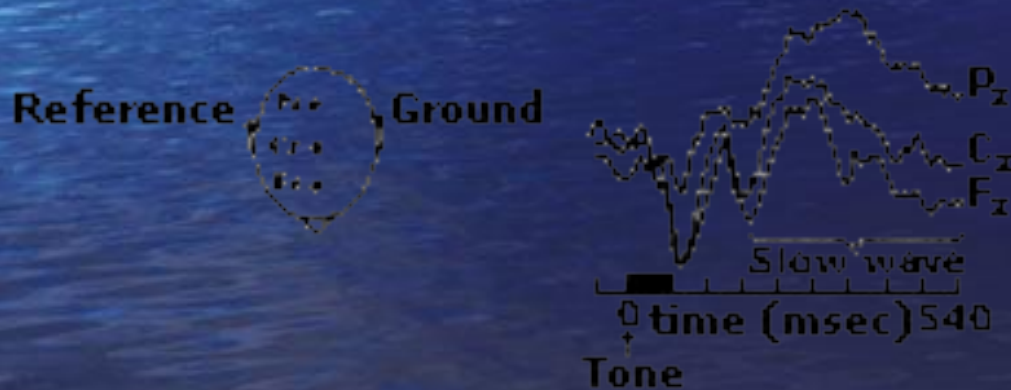
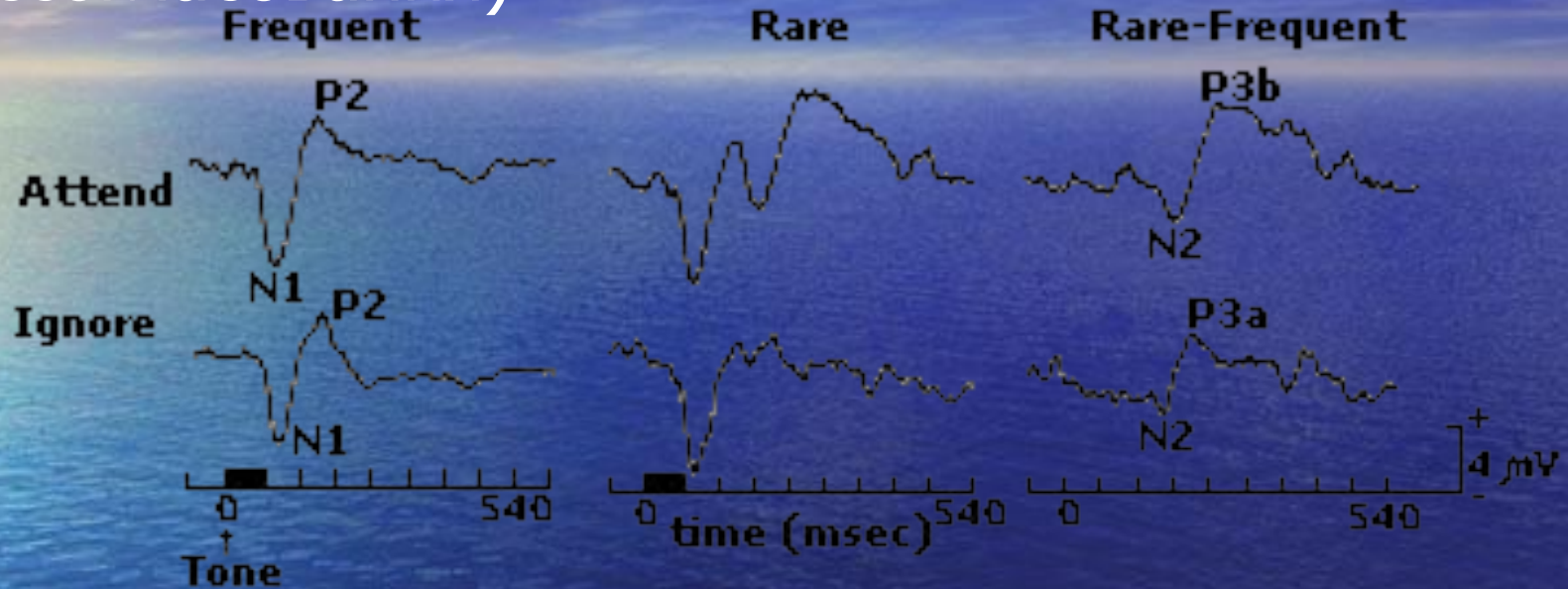
# Приблизительное кодирование волн слуховых ВП (И.В. Равич-Щербо)



**Рис. 10.10**

Схематизированные эндогенные компоненты слуховых вызванных потенциалов: а - ответ на релевантный задаче стимул; б - ответ на иррелевантный стимул

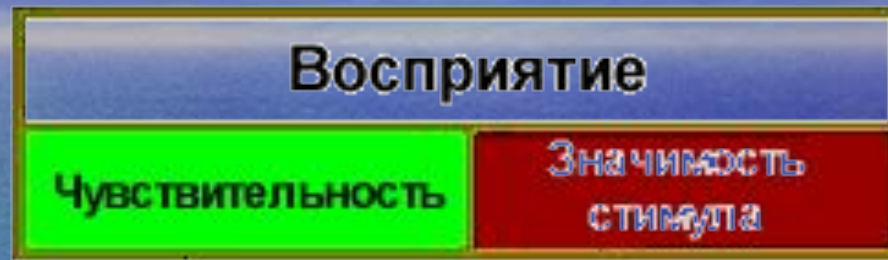
# Результаты вычитания ВП (Н. Hansen & S. Hillyard, 1982) (негативность рассогласования)





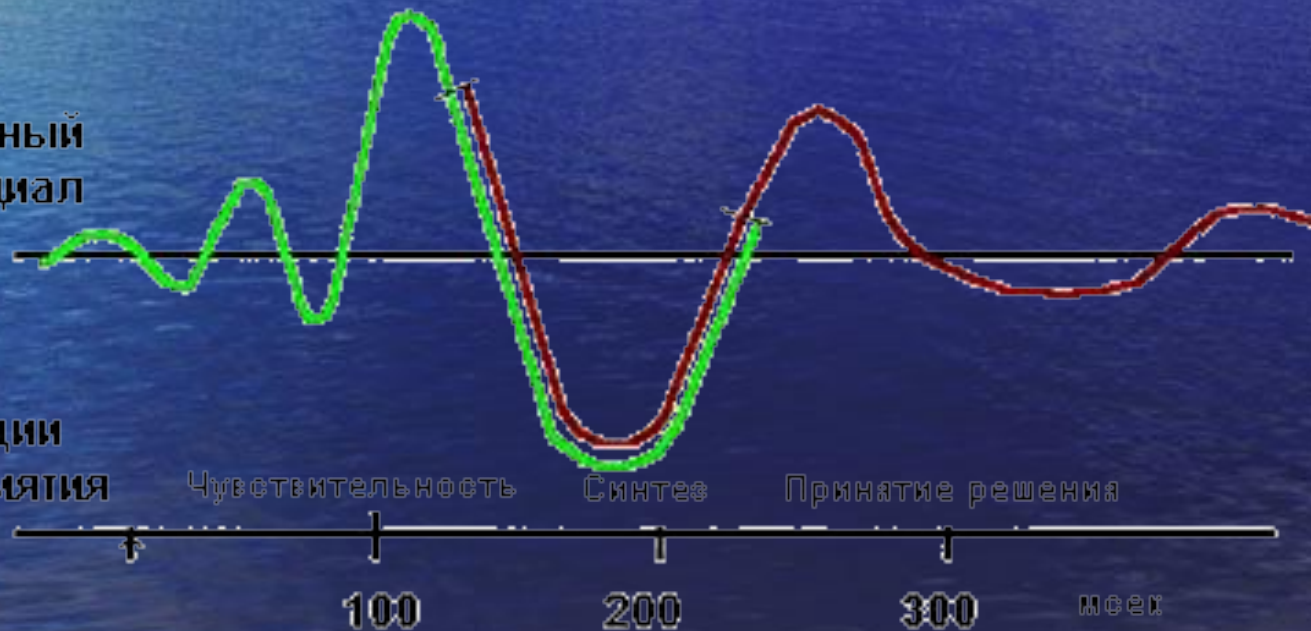
# Стадии восприятия и осознания (А.М.Иваницкий)

Ψ

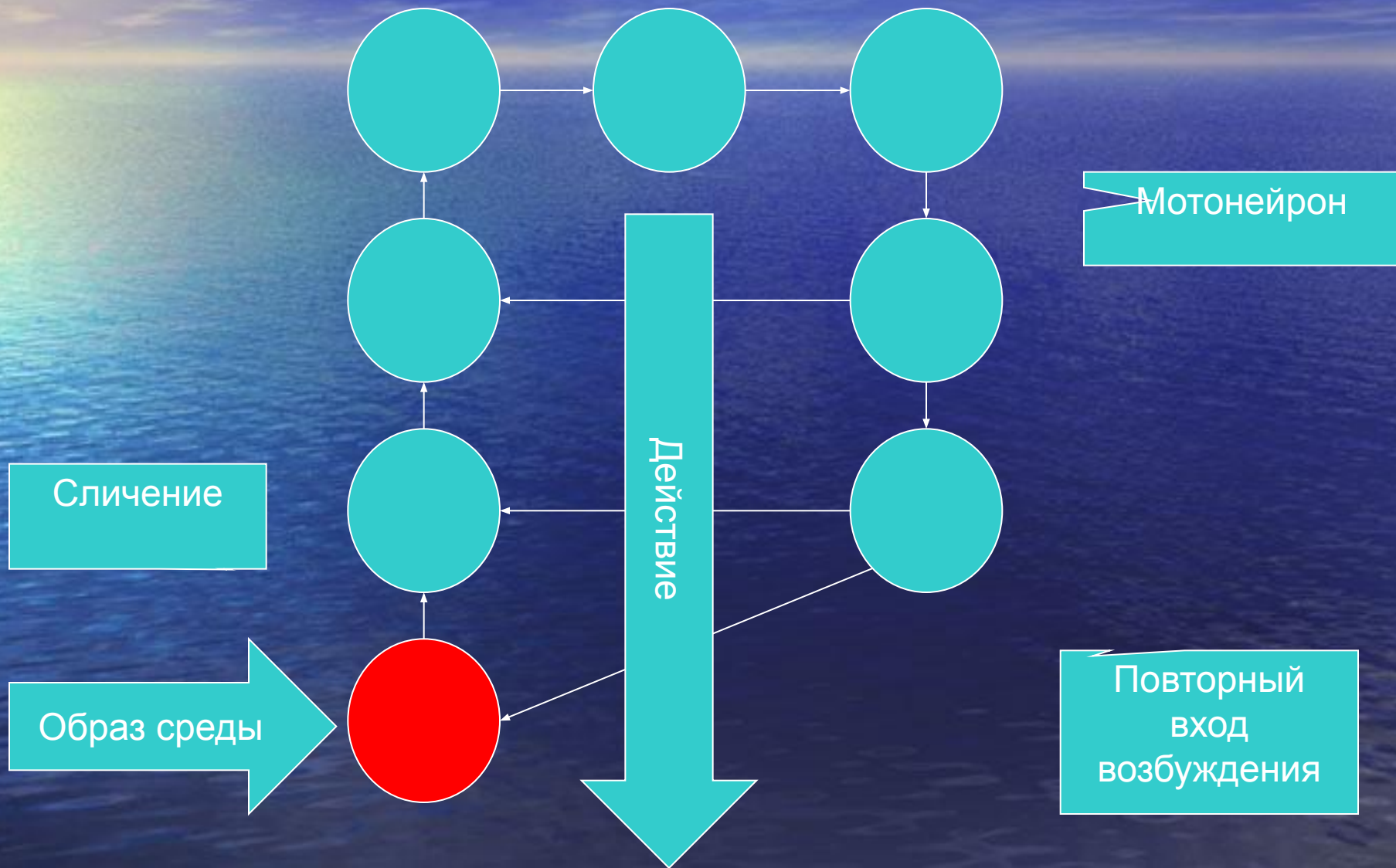


Вызванный потенциал

Стадии восприятия



# Многоуровневая модель НС



# Повторный вход возбуждения (Дж.Эдельмена, А.М.Иваницкий)

