

К 30-ЛЕТИЮ  
ИНСТИТУТА ПСИХОЛОГИИ РАН

КОГНИТИВНАЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ НА РУБЕЖЕ СТОЛЕТИЙ\*

© 2002 г. А. Н. Лебедев

*Доктор биол. наук, проф., заведующий лабораторией когнитивной психофизиологии, ИП РАН*

Исследования лаборатории когнитивной психофизиологии показали, что параметры электроэнцефалограммы (ЭЭГ) служат предикторами когнитивных возможностей и других психологических особенностей человека, а частота альфа-колебаний и критическая разность периодов таких колебаний, препятствующая их слиянию, – константами в разных законах обработки информации человеком. Более широкие наборы нейрофизиологических показателей обеспечивают расчет индивидуальных психологических портретов с приемлемой в психологии точностью, без каких-либо субъективных отчетов самих испытуемых, только по ЭЭГ-параметрам.

*Ключевые слова:* личность, память, электроэнцефалограмма, альфа-ритм, закон.

На исходе XX века, реализуя замысел Б.Ф. Ломова, сотрудники лаборатории когнитивной психофизиологии развивали в рамках системного подхода новые идеи о функциональной связи нейрофизиологических параметров с психологическими особенностями личности. Среди таких параметров, согласно прежним и новым опытным данным, особо выделяются своей информативностью частота альфа-ритма и частотная рефрактерность [15, 33].

1. ЧАСТОТА АЛЬФА-РИТМА  
И ЧАСТОТНАЯ РЕФРАКТЕРНОСТЬ

Средняя частота ( $F = 10$  Гц) волн электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у человека была впервые определена Г. Бергером [1]. Критическая разность между периодами, около 10% по отношению к средней длительности таких волн, была рассчитана впервые М.Н. Ливановым в опытах на животных для диапазона тета-ритма с частотой около 5 Гц. Тем не менее Ливанов объяснил веретена альфа-ритма у человека ступенчатым различием того же порядка, т.е. около 10%, предположительно, между периодами альфа-колебаний [17].

В опытах А.В. Маркиной и др. [18–21] была измерена непосредственно длительность ( $T$ ) одиночных веретен альфа-ритма – от минимальной

величины, приблизительно 0.3 сек, до максимальной, около одной секунды; в среднем 0.64 сек при средней частоте составляющих альфа-колебаний 10.3 Гц.

Оказалось, что длительность альфа-веретен имеет психологический смысл. Можно говорить о большей эмоциональной устойчивости и уравновешенности индивидов – обладателей более длительных альфа-веретен – если судить по тестам личностной и функциональной тревожности Спилбергера-Ханина. Такие люди более дружелюбны и менее доминируют в межличностном общении (тест О. Лири), характеризуются большей гибкостью мышления, легкостью переключения с одного вида деятельности на другой и стремлением к разнообразию форм деятельности. Высокая мощность альфа-ритма связана с темпераментальной активностью, а тета-ритма – с эмоциональной чувствительностью, по В.М. Русалову [24].

По длительности альфа-веретен удалось рассчитать величину критической разности периодов колебаний, слагающих веретено альфа-ритма. Ее наименьшее значение составило примерно 10% ( $R = 0.1$ ) по отношению к средней длительности альфа-волны, т.е. совпало с оценкой М.Н. Ливанова. Этот показатель, частотная рефрактерность ( $R = 0.1$ ), был назван нами константой Ливанова. Второй, частота альфа-ритма ( $F = 10$  Гц), – константой Бергера.

Обе константы позволили впервые надежно определить емкость долговременной памяти человека и чисто теоретически рассчитать ее связь с другими фундаментальными показателями – объемами кратковременной памяти и внимания. Опыты подтвердили расчет.

\*Выполненное исследование поддержано грантами РГНФ: 99-06-00134а (1999–2001 гг.) “Нейрофизиологические предикторы личностных особенностей человека”; 99-06-00277а (1999–2001 гг.) “Диагностика музыкальных способностей по параметрам электроэнцефалограммы”; 00-06-00054а (2000–2002 гг.) “Определение объема и быстроты действия кратковременной памяти по параметрам электроэнцефалограммы”; 00-06-00238а (2000–2002 гг.), “Социально-психологические особенности женщин, переживающих домашнее насилие”; РФФИ: 00-06-80055а (2000–2002 гг.), “Поиск кодов памяти в единичных реализациях ЭЭГ”.

## 2. ЕМКОСТЬ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ

Циклически повторяющиеся с частотой альфа-ритма волновые узоры являются кодовыми элементами, т.е. единицами, хранящими разнообразную информацию в памяти человека, – согласно нашей гипотезе, высказанной еще в 60-е гг. константа Ливанова,  $R = 0.1$ , ступенчато разделяющая периоды и фазы колебаний активности центральных нейронов, служит аргументом для расчета разнообразия ( $N$ ) циклически повторяющихся “нейронных букв”, мельчайших единиц информации

$$N = 1/R - 1 \quad (2.1)$$

и множества ( $C$ ) “нейронный слов”, более крупных единиц

$$C = N^N. \quad (2.2)$$

Нейронная буква задана числом разных волн, порождаемых активностью одной группы нейронов в составе волнового пакета. Волны в пакете одинаковы по частоте, но различаются ступенчато по фазе. Одна из волн служит указателем начала волнового пакета, поэтому целое число ( $N$ ) на единицу меньше частного от деления длительности волны на минимальный промежуток времени между соседними волнами, различающимися по фазе.

Нейронное слово обусловлено активностью нейронного ансамбля из нескольких нейронных групп, т.е. из волновых пакетов, связанных друг с другом, возникающих и следующих друг за другом последовательно. Число таких пакетов также не больше ( $N$ ).

Число ( $C$ ) разных нейронных слов определяет максимальную величину объема долговременной памяти человека, около 0.4 миллиардов единиц, согласно формулам 2.1 и 2.2.

Внутренний мир человека закодирован нейронными словами. Единицами могут быть простейшие ощущения, например, тактильные от точечного прикосновения, как в опытах Ярвилехто [32], и более сложные переживания, – смысл отдельного слова, как в опытах Н.П. Бехтеревой [2]. Группы нейронных импульсов, не превышающие в указанных опытах по численности константу ( $N$ ) и по длительности не превышающие период волны альфа-ритма ( $1/F$ ), функционально связаны, по нашей гипотезе, с пакетами волн в составе нейронного слова. Функциональная связь групп импульсов и волн ЭЭГ была определена нами впервые вместе с В.А. Луцким [15] в виде нелинейного дифференциального уравнения с запаздыванием. Позднее эта идея была развита в работах [9, 22, 36]. Не все единицы памяти, закодированные волновыми пакетами, отражаются в сознании одновременно, и не все они сразу находятся в фокусе внимания.

## 3. ОБЪЕМ ВНИМАНИЯ

Один и тот же волновой узор, согласно гипотезе, поддерживается активностью разных нейронов, расположенных в ретикулярных структурах, подкорковых ядрах, старой и новой коре головного мозга. Число таких нейронов изменчиво. Пакеты волн, поддержанные активностью максимального числа нейронов, возможно, десятков и сотен тысяч нейронов, кодируют осознаваемую информацию. Пакеты, генерируемые активностью минимально возможного числа нейронов, около 100–300, ответственны за информацию, хранимую в подсознании. Основания для такого расчета опубликованы ранее [8]. Волновой узор постоянен при разном числе обеспечивающих его нейронов. Каково же число ( $M$ ) нейронных слов, осознаваемых одновременно? Наш анализ опытов, выполненных сотрудниками лаборатории, показал, что это число, иначе – объем внимания, линейно связано с размером ( $A$ ) объективно заданного алфавита воспринимаемых стимулов,

$$M = kA. \quad (3.1)$$

Коэффициент пропорциональности ( $k$ ) в этой формуле колеблется в зависимости от условий опыта от единицы до числа ( $H$ ), равного объему кратковременной памяти, составляя в среднем, как показали опыты Л.П. Бычковой и Н.А. Скопинцевой [4, 5, 25–27],

$$k = (H + 1)/2. \quad (3.2)$$

Формулы 3.1 и 3.2 наглядно (причем количественно) выражают известную формулу С.Л. Рубинштейна относительно преломления “внешнего через внутреннее” [23]. Размер ( $A$ ) внешне заданного алфавита стимулов трансформируется в размер ( $M$ ) субъективного алфавита стимулов, зависимый от всевозможных ассоциаций, воспринимаемых и хранимых в памяти сведений. Чем рассеянее внимание, тем шире круг посторонних ассоциаций и тем больше значение коэффициента ( $k$ ).

## 4. ОБЪЕМ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ

Объем кратковременной памяти ( $H$ ) по определению численно равен информационной емкости одного нейронного ансамбля. Общее число таких ансамблей не превышает константы ( $C$ ), заданной уравнением 2.2. Константа ограничивает число всевозможных комбинаций из числа ( $M$ ), актуализированных в сфере сознания единиц памяти. Иными словами, число ( $M$ ) отражает объем внимания. Выше мы называли его субъективным алфавитом. Размер ( $A$ ) объективно заданного алфавита запоминаемых стимулов связан с размером ( $M$ ) субъективного алфавита по уравнению 3.1.

Одна из комбинаций, образованная набором из числа ( $H$ ) заданных и запомненных после однократного предъявления стимулов, составляет новую единицу памяти. Поэтому, согласно теории информации Шеннона, справедливо равенство

$$C = M^H. \quad (4.1)$$

После подстановки в формулу 4.1 значений параметров, вычисленных по уравнениям 2.2, 3.1 и 3.2, и ее логарифмирования находим, что объем кратковременной памяти ( $H$ ) зависит от размера ( $A$ ) алфавита запоминаемых элементов (цифр, букв, слогов и т.п.), подчиняясь равенству

$$H = (N \ln N) / \ln(AH/2), \quad (4.2)$$

в котором  $\ln$  – знак логарифма.

В опытах Н.А. Скопинцевой, Л.П. Бычковой, М.Н. Сыренова, О.Ж. Кондратьевой, Г.В. Котковой и других наших сотрудников при изменении алфавита стимулов от 2 до 3700 объемы памяти сокращались от 9.7 до 2.6 элементов, а вычисленные по формуле 4.2 объемы сокращались примерно в том же диапазоне от 9.0 до 2.2, отклоняясь в среднем меньше, чем на 10%. Запоминаемые элементы были цифры, буквы, слоги [33].

## 5. ОБЪЕМ ПАМЯТИ НА МНОГОМЕРНЫЕ СТИМУЛЫ

Равенство (4.1) подтверждает существование предсказанного ранее психологического феномена – функциональной зависимости размера кратковременной памяти на многомерные стимулы, образованные комбинацией ортогональных признаков, от размеров памяти на каждый из признаков в отдельности [33, 34]. Размер субъективного алфавита на комбинацию таких признаков ( $MC$ ) равен произведению субъективных алфавитов ( $MJ$ ) на каждый  $J$ -й признак в отдельности:

$$MC = M1 \times M2 \times M3 \dots MJ \dots \quad (5.1)$$

Учитывая равенства 3.1, 4.1, 5.1, находим решение

$$1/HC = 1/H1 + 1/H2 + 1/H3 \dots + 1/HJ \dots \quad (5.2)$$

Здесь  $HC$  – искомый объем кратковременной памяти на комбинацию признаков, тогда как  $H1, H2, H3, \dots, HJ$  – объемы кратковременной памяти на каждый из признаков в отдельности. Например, в наших опытах признаками служили форма, размер и цвет изображений прямоугольников. Каждый признак имел всего две градации. Предположение оправдалось. В табл. 1 приведены соответствующие опытные данные и результаты расчета для группы из 32 испытуемых.

Вычисленные значения отличаются от опытных данных не больше, чем на 10%. Ранее сотрудничающий с нами М.Н. Сыренов из Горно-Алтай-

**Таблица 1.** Объем кратковременной памяти на одно- и трехмерные бинарные стимулы ( $A = 2$ )

| Одномерные стимулы, различающиеся по одному признаку: | Объем памяти          |                |                        |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|------------------------|
|                                                       | Расчет по формуле 5.2 | Опытные данные |                        |
|                                                       |                       | Среднее        | Стандартные отклонения |
| форме                                                 | –                     | 9.66           | 1.18                   |
| размеру                                               | –                     | 9.84           | 1.00                   |
| цвету                                                 | –                     | 9.71           | 1.22                   |
| Стимулы, образованные комбинацией признаков           | 3.25                  | 3.02           | 0.61                   |

ска с высокой точностью рассчитал по формуле 5.2 объемы памяти на композиции из шахматных фигур (цит. по [33]).

## 6. ВРЕМЕННАЯ КОНСТАНТА ГАЙССЛЕРА

Ганс-Георг Гайсслер обобщил данные многих психологов-экспериментаторов и обнаружил ступенчатые различия между скрытыми периодами ответных реакций человека на разнообразные стимулы, назван минимальное значение ступеньки временным квантом. Наиболее вероятная величина ступеньки, по его данным, равна 4.5 мсек [31]. Ранее из нейрофизиологических предпосылок, отмеченных выше в разделах 1 и 2, мы вывели ряд формул для расчета разнообразных временных задержек при восприятии, сравнении и поиске стимулов в памяти. Одна из таких формул определяет скрытое время реакции выбора ( $t$ ) при восприятии одновременно числа ( $K$ ) стимулов, принадлежащих к алфавиту из числа ( $M$ ) равно ожидаемых стимулов:

$$t = T(1 - p^K)(1 - p)^K / (K + 1), \quad (6.1)$$

где  $p = (1 - R)/M$ ,  $T = 1/(FR)$ , а остальные обозначения те же.

Исходя из опытных данных раздела 1 (см. выше) находим, что длительность ( $T$ ) веретена альфаритма равна  $2 \times 0.64 - 0.3 = 0.98$  сек. Следовательно, частотная рефрактерность в относительных единицах равна  $R = 1/(0.98 \times 10) = 0.102$ , а ее абсолютное значение –  $0.102/10.3 = 0.010$  сек. Подставляя в формулу 6.1 найденные опытные значения, находим, что наименьшее значение временной части скрытого периода ответных реакций при  $K = 1$  и  $M = 1$  равно  $t = 4.9$  мсек, отличаясь от найденной Гайсслером величины, 4.5 мсек, всего на 8%. Это довольно малое расхождение оценок искомой константы, полученных совершенно независимо разными способами, на разных выборках по психологическим и электрофизиологическим данным. Формула 6.1 была успешно проверена при разнообразных значениях

Таблица 2. Примеры реальных (IQR) и вычисленных (IQR) по ЭЭГ показателей успешности обучения школьников

| Школьники | IQR | P56 | A5ог | A4ог | P23 | 95% | IQR |
|-----------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|
| M13LEGIG  | 88  | 45  | 25   | 27   | 27  | 3   | 86  |
| 9363BERE  | 90  | 47  | 53   | 54   | 30  | 3   | 86  |
| MO9ZDOTA  | 94  | 47  | 23   | 43   | 33  | 2   | 88  |
| M14RADCH  | 94  | 46  | 61   | 74   | 32  | 2   | 89  |
| O71KOTIN  | 88  | 43  | 98   | 89   | 30  | 2   | 92  |
| F11TNAGI  | 88  | 38  | 41   | 43   | 24  | 2   | 92  |
| M10TNAGI  | 94  | 42  | 107  | 133  | 30  | 2   | 94  |
| F11YARI   | 98  | 38  | 44   | 94   | 32  | 1   | 98  |
| F12CONDR  | 98  | 41  | 20   | 35   | 42  | 1   | 99  |
| 935OBERE  | 102 | 37  | 100  | 105  | 32  | 1   | 100 |
| M11DEDKO  | 102 | 38  | 94   | 125  | 33  | 1   | 100 |
| FO9SABLI  | 102 | 36  | 74   | 97   | 32  | 1   | 100 |
| M11MASHI  | 98  | 36  | 77   | 86   | 33  | 1   | 101 |
| M12LASTO  | 94  | 33  | 58   | 54   | 32  | 1   | 102 |
| NOVIK81F  | 128 | 29  | 38   | 51   | 36  | 2   | 109 |
| LIVEN86M  | 128 | 29  | 107  | 117  | 38  | 2   | 113 |
| SIRYE82M  | 128 | 30  | 110  | 123  | 43  | 2   | 115 |
| STREL87F  | 128 | 27  | 118  | 110  | 38  | 2   | 115 |
| OVCIN86F  | 128 | 26  | 113  | 110  | 38  | 3   | 116 |
| CAPLY86F  | 128 | 26  | 98   | 128  | 40  | 3   | 117 |
| DJAMA84M  | 128 | 26  | 117  | 123  | 39  | 3   | 117 |

Примечание: обозначения испытуемых и параметров уравнения.

Школьники – кодовые обозначения учащихся 1–11 классов. IQR – показатель успешности обучения, норма 100, стандартное отклонение 10 условных единиц. P23 – показатель синхронизации, %, лоб справа – центр слева (F4–C3). P56 – показатель синхронизации, %, затылок слева – затылок справа (O1–O2). A4ог – мощность колебаний, затылок справа (O2) в полосе 11 Гц, условные единицы. A5ог – мощность колебаний, затылок слева (O1) в полосе 12 Гц, условные единицы. IQR – вычисленный по ЭЭГ показатель успешности обучения, норма 100 условных единиц. 95% – доверительный интервал для данных в колонке IQR (удвоенная ошибка среднего значения). Отточия – пропущенные данные, ибо таблица слишком велика.

аргументов ( $K$ ) и ( $M$ ): оказалось, что она выражает закон скорости обработки информации, более точный и всеобъемлющий сравнительно с известными в психологии закономерностями [33].

В работах [16, 38 и др.] убедительно показано, что в условиях полной неопределенности критериев выбора относительное число решений, составляющих большинство, равно 0.61. В одних опытах испытуемые раскладывали на две кучки фасолины, красивые или нет. В других возвращали или не возвращали владельцу утерянный кошелек. Можно предположить в этих условиях, что неявных критериев выбора много, но не больше константы ( $N$ ), найденной выше, поскольку это максимально возможное число ней-

ронных волновых пакетов – простейших кодовых элементов в составе одного кодового слова, определяющего выбор. В этом случае искомое относительное число решений подчиняется формуле

$$p(>0.5) = 0.5 + 0.334\sqrt{N}, \quad (6.2)$$

следующей из особенностей биномиального распределения исходов по каждому из критериев, приблизительно описываемого при  $N \gg 1$  нормальным распределением, и оно при  $N = 9$  в точности равно 0.61.

Наконец, заметим, что константа Ципфа, определяющая емкость словаря в любом языке по числу слов в тексте, также равна константе  $R = 0.1$  Ливанова, и это третье неслучайное совпадение разных оценок этой константы [33].

Можно добавить, что вместе константы Ливанова и Бергера обеспечивают высокую точность и широкую сферу приложения основного психофизического закона [8, 33].

Разумеется, оба параметра ЭЭГ не исчерпывают всех возможностей прогноза разнообразных психологических показателей. Жизнь шире любой доктрины. За последнее пятилетие мы приступили к задаче выявления широкого набора информативных параметров ЭЭГ, способных пролить свет на более сложные особенности психики.

Практически важным является поиск способов объективной оценки интеллектуальных возможностей и прочих индивидуальных особенностей человека по параметрам ЭЭГ без того, чтобы выслушивать неизбежно субъективные, социально обусловленные ответы испытуемого на тестовые вопросы разного рода, как это принято до сих пор повсюду в мире.

## 7. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СПОСОБНОСТИ

М.Н. Ливанов впервые обнаружил, что синхронность колебаний потенциалов ЭЭГ в разных пунктах мозга может служить мерой умственного напряжения [17], а Э.А. Голубева и ее сотрудники, в свою очередь, выявили дополнительный ряд ЭЭГ-индикаторов успешности обучения [6]. Полученные ими показатели мы использовали вместе с другими параметрами ЭЭГ в уравнениях линейной регрессии, связывающих успехи школьников с предполагаемыми нейрофизиологическими предикторами интеллектуального развития [11, 12, 35]. В.Н. Дружинин обратил внимание на важность полученных новых результатов в этой области [7]. Ниже дано описание одного из них (табл. 2).

С помощью множественного линейного регрессионного уравнения для каждого отдельного ребенка рассчитали по электроэнцефалограмме показатель успешного обучения, сравнив его с реальным показателем, полученным из школьных

оценок по ведущим предметам (100 единиц – среднее значение, 10 единиц – стандартное отклонение). В табл. 3 – примеры показателей и параметров ЭЭГ, по которым осуществлялся расчет.

В табл. 2 показаны результаты прогноза, взятые из начальной, средней и конечной части всего списка, включающего в себя кодовые обозначения 255 школьников.

Уравнение для расчета показателей успешности обучения:

$$IQP = 114.733 - 1.046 \times P56 + 0.019A5or + 0.018 \times A4or + 0.631 \times P23, \quad (7.3)$$

Коэффициент корреляции между вычисленными по ЭЭГ и реальными достижениями школьников, равный 0.488, достоверно превышает нулевое значение при уровне значимости  $p < 0.01$ .

Обычно коэффициенты корреляции между показателями, вычисленными по результатам психологического тестирования, и реальными школьными оценкам не превышают 0.3–0.4, судя по обзору Троста [29], так что выявленная связь оказалась даже выше обычного уровня. Мы рассцениваем этот факт как свидетельство в пользу объективных методов прогноза способности школьника к обучению. В большинстве случаев результаты прогноза совпали с реальными достижениями.

## 8. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ ЛИЧНОСТИ

Психологические портреты оцениваются разными способами, но опросник ММРІ применялся, пожалуй, чаще всего. Он и был использован нами в первую очередь. В работе принимали участие Е.А. Киселева, Б.Г. Бовин, Л.Я. Зыбковец, Л.Р. Никандрова (Москва), И.Ю. Мышкин (Ярославль). Сначала были найдены наборы параметров ЭЭГ, определяющие такие особенности психики, как общительность или замкнутость человека, стремление приукрасить себя или, напротив, стремление к самоуничтожению, трезвость в оценке окружающих или чрезмерная подозрительность, импульсивность в поступках и осторожность, взвешенность и т.п. Затем, пользуясь уравнениями множественной линейной регрессии уже без единого вопроса к испытуемому и только по параметрам ЭЭГ, мы рассчитали значения всех психологических показателей, составляющих портрет.

Значения одного из тринадцати психологических параметров ранжированного по величине, дано в табл. 3. Приводятся начало, середина и конец списка испытуемых, – всего 161 человек. В середине списка показаны случаи ошибочной диагностики: низкому реальному значению (колонка

**Таблица 3.** Нормированные тестовые (4PD) значения четвертой шкалы ММРІ, параметры ЭЭГ, удвоенная ошибка прогноза (Ош) и прогнозируемая величина (Pro) шкалы.

| Испытуемый | 4PD | 08E | 08B | Z17 | B2D | Ош | Pro |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| 18GARYEV   | 130 | 272 | 389 | 13  | 5   | 5  | 122 |
| 18NERUSH   | 130 | 17  | 43  | 54  | 15  | 3  | 113 |
| 19VASYNK   | 120 | 261 | 106 | 24  | 7   | 4  | 118 |
| 18CHUFAR   | 110 | 35  | 78  | 57  | 35  | 4  | 115 |
| 18FOMICH   | 100 | 20  | 102 | 16  | 27  | 2  | 102 |
| 18FEDULO   | 100 | 32  | 34  | 12  | 13  | 2  | 101 |
| 19GRISHI   | 100 | 20  | 27  | 14  | 17  | 2  | 100 |
| 18BLINOV   | 100 | 26  | 45  | 13  | 40  | 2  | 100 |
| 19BISTRE   | 100 | 37  | 54  | 7   | 25  | 2  | 99  |
| 18BOBROV   | 80  | 19  | 35  | 2   | 73  | 2  | 94  |
| 18ZELENT   | 80  | 13  | 14  | 1   | 160 | 3  | 90  |
| 19BESCHA   | 70  | 43  | 30  | 9   | 34  | 2  | 99  |
| 19CHERNO   | 70  | 17  | 14  | 1   | 147 | 3  | 90  |

*Примечание:* отточиями обозначены пропущенные строки в ранжированном списке испытуемых, коды которых указаны в левой колонке. Значения четвертой шкалы ММРІ в колонке (4PD) нормированы для 69 испытуемых по стандартному отклонению  $4PD = 70 + 10 \times (X_i - X_m) / S_m$ , где  $X_i$  – значение шкалы ММРІ конкретного i-го испытуемого, вычисленное по результатам тестирования,  $X_m$  – ее среднее значение,  $S_m$  – стандартное отклонение. В колонке (Pro) – вычисленные по регрессионному уравнению значения четвертой (4PD) шкалы:  $Pro = 95.190 + 0.052 \times 08E + 0.23 \times 08B + 0.308 \times Z17 - 0.043 \times B2D$ . В колонке (Ош) – удвоенная ошибка вычисленного значения, определяющая 95% доверительный интервал.

“4PD”) соответствует высокое прогнозируемое значение (колонка “Pro”), и наоборот.

Другие параметры в табл. 3 имеют следующий смысл. 08B – относительная мощность альфаритма в лобной области справа (отведение F3 по системе 10/20) в полосе 8 Гц, вычисленная по формуле  $08B = 100 \times X_i / X_m$ , где  $X_m$  – удельное значение мощности в расчете на один Гц по всей длине оси частот от 0.2 до 25.6 Гц (кв. мкВ/Гц),  $X_i$  – значение мощности в указанной полосе (в данном случае от 8.0 до 8.8 Гц при шаге 0.2 Гц), 08E – аналогичный показатель мощности колебаний в затылочной области слева (отведение 01). B2D – суммарная мощность колебаний в полосе частот бета-2 (19–24 Гц) в центральной области справа (в отведении C4); Z17 – мощность колебаний в бета-полосе 17 Гц, усредненная по всем отведениям в относительных единицах, пропорциональных квадрату амплитуды колебаний.

Предикторы 08E, 08B, Z17, B2D связаны с параметром (4PD). Коэффициенты корреляции предикторов с этим параметром равны 0.41, 0.38, 0.41 и –0.36, соответственно. Их веса в уравнении для прогноза (в %) составляют 30, 7, 51 и 12. Коэффициент корреляции вычисленного значения (Pro) с параметром (4PD) равен +0.561.

Психологический смысл четвертой шкалы (4PD) раскрыт в руководствах типа [3]. Людям с высокими оценками по этой шкале свойственны часто асоциальные и антисоциальные поступки. Нередко такой человек подавляет окружающих, заставляя выполнять свою волю. Их не любят — это конфликтные люди. Такие типы в среде “новых русских” в первую очередь умирают не своей смертью, а среди политиков они могут взобраться на высокую ступень.

Важно то, что информация, в совокупности составляющая психологический портрет личности, может быть получена в отношении конкретного человека без единого вопроса к нему, только по параметрам фоновой электроэнцефалограммы, причем с определенной точностью, достигающей 95% и выше. Чем выше прогнозируемая величина шкалы, тем выше точность прогноза. Возникает этическая проблема. Если участие человека в обследовании с помощью тестов неизбежно обусловлено его согласием отвечать на вопросы, то в нашем случае его психологический портрет может быть выявлен по записи электроэнцефалограммы, сделанной, например, в клинике по медицинским показаниям, т.е. независимо от решения человека. Такой вторжение в частную жизнь, подобно подслушиванию телефонных разговоров, недопустимо. Требуется, очевидно, учитывать соответствующие законодательные акты.

Следует добавить, что личностные характеристики по тесту ММРІ успешно используются с учетом программ регрессионного анализа, разработанных нами для диагностики профессионально важных качеств сотрудников органов внутренних дел [2].

Таким образом, не только инструментальные показатели типа объема памяти или времени принятия решения, но и более сложные тестовые показатели, отражающие разнообразные личностные особенности, правильно прогнозируются по характеристикам когерентных колебаний нейронной активности, а именно, по параметрам электроэнцефалограммы.

Отражаются ли тонкие эмоциональные переживания человека в параметрах ЭЭГ? Известно, что в так называемых “детекторах лжи” об эмоциональном отклике судят, в первую очередь, по кожно-гальваническим реакциям, изменению ритмов сердечной деятельности и дыхания, по изменению артериального давления и произвольным движениям человека. Считается, что метод достаточно чувствителен [30], но мы предположили, что по параметрам ЭЭГ можно осуществить гораздо более тонкую диагностику эмоций, переживаемых человеком.

## 9. ОТРАЖЕНИЕ ЭМОЦИЙ В ПАРАМЕТРАХ ЭЭГ

В исследованиях Т.С. Князевой было высказано предположение, что тонкие эмоциональные переживания, сопровождающие восприятие музыки, отражаются в параметрах ЭЭГ в момент восприятия. В ее опытах несколько десятков испытуемых, музыкантов и нем музыкантов, слушали во время записи ЭЭГ музыкальные отрывки из произведений Моцарта, Шумана и Ребикова. По окончании прослушивания испытуемые оценивали каждый отрывок по степени эмоционального воздействия (по десятибалльной шкале), пользуясь набором из 18 шкал семантического дифференциала.

Оказалось, что оценки музыки “радостная, задумчивая, ликующая, печальная, тоскливая, грустная, спокойная, сдержанная, энергичная, порывистая, стремительная, нежная, мягкая, светлая, напряженная, тяжелая, приятная, добрая” и др. прогнозируются по наборам параметров ЭЭГ с приемлемой достоверностью [14].

## 10. ИТОГИ И НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Синтез нейрофизиологических и психологических данных в рамках системной теории, заложенной трудами Б.Ф. Ломова, М.Н. Ливанова и других отечественных исследователей, привел за последнее пятилетие к интересным, на наш взгляд, результатам.

На рубеже веков психологическая наука изменилась качественно. До сих пор триада *феномены — законы — константы*, отражающая ступени развития любой фундаментальной науки, не относилась к психологии. Недоставало двух последних звеньев. Психологические закономерности, полученные ранее опытным путем, не отличались ни широтой, ни точностью. Универсальные константы, определяющие действие разных психологических законов, вовсе не были известны. Наши исследования, выполненные в области когнитивной психофизиологии, восполнили этот пробел. Оказалось, что данная триада вполне приложима и к нашей науке. В психологии впервые появились физиологические константы, объясняющие количественно фундаментальные психологические явления — емкость и быстродействие памяти. Подобно физике, химии, генетике, на рубеже двух веков, после долгого пути, психология, наука о душе человека, нашла свое законное место в семье фундаментальных наук.

Весьма перспективным является еще одно направление в области когнитивной психофизиологии, возглавляемое Е.Н. Соколовым [28]. Глубоко обоснованная им идея пространственного векторного кодирования как бы ортогональна к представлениям о циклических кодах, развивае-

мых нашим коллективом, и было бы полезно сосредоточиться на изучении взаимосвязи пространственных и временных нейронных кодов.

Одна из ближайших задач – расширить набор психологических показателей, поддающихся прогнозу по электрофизиологическим параметрам деятельности головного мозга. К ним, вероятно, относятся показатели музыкальной, художественной, спортивной, лингвистической и социальной одаренности. Еще одна важная задача – научиться управлять окружающей человека техникой, например, компьютерами, транспортом, учитывая разнообразные характеристики электрической активности мозга (магнито-, электроэнцефалограммы) в реальном времени. Интересны в этой связи исследования И.В. Мальцевой, Г.–Г. Гайсслера и Е. Башара [37].

Далее, на стыке медицины и психологии было бы полезно найти нейрофизиологические предикторы отклоняющегося поведения, объективные показатели склонности человека к различным зависимостям, включая наркотическую, а также тонкие объективные признаки всевозможных расстройств деятельности мозга, в частности, расстройств памяти. Этим заняты И.К. Шеховцев и Е.А. Киселева, работающие по согласованной с нами программе. Близки по направленности и работы коллективов профессоров Г.А. Аминева из Уфы и И.В. Боева из Ставрополя.

Наиболее важная задача – использовать найденные закономерности и константы для моделирования человеческого интеллекта и создания в дальнейшем искусственного планетарного, как это ни фантастично пока звучит, суперинтеллекта из множества компьютеров, связанных в сети, напоминающие нейронные. Мощный интернациональный искусственный интеллект станет способен к творчеству и далекому прогнозу событий, надежно защитив людей от бессмысленных конфликтов, стихийных и экологических бедствий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бергер Г. Электроэнцефалограмма человека // Успехи современной биологии. 1933. Т. 26. Вып. 3. С. 94–95.
2. Бехтерева Н.П. Здоровый и больной мозг человека. Л.: Наука, 1980.
3. Бовин Б.Г. и др. Основные виды деятельности и психологическая пригодность к службе в системе органов внутренних дел // Справочное пособие / Под ред. Б.Г. Бовина и др. М.: Изд. НИЦПО МВД РФ, 1997.
4. Бычкова Л.П. Влияние структуры стимульного ряда и его субъективного представления на продуктивность кратковременного запоминания. Автореферат дисс. канд. психол. наук. Институт психологии РАН, 1999.
5. Бычкова Л.П. Субъективные единицы восприятия при кратковременном запоминании // Материалы XIII съезда общества психологов. Ярославль, 1998.
6. Голубева Э.А. Способности и индивидуальность. М.: Прометей, 1993.
7. Дружинин В.Н. Психология общих способностей. МПБ.: Изд-во "Питер Ком", 1999.
8. Забродин Ю.М., Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика / Под ред. М.Н. Ливанова и Б.Ф. Ломова. М., 1977.
9. Зубов Н.В. Исследование феноменологических уравнений нейродинамики. Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. Л.: ЛГУ, 1980.
10. Лебедев А.Н. Психофизиология памяти // Основы психофизиологии / Под ред. Ю.И. Александрова. М.: Изд-во "Инфра-М", 2001. С. 128–141.
11. Лебедев А.Н., Артеменко О.И., Белехов Ю.Н. Диагностика интеллектуальной одаренности по электроэнцефалограмме // Психологическое обозрение. 1997. № 1(4). С. 34–38.
12. Лебедев А.Н., Артеменко О.И., Белехов Ю.Н. Диагностика интеллектуальной одаренности // Труды Института психологии РАН. Изд-во ИП РАН. Вып. 2. 1997. С. 274–281.
13. Лебедев А.Н., Бычкова Л.П., Скопинцева Н.А. Объем кратковременной памяти и прогноз успеваемости учащихся // Труды Института психологии РАН. Вып. 2. 1997. С. 66–73.
14. Лебедев А.Н., Князева Т.С. Электрофизиологические предикторы субъективных оценок музыки разных композиторов // Психол. журн. 1999. № 6. С. 72–79.
15. Лебедев А.Н., Луцкий В.А. Расчет закономерностей зрительного восприятия по частотным характеристикам электроэнцефалограммы // Эргономика. Труды ВНИИТЭ. 1972. Вып. 4. С. 95–134.
16. Лефевр В.А. Формула человека. Контуры фундаментальной психологии. М., Прогресс, 1991.
17. Ливанов М.Н. Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга. Избранные труды. М.: Наука, 1989.
18. Маркина А.В., Мальцева И.В., Лебедев А.Н. Связь параметров альфа-ритма с объемом кратковременной памяти // Психол. журн. 1995. № 2. С. 128–132.
19. Маркина А.В., Пашина А.Х., Мальцева И.В. Связь параметров альфа-ритма фоновой электроэнцефалограммы с особенностями темперамента и эмоциональной сферы человека // Тезисы II съезда физиологов Сибири и Дальнего Востока, Новосибирск, 1995.
20. Маркина А.В., Пашина А.Х., Руманова Н.Е. Электроэнцефалографические предикторы темпоральной структуры человека. VI Всероссийская научная конференция "Состояние и проблемы измерений". 1999 г. II часть. С. 335–336.
21. Маркина А.В., Пашина А.Х., Руманова Н.Б. Связь ритмов электроэнцефалограммы с когнитивными особенностями человека // Психол. журн. 2000. № 5. С. 48–55.

22. Песин Я.Б. О поведении решений одного сильно нелинейного дифференциального уравнения с запаздывающим аргументом // Дифференц. уравнения. 1974. № 6. С. 1025–1036.
23. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. М.: Учпедгиз, 1946.
24. Русалов В.М. Опросник структуры темперамента. Методическое пособие. М., 1990.
25. Скопинцева Н.А. Связь разнообразия сигналов и объема кратковременной памяти // II съезд Российского психологического общества. Психология и практика. Ярославль, 1988. Т. 4. Вып. 1. С. 166–167.
26. Скопинцева Н.А., Быкова Л.П. Зависимость размера субъективного алфавита от размера объективного алфавита запоминаемых сигналов // VI Всероссийская научно-техническая конференция "Состояние и проблемы измерений". Москва, 1999. II часть. С. 309.
27. Скопинцева Н.А., Быкова Л.П. Перспективы исследования памяти // VII Всероссийская научно-техническая конференция "Состояние и проблемы измерений". Москва, 2000. С. 184–185.
28. Соколов Е.Н., Вайткявичус Г.Г. Нейроинтеллект. От нейрона к нейрокомпьютеру. М.: Наука, 1989.
29. Трост Г. Возможность предсказания выдающихся успехов в школе, университете, на работе // Иностранная психология. 1999. № 11. С. 19–29.
30. Холодный Ю.М. Применение полиграфа при профилактике, раскрытии и расследовании преступлений. М.: Издательский дом "Мир безопасности", 2000.
31. Giessler H.-G. Foundations of Quantized Processing // Psychophysical Exploration of Mental Structures / Eds. by H.-G., Geissler. New York. Hogrefe and Huber Publ. 1990. P. 193–210.
32. Jarvilehto T. A new combination of methods for the study of neural mechanisms of mental activity // Soviet-finnish symposium on psychophysiology / Eds. by Timo Jarvilehto and oth. Publication of the Finnish-Soviet Committee on Scientific-Technological Cooperation. 1982. № 15. P. 231–251.
33. Lebedev A.N. The way from Weber's constant to laws of cognitive psychology // Synergie, Syntropie, Nichtlineare Systeme. Verlag im Wissenschaftszentrum Leipzig, 2000. Heft 6. P. 323–344.
34. Lebedev A.N. The oscillatory mechanisms of memory // Cognitive Processing, International Quarterly of Cognitive Sciences. 2001. V. 2. P. 57–66.
35. Lebedev A.N., Artemenko O.I. EEG Indices of Intellectual Abilities // Quantitative and Topological EEG and MEG analysis: III International Hans Berger Congress / Eds. Herbert Witte and oth. Druckhaus Mayer Verlag GMBH Jena-Erlangen, 1997. P. 133–135.
36. Lebedev A.N., Mayorov V.V., Myshkin I.Yu. The wave model of memory // Neurocomputers and attention. V. 1. Neurobiology, Synchronisation and Chaos / Eds. A.V. Holden and V.I. Kryukov. Manchester University Press, 1991. P. 53–60.
37. Maltseva I.V., Geissler H.-G., Basar E. Alpha oscillations as an indicator of dynamic memory operations – anticipation of omitted stimuli // International J. of Psychophysiology. 2000. V. 36. P. 185–197.
38. McGraw K.M. Subjective probabilities and moral judgments // J. of Experimental and Social Psychology. 1985. V. 14. P. 501–518.

## COGNITIVE PSYCHOPHYSIOLOGY AT THE TURN OF THE CENTURY

A. N. Lebedev

*Dr. sci. (biology), head of laboratory of cognitive psychophysiology, IP RAS*

Parameters of electroencephalogram (EEG) can be used as predictors of cognitive abilities and other psychological peculiarities of a man. Frequency of alpha waves as well as critical difference of their periods preventing fusion of wave series are the constants in equations describing human information processing. Sufficiently big set of neurophysiological indices provides computing of individual psychological portraits with accuracy acceptable for psychology using only parameters of EEG without introspective methodology.

*Key words:* personality, memory, electroencephalogram, alpha rhythm, law.