

---

---

**ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ  
(ПСИХИЧЕСКОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

---

---

УДК 612.821.6

**НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОГНИТИВНОГО ПРОСТРАНСТВА**

© 2011 г. А. О. Роик, Г. А. Иваницкий

*Лаборатория высшей нервной деятельности человека Учреждения российской академии наук  
Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва,  
e-mail: anastasia.roik@gmail.com*

Поступила в редакцию 14.03.2011 г.

Принята в печать 13.04.2011 г.

Целью исследования было выяснить, как изменяются паттерны ритмов мозга при плавном изменении степени пространственности и вербальности в когнитивных заданиях. Анализ полученных ЭЭГ-данных позволил прийти к двум новым выводам: 1) при выполнении заданий смешанного типа пространственно-образное и вербально-логическое мышление не смешиваются; ритмические признаки того и другого присутствуют на ЭЭГ в неизменном виде, а устанавливающийся ритмический паттерн представляет собой суперпозицию пространственного и вербального паттернов; 2) введение расстояния между видами когнитивной деятельности как индекса различия между соответствующими спектрами мощности ЭЭГ позволяет изобразить виды когнитивной деятельности на плоскости (с помощью методов многомерного шкалирования); при этом когнитивные состояния располагаются на плоскости закономерным и разумным образом, в соответствии с психологическими характеристиками выполняемых заданий. Полученный результат позволяет говорить о существовании гипотетического “когнитивного пространства”, структура которого может быть выявлена объективными электрофизиологическими методами.

*Ключевые слова: мышление, ритмы мозга, многомерное шкалирование, когнитивное пространство.*

**Neurophysiological Model of Cognitive Space**

**A. O. Roik, G. A. Ivanitsky**

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow,  
e-mail: anastasia.roik@gmail.com*

The aim of the study was to find out how EEG rhythmical patterns change with gradual changes of a degree of verbal and spatial thinking involved in the process of task solving. The obtained data allowed us to draw two principally new conclusions. 1. During performance of mixed tasks the spatial and verbal thinking do not mix, and their rhythmical signs are both present with their basic properties preserved. A mixed rhythmical pattern is thus a superposition of a spatial and a verbal pattern. 2. It is possible to introduce a “distance” between mental conditions as a measure of difference in the corresponding EEG power spectra. With such distances calculated, multidimensional scaling methods may be used to represent cognitive states as points on a plane. Cognitive states form constellations with shapes reasonably reflecting psychological properties of cognitive tasks. The results suggest the existence of a “cognitive space”, whose structure may be revealed by objective electrophysiological methods.

*Keywords: thinking, brain rhythms, multidimensional scaling, cognitive space.*

В предыдущие годы мы обнаружили, что при осуществлении когнитивной деятельности (решение в уме вербально-логических и пространственно-образных задач) на ЭЭГ человека устанавливаются характерные ритмические паттерны, однозначно сопоставимые с характером мыслительного процесса [1, 2, 8, 17]. В прове-

денных нами ранее экспериментах когнитивные стимулы были либо пространственно-образными, либо вербально-логическими. Вюрцбургская школа “психологии мышления” [9, 20] выделяет три его принципиально различных типа: практически-действенное, наглядно-образное и словесно-логическое. Таким об-

разом, предъявляемые нами задания требовали вовлечения принципиально разных типов мышления. Соответственно полученные нами результаты подвергались критике, сводившейся к тому, что нет ничего удивительного в том, что столь различающиеся виды когнитивной деятельности порождают существенно разные паттерны ритмов мозга. Поэтому возникла идея\* использовать стимулы с градуально и реципрокно изменяющейся степенью пространственности и вербальности.

Важно было выяснить, что представляют собой паттерны ритмов мозга при выполнении заданий промежуточного типа. По этому поводу мы имели два предположения: 1) паттерны, возникающие при выполнении смешанных заданий, состоят из новых ритмов, промежуточных по своим характеристикам (частоте и топографии) между ритмами, проявляющимися при выполнении “чистых” заданий; 2) при выполнении смешанных заданий ритмы, характерные для вербально-логического и пространственно-образного мышления, сохраняются и присутствуют в паттерне со своими исходными характеристиками. Первая гипотеза предполагает, что промежуточное когнитивное состояние является новым качеством, отличным от “чистых” вербально-логического и пространственно-образного мышления. Вторая гипотеза соответствует предположению о том, что вербально-логическое и пространственно-образное мышление, будучи принципиально различными, альтернативны, не смешиваются и не могут осуществляться одновременно.

Помимо этого эксперименты с градуальными стимулами можно рассматривать как компромисс между точечным (разностным) подходом к изучению когнитивных ритмов мозга и интегративным подходом к этой проблеме. Суть точечного, или разностного, подхода заключается в том, что основное и контрольное задания отличаются малой деталью, например разной инструкцией испытуемому при одинаковых стимулах или, наоборот, немного различающимися стимулами при одинаковой инструкции. Анализируя ЭЭГ в основном эксперименте и в контроле, находят ритмы, ответственные за определенную когнитивную функцию, — например, ритмы, связанные с нагрузкой на рабочую память [15, 18, 26], поиском вербальных ассоциаций [11, 21], подавлением нерелевантной зрительной информации [27], вниманием к центру зрительного поля [22], по-

давлением произвольного движения [24], трудностью задания [14], эмоциональным фоном [4–6], емкостью памяти [7].

При интегративном подходе паттерн ЭЭГ воспринимается как целое (“целостный конструкт”, по выражению А.Я. Каплана [13]). При этом целостный конструкт ритмов ЭЭГ ставится в соответствие целостному когнитивному процессу. Интегративный подход используется в интерфейсах “мозг-компьютер”, основанных на анализе ритмов ЭЭГ [19]. В последнее время интегративный подход применяют и к опытам с фМРТ, в этом случае распознавание категории воспринимаемых стимулов (дома, лица, обувь, инструменты и т.п.) основано на опознании паттерна активации нервных структур как целого [16, 23, 28]. Наши предыдущие работы [1, 2, 8] также, очевидно, следует отнести к интегративному подходу.

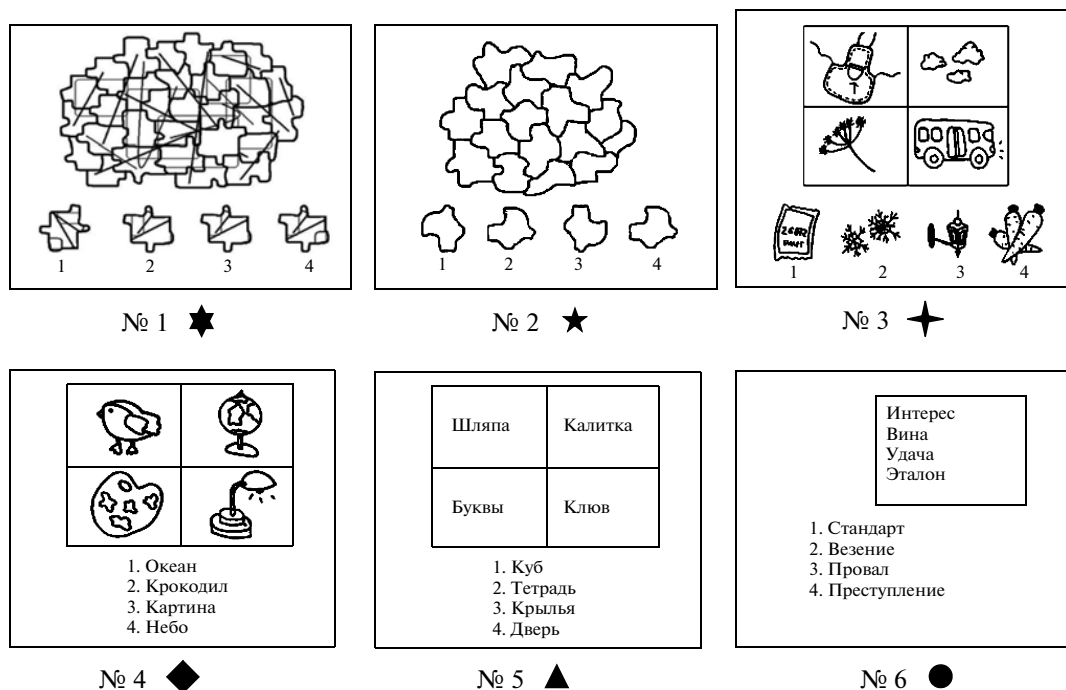
Эксперименты с градуальными стимулами позволили нам не только проверить гипотезу о разделенности механизмов осуществления разных типов мышления и соответственно несмешиваемости их электрографических признаков, но и получить совершенно новый результат, касающийся взаимных отношений когнитивных состояний. Мы впервые смогли увидеть элементы “когнитивного пространства”, о существовании которого подозревали и возможность раскрыть структуру которого предполагали путем объективного измерения параметров ритмов мозга в ходе осуществления мыслительной деятельности разного рода.

## МЕТОДИКА

В экспериментах приняли участие 30 человек (14 женщин и 16 мужчин) в возрасте от 18 до 55 лет. Все испытуемые были правши. С каждым из них был заключен договор на выполнение испытательской работы, в котором были прописаны все особенности эксперимента и разъяснена его полная безопасность и безвредность для человека. Эксперименты проводили с использованием электродной шапочки Electro-Cap (США) и усилителя Neurotravel-24D производства фирмы ATES Medica (Италия–Россия).

Для целей настоящего исследования была создана линейка когнитивных стимулов с градуальным изменением степени вовлеченности пространственно-образного и вербально-логического мышления. Использовали шесть типов заданий (рис. 1), каждый из которых содержал по 60 конкретных задач. Крайние задания в ли-

\* См. раздел. “Благодарности”.



**Рис. 1.** Шесть типов заданий с градуально изменяющимися свойствами пространственности/образности и вербальности: 1 – “пазл” с линиями; 2 – “пазл” со словами; 3 – лишний объект с картинками; 4 – лишний объект с картинками и конкретными словами; 5 – лишний объект с конкретными словами; 6 – лишний объект с абстрактными словами. В задачах № 1 и 2 нужно выбрать один из четырех фрагментов, показанных внизу экрана, для вставки в мозаику. В задачах с № 3 по № 6 нужно найти картинку или слово внизу экрана, что не образует пару с картинкой или словом в рамке. В заданиях № 4 и 5 все слова конкретные, в задании № 6 – абстрактные.

**Fig. 1.** Six task types with gradually changing spatial/imagery and verbal/logical thinking involvements: 1) puzzle with lines; 2) puzzle with words; 3) surplus object in pictures; 4) surplus object in pictures and concrete words; 5) surplus object in concrete words; 6) surplus object in abstract words.

нейке (№ 1 и 6) относились к “чисто” вербальному и “чисто” пространственному типу, промежуточные задания (№ 2, 3, 4 и 5) требовали включения обоих типов мышления.

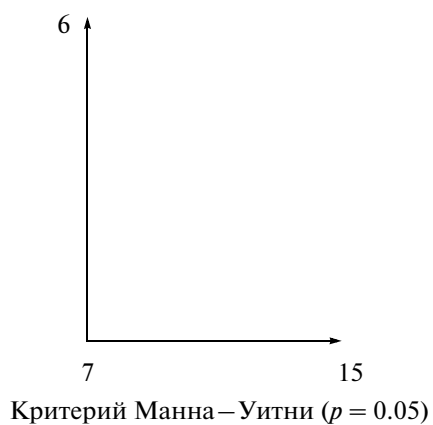
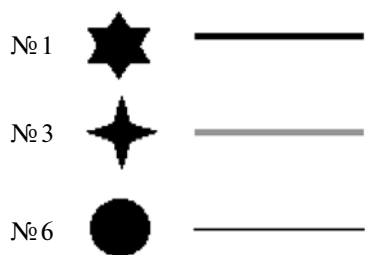
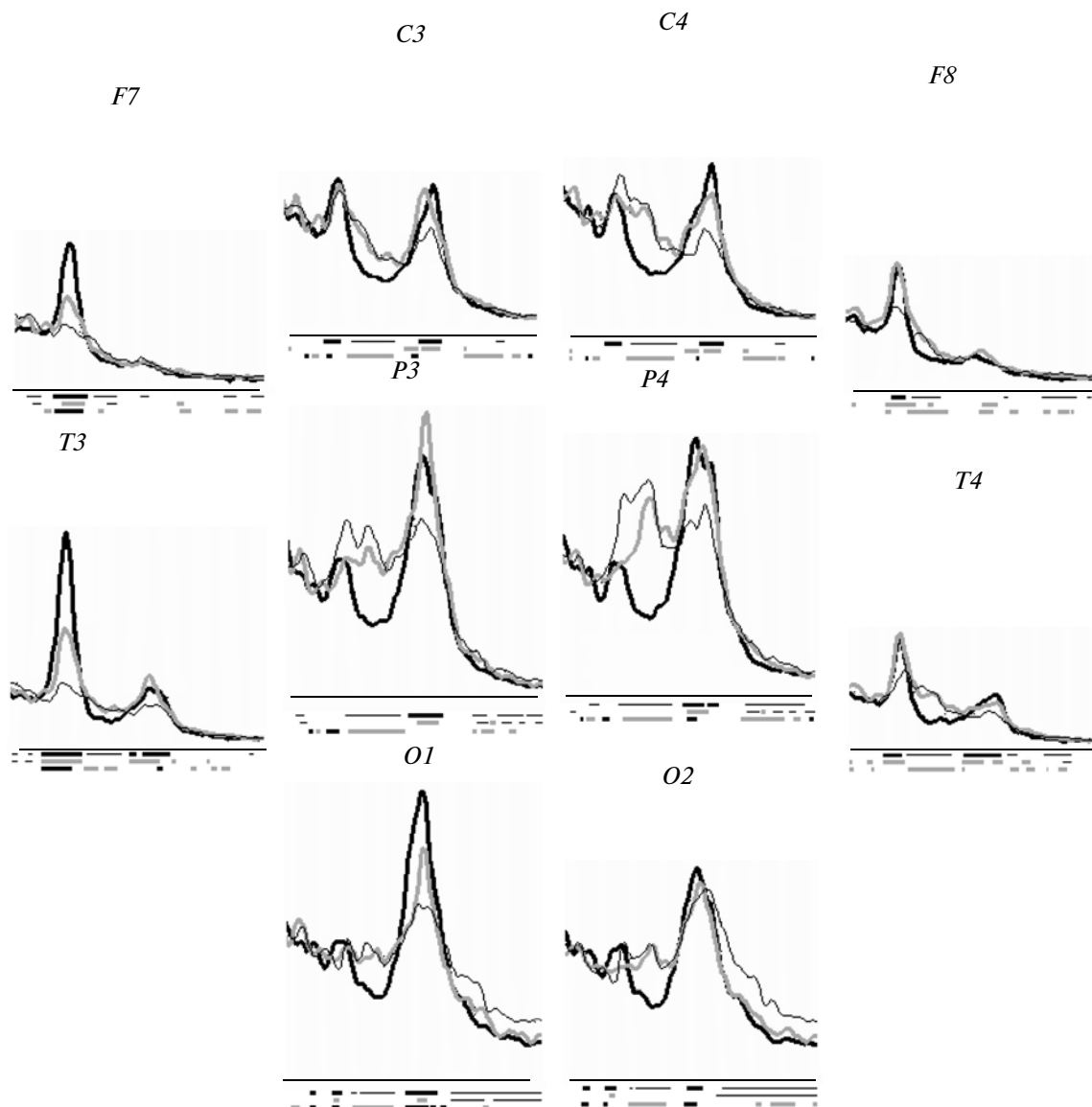
На протяжении опыта испытуемому предъявляли 360 задач (по 60 задач каждого из шести типов). Исследование продолжалось около 3 ч с перерывом после 1-го часа. Задания предъявлялись в случайной последовательности со слу-

чайными интервалами от 2.5 до 3.5 с. Решив задание, испытуемый нажимал клавишу с номером ответа. Время решения ограничивали (40 с). Ответы испытуемого фиксировали для контроля правильности решения.

Запись ЭЭГ вели от 31 электрода, расположенного по расширенной системе 10–20 с референтными электродами на мочках ушей и электродом заземления в вертексе. Параллель-

**Рис. 2.** Усредненные спектры мощности ЭЭГ испытуемой Л.Н. для трех типов заданий: “пазл” с линиями (№ 1 ★, пространственное, толстая темная кривая); лишний объект с картинками (№ 3 ✦, образное с неизбежной вербализацией, толстая серая кривая); лишний объект с абстрактными словами (№ 6 ●, вербально-логическое, тонкая темная кривая). По горизонтали – частота от 7 до 15 Гц; по вертикали – спектральная плотность мощности от 0 до 6 мкВ<sup>2</sup>/Гц. Полосами под графиками показаны достоверно ( $p < 0.05$ ) различающиеся участки спектральных кривых, оттенок и толщина полос соответствуют таковым на графиках. На графиках пунктирные кривые проведены с интервалом 1 Гц.

**Fig. 2.** Average power spectra for subject Л.Н., three task types: puzzle with lines (№ 1, spatial, thick black line); surplus object in pictures (№ 3, imagery with unavoidable verbalization, thick gray line); surplus object in abstract words (№ 6, verbal/logical, thin black line). X-axis: frequencies from 7 to 15 Hz, Y-axis: power spectrum density at 0–6  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ . Strips under graphs indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) between two power spectra, the shade and thickness of lines correspond to that on spectral curves.



но записывали метки о стимулах и реакциях испытуемого.

Обработка ЭЭГ, которую проводили для каждого испытуемого отдельно, состояла из следующих этапов.

1. Из записи ЭЭГ вырезали эпохи, соответствующие решению заданий. Зашумленные эпохи выбрасывали. Помеху от движений глаз устраняли с помощью регрессионной процедуры.

2. Для каждой эпохи в каждом канале ЭЭГ вычисляли спектрограмму (квадрат модуля преобразования Фурье). Шаг по частоте составлял 0.06 Гц.

3. Осреднением спектрограмм получали оценку спектральной плотности мощности ЭЭГ для разных видов заданий.

4. Оценивали степень достоверности различия спектров мощности ЭЭГ при выполнении разных видов заданий. Процедуру статистического сравнения проводили независимо для каждого спектрального отсчета по статистическому ряду сглаженных единичных спектрограмм с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Если уровень недостоверности для данного спектрального отсчета был ниже  $p = 0.05$ , то спектры в этом отсчете считались достоверно различающимися. На рис. 2 полосы под спектральными кривыми показывают участки их достоверного различения. Перед поточечным применением статистического критерия единичные спектрограммы сглаживались с постоянной сглаживания 0.3 Гц. Это позволило практически избежать артефакта множественных сравнений – появления “случайно достоверных” спектральных отсчетов. Участки достоверного различения спектров получались достаточно сплошными (см. полосы – индикаторы достоверности на рис. 2).

5. Для всех возможных пар когнитивных состояний вычисляли индекс различия спектров мощности. Для этого в выбранной группе отведений и в заданном частотном диапазоне подсчитывали суммарное количество “достоверных” спектральных отсчетов, а затем нормировали это число на общее количество спектральных отсчетов. Полученную величину в диапазоне от 0 до 1 считали индексом различия спектров, а также индексом различия двух когнитивных состояний, полученным на основе объективного измерения спектральных свойств ЭЭГ.

6. Когнитивные состояния (возникающие при выполнении разных видов заданий) изоб-

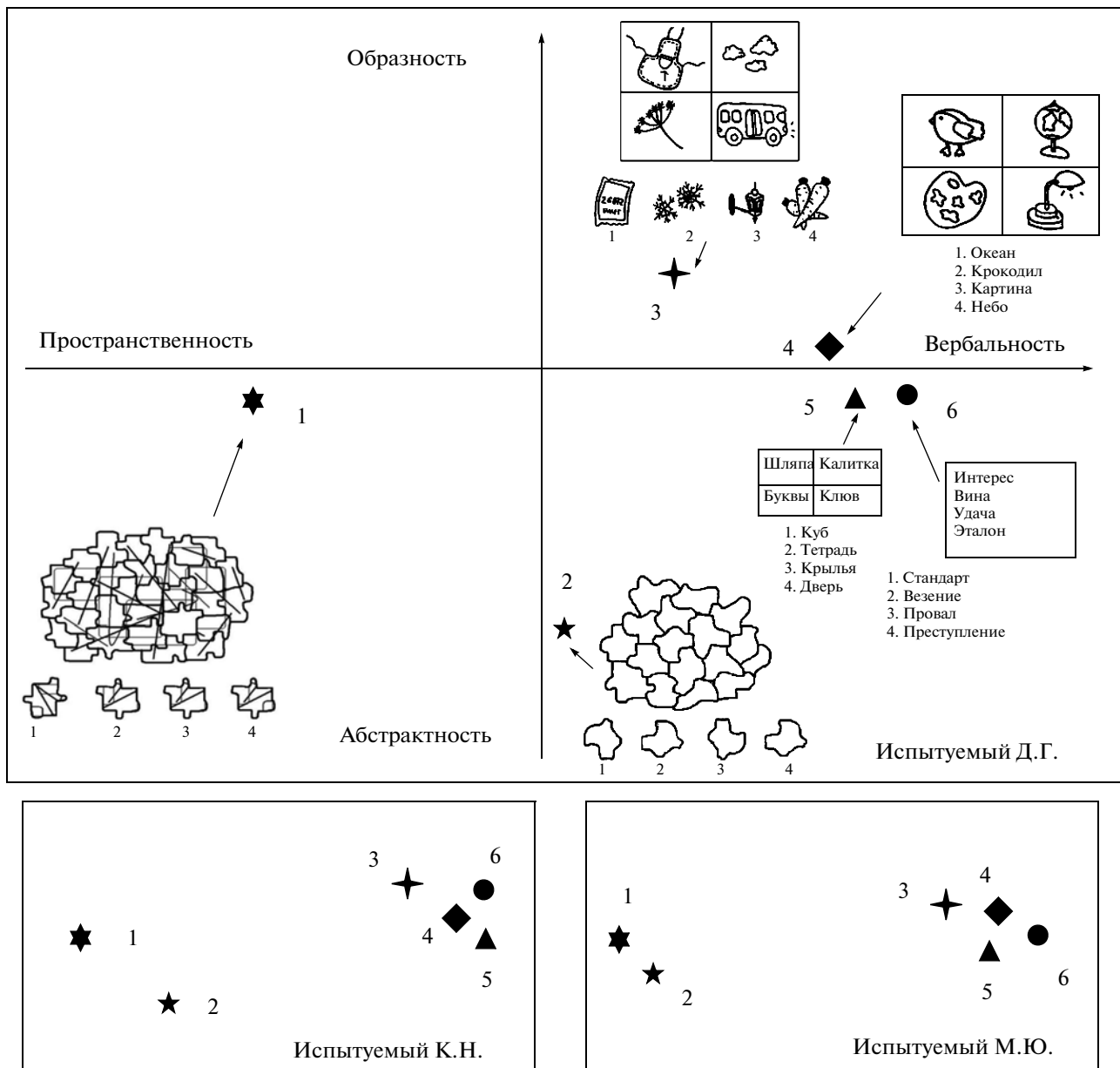
ражали точками на плоскости так, чтобы расстояния между точками максимально соответствовали вычисленным индексам различия. Для этого использовали алгоритм снижения размерности пространства Сэммона [25]. Поворотом и смещением полученные “конstellляции” когнитивных состояний приводили к стандартному виду: наиболее пространственные задачи располагали слева, наиболее вербальные – справа, образные – сверху. Заметим, что процедура приведения “конstellляций” к стандартному виду никак не изменяла их формы, т.е. расположение когнитивных состояний относительно друг друга оставалось прежним.

Все компьютерные программы были специально написаны для целей настоящего исследования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полученные результаты могут быть представлены в виде усредненных спектров мощности ЭЭГ во время выполнения когнитивных заданий разных видов, отдельно для каждого испытуемого. На рис. 2 приведены усредненные спектры для испытуемой Л.Н. при решении заданий трех видов: “чисто” пространственных, “чисто” вербальных и смешанных (расположенных в середине линейки и требующих вовлечения пространственно-образного и вербально-логического мышления). На спектрах видно, что при выполнении промежуточных заданий устанавливается композитный ритмический паттерн, в котором исходные признаки пространственности и вербальности не смешиваются, а сохраняют свои основные параметры – частоту и топографию. Например, ритм частотой 11–12 Гц в отведениях *P3* и *P4* на рис. 2 можно считать признаком пространственно-образного мышления (толстая темная кривая), а ритм частотой 9–10 Гц – признаком вербально-логического мышления (тонкая темная кривая). При выполнении промежуточных заданий (толстая серая кривая) проявляются оба эти ритма, т.е. можно наблюдать ритмы-признаки обоих “чистых” типов мышления. Последнее объясняется, скорее всего, тем, что в задачах с картинками они неизбежно вербализуются. Аналогичное соотношение ритмических паттернов при выполнении “чистых” и промежуточных заданий, демонстрирующее несмешиваемость признаков пространственно-образного и вербально-логического мышления, можно было видеть у большинства ис-

Пространство объективно регистрируемых параметров ЭЭГ  
отражает пространство психологических характеристик заданий



**Рис. 3.** Отображение когнитивных состояний на плоскость в соответствии с измеренными “расстояниями” (индексами различия) между соответствующими спектрами мощности у трех испытуемых. Когнитивные состояния (виды заданий) обозначены значками разной формы – такими же, как на рис. 1. Показаны “когнитивные пространства” для трех человек (Испытуемый Д.Г. сверху; испытуемый К.Н. и испытуемый М.Ю. внизу).

**Fig. 3.** Cognitive states projection onto a plane in accordance with measured “distances” between correspondent power spectra. Cognitive states (i.e., task types) are depicted with different marks, the same as in Fig. 1. “Cognitive space” is shown for subjects Д.Г. (upper plot), К.Н. and М.Ю. (bottom of a figure).

пытуемых (при высокой индивидуальной вари- абельности формы спектров).

Другой способ графического представления полученных данных виден на рис. 3, где показа-

но отображение на плоскость шести когнитив- ных состояний, соответствующих решению разных видов заданий. Для отображения ис- пользовали алгоритм снижения размерности

пространства Сэммона [25], сохраняющий взаимные расстояния между когнитивными состояниями, как описано в разделе “Методика”. Принципиально схожее взаимное расположение когнитивных состояний на плоскости наблюдалось для большинства испытуемых (19 из 30; на рис. 3 показаны “конstellации” для трех человек). Разные виды заданий расположились относительно друг друга разумным образом, адекватно отражая их психологические свойства. У испытуемого Д.Г. (верхняя часть рис. 3) задания с номерами с 1-го по 6-й расположились слева направо в порядке возрастания номеров (и соответственно в порядке убывания степени пространственности и увеличения степени вербальности). Задания № 4, 5 и 6 находятся близко друг к другу, что согласуется с тем, что большинство опрошенных испытуемых отмечали субъективную схожесть этих заданий. Задания № 2 (“пазл” со словами) и № 3 (картинки) оказались разнесены, поскольку сильно различались по степени образности. Анализируя взаиморасположение состояний, мы сочли возможным ввести на условной “когнитивной” плоскости две шкалы (рис. 3): пространственность — вербальность (на рисунках — горизонтальная ось) и образность — абстрактность (вертикальная ось).

Разница в форме “конstellаций” когнитивных состояний у разных людей может отражать различия в свойствах личности, способах решения задач и в том, насколько близкими или, наоборот, разными представляются задачи испытуемым. Например, можно предположить, что 3 испытуемых, карты когнитивных состояний которых приведены на рис. 3, различаются глубиной образности мышления.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### “Когнитивное пространство”

Идея “когнитивного пространства”, которую мы выдвигаем, сходна с идеей субъективного цветового пространства. Последнее было получено картированием индексов цветового восприятия методами многомерного шкалирования [3, 10]. В настоящем исследовании мы построили карты “когнитивного пространства” на основе объективных данных — параметров ритмов мозга, устанавливающихся при выполнении испытуемыми когнитивных заданий. Естественным продолжением исследования должно стать картирование психологических характеристик предъявляемых стимулов с последующим сопоставлением двух получен-

ных “когнитивных пространств” — “объективного” (ЭЭГ) и “субъективного” (опрос испытуемых). Эта работа начата и ведется в настоящее время. Степень вербальности, пространственности и образности заданий мы определяем с помощью экспертной оценки, которую дают по 10-балльной шкале новые испытуемые, уравненные по возрасту и полу с испытуемыми ЭЭГ-исследования (на настоящий момент опрошено 15 человек).

Мы отчетливо осознаем, что увидели малую часть истинного “когнитивного пространства”, а именно, его ограниченное, низкоразмерное подпространство. Тем не менее для нас важна сама принципиальная возможность выявления структуры такого пространства объективными методами.

### Несмешиваемость пространственно-образного и вербально-логического мышления

Классическая когнитивная психология определяет вербально-логическое и пространственно-образное мышление как принципиально различные виды когнитивной деятельности [9, 20]. Можно предположить, что принципиально разные типы мышления не смешиваются, осуществляясь по очереди. В настоящем исследовании вычислялся Фурье-спектр ЭЭГ по всей эпохе выполнения задания; при этом информация о временном ходе изменений ритмического рисунка терялась. Для прямого доказательства разнесения во времени эпизодов пространственно-образного и вербально-логического мышления необходимо применить частотно-временной анализ ЭЭГ — такая работа проводится нами в настоящее время. Тем не менее даже на спектрах Фурье характер пиков при выполнении заданий промежуточного вида свидетельствует о несмешиваемости двух принципиально различных типов мышления.

Ряд исследователей полагают, что в осуществлении разных когнитивных и/или поведенческих актов задействованы разные специализированные нейронные ансамбли. Обучение новому, усложненному когнитивному или поведенческому акту происходит с вовлечением ранее специализированных нейронных ансамблей [12]. Рассуждая с этой точки зрения, можно предположить, что в нашем случае при выполнении смешанного задания происходит встраивание исходных “вербального” и “пространственного” ансамблей в новую функциональную систему. В предположении, что раз-

ные ритмы ЭЭГ порождаются разными нейронными ансамблями, факт того, что при выполнении смешанной задачи ритмический паттерн является суперпозицией “пространственного” и “вербального” паттернов, выглядит естественно. Такая трактовка результатов на основе концепции специализированных нейронных ансамблей представляется нам также вполне оправданной (помимо выше высказанного предположения о том, что вербально-логическое и пространственно-образное мышление могут осуществляться только по очереди).

## ВЫВОДЫ

1. При выполнении заданий, требующих вовлечения и вербально-логического, и пространственно-образного мышления, устанавливаются ритмические паттерны ЭЭГ, содержащие признаки обоих типов мышления в неизменном виде. Два указанных принципиально различных типа мышления не смешиваются.

2. Когнитивные состояния могут быть изображены на плоскости в соответствии с “расстояниями” между соответствующими им ритмическими паттернами ЭЭГ. Состояния располагаются на условной плоскости разумно, в соответствии с психологическими свойствами заданий. Пространство параметров ритмов мозга, таким образом, соотносимо с пространством психологических характеристик мыслительной деятельности.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Идея необходимости использования градуальных стимулов была высказана в личной беседе А.Р. Николаевым, в настоящее время сотрудником института RIKEN (Япония).

Благодарим А.Ю. Григорьеву за помощь в оформлении рисунков.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 09-04-12182-офи\_м, 08-04-01629-а, 11-04-01809-а), Российского гуманитарного научного фонда (грант № 08-06-00077а), программы Отделения биологических наук РАН и программы Президиума РАН “Фундаментальные науки – медицине”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иваницкий Г.А.* Распознавание типа решаемой в уме задачи по нескольким секундам ЭЭГ с помощью обучаемого классификатора. Журн. высш. нерв. деят. 1997. 47(4): 743–747.
2. *Иваницкий Г.А., Наумов Р.А., Иваницкий А.М.* Технология определения типа совершаемой в уме мысленной операции по рисунку электроэнцефалограммы. Технологии живых систем. 2007. 4(5–6): 20–28.
3. *Измайлов Ч.А., Соколов Е.Н., Черноризов А.М.* Психофизиология цветового зрения. М.: Изд-во МГУ, 1989. 206 с.
4. *Ильюченко И.Р.* Различие частотных характеристик ЭЭГ при восприятии положительно-эмоциональных, отрицательно-эмоциональных и нейтральных слов. Журн. высш. нерв. деят. 1996. 46(3): 457–468.
5. *Ильюченко И.Р., Савостьянов А.Н., Валеев Р.Г.* Динамика спектральных характеристик тета- и альфа-диапазонов ЭЭГ при негативной эмоциональной реакции. Журн. высш. нерв. деят. 2001. 51(5): 563–571.
6. *Костюнина М.Б.* Энцефалограмма человека при мысленном воспроизведении эмоционально-окрашенных событий. Журн. высш. нерв. деят. 1998. 48(2): 213–221.
7. *Лебедев А.Н., Скопинцева Н.А., Бычкова Л.П.* Связь памяти с параметрами электроэнцефалограммы. Современная психология. М.: ИПРАН, 2002. Ч. 1.
8. *Николаев А.Р., Иваницкий Г.А., Иваницкий А.М.* Воспроизводящиеся паттерны альфа-ритма ЭЭГ при решении психологических задач. Физиология человека. 1998. 24(3): 1–8.
9. Психология мышления. Хрестоматия. Под ред. Гиппенрейтер Ю.Б. М.: Астрель, 2008. 672 с.
10. *Соколов Е.Н., Измайлов Ч.А., Измайлова Т.В., Зумачев М.М.* Сферическая модель цветового зрения. Вестн. МГУ. Психология. 1977. 14(1): 45–52.
11. *Abdullaev Y.G., Posner M.I.* Event-related brain potential imaging of semantic encoding during processing single words. Neuroimage. 1998. 7: 1–13.
12. *Aleksandrov Y.I.* Learning and memory: traditional and systems approaches. Neurosci. Behav. Physiol. 2006. 36(9): 969–985.
13. *Fingelkurts A.A., Fingelkurts An.A., Kaplan A.Ya.* The regularities of the discrete nature of multi-variability of EEG spectral patterns. Int. J. Psychophysiol. 2003. 47: 23–41.
14. *Gevens A., Leong H., Smith M.E., Le J., Du R.* Mapping cognitive brain function with modern high-resolution electroencephalography. Trends Neurosci. 1995. 18: 429–436.
15. *Griesmayr B., Gruber W., Klimesch W., Sauseng P.* Human frontal midline theta and its synchronization to gamma and alpha oscillations during verbal working memory. Neurobiol. Learn. Mem. 2010. 93: 208–215.
16. *Haxby J.V., Gobbini M.I., Furey M.L., Ishai A., Schouten J.L., Pietrini P.* Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex. Science. 2001. 293: 2425–2430.
17. *Ivanitsky G.A., Naumov R.A., Roik A.O.* EEG portrait of a person: Characteristic patterns of brain rhythms



- under cognitive load of certain types. Abstracts of the 15th World Congress of Psychophysiology. *Int. J. Psychophysiol.* 2010. 77: 314.
18. *Klimesch W.* EEG alpha rhythms and memory processes. *Int. J. Psychophysiol.* 1997. 26: 319–340.
  19. *Korshakov A.V., Frolov A.A., Bobrov P.D.* On-line automatic suppression of artifacts in multi-dimensional signals using ICA. 10-th European Conference on Non-destructive Testing. Moscow. 2010. Abstract book. 2: 370.
  20. *Mandler J.M., Mandler G.* Thinking: from Association to Gestalt. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc. 1964. 415 p.
  21. *Nikolaev A.R., Ivanitsky G.A., Ivanitsky A.M., Posner M.I., Abdullaev Y.G.* Correlation of brain rhythms between frontal and left temporal (Wernicke's) cortical areas during verbal thinking. *Neurosci. Lett.* 2001. 298: 107–110.
  22. *Orekhova E.V., Stroganova T.A., Posikera I.N.* Alpha activity as an index of cortical inhibition during sustained internally controlled attention in infants. *Clin. Neurophysiol.* 2001. 12: 740–749.
  23. *Pietrini P., Furey M.L., Ricciardi E., Gobbini M.I., Wu W.C., Cohen L., Guazzelli M., Haxby J.V.* Beyond sensory images: Object-based representation in the human ventral pathway. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2004. 101: 5658–5663.
  24. *Rougeul-Buser A., Buser P.* Rhythms in the alpha band in cats and their behavioral correlates. *Int. J. Psychophysiol.* 1997. 26: 191–203.
  25. *Sammon J.W.* A nonlinear mapping for data structure analysis. *IEEE Trans. Comput.* 1969. 18: 401–409.
  26. *Sauseng P., Griesmayr B., Freunberger R., Klimesch W.* Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2010. 34(7): 1015–1022.
  27. *Sauseng P., Holz E., Griesmayr B.* Human oscillatory brain activity dissociates sub-processes of visual working memory. *Int. J. Psychophysiol.* 2010. 77(3): 207–208.
  28. *Shinkareva S.V., Mason R.A., Malave V.L., Wang W., Mitchell T.M., Just M.A.* Using fMRI brain activation to identify cognitive states associated with perception of tools and dwellings. *PLoS ONE.* 2008. 3(1): e1394.