

**А. М. Черноризов**

## **ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА Е.Н. СОКОЛОВА**

В статье дается краткий обзор истории формирования одной из ведущих научных школ в отечественной психофизиологии — школы профессора Московского университета Е.Н. Соколова. Описываются основные этапы в развитии школы и соответствующие им научные достижения, анализируются теоретические и экспериментальные аспекты ключевых идей школы.

*Ключевые слова:* психофизиология, научные школы, механизмы психических процессов, состояний, индивидуальных различий, векторная психофизиология.

The article is devoted to short review of history of one of the leading scientific schools in Russian psychophysiology founded by Professor of Moscow Sate University E.N. Sokolov. The basic ideas and scientific achievements of the school are described and analyzed.

*Key words:* psychophysiology, scientific schools, mechanisms of mental processes, functional states, individual differences, vector psychophysiology.

### **Введение**

Становление и развитие научно-педагогической школы психофизиологии в Московском университете неразрывно связано с именем ее основателя и руководителя — Евгения Николаевича Соколова, профессора, академика РАО, иностранного члена Национальной академии наук США и Академии наук Финляндии, лауреата «ПРЕМИИ СТОЛЕТИЯ» Международной психофизиологической организации. Е.Н. Соколов — один из ведущих представителей отечественной психофизиологии, ученый с мировым именем, активный организатор широкомасштабных психофизиологических исследований в стране и за рубежом.

К числу ведущих представителей научной школы Е.Н. Соколова принадлежат: Н.Н. Данилова, Ч.А. Измайлов, Г.Г. Аракелов, А.М. Черноризов (факультет психологии МГУ), О.С. Виноградова (Институт биофизики, г. Пущино на Оке), П.М. Балабан (Институт ВНД и нейрофизиологии РАН), Э.А. Голубева (Психологический институт РАО),

---

**Черноризов Александр Михайлович** — докт. психол. наук, профессор, зав. кафедрой психофизиологии ф-та психологии МГУ. *E-mail:* amchern53@mail.ru

Т.Н. Греченко (Институт психологии РАН), Л.Г. Воронин, В.Б. Полянский и А.В. Латанов (биологический факультет МГУ), Г.Г. Вайткявичус (Вильнюсский госуниверситет, Литва), Г.В. Парамей (Университет г. Ливерпуля, Англия).

В школе Е.Н. Соколова психофизиология, функционирующая на стыке психологии, биологии, математики и образующая «естественно-научный базис» психологии, рассматривается как наука о нейронных механизмах психических процессов, состояний и индивидуальных различий.

При этом исследования механизмов психики организуются системным образом на основе предложенной Е.Н. Соколовым методологической схемы «человек—нейрон—модель». Согласно этой схеме, изучение психических процессов человека дополняется регистрацией реакций нейронов животных, а интерпретация психических процессов и реакций отдельных нейронов достигается *построением модели из нейроноподобных элементов*. Реакции всей модели как целого должны соответствовать характеристикам психических процессов, а реакции отдельных нейроноподобных элементов — совпадать с реакциями реальных нейронов. Таким образом, основное внимание исследователей в школе Соколова сконцентрировано на изучении принципов кодирования информации в нейронных сетях, обеспечивающих реализацию психических процессов. Это привело к возникновению нового направления в психофизиологии — *векторной психофизиологии*, в рамках которой предложен универсальный ключ для интеграции явлений психики и физиологии.

## **1. История становления и развития научно-педагогической школы психофизиологии в Московском университете (1950—1971 гг.)**

Первые психофизиологические исследования в Московском университете, которые положили начало формированию самостоятельной школы в отечественной психофизиологии, были задуманы и проведены по инициативе Е.Н. Соколова в 1950—1960-е гг. в лаборатории анализаторов при кафедре психологии философского факультета. На этом этапе в центре внимания было изучение открытого И.П. Павловым *ориентировочного рефлекса* (ОР) — безусловнорефлекторной реакции на новизну. Интерес к ОР на кафедре психологии, возглавляемой в то время А.Н. Леонтьевым, был связан с исследованиями П.Я. Гальперина, который рассматривал ориентировочно-исследовательскую деятельность как основу психических процессов. Лаборатория анализаторов тесно сотрудничала с кафедрой высшей нервной деятельности биолого-почвенного факультета МГУ, возглавляемой проф. Л.Г. Ворониным. В рамках данного сотрудничества возникло новое направление исследований, получившее в дальнейшем мировое признание, — изучение

соотношения ориентировочного и условного рефлексов методами электроэнцефалографии, электродермографии и миографии. Основным итогом многолетних исследований в этой области явилась разработка концепции «*нервной модели стимула*», объясняющей нейронный механизм генерации «сигнала новизны», инициирующего запуск ОР. В результате повторения раздражения, в том числе индифферентного, в памяти формируется его след — нервная модель. Если новый стимул не совпадает со сложившейся ранее нервной моделью, возникает сигнал рассогласования, который и запускает ОР (Соколов, 1958, 1960).

ОР был описан как сложная многокомпонентная реакция активации, обеспечивающая произвольное внимание. В этой связи были исследованы реакции депрессии альфа-ритма (Э.А. Голубева), реакции усвоения биопотенциалами мозга ритма световых мельканий (Н.Н. Данилова, В.А. Ильянок), динамика сосудистых реакций (О.С. Виноградова) и порогов чувствительности (М.Б. Михалевская, Р.П. Стеклова) при угасании и растормаживании ОР, а также в процессе выработки условного рефлекса.

Все эти данные были обобщены в ныне классической монографии Е.Н. Соколова «Восприятие и условный рефлекс» (1958), которая приобрела мировую известность и была издана в США, Англии, Японии, Аргентине и Мексике. По этой тематике в 1960 г. Е.Н. Соколов в качестве приглашенного профессора прочитал курсы лекций в Стэнфордском и Калифорнийском университетах США.

Результаты исследований ОР в лаборатории анализаторов (Е.Н. Соколов, Э.А. Голубева, Н.Н. Данилова, М.Б. Михалевская, Р.П. Стеклова) совместно с сотрудниками кафедры ВНД биологического факультета МГУ (Л.Г. Воронин, Н.В. Дубровинская, Т.Г. Бетелева, В.Б. Полянский) и Института дефектологии (О.С. Виноградова) отражены в монографиях (Виноградова, 1975; Данилова, 1985, 1992; Соколов, 1986; Соколов, Шмелев, 1983; Фомин и др., 1979) и сборниках научных трудов: «Ориентировочный рефлекс и ориентировочно-исследовательская деятельность» (1958), «Ориентировочный рефлекс и вопросы высшей нервной деятельности» (1959), «Ориентировочный рефлекс и проблемы рецепции в норме и патологии» (1964), «Нейронные механизмы ориентировочного рефлекса» (1970), «Пейсмекерный потенциал нейрона» (1975).

Исследования «нервной модели стимула» определили следующий шаг в изучении ОР: возник вопрос о том, какие именно нейроны участвуют в таком «слепообразовании». Регистрация нейронной активности различных структур мозга кролика выявила два типа нейронов: с устойчивыми и изменяющимися реакциями. Нейроны с устойчивыми реакциями, не меняющимися при повторении стимулов, были обнаружены в верхнем двухолмии, наружном коленчатом теле и зрительной коре кролика. В зрительной коре были найдены нейроны, избирательно

реагирующие на определенные значения интенсивности света. Нейроны с изменяющимися реакциями, которые обнаружили динамику, сходную с динамикой развития и угасания ОР, были открыты в гиппокампе и получили название «нейронов новизны» и «нейронов тождества» (О.С. Виноградова). Нейроны новизны реагировали на изменения стимуляции. При повторении сигналов ответы нейронов новизны подавлялись и сменялись активностью нейронов тождества. На основе сопоставления устойчивых реакций нейронов зрительной коры с пластичными перестройками реакций у нейронов гиппокампа был сделан вывод, что детекторы коры представлены на нейронах гиппокампа пластичными синапсами, уменьшающими свой вес при повторной активации соответствующего детектора. В итоге формирование «нервной модели стимула» предстало как образование «матрицы пластических синапсов», образованных детекторами на гиппокампальном нейроне (Виноградова, 1975; Соколов, 1981а). Свое дальнейшее развитие идеи о роли гиппокампа в механизмах ОР и памяти получили в работах Е.Н. Соколова и его последователей в 1970—90-е гг. (Соколов, 2003; *The neuronal mechanisms...*, 1987; Vinogradova, 2001).

С 1964 г. в лаборатории анализаторов были развернуты широко-масштабные психофизиологические исследования механизмов *памяти и обучения*. В соответствии с методологической схемой «человек—нейрон—модель» исследование начиналось с психологического изучения функций памяти и обучения и завершалось анализом нейронных механизмов. Память была проанализирована на модели угасания ОР («негативного обучения») — на макроуровне и при изучении следовых эффектов в нейронах — на микроуровне. В результате внутриклеточных исследований механизмов памяти был описан *эффект привыкания* отдельного нейрона, лежащий в основе механизма запоминания (А.Л. Ярмизина-Крылова, Т.Н. Греченко, Т.А. Палихова, Л.К. Хлудова). Были выявлены нейронные механизмы двух принципиально различных *типов обучения*: обучения, зависящего от организации информации, и обучения, зависящего от организации ответного действия (стимул-зависимый и эффект-зависимый типы обучения соответственно). Результаты данного цикла работ были обобщены в сборнике научных трудов «Пейсмекерный потенциал нейрона» (1975) и монографиях Е.Н. Соколова (1969, 1981а), освещены в циклах лекций, прочитанных им в Московском, Кембриджском, Оксфордском, Софийском и Будапештском университетах, а также на кафедре психологии Массачусетского технологического института.

Логическим продолжением исследований в сенсорной психофизиологии и психофизиологии памяти и обучения явилось формирование в 1960-х гг. нового направления психофизиологических исследований — изучения *исполнительных механизмов поведения*. В рамках этого

направления были получены уникальные данные о свойствах особых нервных клеток у беспозвоночных — *командных нейронов*, управляющих отдельными фрагментами поведения и даже целостными поведенческими актами (Г.Г. Аракелов, Е.Д. Шехтер, Л.К. Хлудова, Т.А. Палихова, Т.Н. Греченко, Е.Г. Литвинов, П.М. Балабан). Командные нейроны, обнаруженные позднее и в нервной системе позвоночных животных, по-видимому, входят в состав механизмов *принятия решения* (Аракелов, 1984).

В результате обобщения многолетних исследований механизмов восприятия, памяти, обучения и движений Е.Н. Соколовым была предложена универсальная схема организации механизмов поведения в виде *«модели концептуальной рефлекторной дуги»*. Модель уточняет представления В.М. Сеченова и И.П. Павлова о свойствах и строении рефлекторной дуги (сенсорный вход, кора, реакция) и включает блоки рецепторов, преддетекторов, детекторов, модулирующих нейронов, командных нейронов, премоторных нейронов, мотонейронов и мышц.

В январе 1971 г. на базе лаборатории психофизиологии при факультете психологии МГУ по инициативе и при активном участии декана факультета профессора А.Н. Леонтьева, профессоров А.Р. Лурии, П.Я. Гальперина и Е.Н. Соколова была создана кафедра психофизиологии.

## **2. Основные направления исследований и достижения школы Е.Н. Соколова в области фундаментальной психофизиологии (1971—2009 гг.)**

Многолетние комплексные психофизиологические исследования мозговых механизмов психики, проводившиеся в Московском университете на основе подхода «человек—нейрон—модель», позволили сформулировать общие принципы организации систем мозга в виде модели «концептуальной рефлекторной дуги» и разработать на ее основе векторную концепцию переработки информации в нейронных сетях.

**2.1. Базовая парадигма психофизиологического исследования в школе Е.Н. Соколова: «человек—нейрон—модель».** В соответствии с подходом «человек—нейрон—модель» (Соколов, 1986, 2003; Sokolov, 1998; Sokolov, Izmailov, 1983) психофизиологическое исследование начинается с анализа психофизических (человек) и поведенческих (животное) данных, а также вегетативных и электроэнцефалографических (ЭЭГ) реакций на макроуровне. Основная задача этого этапа — выявление и количественное описание функциональных зависимостей между сенсорным входом (сигнал) и моторным выходом (реакция, в том числе речевая) в условиях строгого контроля параметров стимуляции. Аналогичный

подход используется в психофизиологии при регистрации вегетативных реакций, вызванных потенциалов мозга и изменений суммарной электрической активности мозга с целью вскрытия физиологических механизмов субъективных явлений. Однако ни вегетативные, ни ЭЭГ-показатели не имеют прямого отношения к реализации собственно субъективных явлений. Наиболее тесно с возникновением субъективных явлений связаны реакции нейронов высших отделов мозга. Как объединить данные, полученные на макроуровне (поведение, психофизика, ЭЭГ), с результатами регистрации реакций отдельных нервных клеток на микроуровне? Интеграция этих данных в рамках школы Соколова достигается построением модели в виде системы связанных между собой нейроноподобных элементов. К модели предъявляются два жестких требования: вся она в целом должна воспроизводить закономерности макроуровня, а реакции каждого нейроноподобного ее элемента должны соответствовать реакциям реальных нейронов. Таким образом, весь ход психофизиологического исследования можно представить схемой: человек (макроуровень) — нейрон (микроуровень) — модель (интеграция макро- и микро- уровней). После создания модели начинается ее проверка, уточнение и модификация на основе экспериментов, подсказанных моделью как формой «рабочей гипотезы». Обобщенную модель информационных процессов в нейронных сетях можно представить в виде модели концептуальной рефлекторной дуги (Соколов, 1986, 2003; Sokolov, Izmailov, 1983).

**2.2. Обобщенная модель информационных процессов в сенсорных и исполнительных системах мозга — модель концептуальной рефлекторной дуги (МКРД)** (Соколов, 1986, 2003; Sokolov, Izmailov, 1983). Первый блок МКРД — блок рецепторов, выделяющих определенную категорию входных сигналов. Второй — блок преддетекторов, образующих слой интернейронов между рецепторами (первый блок) и детекторами (третий блок). Детекторы, селективно возбуждающиеся разными входными сигналами, образуют своеобразную нейронную карту (экран) отражения свойств (признаков) внешней среды. Карты детекторов параллельно проецируются на командные нейроны (четвертый блок), управляющие моторными реакциями через блоки премоторных нейронов (пятый блок). Блоки мотонейронов и эффекторов (шестой и седьмой блоки) образуют механизм реализации реакций. Командные нейроны и мотонейроны, а также входы детекторов к командным нейронам находятся под контролем модулирующих нейронов (восьмой блок МКРД). Параллельный путь модуляции сенсорного потока представлен проекцией детекторных карт на нейроны новизны и тождества. События, представленные на детекторных картах, записываются в нейронах долговременной памяти. Удержание следа в кратковременной памяти также реализуется при участии специализированных нейронов. На ко-

мандных нейронах сходятся пути от детекторов, нейронов долговременной и кратковременной памяти. Модулирующие нейроны определяют приоритеты срабатывания командных нейронов.

Все перечисленные 8 блоков образуют, в терминологии И.П. Павлова, первую сигнальную систему. У ряда животных и человека к 8 блокам первой сигнальной системы добавляется еще один — блок «сигнала сигналов», являющийся основой второй сигнальной системы. Последняя представлена в мозге специальными нейронами, реализующими символическую функцию, когда сигнал-символ выступает заместителем группы событий, представленных на нейронах долговременной памяти.

**2.3. Разработка нового направления исследований в школе Е.Н. Соколова — векторной психофизиологии.** Термином «векторная психофизиология» можно кратко охарактеризовать суть новой научной концепции в современной психофизиологии (Соколов, 1986, 1995, 2003). Эта концепция объединяет в рамках единой непротиворечивой системы понятий «детекторную» и «ансамблевую» теории кодирования сенсорной информации. Более того, согласно этой теории, векторный принцип кодирования распространяется и на нейронные механизмы исполнительных и модулирующих механизмов, что позволяет объяснить удивительную согласованность во взаимодействии сенсорных процессов и поведенческих реакций (Соколов, 2003).

Векторная психофизиология — это раздел психофизиологии, который основан на данных о векторном кодировании информации в нейронных сетях, организованных и функционирующих по принципам МКРД. Суть основных идей векторного подхода состоит в следующем (Вайтквявичус, Соколов, 1989; Соколов, 1986, 2003; Sokolov, 2000). Внешний сигнал представлен в нервной системе определенной комбинацией возбуждений нейронного ансамбля — *вектором возбуждения* (ВВ). Важнейшей операцией, реализуемой в нейронных сетях, является нормировка ВВ, в результате чего сигналы кодируются разной его *ориентацией*. Нормировка ВВ означает, что все множество сигналов в нервной системе может быть представлено на поверхности *сферы*, размерность которой определяется числом независимых элементов нейронного ансамбля. Различия между сигналами измеряются в сферической модели евклидовыми расстояниями между концами соответствующих ВВ. Принцип векторного кодирования может быть распространен и на *управление исполнительными механизмами поведения* — реакциями вегетативной нервной системы и моторными реакциями (включая движения речевых мышц). Управление реакциями осуществляется комбинациями возбуждений, генерируемых командными нейронами. Командный нейрон передает управляющий ВВ на ансамбль премоторных нейронов, которые через мотонейроны определяют компоненты вектора поведенческой реакции. Важнейшими элементами нейронной сети, участвующими

в обработке информации, служат *нейроны-модуляторы*, изменяющие коэффициенты синаптических связей между нейронами. Важной формой адаптивного поведения является условный рефлекс. Процесс его выработки связан с трансформацией синаптических контактов между элементами нейронного ансамбля, кодирующими сигнал на входе, и командным нейроном, управляющим данной реакцией. Этот набор синаптических связей образует *вектор синаптических связей* (ВСС). В ходе выработки условного рефлекса ВСС становится коллинеарным ВВ. Реакция командного нейрона, равная скалярному произведению ВВ и ВСС, достигает при этом максимума. Соответственно вероятность вызова условной реакции на подкрепляемый раздражитель достигает максимума. Вероятность вызова реакции на дифференцированный раздражитель определяется скалярным произведением вызываемого им ВВ и сформированного ВСС. Таким образом, исследование вероятностей условных реакций открывает возможность расшифровки принципов кодирования сигнала нейронным ансамблем.

Наиболее убедительные экспериментальные данные, подтверждающие основные положения векторной психофизиологии, получены при изучении зрительного восприятия (цвета, формы, движения) и зрительно управляемого поведения (Измайлов и др., 1989; Соколов, 2003). Так, в психофизических исследованиях *цветового зрения человека* с использованием методов многомерного шкалирования обнаружено, что воспринимаемый цвет определяется направлением фиксированного по длине четырехкомпонентного ВВ. Спектральные характеристики координат отдельных ВВ соответствуют спектральным характеристикам возбуждений четырех типов нейронов: двух цветоопponentных (красно-зеленых и сине-желтых) и двух ахроматических (яркостных и темновых). Субъективное различие между цветами равно модулю разности их ВВ. Три угла цветовой гиперсферы соответствуют субъективным характеристикам цвета: цветовому тону, светлоте и насыщенности. Вместе с тем исследования условных реакций на цветовые стимулы у обезьян и рыб, обладающих цветовым зрением, показали, что все множество различаемых этими животными цветов также можно представить точками на поверхности сферы в четырехмерном пространстве. Таким образом, векторная модель цветового зрения, реконструированная по схеме «человек—нейрон—модель», подтверждает справедливость принципов векторного кодирования сигналов в сенсорных и исполнительных системах мозга. Исследования цветового зрения с позиций векторной психофизиологии открывают новые перспективы перед методами многомерного анализа (многомерное шкалирование, факторный анализ), которые из формальных процедур редукции данных становятся приемом, позволяющим на основе психофизических (поведенческих) данных раскрывать нейронную организацию исследуемой функции.

Согласно векторной психофизиологии, «векторный код» задействован и в процессе *ассоциативного обучения* (Соколов, 2000). Существуют две формы декларативной памяти — образная и семантическая. При формировании условного рефлекса память реализуется в тех пластичных синаптических контактах командного нейрона, по которым он получал возбуждения. При переучивании веса синапсов принимают новые значения. Это соответствует свойствам процедурной памяти. *Образная долговременная декларативная память* связана с формированием так называемых «гностических единиц» — нейронов, фиксирующих отдельные события. Возбуждение гностических единиц долговременной памяти в отсутствие внешнего воздействия приводит к возникновению представления, соответствующего этому событию. Декларативная память, регистрируя события, затем устойчиво их сохраняет. Собственные векторы этой матрицы образуют базис пространства декларативной памяти, в котором следы эталонов представлены точками. Сравнение пространства декларативной памяти с перцептивным пространством тех же стимулов, но воспринимаемых непосредственно, показывает их изоморфизм. След каждого эталона связан со следовым ВВ, который может сопоставляться с афферентным ВВ, приводя к субъективной оценке различия следа и актуально действующего стимула. Изоморфизм пространства декларативной памяти и пространства преддетекторов означает, что геометрическая модель экрана декларативной памяти, получаемая методом многомерного шкалирования, также должна иметь вид сферической поверхности. *Кратковременная (рабочая, оперативная) память* хранит след события в легко доступной для различных когнитивных операций форме. Исследование кратковременной памяти основано на разном по длительности отставлении тестового стимула от эталона при оценке различия между ними. Матрица субъективных различий между эталоном и отставленным по времени тест-стимулом позволяет построить пространство краткосрочной памяти, которое практически совпадает с пространством непосредственного восприятия этих стимулов. ВВ краткосрочной памяти может сопоставляться с ВВ тест-стимула, что приводит к генерации оценки их различия. *Семантическая память* — форма декларативной памяти — хранит связи групп элементов образной памяти с другим ее элементом, являющимся символом этой группы. Элементы группы образуют значение символа. При подаче стимула-символа происходит активация элементов символизируемой группы. Возбуждение этих элементов образует ВВ образной декларативной памяти. При подаче другого стимула-символа возбуждается другой ансамбль элементов долговременной памяти, образующих другой ВВ. Абсолютная разность величин этих ВВ определяет семантическое различие этих стимулов-символов. Если ВВ, генерируемые стимулами-символами, совпадают, то такие символы являются

синонимами. Предъявляя испытуемому пары стимулов-символов для оценки различия их значений, можно получить матрицу субъективных семантических различий и на ее основе построить семантическое пространство, изоморфное тому пространству памяти, на основе которого определяются значения символов. Каждый стимул-символ представлен в семантическом пространстве ВВ образной памяти. Стимулы-символы сами могут составлять группы, представленные символами высшего порядка. Изоморфизм перцептивных, мнемических и семантических пространств является еще одним доказательством павловского принципа взаимодействия сигнальных систем и открывает новые возможности в раскрытии мозговых механизмов первой и второй сигнальных систем (Соколов, 2004).

Векторный принцип кодирования информации обнаруживается и в *реакциях вегетативной нервной системы*, в частности в механизмах вегетативной регуляции сердечного ритма (Данилова, 1985, 1992, 2006 а, б). Комбинации возбуждений симпатической и парасимпатической систем образуют векторное пространство. Разным рефлексам — ориентировочному и пассивно-оборонительному — соответствуют разные траектории изменений в этом векторном пространстве и соответственно разные реакции изменений сердечного ритма. Спектральный анализ обнаруживает разные по частоте колебания сердечного ритма, что предполагает четырехкомпонентную структуру: два дыхательных модулятора, сосудистые колебания и гуморальные осцилляции. Четырехмерная векторная структура обнаруживается и при изучении кросс-спектров дыхания и сердечного ритма. При этом вклад сосудистого и гуморального компонентов в сердечный ритм и дыхание увеличивается с ростом личностной тревожности и информационной нагрузки. Модуляторы сердечного ритма коррелируют с различными ритмами ЭЭГ (Данилова, 1985, 1992).

Векторный подход к кодированию внешних сигналов, обучению и управлению реакциями открывает возможность интеграции нейронных механизмов и психологических закономерностей в единой непротиворечивой модели исследуемого психологического процесса. Результаты огромного числа исследований, выполненных в рамках векторного подхода, отражены в курсе лекций, прочитанных Е.Н. Соколовым в 1996 г. в Университете Вашингтона (Сент-Луис, США), докладах на XXVI Международном психологическом конгрессе (Канада, 1996), на 13-м (Турция, 2006) и 14-м (Россия, 2008) Международных психофизиологических конгрессах. Данные, полученные при изучении зрительного восприятия, эмоций, памяти, обучения и семантики с позиций векторной психофизиологии, обобщены в ряде монографий и программных статей (Соколов, 1986, 1995, 2003; Соколов, Шмелев, 1983; Sokolov, Boucsein, 2000; Sokolov, Izmailov, 1983).

**2.4. Когнитивная психофизиология.** В последние годы на кафедре психофизиологии интенсивно развивается новое направление, активно поддержанное Е.Н. Соколовым и связанное с изучением роли *высокочастотной ритмической активности мозга* (гамма-ритма) в нейронных механизмах, модулирующих процессы кодирования информации на сенсорном и исполнительном уровнях (Данилова, 2007). На основе применения комплекса методов, измеряющих активность узкополосных гамма-осцилляторов по многоканальной ЭЭГ человека, а также определения его источников в структурах мозга с помощью дипольного анализа и использования томографических магнитно-резонансных срезов мозга обследуемых лиц показано, что кратковременные всплески гамма-ритма представляют собой особую высокочастотную форму активации локальных нейронных сетей мозга. Гамма-ритм как универсальный механизм активации включен во все сенсорные и когнитивные процессы. Экспериментальные результаты, подтверждающие это положение, получены в отношении восприятия, произвольного и непроизвольного внимания, процессов памяти. Показано, что мозг использует множество разночастотных и узкополосных гамма-осцилляторов. Каждый из них характеризуется острой и избирательной настройкой на определенную частоту. Узкополосные гамма-осцилляторы, переходя в режим генерации частотно-специфической активности, создают условия для избирательной активации мозга и тем самым обеспечивают выполнение сенсорных, моторных и когнитивных функций специализированных нейронных сетей (Данилова, 2006а, б; Данилова и др., 2005; Данилова, Ханкевич, 2001; Соколов, 2003). В настоящее время проверяется гипотеза об участии гамма-ритма в работе механизма, кодирующего субъективные и перцептивные различия.

**2.5. Психофизиология стресса и стрессоустойчивости.** К 1990 г. на кафедре сформировалось новое направление фундаментальных исследований, связанное с изучением стресса и стрессоустойчивости в норме и патологии. В исследованиях используется оригинальный экспериментальный подход, основанный на комплексном использовании электрофизиологических, биохимических и психологических показателей (Аракелов, 1995). В рамках данного направления показано, что стресс лежит в основе регуляции уровня бодрствования и через это влияет на протекание всех психических процессов. Выявлено, что стресс — это не только состояние (уровень бодрствования), но и реакция на различные стрессоры. При этом комплекс стрессовых реакций однотипен и не зависит от природы стрессора (психологического, физического или иного). С учетом этого значимым для психологии становится не изучение собственно механизма самого стресса (это задача физиологии), а изучение роли стрессоров в возникновении различных стрессовых состояний вплоть до возникновения патологических состояний. По результатам

исследований предложены методы профилактики и лечения стрессовых расстройств у здоровых людей и больных с психосоматическими расстройствами. Удалось показать, что нормализацию уровня бодрствования стрессированных людей легче всего добиться путем использования элементов восточных практик релаксации и методов биологической обратной связи (Аракелов и др., 1997; Аракелов, Глебов, 2005; Аракелов, Шишкова, 1998; Шишкова, 2003). Данные, полученные при изучении психофизиологии стресса, и данные современных нейронаук приводят к уточнению предмета психофизиологии и определению ее как науки о иммуннонейроэндокринных механизмах психики.

### **2.6. Разработка методологических оснований психофизиологии.**

В рамках школы Е.Н. Соколова много внимания уделяется разработке общеметодологических проблем современной психофизиологии как науки о нейронных механизмах психических процессов и состояний. Новизна и продуктивность практикуемого в школе методологического подхода состоит в предложении рассматривать психофизиологию как органическую составную часть нейронауки, развивающуюся на стыке (пересечении) психологии, нейрофизиологии и математики. Результаты методолого-экспериментального анализа современной психофизиологии в рамках такого подхода отражены в книгах «Психофизиология» (Соколов, 1981 б), «Теоретическая психофизиология» (Соколов, 1986), «Психофизиология» (Данилова, 2007), «Восприятие и условный рефлекс: новый взгляд» (Соколов, 2003), «Основы психофизиологии» (под ред. Ю.И. Александрова, 2006). В настоящее время готовится к печати последняя книга Е.Н. Соколова «Очерки по психофизиологии сознания». Знаком признания и высокой оценки вклада кафедры психофизиологии в разработку методологических проблем современной психофизиологии послужило избрание Е.Н. Соколова председателем секции «Психология» на Международном конгрессе по методологии, логике и философии науки, проходившем в Москве в 1987 г.

### **3. Основные направления исследований и достижения школы Е.Н. Соколова в области прикладной психофизиологии**

Основные темы прикладных исследований на кафедре психофизиологии связаны с разработкой и совершенствованием методов «биологической обратной связи», «детекции скрываемых знаний», диагностики и коррекции функциональных состояний (Г.Г. Аракелов, Н.Н. Данилова, С.А. Исайчев). Эти направления, сформированные в ответ на запросы со стороны практической психологии, являются относительно новыми для школы Е.Н. Соколова, традиционно ориентированной на фундаментальную науку. Однако в полном соответствии с принципом «нет хорошей практики без хорошей теории» знания, полученные в

фундаментальных исследованиях, оказались востребованными в прикладных разработках. На основе изучения механизмов функциональных состояний и их роли в регуляции поведения животных и психической деятельности человека и с привлечением векторной теории кодирования информации разработан комплекс новых психофизиологических методов объективной оценки функциональных состояний. В частности, эти методы предполагают построение и анализ векторного пространства сердечного ритма и семантического эмоционального пространства (Данилова, 1992). Применение этих методов позволяет объективно оценивать индивидуальную тревожность субъекта и определять его стрессоустойчивость, выявлять нарушения механизмов регуляции функциональных состояний, не обнаруживаемые по другим физиологическим показателям и результатам психологического тестирования. Построение и анализ векторного пространства сердечного ритма плода человека предложены в качестве неинвазивного метода изучения пренатального развития, предсказывающего возможные отклонения в поведении ребенка в постнатальный период.

С привлечением данных фундаментальной психофизиологии экспериментально обоснован новый эффективный способ объективной психофизиологической диагностики и коррекции стрессовых состояний. На метод получено положительное заключение патентной экспертизы Института государственной патентной экспертизы РФ. Использование этого метода в клинике нервных болезней для профилактики и лечения дистрессовых расстройств оказалось (для случая больных с диагнозом «пограничное состояние») даже более эффективным, нежели традиционные фармакологические способы лечения (Аракелов, 1995).

#### **4. Особенности организации педагогической деятельности в научной школе Е.Н. Соколова**

Основной принцип подготовки специалистов в рамках школы — «обучение через исследование». Это означает, что с самого начала своей специализации студент включается в выполнение реальной научно-исследовательской работы. Специализация осуществляется также через спецпрактикум и систему специальных курсов, посвященных обсуждению актуальных проблем современной психофизиологии. По инициативе Е.Н. Соколова в 1995 г. на кафедре психофизиологии был разработан и внедрен в процесс обучения новый спецпрактикум «Основы нейронауки», представляющий собой базу для профессионального обучения через исследование и направленный на приобретение современных знаний из разных областей нейробиологии и психофизиологии. Одной из важных перспективных задач такого междисциплинарного практикума является создание на факультете психологии (или в МГУ)

научно-педагогической базы для открытия новой специальности — в области нейронауки. Подготовка таких специалистов широкого профиля рассчитана на объединение усилий со стороны разных факультетов МГУ (психологического, биологического, физического, химического, фундаментальной медицины и механико-математического) и научно-исследовательских учреждений (Институт ВНД и нейрофизиологии РАН, Институт психологии РАН).

### **5. Общественное признание вклада научной школы Е.Н. Соколова в развитие отечественной и мировой психологии**

Мировая и отечественная наука по достоинству оценивает вклад представителей отечественной психофизиологической школы в развитие современной психофизиологии. В 1984 г. за выдающийся вклад в развитие теории рефлекторных механизмов работы мозга Е.Н. Соколов был награжден Золотой медалью им. И.П. Павлова. В 1988 г. Американская ассоциация психофизиологических исследований вручила Е.Н. Соколову специальный диплом «За выдающийся вклад в психофизиологию», которым награждаются ученые, чьи труды носят фундаментальный характер и оказывают заметное влияние на развитие науки. В 1998 г. на проходившем в Италии IX съезде Международной ассоциации психофизиологов Е.Н. Соколову была вручена самая престижная награда этой ассоциации — «ПРЕМИЯ СТОЛЕТИЯ-1998».

В этом же году активная научно-педагогическая деятельность Е.Н. Соколова была отмечена присуждением ему «Премии им. М.В. Ломоносова» и звания «Почетный профессор Московского университета». Монография проф. Н.Н. Даниловой «Функциональные состояния: механизмы и диагностика» (1985) в 1986 г. была отмечена премией, дипломом и медалью Минвуза СССР «За научную работу» в высшей школе.

Научно-исследовательская деятельность школы Соколова поддержана российскими и зарубежными фондами — РФФИ, РГНФ, «Университеты России», ISF, Fogarty (США), ERNF (США), INTAS. За период с 1994 по 2009 г. представителями школы выполнены работы более чем по 70 российским и зарубежным грантам и научно-исследовательским программам (договорам).

### **6. Научные связи психофизиологической школы Е.Н. Соколова с научными центрами в России и за рубежом**

При реализации своих научных программ представители школы Соколова активно взаимодействуют с российскими и зарубежными научно-исследовательскими центрами и университетами. Кафедра

психофизиологии является инициатором и организатором ряда научно-исследовательских проектов, реализуемых на межфакультетском уровне в Московском университете. Так, в 1995—1996 гг. по инициативе и при непосредственном участии Е.Н. Соколова в МГУ им. М.В. Ломоносова был создан Центр магнитно-резонансной томографии и спектроскопии, открывающий новые перспективы для развития отечественной нейронауки и проведения экспериментальных исследований на мировом уровне. В 1997 и 2003 гг. сотрудники кафедры на конкурсной основе получили возможность проводить исследования на базе этого центра. На протяжении многих лет кафедра сотрудничает с лабораторией нейрофизиологических основ психики ИП РАН, механико-математическим факультетом (кафедры дискретной математики и теории интеллектуальных систем) и биологическим факультетом МГУ (кафедра высшей нервной деятельности) в области исследований зрительного восприятия и разработки искусственных органов чувств роботов с элементами искусственного интеллекта.

В период с 1985 по 2009 г. кафедра психофизиологии выступила инициатором ряда международных научных исследовательских проектов в области психофизиологии: «Соотношение фазического и тонического ориентировочного рефлексов» (совм. с Университетом Нового Уэльса, Австралия), «Цветовой образ» (совм. с Институтом зрения Университета г. Эйндховена, Нидерланды), «Механизмы цветового зрения» (совм. с Университетом г. Сиэтл, США и Университетом г. Сент-Луис, США), «Механизмы цветового и яркостного контраста» (совм. с Институтом зрения Университета г. Эйндховена, Нидерланды и кафедрой психологии Университета г. Хельсинки, Финляндия), «Психофизиологические механизмы восприятия лиц и эмоций» (совм. с государственным университетом г. Вупперталь, Германия). В 1975 г. по инициативе и при участии кафедры осуществлен перевод и организовано издание книги К. Прибрама «Языки мозга», а в 1998 г. — фундаментальной монографии известного финляндского ученого, иностранного члена РАН Ристо Наатанена «Внимание и функции мозга».

### **Заключение. Перспективы развития научной психофизиологической школы в Московском университете**

Перспективы фундаментальной психофизиологии в МГУ им. М.В. Ломоносова критическим образом связаны с привлечением в эту область науки современных, неинвазивных технологий регистрации активности мозга человека. В условиях МГУ это означает активное использование в психофизиологических исследованиях научно-исследовательской базы Центра магнитно-резонансной томографии и спектроскопии. Одной из главных задач такого сотрудничества является

разработка методов совмещения данных мозговой локализации источников ЭЭГ-активности, получаемых в психофизиологических опытах с человеком, со структурными срезами мозга, получаемыми на томографе. В перспективе информативность такого объединения функциональных (ЭЭГ) и структурных (срезы мозга) данных может быть приближена к информативности мощных (но пока очень дорогостоящих) методов позитронно-эмиссионной томографии и функциональной магнитно-резонансной томографии.

Важным элементом перспективы психофизиологии в МГУ является теоретическое и экспериментальное развитие оригинальной концепции векторной психофизиологии. В этой связи необходимо развивать экспериментальную базу для проведения клеточных исследований, результаты которых позволят в полном объеме применить методологический подход психофизиологической школы «человек—нейрон—модель» к интеграции психологии и естествознания.

С учетом современных условий существования университетской науки в России можно отнести к перспективным направлениям развития психофизиологии в МГУ развитие ее прикладных приложений, которые, однако, мыслятся как «проекция» на практику достижений фундаментальной психофизиологии.

Однако при любом сценарии развития событий мы с полной уверенностью можем присоединиться к словам замечательного нейробиолога П.В. Симонова, адресованным из XX в. нам, психологам века XXI: «Я убежден, что приближающееся 21-е столетие явится в значительной мере веком психофизиологии в обеих ее ипостасях: нейробиологической и психологической, естественно-научной и гуманитарной. Новейшие методы нейронаук обогатят нас знанием о работе мозга, о котором, в лучшем случае, только догадывались наши великие предшественники, а психология, став подлинной наукой, ... существенно обогатит современное человековедение» (Симонов, 1999, с. 183).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аракелов Г.Г.* Нейронные механизмы движений. М., 1984.
- Аракелов Г.Г.* Стресс и его механизмы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 1995. № 4. С. 45—54.
- Аракелов Г.Г., Глебов В.В.* Вегетативные составляющие стресса и личностные особенности пациентов, страдающих пограничными расстройствами // Психол. журн. 2005. Т. 26. № 5. С. 35—47.
- Аракелов Г.Г., Лысенко Н.Е., Шотт Е.К.* Психофизиологический метод оценки тревожности // Психол. журн. 1997. Т. 18. № 3. С. 102—113.
- Аракелов Г.Г., Шишкова Н.Р.* Тревожность, методы ее диагностики и коррекции // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 1998. № 1. С. 18—32.
- Вайткявичус Г.Г., Соколов Е.Н.* Нейроинтеллект: от нейрона к нейрокомпьютеру. М., 1989.

- Виноградова О.С.* Гиппокамп и память. М., 1975.
- Данилова Н.Н.* Функциональные состояния: механизмы и диагностика. М., 1985.
- Данилова Н.Н.* Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. М., 1992.
- Данилова Н.Н.* Роль высокочастотных ритмов электрической активности мозга в обеспечении психических процессов // Психология. Журн. ВШЭ. 2006а. Т. 3. № 2. С. 62—72.
- Данилова Н.Н.* Частотная специфичность осцилляторов гамма-ритма // Рос. психол. журн. 2006б. Т. 3. № 2. С. 35—60.
- Данилова Н.Н.* Психофизиология. М., 2007.
- Данилова Н.Н., Быкова Н.Б., Пирогов Ю.А., Соколов Е.Н.* Исследование частотной специфичности осцилляторов гамма-ритма методами дипольного анализа и анатомической магнитно-резонансной томографии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2005. № 4—5. С. 89—97.
- Данилова Н.Н., Ханкевич А.А.* Гамма-ритм в условиях различения временных интервалов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 2001. № 1. С. 51—64.
- Измайлов Ч.А., Соколов Е.Н., Черноризов А.М.* Психофизиология цветового зрения. М., 1989.
- Нейронные механизмы ориентировочного рефлекса / Под ред. Е.Н. Соколова. М., 1970.
- Ориентировочный рефлекс и вопросы высшей нервной деятельности / Под ред. Е.Н. Соколова. М., 1959.
- Ориентировочный рефлекс и ориентировочно-исследовательская деятельность / Под ред. Е.Н. Соколова. М., 1958.
- Ориентировочный рефлекс и проблемы рецепции в норме и патологии / Под ред. Е.Н. Соколова. М., 1964.
- Основы психофизиологии / Под ред. Ю.И. Александрова. М., 2006.
- Пейсмекерный потенциал нейрона / Под ред. Е.Н. Соколова, Н.Н. Тавкхелидзе. Тбилиси, 1975.
- Симонов П.В.* Павлов и психофизиология XXI века // Журн. ВНД. 1999. Т. 49. № 2. С. 179—184.
- Соколов Е.Н.* Восприятие и условный рефлекс. М., 1958.
- Соколов Е.Н.* Нервная модель стимула и ориентировочный рефлекс // Вопр. психологии. 1960. № 4. С. 61—72.
- Соколов Е.Н.* Механизмы памяти. М., 1969.
- Соколов Е.Н.* Нейронные механизмы памяти и обучения. М., 1981а.
- Соколов Е.Н.* Психофизиология. М., 1981б.
- Соколов Е.Н.* Теоретическая психофизиология. М., 1986.
- Соколов Е.Н.* Принцип векторного кодирования в психофизиологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 1995. № 4. С. 3—13.
- Соколов Е.Н.* Векторное представление ассоциативного обучения // Журн. ВНД. 2000. Т. 50. № 1. С. 80—87.
- Соколов Е.Н.* Восприятие и условный рефлекс: новый взгляд. М., 2003.
- Соколов Е.Н.* Вычисление семантических различий в нейронных сетях // Нейрокомпьютеры. 2004. № 2. С. 69—78.
- Соколов Е.Н., Шмелев А.Л.* Нейробионика. М., 1983.
- Фомин С.В., Соколов Е.Н., Вайткявичус Г.Г.* Искусственные органы чувств. М., 1979.
- Шишкова Н.Р.* Психофизиологическая оценка уровня стресса: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 2003.

*Sokolov E.N.* Model of cognitive processes // Advances in psychological sciences. Vol. 2: Biological and cognitive aspects / Ed. by M. Saborin, F. Craik, M. Robert. East Sussex, UK, 1998. P. 355—379.

*Sokolov E.N.* Perception and the conditioning reflex: Vector encoding // Int. J. of Psychophysiol. 2000. Vol. 35. P. 197—217.

*Sokolov E.N., Boucsein W.A.* A psychophysiological model of emotion space // Integrat. Physiol. and Behav. Sci. 2000. Vol. 35. N 2. P. 81—119.

*Sokolov E.N., Izmailov Ch.A.* The conceptual reflex arc: A model of neural processing as developed for color vision // Modern issues in perception / Ed. by H.G. Geissler. Berlin, 1983. P. 192—216.

The neuronal mechanisms of the orienting reflex / Ed. by E.N. Sokolov, O.S. Vinogradova. N.J., 1987.

*Vinogradova O.S.* Hippocampus as comparator: Role of two input and two output systems of the hippocampus in selection and registration of information // Hippocampus. 2001. Vol. 11. P. 578—598.