

К. КАВАМУРА¹⁾, С. Б. ПАРИН^{2,3)}, С. А. ПОЛЕВАЯ³⁾, В. Г. ЯХНО⁴⁾

¹⁾RIKEN Brain Science Institute, Wako, Japan

E-mail: kokikawa@brain.riken.jp

²⁾Нижегородский государственный университет им.Н. И. Лобачевского,
Россия

E-mail: parins@mail.ru

³⁾Нижегородская медицинская академия, Россия

E-mail: parins@mail.ru

⁴⁾Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

E-mail: yakhno@appl.sci-nnov.ru

E-mail: vostokov@appl.sci-nnov.ru

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ СИМУЛЯТОРОВ ОСОЗНАНИЯ СЕНСОРНЫХ СИГНАЛОВ: ИЕРАРХИЯ «РАСПОЗНАЮЩИХ ЯЧЕЕК», НЕЙРОАРХИТЕКТУРА, ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Аннотация

Рассмотрены варианты базовых моделей нейроноподобных систем для описания динамических процессов обработки сенсорных сигналов. Проведено сопоставление с данными о нейроархитектуре мозга. Рассмотрены некоторые основные динамические процессы в модельных нейроноподобных системах и проведено сопоставление с экспериментальными нейрофизическими данными осознания внешних стимулов и внутренних состояний человека.

K. KAWAMURA¹⁾, S. B. PARIN^{2,3)}, S. A. POLEVAYA³⁾, V. YAKHNO⁴⁾

¹⁾RIKEN Brain Science Institute, Wako, Japan

E-mail: kokikawa@brain.riken.jp

²⁾Nizhnij Novgorod Lobatchevski University, Russia

E-mail: parins@mail.ru

³⁾Medical Academy, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: parins@mail.ru

⁴⁾Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: yakhno@appl.sci-nnov.ru

E-mail: vostokov@appl.sci-nnov.ru

**A CREATION POSSIBILITIES FOR SIMULATORS OF SENSOR
SIGNAL CONSCIOUSNESS PROCESSES: HIERARCHY OF
“RECOGNITION MODELS”, NEUROARCHITECTURES,
PSYCHOPHYSICAL DATA**

Abstract

Versions of basic neuron-like models for dynamical processes of information sensor signal transformation are considered. The architecture of neuron-like models and brain neuroarchitecture data are collated. Some dynamic modes of neuron-like models are compared with psychophysical data and examples of consciousness processes for persons.

Введение

На современном уровне развития биологоправдоподобного моделирования вполне осуществимо создание библиотеки симуляторов физиологических систем и функциональных состояний на единой базовой платформе существующих и вновь разрабатываемых математических моделей. Прагматический смысл подобной технологии очевиден: сегодня имеется реальная возможность разработки и тиражирования наукоёмкого универсального программного продукта, обеспечивающего быструю неинвазивную комплексную оценку функционального состояния человека (или другой живой

системы), мониторинг динамики функциональных систем, прогнозирование поведения человека и течения патологических состояний.

В последние годы в России и, особенно, за рубежом начали чрезвычайно активно разрабатывать математические модели для описания динамических реакций живых систем. В США в рамках проекта «Виртуальный человек» было предложено формирование базы модельных симуляторов. В Институте мозга (RIKEN — <http://www.brain.riken.jp>) проводится работа по набору разного вида моделей, симулирующих процессы в нервных тканях. В ИПФ РАН (Нижний Новгород) разработаны варианты более десятка моделей-симуляторов системных процессов в ЦНС. Имеется информация о коммерческих предложениях по тестированию на математических моделях действия на живые системы ряда фармакологических препаратов (<http://www.enteljs.com>). Основная трудность при дальнейшем развитии таких моделей связана с определением минимально необходимого набора функциональных переменных для конструирования систем, в которых могут происходить динамические процессы, аналогичные реальным физиологическим и психологическим реакциям.

В предлагаемой лекции используются функциональные модели нейроноподобных систем для симуляции процессов осознания сенсорных сигналов. С их помощью возможно описание динамики адаптивного преобразования информационных сигналов, процессов обмена моделями (алгоритмами обработки сигналов) в элементарных адаптивных распознающих системах, рассмотрение деталей взаимодействия между нелинейными системами принятия решений с иерархической архитектурой [1–10]. Варианты режимов реагирования таких адаптивных систем распознавания на внешние сигналы сравниваются с данными психофизических экспериментов, отражающими динамику восприятия сенсорных сигналов в различных функциональных состояниях. Модели и экспериментальные данные согласованы по выходным параметрам, что обеспечивает настройку модели на индивидуальные сенсорные характеристики и превращает модель в виртуальную копию измеряемой сенсорной системы.

Варианты базовых моделей нейроноподобных систем для описания процессов осознания

Многие экспериментальные результаты, связанные с поведением иерархических систем распознавания, могут быть рассмотрены на основе как минимум трех групп базовых моделей (см. табл. 1 в статье [1]).

Рассмотрим три варианта базовых моделей:

- 1) различные варианты однородных нейронных сетей для выделения заданного набора признаков в параллельном режиме (1)–(2);
- 2) адаптивные ячейки распознавания, содержащие алгоритмы кодирования и восстановления (реконструкции) входных изображений, базы данных, алгоритмы вычисления полей невязок (мотиваций), алгоритмы принятия решений по виду полей невязок, а также базы используемых алгоритмов (знаний) (рис. 1, рис. 2);
- 3) иерархические системы из адаптивных ячеек распознавания, каждая из которых настроена на заданный для нее набор операций (рис. 3).

Авторы обращают внимание, что существующий набор математических моделей практически обеспечивает описание основного набора качественных закономерностей, наблюдаемых или регистрируемых функциональных операций, выполняемых биологическими системами.

Выделение заданного набора признаков в параллельном режиме может осуществляться с помощью моделей для однородных нейроноподобных систем:

$$\frac{du}{dt} = -\frac{u}{\tau_1} + \beta_{F_1}(g) * F_1 \left[-t_1(g) + \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_1 [(\xi - r), g] u(\xi, t) d\xi \right] + D_1 \frac{\partial^2 u(t, \vec{r})}{\partial r^2}, \quad (1)$$

$$\frac{dg}{dt} = -\frac{g}{\tau_2} + \beta_{F_2}(g) * F_2 \left[-t_2(g) + \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_2 [(\xi - r), g] u(\xi, t) d\xi \right] + D_2 \frac{\partial^2 u(t, \vec{r})}{\partial r^2}. \quad (2)$$

С помощью такого типа функциональных моделей можно проводить исследование различных процессов формирования структур коллективной активности (например, автоволновые процессы, упрощенные изображения для вычисления признаков), осуществлять параллельные режимы выделения необходимых наборов признаков, проводить вычисление мер сравнения информационных сигналов.

Функциональная схема адаптивной «распознающей ячейки» приведена на рис. 1.

В такой системе может выполняться оценка качества работы алгоритмов, используемых в системе, для повышения точности принятых решений и определения особенностей распознаваемых фрагментов изображений.

Динамика настройки зависит от особенностей информационных сигналов и используется в блоке принятия решений при заданном наборе целей. Выполнение операций преобразования потока входных сигналов зависит от выделенных для этого «энергетических» ресурсов En_{n-1} и набора используемых алгоритмов $A_n(En_{n-1})$ — «знаний» о входном сигнале.

В модели адаптивной «распознающей ячейки» (рис. 1) используются следующие переменные:

I_n — входное изображение, т. е. сигнал, поступающий на обработку в распознающую систему;

$A_n(En_{n-1})$ — алгоритмы обработки информационных сигналов и принятия решений, т. е. формализованное представление знаний в системе, включающих используемые идеи, методы, модели распознаваемых объектов;

$Code_n$ — векторы кодового описания входного сигнала;

Int_n — изображение, интерпретирующее входной информационный сигнал, которое генерируется распознающей системой из кодового описания входного изображения;

$M_n(Code_{n-1})$ — вектор (или изображение) для величин невязок-мотиваций, полученных из сравнения наборов кодов входного изображения и кодовых описаний для предварительно ожидаемого системой изображения;

D_n — решения, принятые распознающей системой;

R_n — оценки уверенности, статистической достоверности принятого решения;

I_{n+1} — сигнал на выходе распознающей системы, состоящий из набора величин $D_n, R_n, A_n(En_{n-1}), Int_n$.

En_{n-1} — необходимые ресурсы для обеспечения активного состояния распознающего устройства при работе тех или иных алгоритмов. В самом простом случае, этот параметр может описывать только одну

величину: потребляемые энергетические ресурсы, требуемые для работы конкретного алгоритма. Уровень выходной величины — созданные или оставшиеся ресурсы — определяются особенностями работы исполнительных механизмов, которые запускаются на основании решения распознающей системы D_n, R_n .

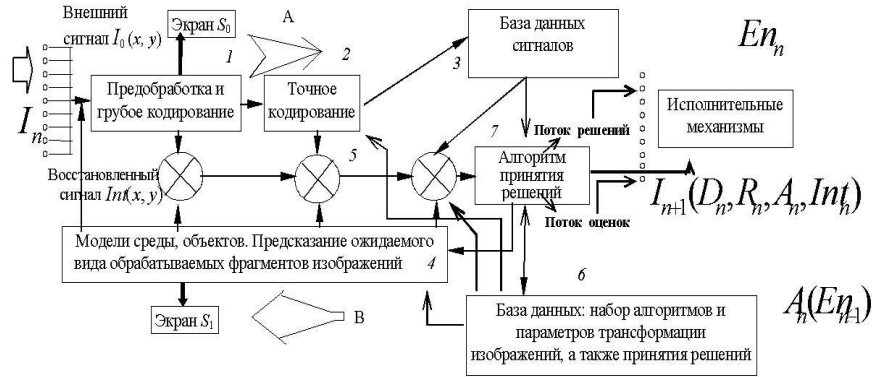


Рис. 1. Адаптивная нейроподобная система распознавания. На функциональной схеме «распознающей ячейки» показаны этапы трансформации потоков информационных данных и взаимодействие между различными обрабатывающими блоками в адаптивной системе принятия решений с фиксированным набором алгоритмов.

Важное отличие рассматриваемой здесь архитектуры адаптивных систем [1–10], соответствующих «живым» прототипам, от «обычных» систем распознавания заключается в обязательном существовании в них специальных подсистем для создания имитации ожидаемого входного сенсорного сигнала и сравнения его с реально поступившим сигналом. Схематическое описание адаптивной распознающей системы (рис. 1) позволяет ввести формальные определения для ряда динамических процессов и используемых переменных, которые обычно связаны с понятиями, вызывающими споры или неоднозначные трактовки при обсуждении информационных систем.

Данными называются наборы признаков или кодовых описаний, вычисленные с входных изображений, или же сами эти изображения. Хранятся данные в блоке 3 (см. рис. 1).

Знаниями в рассматриваемой системе естественно назвать наборы алгоритмов $A_n(E_{n_{n-1}})$, которые могут использоваться в процессах обработки информационных сигналов и принятия решений. Знания в соответствии с используемой архитектурой адаптивной системы расположены в блоке 6.

Ценность входного информационного сигнала может определяться по величинам невязок в блоке 5, вычисляемых из сравнения наборов кодовых описаний для предварительно ожидаемого системой изображения (блок 4) с реально вычисленными кодами от входного изображения (блоки 1, 2). Эти же величины невязок служат стимулом для формирования **мотиваций** и принимаемых решений в блоке 7 для дальнейшего функционирования системы. Фактически через алгоритмы принятия решений в блоке 7 осуществляется управление состояниями всех частей распознающей системы. Если учитывать иерархию отношений между программами, то программы принятия решений и поддержки их возможной реализации в блоке 7 представляют собой **операционную систему**, под управлением которой работают все остальные элементы, представленные на рис. 1.

Если рассматривать функциональную схему адаптивного распознавателя как преобразователь входного информационного потока $(E_{n_{n-1}}; I_{n-1})$ в выходной информационный поток $(D_n; R_n; A_n(E_{n_n}); Int_n)$, то упрощенное представление этой схемы будет иметь вид, показанный на рис. 2.

Характерные динамические режимы для иерархической системы взаимодействующих «распознающих ячеек»: Сеть взаимосвязанных распознающих систем обеспечивает различные процессы формирования динамических структур коллективной активности взаимодействующих распознающих систем. Разные блоки настраиваются на обработку сигналов только «своей» модальности и выполнение инструкций от «вышестоящих» управляющих блоков. Выполнение операций преобразования потока информационных сигналов осуществляется сетью взаимосвязанных распознающих систем, потребляющих выделенные «энергетические» и «информационные» ресурсы (рис. 3).

Фактически каждая из приведенных базовых моделей с характерными для них переменными и наборами функциональных динамических режимов представляют собой те базовые понятийные элементы языка, на основе которых строится описание возможных вариантов поведения автономных распознающих систем. Предполагается, что они могут настраиваться на вид обрабатываемого изображения и условия работы системы. Использование таких моделей позволяет проводить классификацию и вводить новые определения для ряда динамических режимов, которые аналогичны извест-

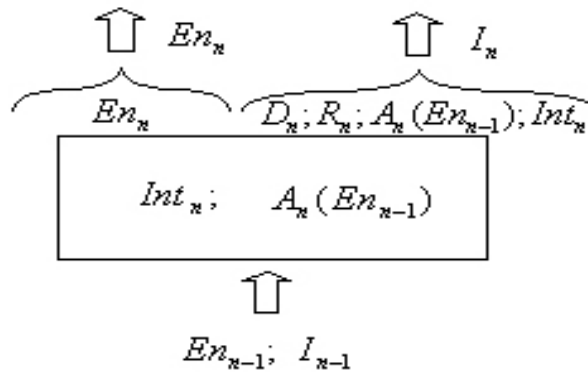


Рис. 2. Схематическое представление трансформации входного информационного потока $(E_{n-1}; I_{n-1})$ в выходные данные $(E_n; I_n)$ в адаптивной системе принятия решений с фиксированным набором алгоритмов. Характерные динамические режимы для модели «распознающей ячейки»: Входной сенсорный сигнал последовательно несколько раз кодируется, а затем восстанавливается. По динамике изменения величин на поле невязок вычисляются оценки качества кодирования. Подбираются параметры алгоритмов или выбираются наиболее адекватные алгоритмы на основе целевой функции, вычисляемой из данных поля невязок.

ным психологическим или социальным реакциям живых систем.

Особенности динамических режимов в модели «адаптивной распознающей ячейки» и вариантах иерархической взаимосвязи таких «распознающих ячеек»

На основе приведенных моделей можно ввести строгие определения для возможных динамических процессов при обработке информации и сопоставить их с результатами и терминологией описания нейрофизиологических экспериментов. Именно такое сопоставление должно лежать в основе построения симуляторов, адекватно описывающих процессы осознания сенсорных сигналов.

Рассмотрим перечень состояний и функциональных операций, реализуемых в «адаптивной распознающей ячейке» и системах из взаимосвязан-

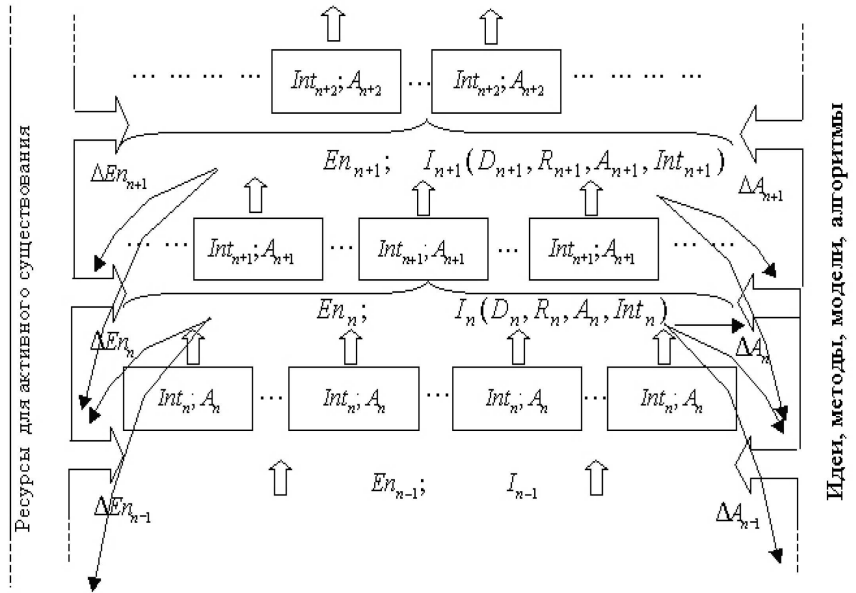


Рис. 3. Иерархическая система взаимодействующих популяций адаптивных распознающих систем.

ных ячеек.

1. Любое состояние системы соответствует ожиданию некоторого (наиболее вероятного для системы) заданного объекта. Это означает, что в блоках 1, 2, 4, 5, 7 загружены соответствующие ожидаемому объекту алгоритмы обработки $A_n(E_{n-1})$.
2. Если во время работы системы используется только путь кодирования входного изображения и принятие решений основано только на сравнении кодовых описаний от входного изображения и из базы данных, то этот процесс соответствует «бессознательной» обработке и принятию решения.
3. Элементарный режим «осознанной» работы с входным сигналом в такой формализованной системе связан с динамическим процессом кодирования-восстановления (генерация интерпретирующего входного сигнала из кодов) и поиска оптимальных алгоритмов в систе-

ме (рис. 2). Такой цикл «кодирование-восстановление» позволяет получить не только оценку меры близости к признакам ожидаемого объекта, но также вычислить дополнительные признаки для скорости сходимости к исходным признакам интерпретируемого объекта. По величинам дополнительных признаков может проводиться оценка «качества» алгоритмов, выбранных для работы с обрабатываемым сигналом. Из нейрофизиологических данных [11–19] следует, что возникновение чувства осознания входного сигнала происходит только после цикла возврата возбуждений к местам первоначальных проекций [13–15] (повторного входа [16], процесса самоидентификации [17–19] и т. д.). Для формализованной схемы это означает, что именно новые, дополнительные признаки могут быть использованы в качестве активаторов ощущения входного сенсорного сигнала. Следовательно, выброс нейромодуляторов, определяющих эмоциональный отклик живой системы на процесс осознания, запускается сигналами оценок о скорости сходимости к признакам интерпретируемого объекта.

При этом естественно предположить, что эмоциональная подсистема должна содержать не меньше двух фаз чувственных ощущений. Первая должна быть связана с «положительным-приятным» откликом на сигнал об оценке скорости сходимости к признакам интерпретируемого объекта — именно этот сигнал должен создавать чувство осознания процесса. Вторая фаза представляет собой «положительный-приятный» или «отрицательный-неприятный» эмоциональный отклик системы в зависимости от ранее сформированного алгоритма реагирования на конкретный вид распознаваемого входного стимула.

Важно отметить, что: *а)* вид формируемой интерпретационной модели распознаваемого объекта; и *б)* время, требуемое на циклы «кодирование-восстановление» и принятия решений — представляют собой те величины, которые могут быть экспериментально измерены в таком процессе осознания входного сенсорного сигнала. Известно, что у человека времена осознания образов сенсорных сигналов лежат в диапазоне от 10 мс до ~200–300 мс и это время зависит от текущего состояния организма.

4. После принятия решения на основе алгоритмов в блоке 7, сигнал о режимах включения передается на исполнительные механизмы (см. рис. 2). В биологических системах это соответствует сигналам управ-

ления моторной (мышечной) системой.

5. Все эти состояния и функциональные операции определяются уровнем энергетического обеспечения для используемых в «адаптивной распознающей ячейке» алгоритмов. В биологических системах это соответствует работе вегетативных систем.

Таким образом, из приведенного перечня видно, что при сопоставлении с данными нейрофизиологических экспериментов необходимо использовать модели как минимум четырех распознающих подсистем:

- 1) отвечающей за распознавание потока «информационных» сигналов — «когнитивная» подсистема;
- 2) отвечающей за формирование интегральных оценок состояния системы — «эмоциональная» подсистема;
- 3) отвечающей за режимы работы исполнительных механизмов — моторная (мышечная), «поведенческая» подсистема;
- 4) отвечающей за энергетическое обеспечение всех подсистем системы — «вегетативная» подсистема.

При разработке симулятора реальных биологических систем важно использовать экспериментальные методики, позволяющие регистрировать как модельные образы, так и времена их осознания в «когнитивной», «эмоциональной», «поведенческой» и «вегетативной» подсистемах.

Кроме того, иерархические архитектуры из адаптивных «распознающих ячеек» подходят для описания внутреннего «Я» или эго автономной системы. Следует также отметить, что приведенные схемы могут быть использованы для описания особенностей работы таких интегрально сложных живых систем как правый и левый мозг, ярко выраженных социальных групп населения, государств и других устойчиво функционирующих систем.

Важно понимать, что реально наблюдаемые в живых системах более сложные режимы проявления «сознания» обычно включают в себя взаимоотношения между динамическими процессами элементарных «сознаний» в иерархических отношениях многих элементарных распознающих ячеек.

Модели «распознающей ячейки» и их иерархические архитектуры отражают базовые принципы обработки сенсорного сигнала при формировании субъективного (осознанного) образа:

1. Цикличность процесса кодирования-восстановления (обратные связи в схеме П.К. Анохина [11–12], цикл информационного синтеза

- А. М. Иваницкого [13–15], повторный вход (“re-entering”) Дж. Эдельмана [16], цикл самоидентификации В. Я. Сергина [17–19], цикл К. Кавамура [40], цикл Дж. Бруннера и т. д.).
2. Модуль «база данных» содержит записи, аналогичные пространственно-временным структурам активности (энграммам) в памяти человека.
 3. Образ объекта формируется при участии оценочной функции, определяющей значимость сигнала, что функционально соответствует роли эмоций в когнитивном процессе.
 4. Модуль исполнительных механизмов объединен системой прямых и обратных связей с модулями кодирования, памяти и оценки, что создает возможность для воспроизведения механизмов эффекторного контроля за осознанием и влияния состояния вегетативной и двигательной систем на характеристики субъективного образа.
 5. Иерархически организованные взаимосвязанные распознающие ячейки воспроизводят однотипно функционирующие архитектуры биологических сенсорных систем, специализированных для обработки визуальных, акустических, проприоцептивных, обонятельных и вкусовых сенсорных сигналов. Конкуренция моделей, соответствующих одному сенсорному сигналу, поддерживается набором весовых коэффициентов, отражающих уровень эмоциональной значимости: актуализируется энграмма, имеющая максимальный эмоционально-мотивационный заряд.

Существенно, что как уже существующие [11–44], так и вновь полученные данные нейрофизиологических и психофизических экспериментов, проведенных соответствующим образом, могут быть интерпретированы и использованы в параметрах и коэффициентах модельных «распознающих ячеек». Таким образом, экспериментальные измерения и расчеты на модельных симуляторах взаимосвязаны. Важно отметить, что использование базовых моделей нейроноподобных систем (каждая со своим набором динамических режимов) в качестве универсальных модулей, позволяет формировать новые иерархические самоподобные системы, обладающие более широким набором функциональных возможностей, чем ее отдельные модули. При этом классификация динамических режимов таких систем представляет собой возможную основу классификации режимов в психологии восприятия и нормального или патологического реагирования живых систем.

Нейроанатомическое обоснование для модели «адаптивной распознающей ячейки»

Способность людей понимать язык, музыку и искусство обусловлена таким уровнем развития мозга, который позволяет распознавать символические сигналы в сфере коммуникаций. Сегодня мы располагаем фрагментарными знаниями о механизмах этого распознавания.

Так, известно, что поля 39 и 40 (по Бродману [25]) теменной коры отвечают у человека за целый ряд высших психических функций, связанных с процессом распознавания. При их повреждении возникают такие когнитивные расстройства, как афазия, апраксия и агнозия. Лобные доли коры, в свою очередь, ответственны за планирование и реализацию сложных действий, движений, а также за процессы мышления. Когнитивная информация поступает в префронтальную (переднюю лобную) кору из теменных и височных долей. При этом важно подчеркнуть, что прямые проекции из задней ассоциативной области в первичную моторную кору отсутствуют.

Тесная взаимосвязь распознавания образа и его эмоциональной оценки нашла своё отражение в понятиях «разум» (logos) и «чувства» (pathos). Сенсорная информация, поступившая в головной мозг, передаётся из первичной ассоциативной области в заднюю ассоциативную или префронтальную кору, где обогащается эмоциональной оценкой значимости ситуации, преобразуется, и лишь затем направляется в высшее корковое представительство моторной системы.

Амигдала (миндалина) обеспечивает аффективную оценку биологической значимости сигналов («приятные» или «неприятные», позитивные или аверсивные) и, интегрируя свежую сенсорную информацию с хранящейся в памяти, формирует определённое эмоциональное состояние. Это закономерно, ведь нейронные циклы Яковлева и Пейпеца (по [26]), отвечающие, соответственно, за механизмы эмоций и памяти, включают, прежде всего, амигдалу, височную и лобную доли коры, поясную (цингулярную) извилину и гиппокамп [23]. Эти циклы, получившие в литературе название лимбической системы (МакЛин, [27]), тесно взаимодействуют с автономной нервной системой, высшим центром которой является гипоталамус. В результате обеспечивается взаимодействие нейронных сетей, формирующих эмоциональный и вегетативный компоненты восприятия. Например, показано, что у обезьян в экспериментах с произвольным поведением повышается региональный кровоток в поясной извилине в том случае, если они находят новое решение для получения подкрепления.

Автономная нервная система обеспечивает регуляцию дыхания, пищеварения, кровообращения, потоотделения, сексуальных желаний, аппетита и других витальных функций. Очевидна её связь с эмоциональной сферой, формируемой лимбической системой. Однако гиппокамп и миндалина влияют также и на систему гормональной регуляции, включающую гипоталамус, гипофиз и эндокринные железы третьего порядка. Базальные ганглии и филогенетически старые части коры, в которые из миндалины поступают сигналы, обеспечивающие обоняние и вкус [28, 29], также тесно связаны с эмоциональной сферой.

Таким образом, мы можем достаточно уверенно очертить те мозговые структуры, которые обеспечивают формирование восприятия со всеми четырьмя базовыми компонентами: когнитивным, эмоциональным, моторным и вегетативным. По существу, все они имеют циклическую структуру, причём эти циклы взаимно переплетаются, образуя общие зоны сопряжения (рис. 4). Примером взаимодействия этих циклов может быть распознавание зрительных образов и музыки.

У обезьян зрительная (затылочная) кора подразделяется на несколько зон: V1, V2, V3, V4, TEO, TE, MT и MST. В свою очередь, слуховая (височная) кора делится на центральную область (включающую зону A1, R-ростролатеральную и RT-ростротемпоральную зоны) и опоясывающие её области A2: так называемый пояс (зоны CL, ML и AL) и парабелт (зоны STGs, CPB, RPB и STGr) [30, 31]. Недавние исследования показали существование в зрительной коре различных функциональных областей, ответственных за распознавание формы, цвета или движения объектов. В слуховой системе также можно выделить функциональные области, отвечающие за распознавание чистых тонов или гармоник, высоких или низких звуков, громких или тихих, а также речи и мелодии.

Механизмы распознавания в зрительной и слуховой системах изучены сегодня нейробиологами только в общих чертах. Известно, например, что как в зрительной системе отдельные элементы фигур на корковом уровне объединяются в зрительную сцену по степени их пространственной близости, так и в слуховой системе объединяются звуки, связанные друг с другом временем или ритмом. Нейронный паттерн формируется при прослушивании музыкального фрагмента на основе целостного комплекса звучащих нот. Характерно, что в слуховой коре нейроны со сходными свойствами объединены в группы (модули). Образ последовательности звуков (мелодия, темп) или результата их синтеза (аккорд, гармония) может быть сформирован из отдельных "элементарных" звуков благодаря взаимодействию

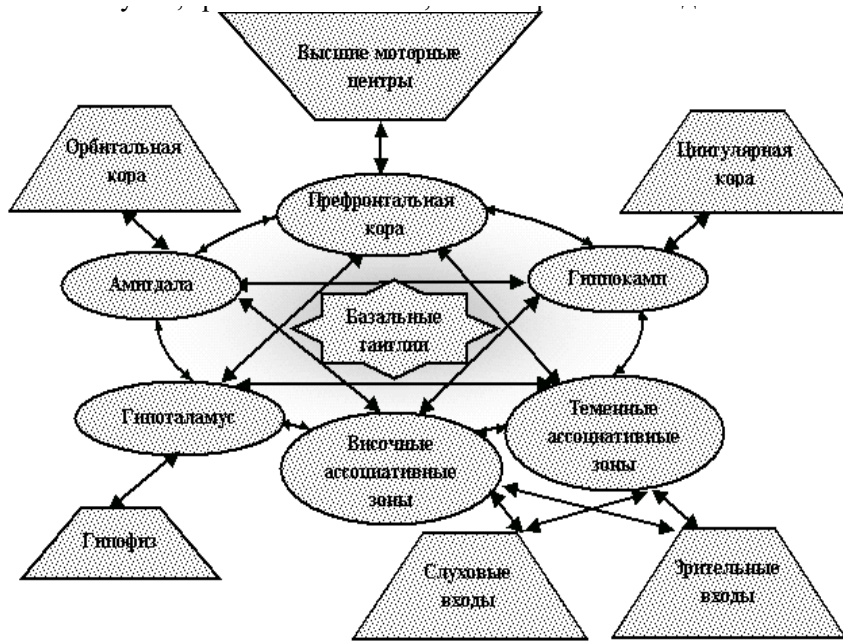


Рис. 4. Упрощённая схема функциональных модулей и операций, обеспечивающих процессы распознавания и осознания сенсорных сигналов с когнитивным, эмоциональным, моторным и вегетативным компонентами.

активированных нейронов, которые составляют нейронные сети, объединённые на морфологической основе.

В слуховой системе импульсы из таламуса сначала поступают в первичную слуховую область, а уже затем — в ассоциативную слуховую область, захватывая и зону Вернике. Существенно, что важная для восприятия музыки зона одновременно является и речевой зоной слуховой коры. В процессе развития мозга его реакции на музыку могут изменяться, начинает проявляться эмоциональная активность, нейронные корреляты которой регистрируются в лимбической системе, включающей поясную кору, гиппокамп, орбитальную кору, амигдалу и прилежащее ядро.

Музыка не является беспорядочным набором звуков. В музыке звуки

объединены и систематизированы для создания мелодии, темпа, тональности и ритма. Центральная зона слуховой коры выделяет из сложного звукового сигнала простые звуки соответствующих частот (тональностей). Импульсы передаются от A1 к A2, достигая парабелта. При передаче импульсов на каждом следующем шаге повышается качество слухового распознавания. Аналогично, в зрительной системе развито восприятие точек и линий (контуров) для распознавания природных объектов, лиц, животных, а также цветов и движений объектов.

В некоторых областях среднего и переднего мозга пути зрительной и слуховой систем пересекаются. Так, например, было показано, что при электрической стимуляции и зрительных, и слуховых областей мозга регистрируются ответы в медиальной части червя мозжечка. Установлено, что аксоны клеток Пуркинье в средней части червя мозжечка заканчиваются в каудальной части ядер шатра, а оттуда информация направляется в тектум [32, 33]. Таким образом, и зрительно-моторные, и слухо-моторные сигналы передаются в тектум. Это указывает на очевидную возможность взаимодействия зрительной и слуховой систем на уровне ствола мозга.

Известно, что в коре больших полушарий зрительные и слуховые потоки импульсов сходятся в областях, окружающих среднюю супрасильвиеву борозду (MSS) у кошек [34] и верхнюю височную борозду (STS) у обезьян [35]. Нейроны этих областей являются мультимодальными. Кроме того, префронтальная кора обезьян получает хорошо топографически организованные мощные проекции от задней ассоциативной области, включая верхнюю височную борозду. Нейроны в зонах, окружающих заднюю часть основной борозды, отвечают на зрительные сигналы и, в свою очередь, окружены областями, отвечающими на слуховые сигналы.

В зрительной системе импульсы распространяются из поля 37 (по Бродману) в ниже-височные зоны ТЕО и ТЕ. Поле ТГ принадлежит слуховой ассоциативной области, которая также связана с амигдалой, отвечающей за эмоции [28]. Кроме того, поля ТГ и ТЕ принадлежат к височной ассоциативной области, которая тесно связана с лобно-орбитальной корой (ОФ) реципрокными ассоциативными волокнами, которые называются крючковидным пучком. Эти же области имеют реципрокные связи с амигдалой [28]. Таким образом, в процессе распознавания с очевидностью может происходить и формирование эмоционального поведения.

Аналогично зрительной системе [36], слуховая система также имеет дорзальные и вентральные (в расширительном понимании) пути от задней ассоциативной области к префронтальной коре [30]. Что касается зритель-

ной системы, известно, что импульсация из поля 17 распределяется по двум путям: дорзальному - в теменную кору (поля 5 и 7), и вентральному — к нижне-височной доле (ТЕО, ТЕ и ТГ). Сегодня доказано, что дорзальный путь связан с формированием субъективного зрительного пространства, а вентральный — с распознаванием объектов (например, геометрических фигур наподобие кругов, треугольников и т. д.) или выражений лица, что имеет самое непосредственное отношение к эмоциональной сфере.

В «дорзальном пути» нейроны теменных и лобных долей имеют сходные характеристики. Поэтому пространственная информация может использоваться для формирования программ действий. На этом пути может происходить преобразование пространственных образов из зрительно-слуховой формы кодирования в двигательное кодирование. «Вентральный путь» образован волокнами крючковидного пучка, которые передают зрительно-слуховую информацию из височной доли в префронтальную кору (поле 10).

Таким образом, ясно, что зрительная и слуховая информация передаётся в префронтальную кору через теменные и височные зоны. Через теменную зону идёт информация о положении источника зрительного и слухового сигнала, то есть формируется ответ на вопрос «где?». В височной зоне, с другой стороны, формируется ответ на вопрос «что?», то есть качественная размерность для зрительных и слуховых объектов [36]. В зрительной системе сложные формы распознаются как комбинация простых форм (точки, линии, углы, дуги и т. д.) в дополнение к цветовым характеристикам, движениям и эмоциональным реакциям. Так же и в слуховой системе сложные звуки распознаются как объединение чистых (простых) звуков, которое развивается в мелодию, гармонию и диссонанс. Ритм и сила подачи звуков связаны при этом со стволовыми отделами мозга и мозжечком.

Концепция рабочей памяти постулирует, что эта когнитивная функция связана с лобными долями. Рабочая память принимает участие и в восприятии музыки. Эта система позволяет обрабатывать и рассылать по параллельным путям информацию от задней ассоциативной области. В начале разучивания музыканты умышленно используют пальцы один за другим (последовательно), поскольку они смотрят в ноты, а после тренировки (обучения с вовлечением мозжечка), движения пальцев образуют целостные координаты. Как работает мозг, когда музыкант создает мелодии? При исполнении музыки существует постоянное поступление информации из памяти. Эта информация поддерживается в мозгу в течение короткого времени и преобразовывается в активное движение. Одновременно, из

долговременной памяти извлекается сразу целый гармонический набор музыкальных тонов.

Сенсорная информация, объединенная и измененная во фронтальной коре, может использоваться в активном поведении, в рамках преобразования от мышечных движений до работы сознания. Схематично это можно представить так: «сенсорные области – задние ассоциативные области – префронтальная кора – высшие моторные зоны – поле 4».

Описанный процесс происходит в передней лобной коре, обеспечивающей единство обработки и воспроизведения информации при реакции на внешний сигнал. Недавно на обезьянах было показано, что медиальная поверхность цингулярной моторной коры связана с мотивационной готовностью или «волей» [37].

Система, состоящая из базальных ганглиев – таламуса – коры больших полушарий, имеет важнейшее значение в работе мозга [38]. Эта замкнутая система формирует три параллельных морфофункциональных канала: моторную, ассоциативную и лимбическую системы [39].

Префронтальная кора, которая содержит зону Брока, и задняя ассоциативная область, которая содержит зону Вернике, связаны друг с другом ассоциативными волокнами. Вентральная часть лобной и теменной долей также взаимосвязаны, при этом обе части имеют реципрокные контакты с амигдалой [28]. Таким образом, интеграция распознавания (“logos”) и эмоции (“pathos”) происходит в префронтальной коре прежде, чем информация может быть передана к моторной системе коры (дополнительные моторные области – премоторная зона – первичная моторная кора). Когнитивная система и эмоциональная система являются взаимозависимыми. Эмоции обеспечиваются, главным образом, входами от миндалины и прилежащего ядра, а осознание, в основном, от поясной извилины. Важно помнить, что чувство баланса, важнейшее для музыкального искусства, поддерживается «параллельными» процессами во всем мозгу, включая кору больших полушарий, полосатое тело, таламус, мозжечок и ствол мозга.

Морфологическая основа «петли обратной связи» (“backward propagation”) от префронтальной коры до задней ассоциативной области важна при рассмотрении связи между музыкальными преобразованиями и ассоциативной памятью [40]. Большое количество ассоциативных волокон, идущих от префронтальной коры, заканчивается в височной доле, где присутствуют реципрокные связи с амигдалой и гиппокампом, и далее от неё направляются в область задней верхневисочной борозды. На этой борозде конвергируют полимодальные сенсорные входы и, с эволюционной точки

зрения, её можно было бы рассматривать как зону предобработки информации для сенсорной лингвистической области.

Метод получения психофизических данных для симулятора

Для превращения математической модели, воспроизводящей известные данные о нейроархитектуре мозга в симулятор осознания сенсорных сигналов, необходимы технологии, позволяющие для конкретного человека в конкретной ситуации провести количественную регистрацию, описание субъективных (осознаваемых) образов и характерных времен формирования сенсорного образа из входного сигнала. Концепция симулятора диктует особые требования к психофизическим методам. Тестирование, обеспечивающее количественное описание субъективного (осознанного) сенсорного образа и времени его осознания, должно быть реализовано в компьютерной технологии, обеспечивающей дружественный интерфейс, режим реального времени; высокую скорость обмена данными и полностью автоматизированную процедуру измерения. Этим условиям удовлетворяет разработанные нами методики для измерения сенсорных функций. В процессе исследования человек встраивается в лабораторную человеко-машинную систему, предназначенную для решения задач управления сенсорными стимулами. Сенсорные характеристики измеряют по погрешности в управлении величиной виртуального стимула. Реализуется схема: «объективно заданный виртуальный стимул – моторное отображение – субъективный сенсорный образ». Единственным внешним сигналом обратной связи, используемым в управлении стимулом, оказывается рассогласование параметров сенсорного сигнала с требуемыми в управленческой задаче параметрами. Именно поэтому воспринимаемый человеком уровень рассогласования, понуждающий его к управленческим манипуляциям, и характеризует количественно состояние сенсорной системы в отношении восприятия стимула данного типа. Программное обеспечение ввода и обработки первичных данных с преобразователей усилий и перемещений манипулятора включает в себя 7 базовых модулей:

- *модуль 1* – принимает данные от устройства, которым управляет человек, по 16 каналам; набор таких модулей обеспечивает удобную настройку системы для измерения различных сенсорных функций;
- *модуль 2* – преобразователь, принимает сигнал от модуля 1 и пре-

образует по стандартным правилам, общим для разных вариантов модуля 1;

- *модуль 3* — отражает результат на управляемый параметр сенсорного стимула (звукового, зрительного и др.) по алгоритму, оптимизированному специально для каждой сенсорной функции;
- *модуль 4* — регистратор, вычисляет ошибку управления и записывает в базу данных в стандартной системе кодов, общей для всех сенсорных функций;
- *модуль 5* — обеспечивает обратную связь на основе количественной оценки ошибки управления: изменяет передаточную функцию в системе «движение руки – стимул», алгоритм управления параметрами сенсорного стимула, способ визуализации для оптимизации человеко-машинной системы;
- *модуль 6* — библиотека, в которой сохраняются наборы стимулов для измерения различных сенсорных функций;
- *модуль 7* — набор систем отображения данных, обеспечивает выбор способа визуализации, наиболее адекватного конкретной задаче.

Результатом тестирования является цифровое описание субъективного сенсорного образа для конкретного индивидуума в конкретном функциональном состоянии. Проводя измерения в различных функциональных контекстах, мы получаем возможность формирования количественной оценки влияния эмоциональной, моторной и вегетативной систем на когнитивный процесс. В частности, нами проведены исследования количественных характеристик осознания сенсорных сигналов в различных функциональных контекстах.

Психофизическая оценка влияния эмоциональной системы на осознание сенсорных сигналов

Связь эмоционального напряжения с характеристиками субъективного образа была исследована в контексте «ситуация отдыха» – «ситуация экзаменационного стресса». Методом компьютерной кампиметрии [41] измерены пороги цветоразличения во всем цветовом пространстве: от красного до фиолетового. Методом компьютерной латерометрии [42] измерены пороги латерализации дихотического стимула, отражающие межполушарные отношения при обработке звукового сигнала. Уровень ситуативной тревожно-

сти измерялся по тесту Спилберга–Ханина. В экспериментах принимали участие 50 студентов-психологов обоого пола в возрасте от 18 до 20 лет.

Спектры цветоразличения всех испытуемых имеют типичную [42, 43] неоднородную структуру, выделяется три максимума дифференциальных порогов в «чистых» цветах: красном ($H = 0$), зелёном ($H = 70$), синем ($H = 180$). В ситуации экзаменационного стресса зарегистрированы существенные изменения в распознавании цветового сигнала:

- достоверно увеличились пороги различения для «красного» и «синего» оттенков, тогда как пороги в «зеленом» не изменились (рис. 5 А);
- изменилась структура субъективного цветового пространства: если в ситуации «отдыха» максимальный порог цветоразличения у всех соответствовал зеленому оттенку, то в стрессовой ситуации зелёный доминировал только у 27%, у 18% максимум дифференциального порога сместился к красному оттенку, а у 55% — к синему (рис. 5 Б);
- выявлена достоверная ($p < 0.01$) прямая корреляция между средним порогом различения оттенка и показателем личностной тревожности ($R = 0.86$) (рис. 5 В).

Личностная тревожность отражает способность связывать изменения среды с потенциальной угрозой. Наши данные свидетельствуют, что при осознании опасности ухудшается различение красного и синего оттенков. Особого внимания достойно изменение неоднородности в выборке психофизических параметров — в ситуации экзаменационного стресса дисперсия пороговых значений резко уменьшилась, наблюдалась стандартизация субъективных цветовых пространств.

Для оценки влияния эмоций на осознание звукового сигнала были измерены пороговые характеристики латерализации дихотического сигнала. Регистрировались интерауральные задержки при смещении, остановке и расщеплении звукового образа. Сравнивая величину этих трех параметров при движении звука вправо и влево, можно построить звукокализационную функцию (ЗЛФ), характеризующую межполушарную асимметрию (рис. 6).

По средневывборочным показателям ЗЛФ изменений в ситуации экзаменационного стресса не выявлено, однако у 89% произошла инверсия межполушарной асимметрии (МПА) хотя бы по одному показателю, из них у 35% — по 2 показателям, у 1 человека — полная инверсия. Достоверно изменяется уровень МПА по возбудимости, по устойчивости и по общему

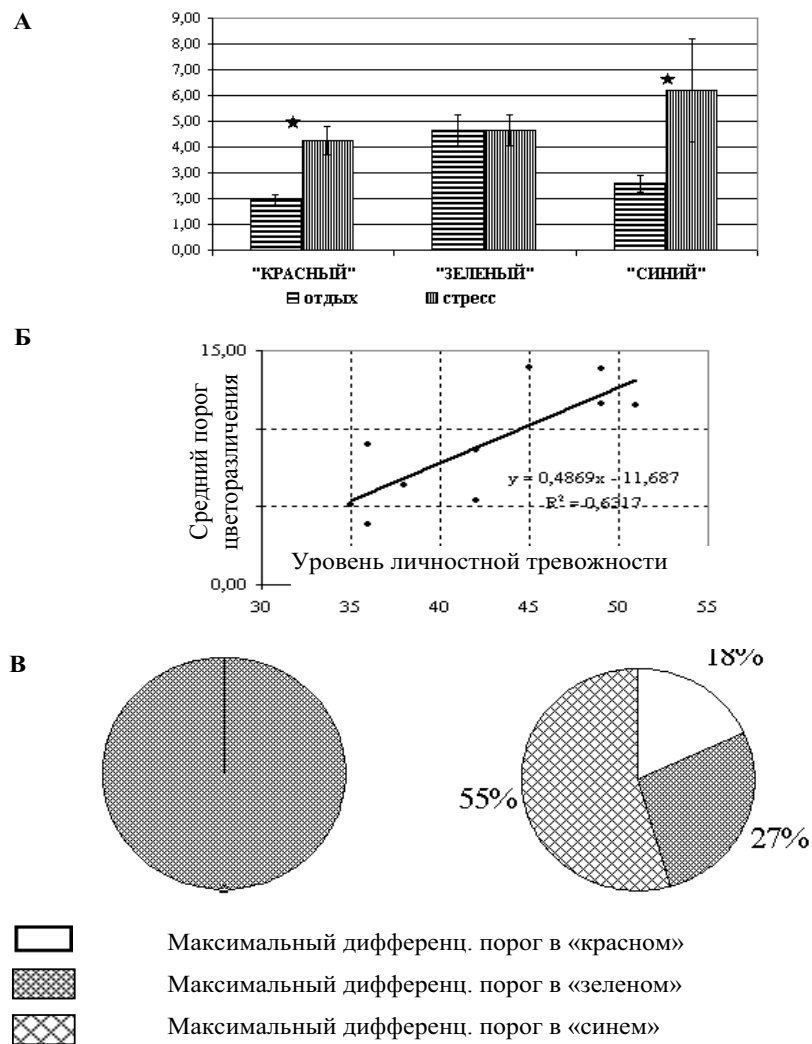


Рис. 5. Динамика цветоразличения при изменении эмоционального контекста. Здесь и далее звездочками обозначены достоверные различия.

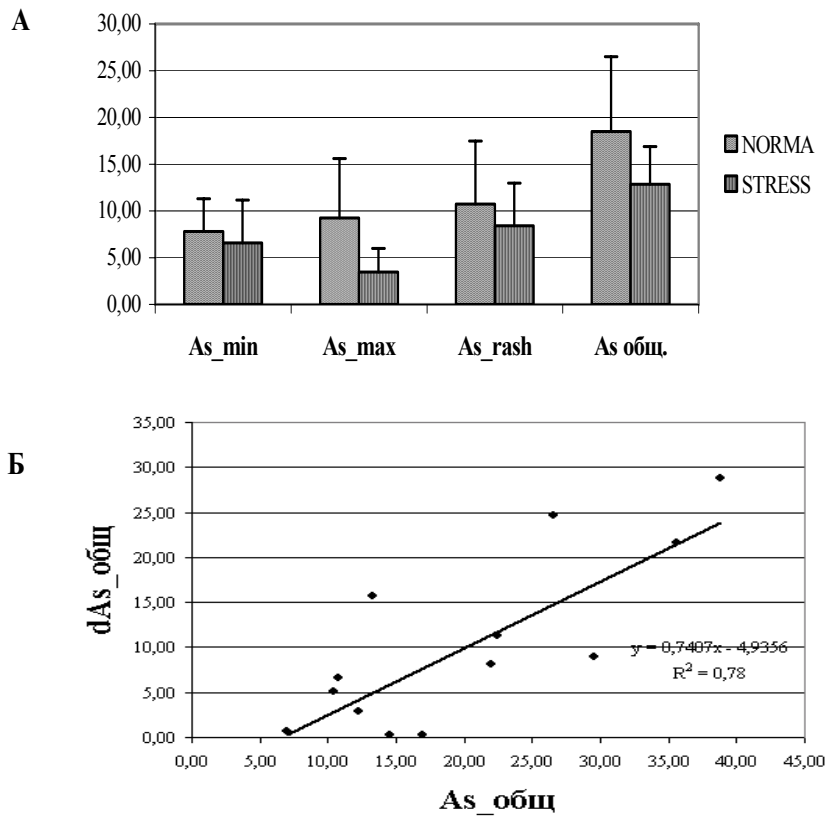


Рис. 6. Влияние стрессовой ситуации на асимметрию ЗЛФ. *Здесь:* **А** — изменения асимметрии по разным показателям ЗЛФ; **Б** — зависимость между исходным уровнем асимметрии и приращением при стрессе. Левые столбики — норма, правые столбики — стресс.

коэффициенту асимметрии: в ситуации неопределенности асимметрия по ЗЛФ уменьшается (рис. 6А).

Изменение асимметрии ЗЛФ зависит от исходного уровня асимметрии: коэффициент корреляции между общим коэффициентом асимметрии (A_s общ) при стандартной учебной нагрузке с приращением этого показателя в ситуации экзамена составил 0.79 ($p < 0.01$) (рис. 6Б). Аналогичные закономерности в изменениях межполушарных отношений при нелатерализованных нагрузках были обнаружены в исследовании межполушарной разности уровней постоянного потенциала мозга [44]. Выявлена отрицательная корреляция между уровнем асимметрии и показателем ситуативной тревожности по Спилбергеру–Ханину. Дисперсия всех показателей ЗЛФ в исследуемой выборке в ситуации экзамена резко снижается. Таким образом, стресс стирает как межполушарные, так и индивидуальные особенности, и играет роль фактора стандартизации в обработке дихотических стимулов.

При сравнении данных кампиметрии и латерометрии выявлено, что изменение показателей устойчивости для обоих полушарий положительно коррелирует (0.81) с изменением величины порога в одном из базовых максимумов — «синем» ($N = 180$) оттенке. Кроме того, показано, что у испытуемых при правополушарной асимметрии, вне зависимости от психологического контекста, цветовые дифференциальные пороги ниже, чем при левополушарной асимметрии.

Роль межполушарной асимметрии в распознавании цветовой информации была исследована специально в однородной по полу и возрасту выборке (58 добровольцев-мужчин 16–18 лет). Сопоставление цветовых порогов у лево- и правополушарных групп в этой выборке показало, что у правополушарных людей величины дифференциальных порогов ниже на всем цветовом спектре. Причем эта разница особенно увеличивается на зеленом, красном и синем максимумах, повторяя общий вид порогового спектра. Это может указывать на ведущую роль правого полушария в обработке цветовой информации.

Таким образом, изменения характерных параметров звукового и зрительного образа взаимосвязаны, что позволяет предположить наличие общего для них управляющего модуля, обеспечивающего согласованную перенастройку сенсорных систем в разных эмоциональных состояниях.

Психофизическая оценка влияния вегетативной системы на осознание сенсорных сигналов

Для оценки связи между работой автономной нервной системы и осознанием сенсорного сигнала нет необходимости в специальном функциональном контексте, достаточно сопоставить показатели кардиоритмографии и психофизических методов.

Метод компьютерной латерометрии позволяет описать эффективность осознания микросекундных временных интервалов 6 измеряемыми (dT_{minR} , dT_{maxR} , $dTrashR$, dT_{minL} , dT_{maxL} , $dTrashL$) и 4 расчетными (As_{min} , As_{max} , As_{rash} , $AS_{общ}$) параметрами. Метод компьютерной кампиметрии позволяет описать систему осознания цветового сигнала (ФЦП) 3 измеряемыми (dR , dG , dB) и 3 расчетными (dB/dR , dB/dG , dR/dG) параметрами. Метод кардиоинтервалографии (КИГ) позволяет описать паттерн сердечного ритма 10 расчетными параметрами ($R-R_{min}$, $R-R_{max}$, $RRNN$, $SDNN$, $RMSSD$, $pNN50$, CV , $ССТР$, $VLF(0,003-0,04 \text{ Гц})$, $LF(0,04-0,15 \text{ Гц})$, $HF(0,15-0,4 \text{ Гц})$, LF/HF), и по индексам Баевского и Жемайтите однозначно идентифицировать тип вегетативной регуляции и активации.

Таким образом, имеется возможность исследовать особенности осознания сенсорных сигналов в зависимости от режима автономной (вегетативной) регуляции и оценить взаимосвязь между вегетативными и когнитивными показателями.

Для нашего исследования были приглашены 20 студентов в возрасте от 18 до 22 лет. Электрокардиограммы регистрировались в 3 стандартных отведениях в течение 5 минут. Записи проводили в положении «лежа», затем испытуемому предлагалось быстро встать и после этого проводилась дальнейшая запись кардиограммы в течение пяти минут. Параллельно измерялись параметры осознания звуковых и цветовых сигналов.

Выявлены следующие особенности сенсорных функций в зависимости от типа вегетативной регуляции:

- дифференциальный порог по оттенку «синего» у симпатотоников достоверно выше, чем у ваготоников (рис. 7 А);
- у 100% симпатотоников с симпатической активацией в субъективном цветовом пространстве доминирует «синий» оттенок (рис. 7 Б);
- только у ваготоников наблюдается доминирование «красного» оттенка в субъективном цветовом пространстве;
- у ваготоников больше временные пороги латерализации дихотиче-

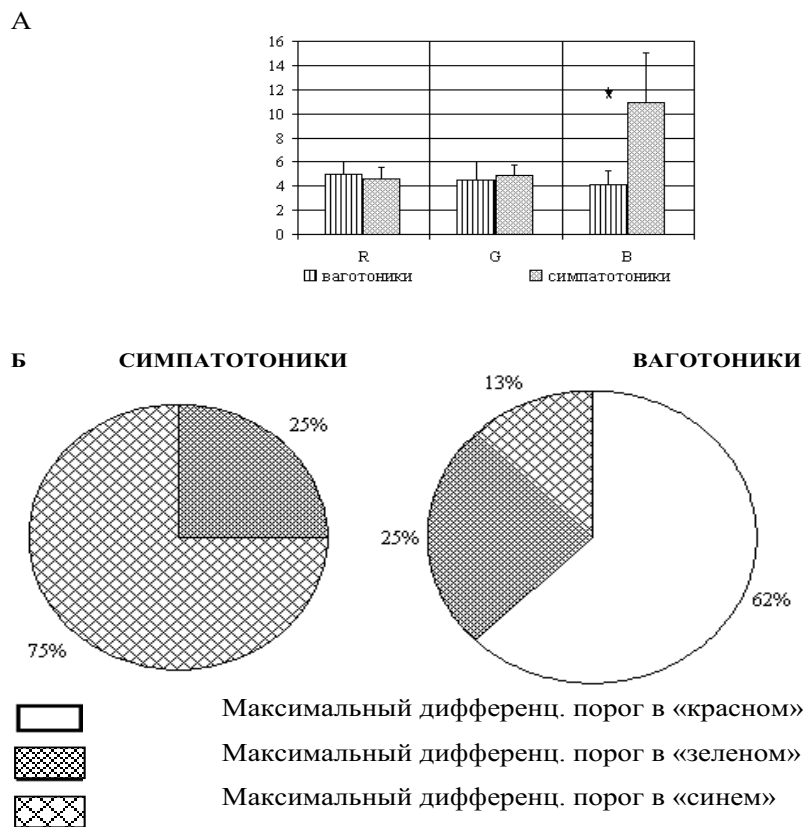


Рис. 7. Влияние типа вегетативной регуляции на пороги цветоразличения (А) и структуру субъективного цветового пространства (Б).

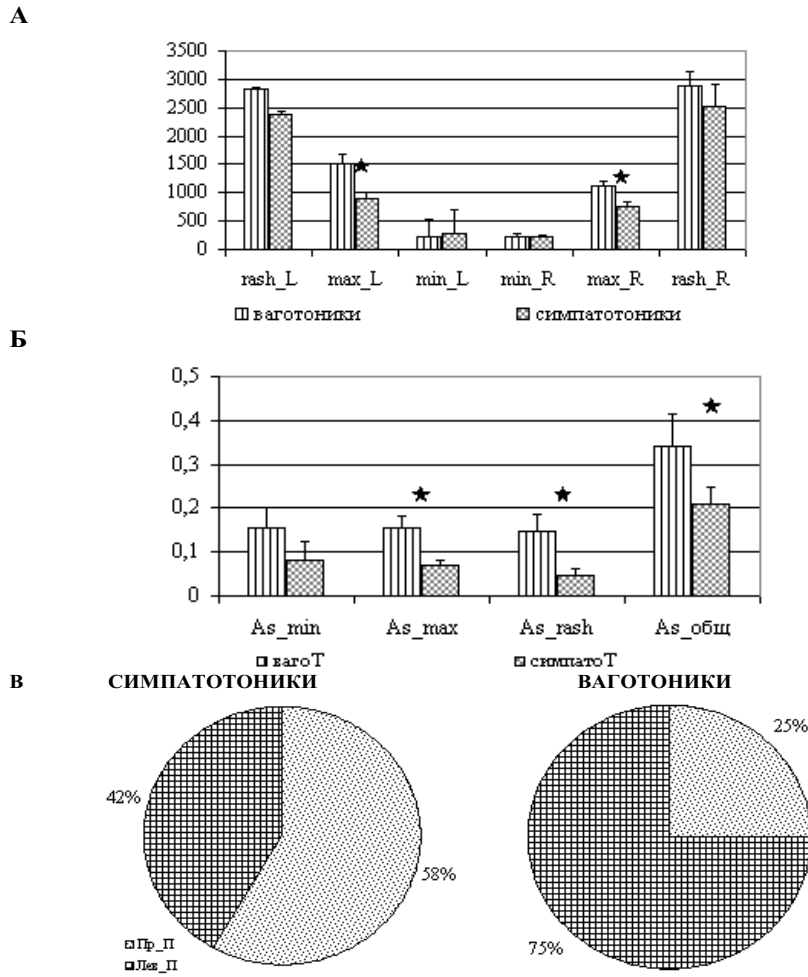


Рис. 8. Влияние типа вегетативной регуляции ситуации на осознание дихотического звукового сигнала. Здесь: **А** — пороги латерализации; **Б** — коэффициенты асимметрии у симпатотоников и ваготоников; **В** — межполушарные отношения у симпатотоников и ваготоников. Звездочками обозначены достоверные отличия.

Таблица 1. Статистически значимые корреляции (R) между показателями сердечного ритма (КИГ), показателями сенсорных функций цветоразличения (ФЦР) и звуколокализационной функции (ЗЛФ).

Симпатотоники				
ЗЛФ	Dt _{min}	Dтрацц.	As _{max}	As _{max}
КИГ	ЧСС	%LF	%VLF	%LF
R	-0,715	0,760	0,814	-0,743

Ваготоники										
ЗЛФ	As _{min}	As _{min}	As _{min}	As _{min}	As _{min}	As _{max}	As _{max}	As _{трацц.}	As _{трацц.}	
КИГ	R-R max, мс	RMSSD	ЧСС	TP	мс	ЧСС	мс	ЧСС	мс	
R	-0,944	-0,795	-0,731	0,788	-0,747	0,742	-0,786	0,740	-0,795	
ФЦР	В	В/R	В/R							
КИГ	R-R min, мс	RRNN, мс	ЧСС							
R	-0,772	-0,782	0,824							
ФЦР	G	В	В	В/R	В/R	В/R	В/R	В/R	В/G	
ЗЛФ	min_R	rash_L	rash_R	As_rash	max_L	rash_L	rash_R	As_max	As_rash	rash_R
R	0,840	0,821	-0,702	-0,937	0,703	0,822	-0,738	-0,808	-0,951	-0,710

- ского стимула и значительно выше уровень межполушарной асимметрии, чем у симпатотоников (рис. 8 А);
- для симпатотоников характерно доминирование правого полушария, а для ваготоников — левого (Рис. 8 Б);
 - у симпатотоников в 2 раза меньше дисперсия значений для всех регистрируемых параметров.

У симпатотоников только по 4 парам параметров на уровень высокой значимости выходит корреляция, отражающая связь между характером сердечного ритма и порогами латерализации дихотического стимула. Системы обработки цветовой и звуковой информации работают разобщенно. Не выявлено достоверных корреляций между характеристиками цветового зрения и показателями КИГ (табл. 1).

У симпатотоников только по 4 парам параметров на уровень высокой значимости выходит корреляция, отражающая связь между характером сердечного ритма и порогами латерализации дихотического стимула. Си-

стемы обработки цветовой и звуковой информации работают разобщенно. Не выявлено достоверных корреляций между характеристиками цветового зрения и показателями КИГ (табл. 1.).

Для ваготоников зарегистрирована значительная скоррелированность между показателями КИГ и ЗЛФ (по 9 парам параметров), между ЗЛФ и дифференциальными порогами по оттенкам (по 10 парам параметров), между характеристиками цветового зрения и показателями КИГ (по 3 парам параметров). Можно предполагать, что гипоталамические структуры, определяющие активность именно парасимпатического звена, вовлечены в обработку сенсорного сигнала исследуемых модальностей (табл. 1).

Полученные данные демонстрируют интегративный принцип осознания сенсорного сигнала. Субъективная картина мира зависит не только от реальных сигналов, но и от уровня тревожности и от типа вегетативной регуляции воспринимающего субъекта.

Выводы

Приведенные функциональные модели «элементарных адаптивных распознающих систем» и их взаимодействующих ансамблей можно рассматривать в качестве базовой платформы для формализованного описания биологических нейронных структур и алгоритмов, обеспечивающих осознание сенсорных сигналов и формирование субъективных образов. Такие модели позволяют проводить сопоставление экспериментально зарегистрированных путей и динамических режимов передачи сигналов в мозгу с набором функциональных операций, необходимых для настройки и распознавания сложных природных сигналов. Подобные модели позволяют формировать элементы языка для описания режимов поведения сложных природных систем.

Разработаны инструментальные компьютерные технологии, позволяющие получать цифровое описание субъективных сенсорных образов и измерять характерные времена взаимодействия нейрональных модулей при осознании сенсорного сигнала для конкретного индивидуума в конкретном функциональном состоянии. Приведенные экспериментальные данные показывают зависимость процессов «когнитивных операций» от особенностей состояний «эмоциональной», и «вегетативной» подсистем живого организма.

Анализ динамики обработки сигнала в адаптивных «распознающих

ячейках», нейроанатомические данные и результаты психофизических измерений свидетельствуют, что осознание сенсорного сигнала представляет собой результат динамического процесса реконструкции на основе сенсорного кода, сохраненных записей в памяти, оценки биологической значимости с учетом энергетических ресурсов.

Показано, что простейшие процессы «сознания» могут быть определены через функциональные операции оптимизации используемых алгоритмов для достижения заданных целей. В каждой «адаптивной распознающей системе» эти процессы элементарного «сознания» связаны с процессами кодирования — восстановления входного сенсорного сигнала. Психофизические инструментальные методы позволяют регистрировать пороговые и временные характеристики связей в сложной системе, включающей «когнитивный», «эмоциональный», «двигательный» и «вегетативной» модули.

Авторы полностью отдают себе отчет в масштабности обсуждаемых здесь вопросов и надеются, что заинтересованный читатель осознает необходимость и примет участие в формировании и уточнении единого языка для формализованного описания работы реалистичных иерархически организованных информационных систем, «осознающих» внешние воздействия. Варианты симуляторов нейроноподобных систем с элементами «осознанного» поведения уже сейчас могут реализовываться в программно-аппаратных комплексах и информационных технологиях, обладающих возможностями адаптивной настройки и их специализации для конкретных технических приложений. Разнообразие поведенческих реакций таких систем будет определяться количеством «распознающих ячеек» в иерархической архитектуре и характеристиками связей между ними.

Однако самое важное, анализ базовых моделей для систем, обладающих «сознанием», и формализованное описание закономерностей их поведения позволяет понимать механизмы гармонии Мира как внутри каждого из нас, так и в окружающей нас Вселенной.

Работа выполнялась при частичной поддержке гранта АФГИР RMO-10214-BNL №36943 и гранта РФФИ 05-08-33526.

Литература

1. Яхно В. Г. Динамика нейроноподобных моделей и процессы «сознания» // VIII Всероссийская научно-технической конференция «Нейроинформатика-2006»: *Лекции по нейроинформатике*. – МИФИ, 2006. – с. 88–111.

2. *Yakhno V.G., Belliustin N.S., Krasilnikova I.G., Kuznetsov S.O., Nuidel I.V., Panfilov A.I., Perminov A.O., Shadrin A.V., Shevyrev A.A.* Research decision-making system operating with composite image fragments using neuron-like algorithms // *Radiophysics.* – Vol. 37, No. 8, pp. 961–986, 1994.
3. *Тельных А. А., Яхно В. Г.* Нейроподобные модели второго и третьего уровней - адаптивные распознающие системы. Труды XII Международной конференции по нейрокибернетике «Проблемы нейрокибернетики», 1999. – с. 164–168.
4. *Яхно В. Г., Нуйдель И. В., Тельных А. А., Бондаренко Б. Н., Сборщиков И. Ф., Хилько А. И.* Метод адаптивного распознавания информационных образов и система для его осуществления. Российский патент № 2160467, 1999.
5. *Ковальчук А. В., Иванов А. Е., Яхно В. Г.* Оценка качества работы алгоритмов бинаризации по динамике процессов кодирования-восстановления // Научная сессия МИФИ-2005. VII Всесоюзная конференция «Нейроинформатика-2005», Сб. научных трудов. Ч. 1. – М.: МИФИ, 2005. – с. 274–282.
6. *Yakhno V.G.* Basic models of hierarchy neuron-like systems and ways to analyse some of their complex reactions // *Optical Memory & Neural Network.* – 1995. – v. 4, No. 2. – pp. 141–155.
7. *Яхно В. Г.* Процессы самоорганизации в распределенных нейроподобных системах. Примеры возможных применений // «Нейроинформатика 2001». Лекции по нейроинформатике. – М.: МИФИ, 2001. – с. 103–141.
8. *Яхно В. Г.* Нейроподобные модели описания динамических процессов преобразования информации // *Нейроинформатика-2004. Лекции по нейроинформатике.* Часть 1, М.: МИФИ, 2004. с. 136–150.
9. *Яхно В. Г.* Модели нейроподобных систем. Динамические режимы преобразования информации. Нелинейные волны 2002 / Отв. ред. *А. В. Гапонов-Грехов, В. И. Некошкин.* – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2003, с. 90–114.
10. *Яхно В. Г., Нуйдель И. В., Иванов А. Е.* Модельные нейроподобные системы: примеры динамических процессов // В кн.: *Нелинейные волны-2004* / Отв. ред. *А. В. Гапонов-Грехов, В. И. Некошкин.* – Н. Новгород: ИПФ РАН, 2005. с. 362–375.
11. *Анохин П. К.* Философский смысл проблемы естественного и искусственного интеллекта // *Вопросы философии*, 1973, № 6, с83–97; *Синергетика и психология.* Тексты. Выпуск 3. Когнитивные процессы. Москва: «Когито-Центр», 2004. с. 301–319.
12. *Анохин П. К.* Избранные труды. Философские аспекты теории функциональной системы. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
13. *Иваницкий А. М.* Мозговые механизмы оценки сигналов. – М., 1976.

14. *Иваницкий А. М.* Физиологические основы психики // *Природа*. – 1999. – № 8. – с. 156–162.
15. *Иваницкий А. М.* Главная загадка природы: как на основе работы мозга возникают субъективные переживания // *Психологический журнал*. – 1999. – том. 20, № 3. – с. 93–104.
16. *Edelman G. M.* The remembered present. A biological Theory of consciousness. – New York: Basic Books, 1989.
17. *Сергин В. Я.* Психофизиологические механизмы осознания: гипотеза самоотожествления // *Журнал высшей нервной деятельности*. – 1998. – том. 48, вып. 3. – с. 558–570.
18. *Sergin V. Ya.* Self-identification and sensori-motor rehearsal as key mechanisms of consciousness // *International Journal of Computing Anticipatory Systems*. – 1999, No. 4. – pp. 81–99.
19. *Sergin V. Ya.* Sensory awareness: Hypothesis of self-identification // In: "Conceptual Advances in Brain Research". – UK: Harwood Academic Publishers. – 2000. – v. 2. – pp. 97–112.
20. *Величковский Б. М.* Модули, градиенты и гетерархии: где мы находимся в изучении когнитивной архитектуры? // *А. Е. Войскунский, А. Н. Ждан, О. К. Тихомиров* (ред.) Традиции и перспективы деятельностного подхода в психологии. М.: Смысл, 1999. с. 161–190.
21. *Величковский Б. М., Зинченко В. П., Лурия А. Р.* Психология восприятия. М.: Изд-во Московского университета, 1973.
22. *Наатанен Р.* Внимание и функции мозга. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997.
23. *Николс Дж. Г., Мартин А. Р., Валлас Б. Дж., Фукс П. А.* От нейрона к мозгу. – М. УРСС, 2003. – 672 с.
24. URL: <http://virtualcoglab.cs.msu.su>
25. *Brodmann K.* Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde. – J. A. Barth, Leipzig, 1909.
26. *Yakovlev P. I.* Motility, behavior and the brain. Stereodynamic organization and neural co-ordinates of behavior // *J. Nerv. Ment. Disease*. – **107**, 1948. – pp. 313–335.
27. *MacLean P. D.* A triune concept of the brain and behavior // In: The Hincks Memorial Lectures. Eds. by *Boag T.* and *Cambell D.*, Univ. of Tronto Press, Tronto, 1973, pp. 6–66.
28. *Kawamura K., Norita M.* Corticoamygdaloid projections in the rhesus monkey. An HRP study // *Iwate Med. Ass.* – **32**. - 1980. – pp. 461–465.
29. *Norita M., Kawamura K.* Subcortical afferents to the monkey amygdala: An HRP study // *Brain Res.* **190**, 1980. – pp. 225–230.

30. *Romanski L. M., Tian B., Fritz J., Mishkin M., Goldman-Rakic P. S., Rauschecker J. P.* Dual streams of auditory afferents target multiple domains in the primate prefrontal cortex // *Nature Neurosci.*, **2**, 1999. – pp. 1131–1136.
31. *Kaas J. H., Hackett T. A.* “What” and “where” processing in auditory cortex // *Nature Neurosci.* – **2**, 1999. – pp. 1045–1047.
32. *Hirai T., Onodera S., Kawamura K.* Cerebellotectal projections studied in cats with horseradish peroxidase or tritiated amino acids axonal transports // *Exp. Brain Res.* – **48**, 1982. – pp. 1–12.
33. *Kawamura K., Kase M., Ohno M., Hashikawa T., Kato M.* Visual inputs to the dorsocaudal fastigial nucleus of the cat cerebellum. An experimental study using single unit recordings and horseradish peroxidase labeling // *Arch. Ital. Biol.*, **128**, 1990. – pp. 295–314.
34. *Kawamura K.* Corticocortical fiber connections of the cat cerebrum. The temporal region, The parietal region, The occipital region // *Brain Res.*, **51**, 1973 a,b,c. – pp. 1–60.
35. *Jones E. G., Powell T. P. S.* Anatomical study of converging sensory pathways within the cerebral cortex in the monkey // *Brain*, **93**, 1970. – pp. 793–820.
36. *Goodale M. A., Milner A. D.* Separate visual pathways for perception and action // *TINS*, **15**, 1992. – pp. 20–25.
37. *Shima K., Tanji J.* Role of cingulate motor area cells in voluntary movement selection based on reward // *Science*, **282**, 1998. – pp. 1335–1338.
38. *Alexander G. E., DeLong M. R., Strick P. L.* Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex // *Annu. Rev. Neurosci.*, **9**, 1986. – pp. 357–381.
39. *Hikosaka O., Nakahara H., Rand M. K., Sakai K., Lu X., Nakamura K., Miyachi S., Doya K.* Parallel neural networks for learning sequential procedures // *Trends Neurosci.*, **10**, 1999. – pp. 464–471.
40. *Kawamura K.* Brain and Mind, Echo of Life, Keio University Press, Tokyo (In Japanese), 2006. – 550 pp.
41. *Полевая С. А., Парин С. Б., Зелинская А. В., Дормидонтова М. С., Еремин Е. В.* Распознавание цветовой информации как функция психофизиологического состояния человека // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2006». Сб. науч. тр., Москва, 2006. Ч. 1. – с. 124–130.
42. *Полевая С. А., Антонец В. А., Ерёмин Е. В.* Исследование сенсорной шкалы пространственного слуха человека в виртуальном акустическом пространстве // *Сенсорные системы*. – т. 16, № 4, 2002. – с. 291–296.

43. Полевая С. А., Парин С. Б., Зелинская А. В., Ерёмин Е. В. Влияние стрессовой ситуации на количественные характеристики сенсорных образов // *Материалы 14-й Международной конференции по нейрокибернетике*. – 2005. – Т. 1. – с. 272–277.
44. Фокин В. Ф. Функциональная асимметрия и функциональные состояния // *Материалы Всероссийской конференции «Структурно-функциональные, нейрохимические и иммунохимические закономерности асимметрии и пластичности мозга»*. – М.: ИКАР, 2007. – с. 649–656.

Koki Kawamura, Emeritus Professor of Keio University, Tokyo. He is working as a neuroscientist at RIKEN, Brain Science Institute, Japan as well as a psychiatrist in a private hospital in Tokyo. In 1971, he worked in the Pavlov Institute in Leningrad for six months. His fields of interest have been: Association areas in the cerebrum, afferents to the cerebellum, limbic system, regeneration of CNS. In recent years, he is particularly interested in the human mind, as a total product of activities of the CNS, focused his attention upon the auditory system in the primate, and also upon “music”. After the age of 70, he has started studying mathematics and neuroinformatics.

Коки Кавамура, почетный профессор университета Кейо (Токио, Япония). Нейроисследователь в РИКЕН, Институте мозга (Уока, Япония), психиатр в частной клинике в Токио. В 1971 в течение шести месяцев работал в институте физиологии им. И. П. Павлова в Ленинграде. Области научных интересов лежат в сфере нейробиологии: нейроанатомия и нейрофизиология ассоциативной и сенсорной коры, мозжечка, лимбической системы, проблемы регенерации мозга. В настоящее время активно разрабатывает проблемы мышления как продукта активности центральной нервной системы, а также слуховой системы приматов (в контексте восприятия музыки). Перешагнув порог своего семидесятилетия, приступил к изучению математики и нейроинформатики.

Сергей Борисович ПАРИН, доцент, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и социальной психологии факультета социальных наук Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, научный руководитель лаборатории психофизиологии на том же факультете, по совместительству — старший научный сотрудник Института прикладной и фундаментальной медицины (Нижний Новгород). Научные интересы связаны с исследованием нейрохимических и психофизиологических механизмов экстремальных состояний (стресса, шока и т. д.) и принципов организации сенсорных и висцеральных систем. Имеет более 110 научных публикаций (в том числе 4 патента).

Софья Александровна ПОЛЕВАЯ, кандидат биологических наук, заведует проблемной группой «Нейробиология и информационные технологии» Института прикладной и фундаментальной медицины Нижегородской государственной медицинской академии (Нижний Новгород). Научные интересы связаны с исследованием механизмов кодирования и распознавания информации в сенсорных системах человека, развитием компьютерных технологий для измерения сенсорных функций и биологоправдоподобным математическим моделированием сенсорных систем. Имеет 60 научных публикаций (в том числе 4 патента).

Владимир Григорьевич ЯХНО, ведущий научный сотрудник, доктор физико–математических наук, заведует лабораторией в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород). Научные интересы связаны с исследованием процессов самоорганизации в распределенных неравновесных системах и применением автоволновых представлений для моделирования процессов обработки сенсорных сигналов, развития компьютерных алгоритмов кодирования сложных изображений (разработка биометрических систем), рассмотрения характерных процессов при настройке систем распознавания. Имеет более 140 научных публикаций (в том числе 2 монографии и 5 патентов).