

© 1997 г. А.Н. Лебедев

КОНСТАНТА М.Н. ЛИВАНОВА В КОЛИЧЕСТВЕННОМ ОПИСАНИИ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ*

Емкость памяти, скорость обработки информации, точность субъективных оценок, особенности распределения слов в речи объясняются закономерностями периодических нейронных процессов. Особое значение имеет константа М.Н. Ливанова – критическая разность частот, равная 10% от частоты доминирующего ритма электроэнцефалограммы. Она определяет разнообразие нейронных кодов восприятия и памяти.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма (ЭЭГ), память, восприятие, информация, закон, константа.

И.П. Павлов предложил физиологам объяснить явления психики количественно, более того – предсказать поведение человека. Предсказать с большей точностью, чем это могут сделать те психологи, которые отрицают идею физиологических механизмов психики.

ПРЕДПОСЫЛКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ И.П. ПАВЛОВА

Мечта И.П. Павлова нашла свое выражение. Были сделаны крупные открытия, обусловившие интеграцию наук о мозге в единую нейронауку – Neuroscience.

В России Е.Н. Соколов блестяще овладел техникой микроэлектродных исследований, выработал условные рефлексы у изолированных нейронов, раскрыл нейронные механизмы ориентированного рефлекса, имеющего в основе реакцию пробуждения Мэгуна и Моруцци, которая связана с феноменом сознания.

Соколов, рассматривая поведение отдельных нейронов и индивида как одно целое, открыл путь к созданию искусственного интеллекта [15, 26] и стал основателем векторной психофизиологии. Он объяснил количественно фундаментальные явления в психологии взаимодействием двух физиологических векторов: синаптической проводимости и возбуждений, т.е. нейронных импульсаций, поступающих к синапсам. Синаптические векторы – основа памяти. Векторы возбуждения порождаются воспринимаемыми стимулами и нейронными командами, обеспечивающими поведение. Развивая идею Соколова, мы показали, что векторное представление субъективного пространства в комплексных числах с использованием мнимых осей с высокой точностью отражает особенности восприятия [22].

Еще один важный шаг к расшифровке клеточных, нейронных механизмов психики был сделан Н.П. Бехтеревой. Именно она широко использовала термин "нейронные коды". Во время диагностических процедур Н.П. Бехтерева погружала множество микроэлектродов в глубь мозга и сумела записать группы импульсов, закономерно связанных в течение определенного времени с физическими особенностями и

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96-0680097-а) и Российского гуманитарного научного фонда (гранты 96-03-04332 и 96-03-04562).

смыслом воспринимаемых и проговариваемых сигналов. Группы импульсов были названы кодами [2]. Эти и другие наблюдения (например, американца Роя Джона о влиянии смысла стимулов на конфигурацию вызванных потенциалов в коре мозга) связывают мир субъективных переживаний с физиологическими показателями.

Появилась возможность объяснить количественно психологические явления в их динамике, с учетом временных характеристик нейронных процессов. Ближе всех к решению данной проблемы подошел академик М.Н. Ливанов [10, 12]. Он обнаружил, что синхронизация ритмичных колебаний в пространственно разнесенных билатерально симметричных пунктах мозга, как зеркало, отражает напряженность психической деятельности человека, зримо проявляя ассоциативные процессы. Ливанов вместе с английским исследователем Греем Уолтером стал изобретателем метода многоканальной регистрации электрических потенциалов мозга. Он впервые столкнулся с трудностью, не преодоленной до сих пор: как представить результаты картирования биопотенциальных полей мозга в "сжатом" виде, удобном для анализа? Многообразие картограмм подавляет, поэтому многие электрофизиологи предпочитают использовать старинный визуальный анализ рутинных электроэнцефалограмм (ЭЭГ), чернильных записей.

В самом деле, многочисленные электроэнцефалографические узоры сопоставимы с многообразием субъективных переживаний, но явная связь двух "миров" не поддается легкому анализу. Отсюда понятен скепсис в отношении ЭЭГ. Активность одиночных нейронов выглядела более значимой.

НЕЙРОННЫЕ ИМПУЛЬСЫ И ВОЛНЫ

В 1963 г. в опытах мною было установлено, что между волнами вызванных потенциалов, т.е. реактивных изменений ЭЭГ, и волнами импульсации в толще мозговой коры существует зеркальная связь. Поверхностной негативности соответствует урежение импульсов в толще коры, а позитивности – учащение. Об этом впервые рассказал М.Н. Ливанов на Международной конференции, посвященной 100-летию выхода в свет книги И.М. Сеченова "Рефлексы головного мозга". Он сообщил о результатах, раскрывающих искомую связь. Импульсы и волны есть два разных выражения одной и той же сущности – пространственно-временной организации периодических процессов мозга.

В опытах на животных, исследуя взаимосвязь медленных колебаний в диапазоне частот ЭЭГ с импульсной активностью центральных нейронов, мы установили, что отдельные нейроны не являются простыми алгебраическими сумматорами [5]. Нейроны избирательно относятся к стимуляции в зависимости от исходного состояния, которое изменяется циклически из-за связи импульсации с метаболизмом нейрона.

Решение дифференциального уравнения первого порядка с запаздыванием позволило объяснить характерные особенности нейронных циклов, регулярность волн ЭЭГ, способность к захвату частот (феномен был впервые описан М.Н. Ливановым в 1940 г. и Н. Винером – в 1948 г.), в том числе ступенчатость различий между периодами колебаний, полифазность вызванных потенциалов.

Согласованность во времени нейронных импульсов – главное условие для существования нейронных ансамблей, создаваемых как под влиянием стимуляции, так и независимо от нее в ходе творческих озарений и обобщения данных, хранящихся в памяти.

Волны импульсации в глубинах мозга следуют одна за другой с небольшими промежутками, равными длительности относительной рефрактерности после каждого нейронного импульса.

Способность нейрона к генерации следующего импульса восстанавливается не сразу после предыдущего, а с некоторой задержкой, подобно всем другим физиологическим отправлениям. В случае нейронного импульса задержка,

необходимая для восстановления исходного состояния, необычайно мала, порядка одной сотой секунды. Ее можно оценить по расположению главного пика в распределении интервалов между импульсами, вызванными афферентной бомбардировкой.

В ЭЭГ относительная рефрактерность проявляется в скачкообразных смещениях фазы биоэлектрических волн при плавном учащении или урежении воспринимаемых стимулов, например вспышек света. Впервые такой феномен захвата был описан Ливановым в 1938 г. "Достаточно возникнуть расхождению между частотой раздражения и частотой мозгового ритма в 1/10 долю периода, как прежний корковый процесс замещается новым", — утверждал он, объясняя скачкообразные изменения частоты потенциалов навязывания при плавном изменении частоты вспышек [12, с. 44].

Таким образом, Ливанов первый определил численное значение ступеньки — около 10% ($R = 0,1$) по отношению к периоду исходного колебания. Применительно к диапазону самого мощного ритма у человека — альфа-ритма, согласно Бергеру, с периодом колебаний в 100 мс — длительность ступеньки равна 10 мс [21].

Относительная величина ступеньки, названная нами частотной рефрактерностью, проявляется в биениях разночастотных альфа-колебаний, в так называемых веретенах альфа-ритма, периодических волнообразных вздутиях и спадах амплитуды волн. Относительную величину ступеньки, равную десятой части периода, назовем константой Ливанова. Этот первый параметр ритмики мозга доступен измерению и контролю.

Второй параметр — частота самых мощных колебаний в спектре ЭЭГ, чаще всего 10 Гц ($F = 10 \text{ Hz}$). Это — константа, индивидуально свойственная каждому человеку: у одного — 9 Гц, у другого — 10, у третьего — 11 Гц. Она названа константой Бергера — по имени ее первооткрывателя.

У небольшого количества взрослых людей альфа-ритм явно не выражен. Возможно, причина кроется в индивидуальных вариациях размещения нейронов, продуцирующих ритм. Вероятно, это правильно, т.е. одинаково, ориентированные нейроны. Где таких нейронов больше, там и альфа-ритм мощнее.

Альфа-волны могут регистрироваться у людей без альфа-ритма. Даже у них в спектре мощности ЭЭГ, в диапазоне альфа-частот от 8 до 13 Гц, никогда не бывает "провала" до нуля.

Человек отличается от животных не только тем, что обладает интеллектом и имеет относительно большой вес головного мозга. Ему свойственны также ярко выраженная регулярность и ритмичность мозговых волн частотой около 10 Гц. Как их не связать с интеллектом?

Приходится удивляться прозорливости Д. Гартли, впервые догадавшегося в XVIII в. о связи высокого интеллекта человека с регулярностью мозговых биоэлектрических волн задолго до учения о самом электричестве. Во времена Гартли электричество было известно только как свойство янтаря притягивать пылинки. Поражает его догадка о том, что периодические процессы мозга, возможно, имеют электрическую природу [4].

ПУЛЬСИРУЮЩИЕ ОБРАЗЫ

Если следовать логике Гартли, Ухтомского, Ливанова и других сторонников идеи динамического кодирования воспринимаемой и хранимой в памяти информации, то можно предположить, что нейронные ансамбли, ответственные за субъективное отражение, активируются периодически, разряжаясь импульсами.

Из-за биений частот, составляющих ЭЭГ, актуализированные образы памяти как бы пульсируют с периодом биений, максимальная длительность которого $T = 1/(FR)$. Заметим, что $1/R = FT$.

Из всего набора C образов долговременной памяти в каждый текущий момент актуализировано ограниченное число M разных образов [16]. В каждый текущий

момент с вероятностью $1/M$ один из образов имеет максимальную возбудимость. Время реакции в ответ на появление стимула, адекватного образу, в этот момент минимально. Стимулы подаются независимо от периодических колебаний активности нейронов. Экспериментатор их не видит. Следовательно, вероятность совпадения стимула с той или иной фазой колебаний возбудимости одинакова в течение всего периода колебаний. Какие-то стимулы совпадают с фазой повышенной возбудимости, и ответные реакции следуют без всякой дополнительной задержки. В остальных случаях задержка равномерно распределяется в течение всего отрезка пониженной возбудимости ансамблей нейронов.

ПЕРЕМЕННАЯ ЗАДЕРЖКА ВОСПРИЯТИЯ

Расчет средней длительности задержки t в зависимости от числа M равновероятно ожидаемых и числа K одновременно предъявляемых стимулов осуществляется по формуле

$$t = KT(1-p^K)(1-p)^K/(K + 1), \quad (1a)$$

где $p = (1 - (1-R)/KM)$, $T = 1/FR$, $F = 10 \text{ Hz}$ (константа Бергера), $R = 0,1$ (константа Ливанова). Уравнение выражает количественно скорость обработки информации человеком. В частности, время, необходимое в среднем для опознания одного стимула из числа M равновероятных стимулов, определяется по формуле

$$t = T(1 - (1-R)/M)^2/2.$$

В психологии существует закон скорости обработки информации человеком, установленный американским исследователем У. Хиком [20]. Возрастание времени обработки линейно при увеличении логарифма от числа альтернатив в ситуациях выбора. Основной недостаток закона – узкая сфера его действия. Он справедлив, если число альтернатив меньше десяти. Закон подвергался критике и был предметом многих дискуссий.

Уравнение (1а), включающее в себя обе физиологические константы и выведенное из представлений о кодировании информации циклами нейронной активности, действительно при неограниченном числе альтернатив, предсказывая результаты психологических опытов с высокой точностью [3]. В исследованиях Б.Г. Бовина, И.Ю. Мышкина, А.В. Пасынковой, Ю.А. Шпатенко, Т.С. Князевой, Г.В. Котковой, Д.В. Лозового, О.Ж. Кондратьевой, В.К. Оше и других наших сотрудников было установлено, что уравнение (1а) для оценки быстродействия восприятия и памяти правильно описывает скорость обработки информации человеком.

ОБЪЕМ ПАМЯТИ

Психологи давно пытались решить задачу о зависимости объема кратковременной памяти от алфавита стимулов, но так и не смогли этого сделать.

Появилось правило Дж. Миллера: "Семь плюс или минус два", утверждающее независимость объема от алфавита запоминаемых стимулов [25]. Заданный разброс широк, на деле же он еще больше, от одной-двух единиц, например, в случае иероглифов, до 25–30 – в случае бинарных сигналов.

Представление о циклах нейронной активности и здесь оправдало себя. Единицами памяти служат пакеты волн, т.е. синхронных импульсных разрядов многих нейронов, в составе одного ансамбля. Нейронных ансамблей множество. Каждый из них хранит информацию о каком-то объекте памяти в виде устойчивого волнового узора. В ансамбль входит несколько групп нейронов. Отдельная группа способна генерировать последовательно от одного до 10 когерентных залпов импульсов за один период доминирующих колебаний при условии, что интервалы между залпами не меньше, чем ступенька $R = 0,1$ по отношению к длительности доминирующего периода.

Алфавит нейронных единиц памяти легко рассчитывается. Он находится в обратной зависимости к константе Ливанова. А именно: один из множества залпов указывает на начало периода, поэтому размер алфавита таких кодовых единиц $N = 1/R - 1$. Число нейронных групп, вовлекаемых в активное состояние за один период, последовательно друг за другом, равно всё тому же $N = 1/R - 1$.

Как видим, длина кодовых цепочек, т.е. последовательно вовлекаемых нейронных ансамблей, лимитирована той же самой частотной рефрактерностью и так же легко рассчитывается. Отсюда выводится максимально возможное число разных кодовых последовательностей (около полумиллиарда) по формуле

$$C = N^N = (1/R - 1)^{(1/R - 1)}. \quad (1b)$$

Емкость долговременной памяти – это $C = 9^9 = 0,4$ млрд. ед. Каждая единица памяти – одно определенное понятие, команда, паттерн действия. Емкость памяти – функция одной-единственной физиологической константы, $R = 0,1$. Это есть дробь Ливанова.

Вычисленная емкость позволяет рассчитывать зависимость объема кратковременной памяти от алфавита запоминаемых стимулов. В одном уравнении мы связали три фундаментальных психологических показателя: емкость долговременной памяти (C), емкость оперативной или рабочей, памяти (H) и емкость внимания (M), т.е. число актуализированных различных образов долговременной памяти,

$$C = M^H, \quad (2)$$

где $A \leq M \leq AH$, $C = (1/R - 1)^{(1/R - 1)}$, R – физиологическая константа Ливанова, $R = 0,1$, A – размер заданного алфавита стимулов.

Следует пояснить еще раз, что не все единицы памяти, т.е. не все ансамбли, актуализированы одновременно. Только небольшое число M ансамблей задействовано в каждый текущий момент времени. Это число служит мерой объема внимания.

Если человек сосредоточил внимание в определенный момент времени на запоминании двоичных элементов, нулей и единиц, то наименьший объем внимания равен размеру объективно заданного двоичного алфавита, знакомого ему, а именно: $M = A = 2$. Наибольший объем внимания равен произведению $M = AH$, в данном примере $M = 2H$, где H – коэффициент пропорциональности, равный объему кратковременной, или рабочей, памяти для запоминаемых элементов. Кратковременная память H измеряется максимальным числом элементов, не обязательно разных, правильно воспроизведенных с учетом их значения и позиций в ряду после однократного восприятия. Длительность однократного восприятия не превышает 2–10 с.

Из уравнения (2) следует простое правило для прогноза емкости кратковременной памяти на комбинации признаков, если измерены емкости на каждый из признаков в отдельности:

$$1/H = 1/H_1 + 1/H_2 + 1/H_3 + \dots, \quad (3)$$

где H – искомый объем для комбинации, H_1, H_2, H_3 – объемы кратковременной памяти на исходные признаки. Эта формула, выведенная аналитически из предыдущей, предсказала существование нового феномена, ранее неизвестного в психологии. Ошибка прогноза в разных опытах Н.А. Скопинцевой, Л.П. Бычковой, М.Н. Сыренова и других исследователей, осуществлявших проверку формулы (3), нередко составляла всего 3–5% (сравните с 25–35% по правилу Миллера).

В работах И.Ю. Мышкина и В.В. Майорова [14], плодотворно развивающих теорию динамической памяти, а также в исследованиях других наших сотрудников [13] были установлены искомые зависимости объема памяти от параметров ЭЭГ.

Таким образом, реализована цель И.П. Павлова – количественно объяснить известные психологические явления и предсказать новые, причем фундаментальные

психологические явления, описывающие объем памяти и ее быстродействие, с помощью физиологических понятий.

Примечательно, что в уравнения для расчета емкости памяти человека и ее быстродействия входят два параметра ЭЭГ – частотная рефрактерность (R) и доминирующая частота (F). Они являются, согласно терминологии Анохина, системообразующими параметрами, с помощью которых можно объяснить множество психологических показателей. Оба уравнения с выводами и экспериментальной проверкой детально рассмотрены в работах [7–9]. Найденные физиологические формулы памяти и ее быстродействия обеспечили решение двух давно известных психологических проблем.

Нас интересует в первую очередь проблема моментального выбора, поиска нужных сведений в памяти, необходимых для реализации целенаправленного поведения.

ПОИСК В ПАМЯТИ

В когнитивной психологии, пожалуй, больше всего литературы посвящено описанию парадигмы С. Стернберга, ученика Д. Луса, касающейся скорости поиска сведений в памяти [27]. Стернберг придумал методику определения такой скорости. Выявилась яркая зависимость величины скорости от размера ряда запомненных стимулов. Дж. Кавенах [18] обработал данные большого количества исследователей и обнаружил константу, равную 243 мс, характеризующую время сканирования всей кратковременной памяти независимо от содержания запомненного материала.

По методике Стернберга человек сначала запоминает ряд стимулов, например цифр как целое, как единичный образ, и удерживает этот новый образ до момента появления одного-единственного стимула, входящего в запомненный набор (или, напротив, не входящего в него), отвечая нажатием на соответствующую клавишу. В этом случае по условиям опыта параметр M из уравнения (1а) равен объему H кратковременной памяти, а параметр $K = 1$.

Для сличения одного образа стимула с предъявленным требуется t/H времени, а для опознания предъявленного стимула, если его образ присутствует в запомненном ряду, необходимо в сумме от 1 до числа H сличений в среднем $(1 + H)/2$ сравнений, т.е. $0,5(H + 1)t/H$ единиц времени, что равно 0,25 с при типичных значениях $F = 10$ Гц и $R = 0,1$.

Вычисленная по физиологическим данным величина отличается от опытного значения, определенного Кавенахом по многочисленным психологическим данным, менее, чем на 3%. Интересно заметить, что при $H = 1$ (разумеется, $K = 1$ по условиям измерения) время сличения по формуле (1а) минимально, около 5 мс. Оно равно константе Гайсслера с точностью до 0,3 мс [19].

Для оценки среднего прироста времени при $H > 1$ в расчете на один стимул следует делить найденное значение $(0,5(H + 1)t/H)$ времени сканирования всего содержимого кратковременной памяти на число приращений $(H - 1)$ стимульного ряда. Психологические данные полностью согласуются с физиологическим расчетом [7, 21].

Еще одно предсказание, касающееся скорости зрительного поиска, также следует чисто аналитически из уравнения (1а). Формула (1а) устанавливает зависимость скорости поиска не только от индивидуальных электрофизиологических констант, но и от характера воспринимаемых зрительных сигналов, их алфавита [11].

ОСНОВНОЙ ПСИХОФИЗИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Дробь Вебера определяет границу между ощущаемым и неощущаемым. Это – прирост ощущения, взятый по отношению к исходной величине стимула. Вытекающая из дроби оценка величины ощущений – центральная проблема психологии. Недаром закон, открытый Г. Фехнером, во всех энциклопедиях называют основным законом психофизики.

До сих пор не затухают жаркие дискуссии по поводу основного психофизического закона в двух его ипостасях – формулировке первооткрывателя Г. Фехнера о логарифмической зависимости силы ощущения от интенсивности стимула и утверждении С. Стивенса о степенном характере такой зависимости [5].

Опираясь на данные французского психолога А. Пьерона о нелинейной зависимости времени простой реакции от интенсивности стимула, находим физиологическое решение проблемы основного психофизического закона. Пьерон обнаружил, что скрытое время простой сенсомоторной реакции реципрокно связано с интенсивностью стимула, возведенной в некую степень. Позже обнаружили, что показатель степени имеет ту же величину, что и показатель степени в основном психофизическом законе Стивенса [17] для яркости и громкости. Следовательно, произведение скрытого времени t на величину ощущения S , измеренного по Стивенсу, есть константа, выраженная в условных единицах:

$$tS = 1. \quad (4)$$

Диапазон всевозможных ощущений задан константой $C = N^N$ согласно формуле (1a). Минимальная перцептивная задержка вычисляется по формуле (1a) при $K = 1$ и $M = 1$. Она равна 5 мс, что соответствует константе Гайссгера [19]. Максимальная задержка для слабых околовороговых сигналов при $K \gg 1$ и $M \gg 1$ приближается к 1000 мс. Отношение максимальной задержки к минимальной ($1000/5 = 200$) соответствует диапазону ощущений. Минимальное значение показателя степени (K_{\min}) в законе Стивенса находится по формуле

$$K_{\min} = \log 200 / \log(C), \quad (5)$$

где C – объем долговременной памяти, вычисленный выше. Остальные значения показателя (K_i) определяются по формуле (5) с подстановкой в нее логарифма отношения верхнего (болевого) порога интенсивности для каждой модальности (зрительной, слуховой) к нижнему, абсолютному, порогу вместо выражения $\log(C)$. Опытные данные многих авторов, обобщенные Тетсуяном [28], подтверждают точность такого расчета.

Отношение $(t_1 - t_2)/t_1$ выражает характерную особенность дроби Вебера, в которой t_1 и t_2 – скрытые задержки восприятия, вычисленные по формуле (4) при подстановке в нее ощущений (S), в относительных единицах (от 1 до 200), вызванных едва различимыми по интенсивности стимулами. Последовательно уменьшающиеся значения дроби равны членам гармонического ряда: 1; 0,5; 0,33; 0,23 и т.д. Дробь Вебера также служит предметом дискуссий [23, 24]. Оригинальное ее решение предложил недавно Соколов в докладе, посвященном памяти Вебера (см. [11]).

Таким образом, из физиологических предпосылок вытекает органическая связь временных параметров восприятия стимулов с ощущением их интенсивности.

ЗАКОН ЦИПФА

Из-за циклических колебаний возбудимости нейронных ансамблей образы долговременной памяти, в том числе – воспринимаемых и произносимых слов, актуализируются не все сразу, а поочереди. Некоторые чаще, другие реже. По частоте актуализации, т.е., например, по частоте появления одного и того же слова в письменной речи, можно судить о закономерностях циклических нейронных процессов. И наоборот, по особенностям нейронных циклов возможно предсказание характеристик речи.

Если моменты актуализации разных образов совпадают, то такие единицы памяти имеют шанс объединиться. Вырабатывается новое понятие. Так происходит обучение. Так реализуются акты творчества.

Выжидают, т.е. не объединяются навсегда в одном ансамбле, только те образы

памяти, циклическая активность которых не коррелирует между собой. Периоды циклов такой активности соотносятся как члены натурального ряда 1:2:3:4..., а вероятности актуализации – как члены гармонического ряда (1/1): (1/2): (1/3): (1/4). Сумма вероятностей равна единице, а значение первого члена – физиологической константе Ливанова. Так выводится формула, предсказывающая зависимость частоты появления слова (p) в связной речи от номера его ранга:

$$p = R/i, \quad (6)$$

где i – ранг слова по частоте появления в тексте. Формула, включающая физиологическую константу, выражает известный с 30-х годов закон Ципфа [29]. Из формулы (6) следуют уравнения для расчета зависимости объема словаря от размера текста, в котором данный словарь реализован, и вычисления интервалов между повторениями одного и того же слова в тексте [6]. Константа Ливанова входит в уравнение (6) для ряда слов, ранжированных по частоте.

ПАМЯТЬ, ИНТЕЛЛЕКТ И ЭЭГ

Многообразие волновых узоров, определяющее емкость памяти, особенности актуализации ее элементов, моментов появления слов в потоке осмыслинной речи, можно определить не только с помощью двух физиологических показателей – частотной рефрактерности Ливанова и частоты доминирующего ритма Бергера, но и независимо от них, что особенно ценно. Такие измерения были выполнены И.Ю. Мышкиным и В.В. Майоровым из Ярославского университета [14].

Оказалось, что фрактальная, или дробная, корреляционная размерность ЭЭГ человека достоверно положительно связана с емкостью кратковременной памяти. Идея о многообразии волновых нейронных узоров как источнике громадной емкости долговременной памяти человека получила подтверждение еще одним независимым способом.

Используя уравнения множественной линейной регрессии для определения уровня способности школьников при освоении учебных предметов по характеристикам ЭЭГ, мы нашли, что с помощью параметров альфа-ритма, позволяющих установить емкость памяти, можно также прогнозировать успешность обучения [1].

* * *

Константа М.Н. Ливанова, ограничивающая разнообразие периодических процессов мозга, входит в фундаментальные уравнения когнитивной психофизиологии.

М.Н. Ливанов многое сделал, чтобы приблизить открытие клеточных кодов памяти человека, расшифровать материальные основы субъективного мира. Об открытии станет известно по расшифровке в быстро меняющихся узорах фоновой ЭЭГ воспринимаемых и актуализируемых образов памяти. Что же изменится после этого в XXI в.? Будут созданы новые эффективные методы обучения с использованием компьютеров, воспринимающих потенциалы мозга, и разработаны новые поколения нейрокомпьютеров, способных к творчеству и далекому прогнозу событий.

Компьютерные сети, опоясывающие земной шар, уподобятся мозгу человека и превзойдут его интеллект. Наступит эпоха самоорганизации и "кристаллизации" информации, заключенной в гигантских нейроноподобных сетях.

Чем дальше, тем очевиднее значимость открытий М.Н. Ливанова, его вклада в мировую науку. Он работал с опережением, временами испытывая горечь от непонимания многими, даже близкими сотрудниками, смысла своих устремлений.

Предвидения Михаила Николаевича воплотились в открытиях его многочисленных учеников и последователей.

В нашей статье рассказано лишь об одной "веточке" большого научного направления, связанного с именем выдающегося русского ученого М.Н. Ливанова, 90-летие со дня рождения которого мы отметили в октябре 1997 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артеменко О.И., Кудрякова Т.А., Лебедев А.Н., Маркина А.В. Психофизиологические показатели способности к обучению у школьников, проживающих на Севере России // Школа и мир культуры этносов. Ученые записки Института национальных проблем образования. М.: Изд-во Ин-та национальных проблем образования. 1995. Вып. 2. С. 86–107.
2. Бехтерева Н.П. Здоровый и больной мозг человека. Л.: Наука, 1980. 208 с.
3. Бовин Б.Г. Нейрофизиологическая модель многоальтернативного выбора // Психофизиологические закономерности восприятия и памяти / Под ред. А.Н. Лебедева. М.: Наука, 1985. С. 55–86.
4. Гартли Д. Размышления о человеке, его долге и упованиях // Английские материалисты 18-го века. М.: Изд-во АПН СССР, 1967. С. 193–374.
5. Забродин Ю.М., Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. М.: Наука, 1977. 288 с.
6. Лебедев А.Н. Единицы памяти и связанные с ними особенности речи // Психологические и психофизиологические исследования речи / Под ред. Т.Н. Ушаковой. М.: Наука, 1985. С. 26–44.
7. Лебедев А.Н., Кондратьева О.Ж., Ренгевич Т.А. Скорость поиска сигналов в поле зрения человека и в его кратковременной памяти // Психофизиологические закономерности восприятия и памяти / Под ред. А.Н. Лебедева. М.: Изд-во Ин-та психологий РАН, 1985. С. 214–221.
8. Лебедев А.Н., Луцкий В.А. Расчет закономерностей зрительного восприятия по частотным характеристикам электроэнцефалограммы // Эргономика. Труды ВНИИТЭ. Вып. 4. С. 95–134.
9. Лебедев А.Н. Математическая модель восприятия и запоминания зрительной информации человеком // Нейрофизиологические механизмы поведения. М.: Наука, 1982. С. 381–393.
10. Лебедев А.Н., Нилова Л.Я. Михаил Николаевич Ливанов. Материалы к библиографии ученых. М.: Наука, 1983. 62 с.
11. Лебедев А.Н. Симпозиум памяти Э.Г. Вебера // Журн. высшей нервной деятельности. 1995. Т. 45. Вып. 5. С. 1068–1069.
12. Ливанов М.Н. Избранные труды. М.: Наука, 1989. 400 с.
13. Маркина А.В., Мальцева И.В., Лебедев А.Н. Связь параметров альфа-ритма с объемом кратковременной памяти // Психол. журн. 1995. Т. 16. № 2. С. 128–132.
14. Мыскин И.Ю., Майоров В.В. Корреляционная размерность и ее связь с объемом кратковременной памяти // Психол. журн. 1993. Т. 14. № 2. С. 62–72.
15. Соколов Е.Н., Вайткевичус Г.Г. Нейроинтеллект. От нейрона к нейрокомпьютеру. М.: Наука, 1989. 237 с.
16. Atkinson R.C., Herrmann D.J., Wescourt K.T. Search process in recognition memory // Theories in cognitive Psychology. The Loyola Symposium / Ed. R.I. Solso. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum Associates, 1974. P. 101–146.
17. Bonnet Claude. How to bridge the gap between magnitude estimation and reaction time // Fechner Day 90. Proc. of the Sixth Ann. Meeting of the Int. Society for Psychophysics / Ed. F. Mueller. Wuerzburg: Institute fuer Psychologie. F.R.G., 1990. P. 37–42.
18. Cavanagh J.P. Relation between the immediate memory span and the memory search rate // Psychol. Rev. 1972. V. 79. P. 525–530.
19. Geissler H.-G. Foundation of quantized processing // Psychophysical explorations of mental structures / Ed. H.-G. Geissler. Toronto: Hogrefe & Huber Publication, 1990. P. 303–310.
20. Hick W.E. On the rate of gain of information // Quartely J. Exp. Psychol. 1952. V. 4. P. 11–26.
21. Lebedev A.N. Cyclical neural codes of human memory and some quantitative regularities in experimental psychology // Psychophysical explorations of mental structures / Ed. H.-G. Geissler. Toronto: Hogrefe and Huber Pbl., 1990. P. 303–310.
22. Lebedev A.N. Imaginary dimensions of subjective spaces // Psychometric Methodology. Proc. of the 7th Eur. Meeting of the Psychometric Society in Trier / Eds. R. Steyer, K.F. Wender and K.F. Widaman. Stuttgart and New York: Gustav Fischer Verlag, 1993. P. 258–262.

23. *Lebedev A.N.* Derivation of Stevens's exponent from neurophysiological data // *Behav. and Brain Sciences*. 1993. V. 16. № 1. P. 152–153.
24. *Link Stephen W.* The wave theory of difference and similarity. Hillsdale: Lawrence Erlbaum associates Publ., 1992. 373 p.
25. *Miller G.A.* The magical number seven, plus or minus two: Some limits in our capacity for processing information // *Psychol. Rev.* 1956. V. 63. P. 81–97.
26. *Sokolov E.N.* Vector coding in neuronal nets: color vision // *Brain and self organisation / Ed. K.H. Pribram*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publ., 1994. P. 463–476.
27. *Sternberg S.* Memory scanning: memory processes revealed by reaction time experiments // *Amer. scientist*. 1969. V. 57. № 4. P. 421–457.
28. *Teghtsoonian R.* On the exponents in Stevens's law and the constant in Ekman's law // *Psychol. Rev.* 1971. V. 78. P. 71–80.
29. *Zipf G.K.* The psychobiology of language. Boston, 1935.