

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НЕЙРОИНФОРМАТИКИ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2006

НЕЙРОИНФОРМАТИКА – 2006

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ЛЕКЦИИ
ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ**

По материалам Школы-семинара
«Современные проблемы нейроинформатики»

Москва 2006

УДК 001(06)+004.032.26 (06) Нейронные сети
ББК 72я5+32.818я5
М82

НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ–2006. VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2006»: ЛЕКЦИИ ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ. – М.: МИФИ, 2006. – 244 с.

В книге публикуются тексты лекций, прочитанных на Школе-семинаре «Современные проблемы нейроинформатики», проходившей 24–27 января 2006 года в МИФИ в рамках VIII Всероссийской конференции «Нейроинформатика–2006».

Материалы лекций связаны с рядом проблем, актуальных для современного этапа развития нейроинформатики, включая ее взаимодействие с другими научно-техническими областями.

Ответственный редактор
Ю. В. Тюменцев, кандидат технических наук

ISBN 5–7262–0635–5 © *Московский инженерно-физический институт
(государственный университет), 2006*

Содержание

<i>А. М. Иваницкий. Проблема «сознание и мозг» и искусственный ин-</i>	
теллект	74
Введение	75
Механизмы ощущений	76
Мышление	78
Декларативная память и внимание	80
Основные механизмы сознания	82
Физиология мозга и проблема искусственного интеллекта	83
Литература	86

А. М. ИВАНИЦКИЙ

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,
Москва

E-mail: alivanit@aha.ru

**ПРОБЛЕМА «СОЗНАНИЕ И МОЗГ» И ИСКУССТВЕННЫЙ
ИНТЕЛЛЕКТ**

Аннотация

В работе рассмотрены современные представления о мозговых механизмах сознания. Сознание возникает в результате сопоставления и синтеза в коре мозга сведений, поступающих из внешней среды, извлекаемых из памяти и приходящих из центров мотиваций. Информационный синтез в проекционной коре лежит в основе ощущений, в ассоциативной коре — в основе мышления и принятия решений. Синтез обеспечивается возвратом возбуждения к местам первоначальных проекций после опроса других структур мозга («повторный вход»). Обсуждаются вопросы сходства и различия мозга и искусственного интеллекта, в частности, ставится вопрос о том, что такое понимание, которым обладает мозг и которого нет у компьютера.

A. M. IVANITSKY

Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology,
Russian Academy of Sciences, Moscow

E-mail: alivanit@aha.ru

**“BRAIN AND CONSCIOUSNESS” PROBLEM AND ARTIFICIAL
INTELLIGENCE**

Abstract

Contemporary ways to study brain mechanisms of consciousness are discussed. An idea is offered that the conscious event emerges in result of a synthesis in the cortical areas for information messages coming via sensory systems, retrieved from memory and arriving from motivational centers. The informational synthesis in the projection cortex is a brain base for sensation and in the associative cortex — for thinking and decision making. This synthesis are provided with the mechanism returning nerve impulses to the sites of their primary projections (“re-entry”). The similarities and the differences between brain and artificial intelligence are also discussed, particularly a problem of comprehension, characteristic for brain, but not available for computers.

Введение

Говоря об изучении физиологических механизмов сознания, можно поставить вопрос, насколько правомерно объяснить движением нервных импульсов то, что мы ощущаем как цвет, звук, мысль или эмоцию. Субъективный мир — это внутреннее чувство каждого и задача науки о мозге — понять, какие нервные процессы приводят к его возникновению. Несмотря на видимую сложность, загадка «сознание и мозг» по своей методологической трудности не уникальна и стоит в ряду других тайн природы. По существу, возникновение нового качества происходит на каждом этапе принципиального усложнения природных процессов. Как пример такого качественного перехода *Ф. Крик* и *К. Кох* приводят возникновение жизни в результате некоторых особенностей цепочек ДНК и ферментных белков. Присущие живым объектам свойства не вытекают непосредственно из физической химии каждой из этих молекул. Этот пример кажется особенно убедительным в устах одного из первооткрывателей генетического кода.

В решении проблемы «сознание и мозг» можно выделить два основных подхода, которые не исключают, а взаимно дополняют друг друга. Первый из них — представление о том, что субъективный опыт возникает на основе поступательного распространения возбуждения от первичных зон коры к структурам более высокого уровня, к которым, в первую очередь, относится лобная кора. Она обладает тремя уникальными свойствами: способностью к оперированию абстрактными символами, запоминанию временной последовательности происходящих событий и наличием центров речи. Эти три качества могут быть непосредственно соотнесены с признаками сознания.

Второй подход основан на предположении, что субъективный опыт возникает в результате определенной организации процессов мозга и сопоставления в зонах коры вновь поступившей информации с той, которая извлечена из памяти. Благодаря этому информация о внешних событиях как бы проецируется на индивидуальный опыт субъекта, встраиваясь в личностный контекст. Данная гипотеза в настоящее время разделяется большим числом авторов. Впервые она была выдвинута нами в 1970-х годах в результате проведенных исследований мозговых механизмов ощущений.

Механизмы ощущений

В работе была поставлена задача сравнить количественные показатели физиологии и психологии, описывающие ответ на поступивший сигнал. Исследуемый решал задачу по различению интенсивности двух раздражителей. На предъявляемые стимулы записывалась электрическая активность мозга в виде так называемых вызванных потенциалов (ВП), то есть ответа мозга на сигнал от органов чувств. Для получения количественных параметров ощущений были использованы методы психофизики, то есть «науки о количественном соотношении души и тела», как определил эту науку ее основатель *К. Фехнер*. В данном случае были применены методы теории обнаружения сигнала, которая рассматривает восприятие как результат взаимодействия сенсорных и мотивационных факторов.

После получения соответствующих количественных показателей физиологии и психологии вычислялись корреляции между ними. Наиболее существенной была корреляция промежуточных волн ВП с обоими факторами восприятия: показателем сенсорной чувствительности d' и критерием решения. Эта двойная корреляция отражала синтез информации о физических и сигнальных свойствах стимула на нейронах проекционной коры. Пиковая латентность соответствующих волн ВП составляла около 150 мс.

Принципиально важно, что это время достаточно точно совпало со временем возникновения ощущений, полученным ранее в психофизических экспериментах. В основном, эти измерения были проведены с использованием феномена «обратной маскировки». Суть ее заключается в том, что, если после первого слабого стимула через короткий интервал следует второй, более сильный, первый стимул не воспринимается. Постепенно увеличивая промежуток времени между первым и маскирующим сигналом, можно найти интервал, при котором маскирующий эффект исчезает, так как ощущение на первый сигнал уже сформировано. Таким путем было установлено, что ощущение появляется примерно через 150 мс после действия стимула. Наиболее точные данные были, однако, получены в начале 1990-х годов, когда в качестве маскирующего сигнала была использована прямая стимуляция коры коротким магнитным импульсом, приложенным к поверхности кожи головы. Полученные здесь данные также показали цифры, близкие к приведенным выше. При этом существенно, что магнитный импульс вызывал маскирующий эффект только в том случае, когда он прикладывался к проекционной, в данном случае, зрительной коре, то есть только там, где наблюдалась описанная выше двойная корреляция волн ВП

с показателями восприятия. Все эти данные свидетельствовали о том, что ощущение возникает значительно позднее прихода сенсорных импульсов в кору и, следовательно, является результатом сложной организации нервных процессов, которая и была изучена в нашей работе.

Основываясь на данных о физиологическом генезе волн вызванного потенциала, нами был описан механизм, обеспечивающий информационный синтез. Он включал кольцевое движение возбуждения из проекционной коры в ассоциативную кору (височную для зрительных стимулов), затем в область гиппокампа, мотивационные центры гипоталамуса с последующим возвратом по системе диффузных проекций в кору, включая и зоны первичной проекции (рис. 1). Условно этот цикл был назван нами «кругом ощущений». Суть его в том, что он обеспечивает сравнение сенсорного сигнала со сведениями, извлеченными из памяти, что, как мы предполагаем, и лежит в основе перехода физиологического процесса на уровень психических, субъективно переживаемых явлений. Эти представления были обозначены как гипотеза информационного синтеза.

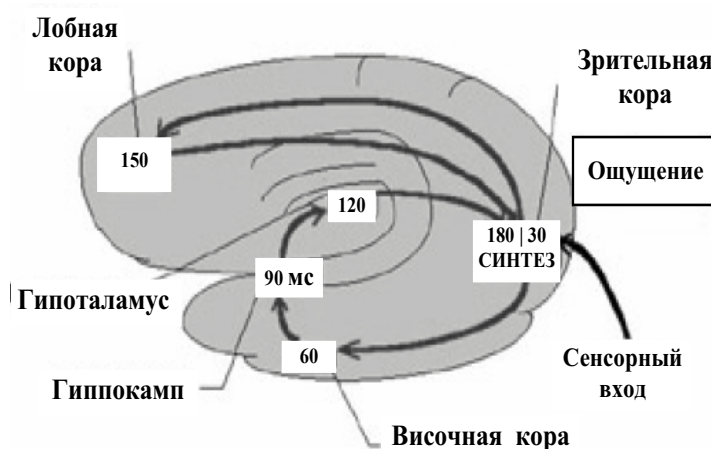


Рис. 1. «Круг ощущений»

Синтез информации о физических и сигнальных свойствах стимула на нейронах зрительной коры приводит к возникновению ощущения, которое затем опознается, категоризируется при участии лобной коры. Числа в рамках — время в миллисекундах после предъявления стимула.

За прошедшие 25 лет в литературе появилось много работ, подтверждающих эти мысли, включая как данные о топографии отделов мозга, входящих в «круг ощущений», так и использование самой идеи возврата возбуждения для объяснения механизмов сознания. Среди последних работ наиболее фундаментальны исследования Дж. Эдельмана, нобелевского лауреата за изучение структуры антител, который так же, как и Ф. Крик, а до него И. П. Павлов, после получения этой высшей научной награды стал заниматься проблемами сознания. Дж. Эдельман использовал термин «повторный вход (re-entering)». Созданная им нейробиологическая теория сознания и сам термин повторный вход получили достаточно широкое распространение. Повторный вход обеспечивает и интеграцию отдельных признаков стимула в единый образ. Ощущение относится к достаточно простым психическим феноменам, которые некоторые авторы относят к так называемому «первичному сознанию».

Мышление

Более сложные психические феномены, в первую очередь, связанные с появлением речи, относят к сознанию высшего порядка. По мнению П. В. Симонова, оно имеет коммуникативную природу и возникло в процессе общения между людьми. В исследовании более сложных функций мозга, таких как мышление, значительный вклад внесли также работы Н. П. Бехтеревой и ее школы.

Современные данные показывают, что кора высоко специализирована, и разные ее поля отвечают за различные когнитивные операции. Поэтому существенную роль в процессе мышления приобретают корковые связи. В исследовании связей велика роль русской нейрофизиологической школы. Ведущей идеей здесь является то, что возникновению связи способствует согласование ритмов работы нейронных ансамблей (А. А. Ухтомский, М. Н. Ливанов, В. С. Русинов). В наших работах по изучению мышления был применен новый метод картирования корковых связей, базирующийся на тех же идеях. В работе были использованы задачи на образное, пространственное и абстрактно-вербальное мышление. Главным результатом этих исследований было установление факта, что симметричный в покое рисунок связей при решении задачи изменялся: связи начинали сходиться к определенным полям коры. Возникающие в результате этого центры связей были обозначены как фокусы взаимодействия. Их топография была

различна при разных видах мышления. Так, при образном мышлении (опознании эмоций на фотографиях лица) фокусы локализовались в теменно-височной коре. При абстрактно-вербальном мышлении (на примере решения анаграмм или категоризации слов) они были расположены в лобной коре (рис. 2). При пространственном мышлении, включающем элементы как образного, так и абстрактного мышления, образование фокусов происходило в теменной и лобной коре.

В фокусе происходит синтез поступающей по связям информации, благодаря чему, как можно предполагать, и достигается решение. Тем самым

ОБРАЗНОЕ (опознание эмоций)



ВЕРБАЛЬНОЕ (решение анаграмм)



Рис. 2. Топография фокусов взаимодействия при двух видах мышления

На картах мозга интенсивностью окраски обозначены области коры, в зависимости от нормированного числа подходящих к ним связей. При образном мышлении фокусы расположены в теменно-височной, а при вербальном — в лобной коре. Центр восприятия речи в левой височной коре (зона Вернике) задействована в обоих случаях.

идея информационного синтеза была распространена и на процессы мышления. Различие заключается в том, что вместо двух информационных потоков при ощущении при мышлении их число значительно больше. Сюда относятся сигналы от органов чувств, из оперативной и долговременной памяти и, что очень важно, мотивация из мотивационных центров. Другое различие в том, что центры синтеза при мышлении находятся в ассоциативной, а не в проекционной, как при возникновении ощущений, коре. Интересно также, что при всех видах задач, даже в том случае, когда речевой ответ испытуемого не требовался, на последнем этапе решения фокусы возникали в речевой левой височной области, что свидетельствует о том, что вербализация является у человека важным компонентом мышления. В этом смысле можно говорить о конвергенции двух подходов к решению проблемы «сознание и мозг» — психическое возникает на основе определенной организации нервных процессов, которая захватывает и некоторые ключевые области лобной коры.

Декларативная память и внимание

Важным свойством сознания является способность к запоминанию и воспроизведению последовательности событий. В исследовании механизмов человеческой памяти в последние годы был достигнут значительный прогресс. Работами ряда отечественных и американских авторов была установлена важная роль гиппокампальных структур, расположенных в височных отделах полушарий, в оперативной памяти. Эти образования имеют обширные связи как между собой, так и с сенсорными и ассоциативными отделами коры (рис. 3). Считается, что при запоминании они направляют сигнал в ассоциативную кору для длительного хранения, а при воспроизведении указывают адрес, где хранится связанная с поступившим сигналом информация.

Гиппокампальный комплекс выполняет, таким образом, роль, сходную, в известной мере, с библиотечным каталогом, благодаря которому можно быстро найти нужную книгу. Различие между этими двумя основными структурами комплекса заключается в том, что энторинальная кора участвует в запоминании информации вне ее связи с контекстом, а гиппокамп играет важную роль в декларативной памяти, которая представляет собой осознаваемую память о событиях, сведения о которых могут быть переданы другим лицам. Для пояснения различия между семантической и деклара-

Долговременная память – ассоциативная кора:
лобная височная теменная

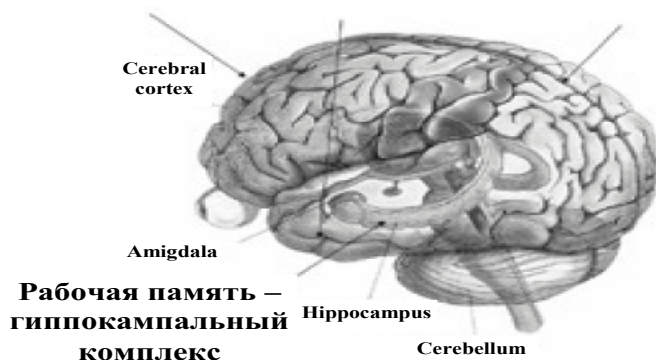


Рис. 3. Структуры мозга, связанные с функцией памяти

тивной памятью можно привести простой пример. Предположим, что вы встречаете человека, лицо которого вам знакомо, но вы не помните, кто он. Это узнавание, связанное с семантической памятью. В случае декларативной памяти вы знаете, кто это, и при каких обстоятельствах вы с ним познакомились.

Наряду с гиппокампом, важную роль в запоминании последовательности событий играет и лобная кора. Там находятся группы нейронов, способные сохранять след от действовавшего сигнала до того момента, когда необходимо дать поведенческий ответ на него (*П. Гольдман-Ракич*).

Сознание также тесно связано со вниманием: осознается только то, на что обращается внимание. Нашими исследованиями было показано, что память играет важную роль и в механизмах избирательного вербального внимания, когда человек должен воспринимать и реагировать лишь на определенный класс сигналов, выделяя их из массы других. Способность к этому иногда называют «эффектом коктейль-парти», когда человек должен поддерживать диалог с собеседником, выделяя его речь и других разговоров и других звуков. В работе использовалась запись вызванных потенциалов мозга на слова, одновременно предъявлявшиеся на экране монитора и звучавшие из компьютерных колонок. Задача испытуемого состояла в необходимости запомнить как можно больше слов, поступавших по одному

из каналов, игнорируя другие. Запоминание и извлечение вербальной информации имеет определенное электрофизиологическое выражение в виде «когнитивных» компонентов вызванного потенциала с латентностью от 400 до 700 мс. Было установлено, что ВП на игнорируемый сигнал характеризовался сдвигом потенциала, обратным по полярности тому, который имеет место при запоминании, что свидетельствовало об активном торможении процессов памяти. Это дает возможность считать, что избирательность внимания обеспечивается тем, что ненужная информация воспринимается, и человек слышит и видит слово, но затем имеет место блокада передачи сведений на структуры гиппокампа, вследствие чего ненужная информация не сохраняется в декларативной памяти и вытесняется из сознания.

Основные механизмы сознания

Подведем итог представлениям о возможных механизмах сознания:

1. Возврат возбуждения и сравнение новой информации с памятью — фундаментальный принцип организации процессов мозга, лежащих в основе субъективного опыта. Его специфика определяется топографией центров синтеза.
2. Синтез информации в проекционной коре лежит в основе ощущений, в ассоциативной коре — в основе мышления и поиска решений.
3. Лобная кора ответственна за абстракцию и речь. Вместе с височной корой она осуществляет объединение существительного и глагола, что образует элементарную единицу вербального мышления.
4. Гиппокамп вместе с лобной корой обеспечивает сохранение в памяти последовательности событий и избирательность внимания.

Общим для всего перечисленного является участие в механизмах сознания памяти. Постоянное сопоставление вновь поступившей информации с памятью определяет содержание сознания как постоянную корректировку личного опыта, того, что можно определить как чувство внутреннего «я».

Решение проблемы о происхождении сознания и его связи с мозгом — одна из важнейших проблем современной науки. Оно необходимо для создания непротиворечивой картины мироздания, которая бы объединяла естественно-научное и гуманитарное знание. Не менее существенно оно и для практики: организации труда и отдыха, образования и воспитания. Особое значение имеет проблема для медицины.

Скажем и о некоторых следствиях из наших знаний о природе сознания, которые носят более общий характер. Сознание человека формируется в течение жизни индивидуума. В центре сознания находится ощущение своего «я» как хозяина и распорядителя своих действий. Чувство свободы поэтому изначально, его неоправленное ограничение деформирует сознание. Разумным ограничением свободы каждого является требование не нарушать свободу других людей. Это основная нравственная заповедь, которая, в отличие от первичного чувства свободы, должна быть предметом воспитания. Сознание не только отражает бытие, оно обладает и способностью к прогнозу, формируя бытие будущего. Опираясь на знания, мы можем и должны создавать общество будущего, в котором принципы общественного устройства находились бы в гармонии с базисными свойствами сознания человека.

Физиология мозга и проблема искусственного интеллекта

Встает вопрос, в какой мере знания о механизмах мышления и сознания человека могут быть использованы при создании искусственного интеллекта. Ведь, в принципе, создание искусственного разума возможно и без использования принципов работы мозга, как, например, конструкция автомобиля не имитирует естественные методы передвижения человека в виде ходьбы или бега. Есть, однако, причина, по которой использование принципов работы мозга может оказаться полезным. Дело в том, что мозг по многим важным параметрам превосходит искусственные вычислительные устройства: он более надежен, экономичен и легко обучаем. Можно предполагать, что простое усовершенствование уже имеющихся искусственных систем не может, очевидно, достичь поставленных целей, так как принципы работы мозга во многом отличаются от тех, на которых построен современный компьютер. Мозг отличается от компьютера тем, что он не имеет центрального процессора, который в компьютере оперирует четкими сигналами и который обрабатывает эти сигналы по заданным программам. Напротив, мозг получает, как правило, недостаточно определенные сигналы, оценка которых во многом зависит от контекста, и сам создает программы в результате обучения. Наряду с жесткими связями, мозг использует и гибкие связи, которые образуются на основе синхронизации ритмов деятельности нейронных ансамблей. Благодаря этому, мозг осуществляет эффективный поиск хранящейся в памяти информации, актуальной для выполнения

определенной функции. Этот поиск включает в себя и элементы эвристики, неожиданных, но полезных решений.

Надежность мозга при наличии таких, в общем, несовершенных систем анализа сигналов обеспечивается их многократным дублированием. Важной находкой эволюции является также принцип возврата информации к местам первоначальных проекций. Благодаря этому новая информация в мозге постоянно сопоставляется с той, которая хранится в памяти. При мышлении механизм информационного синтеза получает наибольшее развитие. Как уже говорилось, при этом в коре возникают центры связей — фокусы взаимодействия, принимающие информацию из других отделов мозга и осуществляющие ее синтез. Данное положение важно с той точки зрения, что оно указывает на существенный и не неиспользуемый в большинстве искусственных нейросетей прием: нейронные сети мозга не гомогенны, а построены по иерархическому принципу.

Высшие функции мозга возникают, таким образом, на основе высокой степени интеграции специализированных звеньев в единую систему. Эта система представляет собой более высокий уровень организации и обладает поэтому иной логикой и закономерностями саморазвития. Эти законы могут в порядке нисходящей детерминации влиять на протекание процессов, входящих в состав системы и образующих ее. Так логика и грамматика речи могут управлять движением нервных импульсов, управляющих артикуляцией. По мысли философа *Д. И. Дубровского*, отсутствие такой нисходящей детерминации от общего к частному является существенным отличием компьютера от живого мозга. По существу, видением общей задачи вычислением обладает лишь программист, но не центральный процессор.

Перейдем к, может быть, самому таинственному отличию мозга от компьютера. По мнению английского математика и физика *Р. Пенроуза*, сознание не может быть сведено к вычислениям, так как живой мозг отличается от компьютера тем, что обладает способностью к пониманию. На вопрос, что такое понимание и каковы его мозговые механизмы, ответ должен дать физиолог. Почему же животное, например кошка, понимает, а компьютер — совершенное создание высокого интеллекта — нет. Представляется, что понимание возникает в результате подкрепления, то есть на основе такого фундаментального принципа работы мозга, как условный рефлекс, который связывает внешний стимул и ответные действия субъекта с удовлетворением определенной потребности. Понимание, таким образом, имеет глубокие эволюционные корни и высокий жизненный смысл. В естественных условиях животное научается производить определенные действия, чтобы

удовлетворить ту или иную потребность, то есть начинает понимать связь внешних событий, своего поведения и достижение желаемого результата. На этом же основана и дрессировка: чтобы научить собаку выполнять, то есть понимать, определенные команды, дрессировщик использует подкрепление в виде пищи или наказания. По существу, все это изначально относится и к человеку. Так, хороший работник имеет более высокую зарплату, а нерадивого работника штрафуют, герой получает награду, а преступника сажают в тюрьму, чтобы он понял, что нельзя нарушать закон. Но это, конечно, крайние случаи. Практически же все поведение основано на тех же принципах.

Для обоснования своих взглядов *Р. Пенроуз* использует теорему Гёделя о том, что нельзя доказать вычислением правильность основных действий арифметики, например, что $1+1=2$. Но живое существо в этом убеждается, когда получает два банана, двух врагов или двух жен, добавляя в результате тех или иных действий к первому объекту (или субъекту) второй (или вторую). При этом понимание сущности удвоения (или сложения вообще) возникает в эволюции раньше, чем умение считать. Описан, например, случай, когда коренной житель севера не знал, сколько у него оленей, но легко мог перечислить каждого из них по их признакам. Ребенок также может перебрать в памяти всех окружающих его людей или свои игрушки, хотя еще не знает счета.

Подкрепление показывает, является ли поведение верным или ошибочным. В стохастической машине, какой является мозг, такое указание может быть решающим фактором. При этом собственно информационная составляющая в виде вычислений и показатель ее правильности, как правило, поступают по разным каналам и являются, в известной степени, ортогональными. Два компонента «понимания» могут быть представлены сенсорным сигналом и импульсами из мотивационных центров, которые, как говорилось выше, необходимо присутствуют при переходе чисто физиологического процесса в его психический эквивалент. Импульсы из центров мотивации первично непосредственно сигнализируют об удовлетворении потребности. Впоследствии они также могут быть включать систему вычислений, которая оценивает успешность продвижения к цели и выдает команду, когда достигается приемлемая в данной ситуации вероятность получения полезного результата. При этом мотивационная составляющая выступает как аксиома и завершает вычисления. Аксиоматичность подкрепления базируется на знаковой оценке полезности или вреда, которая воспринимается как не требующие доказательств. Мозг вынужден действо-

вать по методу проб и ошибок и учиться на них, так как реальные жизненные условия настолько сложны, что их практически невозможно просчитать до конца. Связь понимания с мотивацией подчеркивается и самой этимологией слова «понимание», которое происходит от корня «иметь». То же мы имеем и в английском языке: понимание (comprehension) родственно слову prehension — завладение.

Сказанное выше, конечно, является далеко не полным. Мы еще многое не знаем о работе мозга, и особенно о том, что лежит в основе его высших функций и человеческого сознания. Тем не менее, прогресс в этой области в последние годы достаточно очевиден. Оптимистичны и те рекомендации, которые наука о мозге может дать создателям искусственного интеллекта. И мозг, и компьютер находятся в физическом мире и подчиняются его законам. Никакой из перечисленных выше принципов работы мозга не выходит за эти рамки и может быть воспроизведен и усовершенствован в устройствах, созданных человеком.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 05-06-06-215а), программы Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине» и программы ОБН РАН «Интегративные механизмы регуляции функций и организмов».

Литература

1. *Иваницкий А. М., Стрелец В. Б., Корсаков И. А.* Информационные процессы мозга и психическая деятельность. — М.: Наука, 1984. — 200 с.
2. *Иваницкий А. М.* Главная загадка природы: как на основе процессов мозга возникают субъективные переживания // *Психологический журнал*. — 1999, т. 20, вып. 3. — с. 93–104.
3. *Ливанов М. Н.* Пространственная организация процессов головного мозга. — М.: Наука, 1972. — 181 с.
4. *Пенроуз Р.* Тени разума. В поисках науки о сознании. Часть 1. Понимание разума и новая физика. — М.-Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2003. — 368 с.
5. *Симонов П. В.* Лекции о работе головного мозга: Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности. — М.: Наука, 2001. — 96 с.
6. *Edelman G. M., Tononi G.* Consciousness: How matter becomes imagination. — London: Pinguin Books, 2000. — 274 pp.

7. *Ivanitsky A. M., Nikolaev A. R., Ivanitsky G. A.* Cortical connectivity during word association search // *Int. J. Psychophysiol.* – 2001. – Vol. 42, No. 1. – pp. 35–53.
8. *Mishkin M., Suzuki W., Gadian D. G., Varha-Khadem F.* Hierarchical organization of cognitive memory // *Phi. Trans. R. Soc. Lond. B.* – 1997. – v. 352. – pp. 1461–1467.
9. *Posner M. I., Raichle M., E.* Images of Mind. – New York: Scientific American Library, 1997. – 255 pp.

Алексей Михайлович ИВАНИЦКИЙ, член-корреспондент РАН, профессор, доктор медицинских наук. Заведующий Лабораторией высшей нервной деятельности человека Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.