

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НЕЙРОИНФОРМАТИКИ  
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

---

–2009

## НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2009

XI

-

По материалам Школы-семинара  
«Современные проблемы нейроинформатики»

Москва 2009

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

–2009. XI  
«  
–2009»:  
. – М.: МИФИ, 2009. – 280 с.

В книге публикуются тексты лекций, прочитанных на Школе-семинаре «Современные проблемы нейроинформатики», проходившей 27–30 января 2009 года в МИФИ в рамках XI Всероссийской конференции «Нейроинформатика–2009».

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 978–5–7262–1053–7 © *Московский инженерно-физический институт  
(государственный университет), 2009*

<i><b>В. Я. Сергин.</b></i>	:	-	
			35
Введение . . . . .			36
Автоотождествление как ключевой механизм осознания . . . . .			39
Временные характеристики процесса осознания . . . . .			43
Психофизиологические данные . . . . .			47
Частотные и пространственные характеристики . . . . .			49
Организация процессов сознательного восприятия . . . . .			54
Некоторые свойства сознательного восприятия . . . . .			57
Заключение . . . . .			61
Литература . . . . .			62

Институт математических проблем биологии РАН,  
г. Пущино, Московской обл.  
E-mail: v.sergin@mail.ru

Какой вид координированной нейронной активности мозга может породить психически переживаемый феномен осознания? Убедительного ответа на этот вопрос пока еще нет, хотя он является ключевым для понимания любых форм сознания. В статье постулируется специальный вид координированной нейронной активности, который формирует процесс автоотождествления сигналов. Процесс автоотождествления состоит в передаче специфического паттерна возбуждения, порождаемого стимулом в нескольких областях коры головного мозга, опять на нейроны этих областей через массиванно-параллельные обратные связи. Совпадающие (тождественные) паттерны возбуждения — порождаемый стимулом и передаваемый по обратным связям — складываются на одних и тех же нейронных структурах, вызывая их интенсивную разрядку. Этот циклический процесс взрывообразно увеличивает интенсивность отображения стимула, что акцентирует его специфичность и создает наилучшие условия категоризации стимула распределенной долговременной памятью. Результат категоризации — ощущение, символ или образ — физиологически выражается специфическим паттерном нейронной активности, который также включается в цикл автоотождествления, обеспечивая интенсивное отображение субъективного смысла стимула. Отображение стимула в сенсорных категориях означает, что процесс восприятия переходит с физиологического (объективного) на психический (субъективный) уровень.

V. Ya. SERGIN  
Institute of Mathematical Problems of Biology RAS,  
Pushchino, the Moscow Region  
E-mail: v.sergin@mail.ru

NEURONAL MECHANISMS OF CONSCIOUS PERCEPTION:  
HYPOTHESIS OF AUTO-IDENTIFICATION

Abstract

What kind of coordinated neuronal activity of the brain is likely to produce the mentally experienced phenomenon of awareness? There is no conclusive answer to this question, though it is a key to the understanding of any form of consciousness. This paper introduces the notion of a special kind of coordinated neuronal activity, which achieves the process of signal auto-identification. The process of auto-identification consists of the relay of a specific pattern of excitation produced by a stimulus in one or several cortical areas, back to neurones of these cortical areas through massively parallel feedback. The coinciding (identical) patterns of excitation produced by the stimulus and by relay through back projections add together on the same neuronal structures thus making them fire vigorously. This cyclic process accentuates the specificity and enhances the mapping of the stimulus in terms of signal intensity, thus providing the best conditions for stimulus categorisation by distributed long-term memory. The result of categorisation, a symbol or image, is expressed physiologically by a pattern of neuronal activity, which is also included in the cycle of auto-identification, thus providing for mapping of the subjective meaning of the sensory features of the stimulus. Such mapping of the stimulus means that the process of perception passes from the physiological (objective) to the mental (subjective) level.

Один из крупнейших нейрофизиологов XX столетия, *Чарльз Шеррингтон* [1], следующим образом описал проблему сознания и ее необъяснимость с научной точки зрения. «Когда я поднимаю глаза вверх, то вижу купол неба, сверкающий на нем диск солнца и сотни предметов под ним. Что создает эту картину? Солнечный луч попадает в глаз, фокусируется на сетчатке и вызывает изменения, которые распространяются по нервным уровням мозга. Все шаги этой цепочки, от солнца до верхних уровней мозга, являются физическими событиями. Каждый шаг — это электрическая реакция. Но затем происходят изменения, которые абсолютно не похожи на то, что при-

вело к ним, и эти изменения нам не понятны. В мозге возникает зрительная сцена: купол неба, солнце на нем и сотни других зрительных вещей».

Комментируя это высказывание, *Эделмен* и *Тонони* [2] замечают, что независимо от точности описания физических процессов, трудно себе представить как мир субъективного опыта возникает из понятных физических явлений. Специфические качества субъективного опыта или “*quale*”, такие как цвет, теплота, боль, громкий звук, остались вне научного объяснения. Понять, как порождаются первичные субъективные качества (*qualia*), — это и есть центральная проблема сознательного опыта.

Действительно, рецепторы сенсорных систем регистрируют световую или звуковую энергию, давление, движение и другие физические или химические воздействия и более ничего. Цвет, запах, прикосновение, теплое, кислое, соленое — все это биологические интерпретации физических и химических воздействий, обладающие адаптивной ценностью и основанные на эволюционном и прижизненном опыте организма. Биологические интерпретации (сенсорные и моторные категории) выражают специфические характеристики взаимодействия организма с предметным миром: твердый, мягкий, жидкий, сухой, липкий, острый, темный, светлый, близкий, далекий, горький, сладкий и т. п. Эти категории выражают субъективные переживания *qualia* (психические качества), которые формируют содержательный аспект восприятия.

Отбор сенсорных признаков сколь угодно сложного физического события начинается на уровне рецепторов и завершается ощущением, образом или простым символьным отображением в коре головного мозга. Например, динамика пакета электромагнитных волн определенного спектра частот представляет собой чрезвычайно сложный физический процесс, тем не менее, он воспринимается просто как световая вспышка определенного цвета. Цвет является обобщенной характеристикой спектрального состава потока электромагнитных волн. Тепло и холод, ощущаемые организмом, являются простыми отображениями термодинамического состояния среды, объекта или собственного тела.

Простые субъективные характеристики сложных физических явлений окружающего мира обладают высокой адаптивной ценностью, поскольку позволяют организму быстро и адекватно реагировать на события в окружающей среде. Способность биологических структур порождать субъективные качества (психические феномены) возникла в процессе эволюции и закрепилась естественным отбором в силу высокой эффективности такого способа отображения окружающего мира.

В феномене субъективного восприятия окружающего мира загадкой являются не сенсорные характеристики сами по себе. Красное или зеленое, свет или тьму могут отображать фотодиоды, а температуру тела или среды измеряют термометры. Простые (обобщенные) характеристики сложных явлений формируются вполне понятными физическими процессами. Способность организма отображать события окружающей среды и отвечать на них адекватной моторной активностью также складывается из понятных физических процессов [3]. Загадочной является наша способность ощущать физические события окружающего мира.

Фотодиод, термометр или датчик давления могут отображать обобщенные физические характеристики, но нужен человек, чтобы увидеть эти отображения. Если физические характеристики отображаются специфической нейронной активностью в коре головного мозга, то кто смотрит на эти отображения? Каким образом объективно регистрируемая нейронная активность мозга порождает субъективные психические качества? Как мы ощущаем, осязаем, слышим или видим окружающий мир, представленный физическими событиями?

Несмотря на более чем столетнюю историю научного изучения сознания, существует совсем немного идей, которые предлагались для объяснения нейронных механизмов сознания. В современных концептуальных работах легко заметить доминирующую идею о решающей роли обратных связей или повторного входа сигналов в механизмах, порождающих феномен осознания. В зависимости от предполагаемого механизма осознания функциональная роль обратных связей оказывается различной. Высказываются представления о том, что осознание возникает как результат: синтеза сенсорной и хранящейся в памяти информации [4, 5], текущего ассоциативного воспоминания — «вспоминаемое настоящее» [6, 7], самореферентного процесса [8], сравнения прогнозируемого и действительного сенсорного входа [9], «адаптивного резонанса» поступающих и ожидаемых данных [10] и других процессов, которые реализуются посредством обратных связей.

Высказываются также идеи о важности интенсивной синхронной разрядки нейронов, доминирующей роли новой коры и важности многоуровневой, явной, символической интерпретации сенсорных данных для их осознания [11, 12]. *Эделмен и Тонони* [2] предложили гипотезу «динамического ядра», активность которого является нейронным субстратом сознания. Идея о том, что интенсивная синхронная разрядка нейронов, формирующая поля высокой активности коры, играет важную роль в порождении феноменов

сознания имеет глубокие корни в физиологии [13–16] и подтверждается экспериментальными данными [17, 18 и др.].

Перечисленные гипотезы имеют серьезные экспериментальные основания и соответствующие процессы вполне могут участвовать в механизмах осознания. Однако, нельзя отрицать тот факт, что процессы синтеза информации, ассоциативного воспоминания, сравнения данных, связывания характеристик стимула или интенсивной синхронной разрядки нейронов имеют место и во многих других видах координированной нейронной активности мозга, лежащих в основе поведения и когнитивной деятельности. Эти процессы кажутся все-таки недостаточно специфичными для объяснения уникального феномена осознания. Остается неясным ключевой и наиболее таинственный аспект проблемы: каким образом координированная нейронная активность мозга (физиологический процесс) порождает феномен осознания (психический процесс)?

Существует еще один вопрос, важный в экспериментальном плане. Предполагается, что функционирование систем с обратными связями имеет циклический характер и охватывает обширные области коры головного мозга. Тогда как эти циклические процессы, лежащие в основе механизмов осознания, связаны с электрической активностью мозга? Проявляются ли они в низкочастотной электрической активности в тета- или альфа-диапазонах, как это следует из работ [6, 7, 9, 19, 20 и др.], или они соответствуют высоким частотам бета и гамма диапазонов [12, 21 и др.]?

Целью этой работы является рассмотрение природы и механизмов осознания сенсорных событий [22–25]. Более сложные функции сознательной деятельности мозга [22, 26, 27] здесь не рассматриваются. Описать сущность или дать точное определение осознания до того, как станут известны порождающие их психофизиологические механизмы, вероятно, невозможно. Поэтому, к этой проблеме мы вернемся в конце работы. А пока, следуя *Эдельмену* и *Тонони* [2], будем считать сознанием то замечательное свойство мозга, которое мы теряем, засыпая, и обретаем вновь, когда просыпаемся.

В качестве исходной посылки примем представления, существующие в повседневной медицинской практике, которая отражает наиболее разносторонний и богатый опыт наблюдения за возникновением и исчезновением

сознания у пациентов. В медицинской практике критерием сознательного состояния пациента является его способность отвечать на вопросы врача о своем состоянии и об окружающей обстановке. То есть критерием сознательного состояния субъекта является его способность сообщить свое знание другому [28]. Но чтобы передать свое знание другому, необходимо сначала представить его себе. Тогда представление собственного знания самому себе, возможно, лежит в основе процесса осознания, поскольку временная потеря речевых функций (например, в результате инсульта) не препятствует осознанию внешних и внутренних событий.

Что значит представить собственное знание самому себе? Пока знание хранится в долговременной памяти, оно существует в неявной форме. Неявное знание, это знание существующее, но не явленное, не представленное себе. Извлеченное из памяти знание, представленное себе подобно внешним данным, становится явным. Тогда механизм представления знания в явной форме может лежать в основе процесса осознания.

Действительно, способность осуществлять явное внутреннее представление как внешних объектов, так и конструируемых внутри образов, является наиболее ярким и специфическим свойством сознания. Функционирование сознания всегда связано с явными представлениями образов, символов, звуков, запахов, прикосновений и т. п., и неотделимо от них. Никакая сознательная деятельность мозга невозможна без явного представления данных, которое, вероятно, является ключевым процессом осознания.

Если все это действительно так, то какой нейробиологический механизм может осуществлять явное представление данных и, тем самым, порождать психически переживаемый феномен их осознания? Как известно, в процессе восприятия стимул порождает в нескольких областях коры головного мозга специфическое распределение нейронной активности. Можно предположить, что специфический паттерн возбуждения выходных нейронов передается на входные нейроны тех же областей коры через автономные обратные связи (рис. 1).

Совпадающие (тождественные) паттерны возбуждения — порождаемый стимулом и передаваемый по обратным связям — складываются на одних и тех же нейронных структурах, вызывая когерентную разрядку все большего числа нейронов и увеличивая интенсивность возбуждения этих структур. Такой циклический процесс с положительной обратной связью взрывообразно увеличивает интенсивность специфического паттерна возбуждения. Кроме того, интенсивное возбуждение может вызывать динамическое торможение окружающих нейронных структур [29], что дополнительно спо-

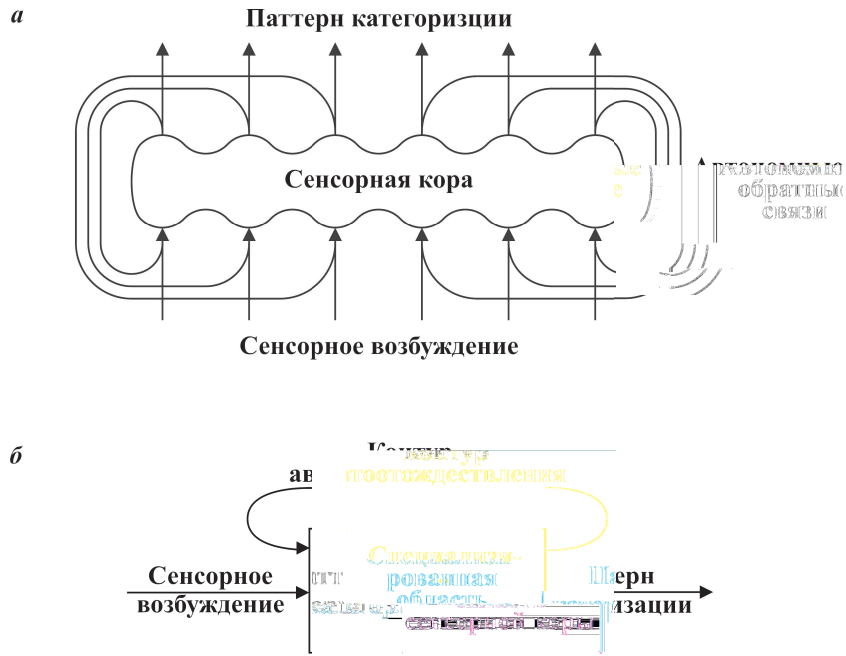


Рис. 1. Локальная схема процесса автоотождествления (а) и его упрощенное представление (б). Связи с другими областями коры и подкорковыми структурами не показаны

способствует выделению специфического паттерна из фона. Специфичность пространственного возбуждения коры акцентирует специфические характеристики стимула, обеспечивая его адекватное отображение.

Механизм увеличения заметности значимых сигналов, посредством усиления их интенсивности, и запоминания, посредством циркуляции специфического возбуждения по замкнутому контуру, мог возникнуть в ходе эволюции как адаптивное приспособление. Этот механизм мог избирательно увеличивать интенсивность отображения витально значимых событий, опасных или полезных для жизнедеятельности организма. Адаптивная ценность этого механизма могла сделать его объектом эволюционного отбора и привести к расширению набора физических и семантических характеристик сигналов, подлежащих интенсивному отображению. В итоге такого

эволюционного процесса мог сформироваться высоко избирательный аппарат интенсивного когерентного отображения адаптивно значимых сенсорных событий.

Заметим, что специфический паттерн электрической активности, передаваемый через автономные обратные связи, не является повторным входом сенсорного возбуждения. Этот паттерн электрической активности — паттерн категоризации — порождается нейронными структурами коры в ответ на сенсорное возбуждение и выражает биологическую интерпретацию стимула. Паттерн категоризации отображает внутреннюю информацию, накопленную организмом в процессах эволюционного отбора и прижизненного обучения.

Сенсорная категория (внутреннее знание) отображается выходным паттерном электрической активности нейронной структуры коры и, посредством автономных обратных связей, передается на ее вход. Отображение сенсорных категорий, хранящихся в памяти, паттернами входной нейронной активности коры, то есть функционально так же, как отображаются внешние сигналы, есть представление внутренних данных в явной форме. Явное представление внутренних данных позволяет аппарату восприятия производить их оценку и отвечать поведенческой активностью точно так же, как это делается в ответ на внешние сигналы.

Отображение сенсорных категорий паттернами входной нейронной активности коры есть представление внутренних данных самому себе в качестве элементов отображения внешнего мира. В результате внешний мир оказывается представленным субъекту в сенсорных категориях (свет, звуки, запахи и т. п.), что является наиболее специфическим переживанием сенсорного осознания. Возникает зрительная сцена: «... купол неба, солнце на нем и сотни других зрительных вещей», о чем писал *Ч. Шеррингтон* [1].

Следует подчеркнуть, что осознается не сенсорное возбуждение, а сенсорные характеристики, которые порождаются нейронной структурой коры в ответ на сенсорное возбуждение. Сенсорные характеристики — это внутреннее знание, которое содержится в памяти, а процесс автоотождествления является способом представления внутреннего знания в явной форме. Это значит, что внешнее событие сначала должно быть воспринято, то есть представлено в сенсорных категориях, прежде чем мозг сможет осознать его. Но тогда, явное представление внешних и внутренних событий должно осуществляться совершенно одинаковым способом. Механизм автоотождествления оказывается универсальным аппаратом осознания сигналов, как

порождаемых сенсорным входом, так и генерируемых самим мозгом.

Сенсорное возбуждение не будет замечено, если нейронная структура коры не отвечает избирательно на это возбуждение. Нейронная структура коры отвечает с максимальной интенсивностью, если на ее вход поступает специфический паттерн сенсорного возбуждения, совпадающий с одним из паттернов категоризации, который обучена генерировать эта структура. Если сенсорное возбуждение содержит хотя бы некоторые компоненты такого специфического паттерна, нейронная структура может отвечать активностью, приблизительно соответствующей паттерну категоризации. Совпадающие компоненты возбуждения, порождаемого сенсорным входом и передаваемого по обратным связям, складываются, вызывая ответ нейронной структуры, более точно соответствующий паттерну категоризации специфического стимула. Такой итерационный процесс может асимптотически сходиться к паттерну категоризации, который соответствует интенсивному ответу нейронной структуры.

Заметим, что механизм автоотождествления отбирает из входного возбуждения, посредством итерационной процедуры, такой специфический паттерн, на который нейронная структура отвечает наиболее высокой активностью. В результате, данное сенсорное возбуждение интерпретируется наилучшим вариантом сенсорной категории (сенсорной характеристики), которой располагает долговременная память. Это значит, что в процессе восприятия доминирует прошлый опыт, который делает возможной адекватную биологическую интерпретацию сенсорного события даже в условиях помех или по частичным сенсорным данным. Но, с другой стороны, это значит, что мы воспринимаем скорее то, что знаем, чем то, что могут регистрировать рецепторные органы.

Существует ли механизм автоотождествления в действительности? Если этот циклический механизм действительно существует, то его функционирование должно порождать вполне определенные и предсказуемые свойства процесса осознания. Тогда сопоставление теоретически предсказанных и экспериментально установленных свойств сознательного восприятия позволит подтвердить или опровергнуть существование механизма автоотождествления.

Процесс автоотождествления реализуется вследствие совпадения (в ос-

новых чертах) паттерна обратной связи с паттерном сенсорного возбуждения коры. Такое совпадение возможно, если за время циркуляции выходного возбуждения по автономным обратным связям не произойдет изменения сенсорного возбуждения. Тогда паттерны сенсорного возбуждения и обратной связи складываются, порождая интенсивное отображение специфических характеристик стимула. Если входное возбуждение изменится, то запаздывающий паттерн обратной связи не будет совпадать с текущим паттерном сенсорного возбуждения коры, что сделает невозможным интенсивное отображение специфических характеристик стимула и, следовательно, его осознание. Такое свойство механизма автоотождествления позволяет сделать предсказания, доступные экспериментальной проверке.

Например, если две короткие последовательные вспышки разного цвета следуют непосредственно одна за другой, то паттерн обратной связи, порожденный первой вспышкой, будет накладываться на паттерн сенсорного возбуждения коры от второй вспышки. Тогда результирующее распределение входной активности коры должно соответствовать смеси цветов первой и второй вспышек. Следовательно, осознание последовательных вспышек разного цвета оказывается невозможным. Вместо двух последовательных вспышек разного цвета в сознании субъекта должна возникать единственная размытая вспышка смешанного цвета, которой в действительности нет.

Для осознания двух последовательных вспышек разного цвета необходимо, чтобы длительность каждой вспышки превышала время циркуляции возбуждения по замкнутому контуру. В этом случае паттерн обратной связи, порождаемый вспышкой, будет накладываться на паттерн входного возбуждения этой же вспышки, что делает возможным процесс автоотождествления и осознание вспышки.

Эксперименты с дискретными последовательностями сигналов проводились многими исследователями. Например, экспериментально установлено, что две последовательные вспышки красного и зеленого цвета, длительностью по 20 мс каждая, воспринимаются субъектом как единственная вспышка желтого цвета, что соответствует смеси красного и зеленого [30]. Увеличение их длительности до 60–70 мс приводит к последовательному восприятию красной и зеленой вспышек.

Таким образом, из механизма автоотождествления следует, что для осознания произвольной дискретной последовательности сигналов необходимо, чтобы время цикла было меньше длительности сигналов или разделяющих их интервалов. Для осознания непрерывного во времени сигнала необходимо, чтобы его изменение или перемещение за время цикла не пре-

вышало некоторую пороговую величину, обеспечивающую реализуемость процесса автоотождествления. Это требование будто бы не противоречит известным фактам. Например, человек легко отслеживает движение светящейся точки, но если скорость движения превышает некоторую пороговую величину, то он видит светящуюся линию, которой в действительности нет.

Можно дать количественную оценку вероятной длительности цикла автоотождествления, исходя из требований адаптации организма к условиям окружающей среды. Из постулируемого механизма следует, что любой сигнал должен пройти, по крайней мере, один цикл автоотождествления, чтобы мозг мог осознать его. Тогда время цикла должно быть меньше характерных временных интервалов изменений в окружающей среде, существенных для выживания организма. В противном случае, важные изменения в окружающей обстановке будут происходить, а их осознание не будет успевать за событиями. Витально значимые события, такие как быстрые движения животных, погоня, прыжки, удары лапой, а также время оборонительной реакции, характеризуются спектрами, высокочастотные компоненты которых имеют периоды около 0.1 с. Измеренные спектры турбулентности в приземном слое атмосферы, связанные с вихрями и ливнями, колебаниями веток деревьев, кустарников, травы и другими вариациями окружающей среды, имеют резкий спад около 0.1 с. Время цикла — это период квантования непрерывного сигнала. Представление непрерывного сигнала дискретной выборкой требует, по крайней мере, двух отсчетов за период самой высокочастотной компоненты спектра непрерывного сигнала. Тогда период квантования должен быть меньше или приблизительно равен 50 мс, что является теоретической оценкой времени цикла автоотождествления.

Автоотождествление осуществляется за время циркуляции сигнала по замкнутому контуру и его результатом является единичное событие — осознание сигнала. Следовательно, механизм автоотождествления порождает дискретные события с интервалом дискретности равным времени цикла. В таком аппарате осознания время цикла является минимально различимым временем. Поэтому последовательные сигналы, попадающие внутрь одного цикла, должны восприниматься на психическом уровне как одновременные. Сигналы, попадающие в разные циклы, должны восприниматься как последовательные во времени. Следовательно, теоретически необходимо существование временного порога различения последовательных событий, величина которого совпадает с временем цикла автоотождествления. Этот временной порог не должен сильно зависеть от модальности сигналов, поскольку порождается универсальным механизмом.

Порог различения последовательных стимулов был экспериментально установлен еще в 60-е годы минувшего века. Он оказался приблизительно одинаковым для слуховой, зрительной и тактильной модальностей, а также для чередующихся стимулов разных модальностей и составляет около 60 мс [31–33], что близко к теоретической оценке времени цикла. Если порог различения последовательных событий порождается временем циркуляции возбуждения в нейронных структурах, то он должен изменяться под влиянием тренировки как и любой физиологический процесс. «Поразительный эффект обучения» [33] обнаружен в самом деле. У тренированных субъектов порог различения последовательных стимулов уменьшается до 15–20 мс для слуховой, зрительной, тактильной и чередующихся модальностей [31]. Приблизительное равенство порогов различения для разных модальностей, а также их одинаковые изменения под влиянием тренировки, несмотря на кардинальные анатомические и физиологические различия соответствующих перцептивных органов, свидетельствуют об универсальности механизма, порождающего порог. Таким образом, как качественные, так и количественные характеристики временного порога различения сигналов хорошо соответствуют теоретическим предсказаниям, следующим из механизма автоотождествления.

Несмотря на то, что временное разрешение перцептивных событий в процессе осознания ограничено длительностью цикла, подпороговая (неосознаваемая) временная структура сигналов должна сохраняться. В частности, должна сохраняться временная последовательность компонентов сигнала, хотя осознание этой последовательности невозможно. Сохранение неосознаваемой информации о временной последовательности компонентов сигнала должно обнаруживаться в способности субъекта устанавливать сходство или различие стимулов, составленных из одинаковых элементов, но в разном временном порядке. *R. Efron* [33] экспериментально показал, что неосознаваемая информация об очередности двух последовательных микросигналов, составляющих короткий стимул, действительно сохраняется. В его экспериментах звуковые стимулы, длительностью несколько десятков миллисекунд, были составлены из двух еще более коротких сигналов (микросигналов) разной звуковой частоты. Стимулы отличались друг от друга очередностью следования микросигналов разной частоты. Испытуемые ничего не могли сообщить о порядке следования микросигналов в каждом стимуле, но могли отличить друг от друга стимулы с разным порядком их следования. Эксперименты для зрительной и тактильной модальностей также показали сохранение неосознаваемой информации об

очередности компонентов сигнала внутри стимула. Аналогичные результаты были получены и для стимулов, составленных из 3 элементов [33].

Из механизма автоотождествления следует, что время цикла является минимально различимым временем на психическом уровне. Поэтому последовательные сигналы, попадающие внутрь одного цикла, должны восприниматься как одновременные. Действительно, эксперименты [34] показывают, что субъект воспринимает два последовательных щелчка как один, если интервал между щелчками меньше 12 мс. Если интервал превышает 15 мс, то субъект слышит два щелчка. Эти и аналогичные данные можно рассматривать как экспериментальную оценку минимальной длительности цикла автоотождествления.

Разновременные фрагменты пространственного образа, попадающие внутрь одного цикла автоотождествления, должны сливаться, образуя единственный образ. Тогда, если некоторый образ (например, геометрическую фигуру или напечатанное слово) разделить на два взаимодополняющих пространственных фрагмента, каждый из которых в отдельности ничего не означает, и показать один за другим в течение достаточно короткого интервала времени, то они должны быть восприняты слитно как единый образ. При увеличении интервала между предъявлениями фрагментов, они попадают в разные циклы автоотождествления и должны восприниматься как последовательные бессмысленные фрагменты. В этом случае фрагменты не сливаются в исходный образ и его восприятие невозможно. В многочисленных экспериментах с тахистоскопом, проводившихся в 70-е годы прошлого века, установлено, что последовательное предъявление взаимодополняющих фрагментов внутри короткого интервала времени действительно приводит к распознаванию образа. Увеличение интервала между предъявлениями фрагментов сверх 100 мс делает распознавание образа невозможным [35].

Нераздельность на психическом уровне последовательных событий, попадающих внутрь одного цикла автоотождествления, хорошо совмещается и с другими экспериментальными данными. Еще в начале минувшего века *J. Hylan* [36] установил, что 6 последовательно показанных букв кажутся одновременными, если попадают внутрь интервала около 80 мс. Исследования этого феномена в последующие десятилетия привели к утверждению

в психологии представления о «перцептивном моменте» — максимальном временном интервале, внутри которого последовательные перцептивные события воспринимаются как одновременные. Модель автоотождествления позволяет объяснить природу перцептивного момента, который представляет собой длительность цикла автоотождествления. Поэтому длительность перцептивного момента можно рассматривать как экспериментальную оценку максимальной длительности цикла.

В экспериментальной психологии давно известно явление, получившее название «обратной маскировки». Оно состоит в том, что в случае быстрой последовательности двух сигналов, слабого и сильного, восприятия первого сигнала не происходит. Считается, что первый сигнал маскируется вторым. При увеличении интервала времени между сигналами приблизительно до 100 мс, последовательно воспринимаются оба сигнала. Это явление наблюдается в зрительной, слуховой и тактильной модальностях и хорошо изучено экспериментально. Предположение о том, что второй по времени сигнал может маскировать первый, выглядит странным и кажется не убедительным. Модель автоотождествления позволяет объяснить механизм этого феномена более естественным образом. В случае быстрого следования слабого и сильного сигналов, они оба попадают в один цикл автоотождествления. Поэтому, вместо последовательности из двух сигналов, воспринимается единственный сигнал, который является результатом слияния двух сигналов в соответствии с их весами. Поскольку доминирует более сильный второй сигнал, первый сигнал оказывается неразличимым.

Циклическая обработка информации должна проявляться в особенностях восприятия непрерывности движения (действительного или кажущегося). Хорошим примером является восприятие кинофильма. Поскольку время цикла является минимально различимым временем, то дискретная последовательность кадров кинофильма может восприниматься как непрерывная, если последовательные кадры попадают в каждый цикл автоотождествления. Если кадры фильма предъявляются через цикл или реже, то такая последовательность должна восприниматься как дискретная. Таким образом, из модели автоотождествления следует необходимость существования некоторой критической частоты, выше которой наблюдается непрерывное движение, а ниже — дискретное. Причем численное значение этой критической частоты должно соответствовать частоте циклов. Такая частота действительно существует, она известна как критическая частота слияния мельканий и составляет 10–50 Гц, что соответствует времени цикла 20–100 мс.

Весьма тонким средством изучения временной организации процесса восприятия является экспериментальное исследование так называемого «фи-феномена». Суть эксперимента состоит в следующем [35]. В темной комнате располагаются два источника света на небольшом расстоянии друг от друга. Они поочередно загораются на короткое время с различными интервалами между вспышками. При очень коротких интервалах, порядка нескольких миллисекунд, обе вспышки воспринимаются одновременно, каждая на своем месте. При интервалах более 100–150 мс, наблюдаются две следующие друг за другом вспышки света. При промежуточных величинах интервала возникает впечатление единственной светящейся точки, которая непрерывно движется, меняя направление, слева направо и обратно. Оптимальный интервал, вызывающий этот эффект, составляет 60 мс. Из механизма автоотождествления следует, что впечатление непрерывного движения одной светящейся точки должно возникать, если вспышки происходят в течение следующих друг за другом циклов, что дает оценку времени цикла около 60 мс. Если вспышки происходят внутри одного цикла, то они должны восприниматься как две одновременно светящиеся точки, каждая на своем месте. Если интервал между вспышками значительно превышает длительность цикла, должны наблюдаться отдельные, следующие друг за другом вспышки.

Многочисленные эксперименты такого рода показывают существование «фи-феномена» при интервалах между вспышками от 10 мс до 100 мс [35]. Рассмотрение экспериментальных данных по другим сенсорным модальностям подтверждает полученные результаты. Так, например, эксперименты по кожной чувствительности обнаруживают существование «фи-феномена» [37], причем характерные времена его проявлений оказываются приблизительно такими же, как и в случае зрительного восприятия.

Гипотеза автоотождествления влечет за собой точно формулируемые следствия в отношении временных характеристик осознания сигналов, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными о временной структуре процессов осознания. Анализ обширных психологических и психофизических данных, относящихся к таким феноменам как перцептивный момент, временной порог, временная суммация, обратная маскировка, слияние мерцаний и др., позволяет оценить время цикла автоотождествления величиной порядка нескольких десятков миллисекунд, которая может ва-

рывать в диапазоне от 10 мс до 100 мс [22, 23]. Следовательно, соответствующую полосу частот циклических процессов можно оценить диапазоном приблизительно от 10 Гц до 100 Гц. Частота цикла является физиологической характеристикой, она может быть различной у разных людей и зависеть от состояния субъекта и интенсивности информационной нагрузки, аналогично тому, как это имеет место для других периодических процессов, например, частоты пульса и дыхания.

Если механизм автоотождествления лежит в основе осознания сигналов, то частота его функционирования должна быть связана с частотой воспринимаемых событий, что необходимо для адаптации организма к изменяющимся условиям окружающей среды. На увеличение потока информации  $I$  по любому перцептивному каналу механизм автоотождествления должен отвечать увеличением частоты циклов  $f_c$ , чтобы успевать включать ее в процесс осознания. Следовательно,  $f_c \sim I$ . Это соотношение имеет две асимптотики. Если поток входной информации очень велик, частота достигает значения, увеличение которого физиологически невозможно. Тогда дальнейший рост входной информации уже не может приводить к росту частоты циклов. Если поток входной информации очень мал, частота падает до минимума, соответствующего состоянию релаксации. Следовательно, зависимость частоты циклов от потока входной информации можно представить возрастающей функцией с двумя асимптотиками, около 10 Гц и 100 Гц (рис. 2).

Частотная характеристика механизма автоотождествления позволяет предсказать некоторые свойства сознательного восприятия, доступные экспериментальной проверке. Поскольку сознательное восприятие представляет собой дискретный последовательный процесс, то способность человека определять длительность коротких временных интервалов должна быть ограничена ошибкой, равной величине дискретности (времени цикла). Если в психофизической задаче оценки временных интервалов единственной варьируемой характеристикой является их длительность  $D$ , то поток информации  $I \sim 1/D$ . Частота и длительность цикла ( $\tau_c$ ) связаны формулой  $f_c = 1/\tau_c$ . Подставляя эти соотношения в выражение  $f_c \sim I$ , находим  $\tau_c \sim D$ . То есть, время цикла автоотождествления должно возрастать при увеличении длительности оцениваемых интервалов и сокращаться при их уменьшении. Тогда, минимальная ошибка оценки интервалов должна соответствовать минимальной длительности цикла и составлять приблизительно 10 мс. С ростом длительности оцениваемых интервалов, длительность циклов должна возрастать, что может увеличивать ошибку оценки интерва-

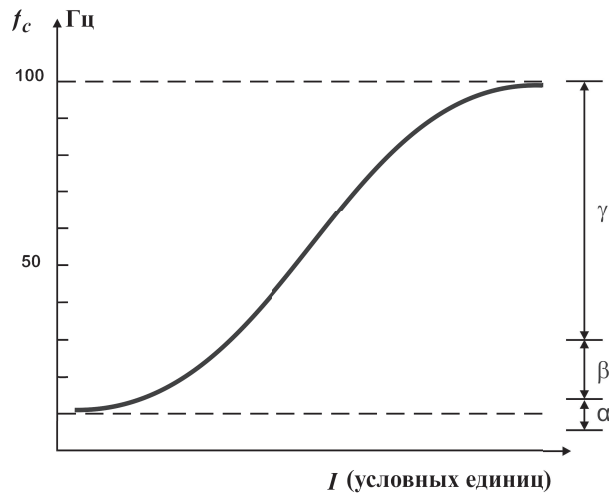


Рис. 2. Зависимость частоты циклов автоотождествления  $f_c$  от потока входной информации  $I$ . Справа показаны альфа (8–13 Гц), бета (14–30 Гц) и гамма (30–100 Гц) диапазоны электрической активности коры головного мозга

лов до 100 мс. Относительная ошибка оценки длительности интервалов, в линейном диапазоне частотной характеристики (рис. 2), должна оставаться приблизительно постоянной  $\delta D/D = \text{const}$ .

Эти теоретические предсказания хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований, которые получил *A. Kristofferson* (см. [32, 38, 39]), обнаруживший эффект квантования субъективной оценки длительности временных интервалов. В этих работах установлено, что величина кванта времени является функцией длительности оцениваемых интервалов. Удвоение или деление пополам длительности оцениваемых интервалов заданное число раз удваивает или делит величину кванта в то же число раз. При изменении длительности оцениваемых интервалов от 100 мс до 800 мс, величина кванта изменяется от 12 мс до 100 мс. То есть, величина кванта времени изменяется в точном соответствии с временем цикла автоотождествления. В работе [39] *A. Kristofferson* пришел к заключению, что причиной квантования субъективной оценки длительности интервалов является периодический процесс, обеспечивающий внутренний отсчет

времени. Мы можем назвать природу периодического процесса, который представляет собой циклический процесс автоотождествления.

Синхронные циклические процессы автоотождествления реализуются в пространственно распределенных нейронных структурах коры головного мозга и должны составлять важную часть его электрической активности. Поэтому временные и частотные характеристики циклических процессов, установленные на основе психологических и психофизических данных, должны удовлетворять независимым экспериментальным данным электро- и магнитоэнцефалографии. Действительно, в состоянии бодрствования и интенсивной сенсорной стимуляции в электрической активности коры преобладают высокочастотные бета (14–30 Гц) и гамма (30–100 Гц) колебания. В состоянии релаксации, отсутствии внешних стимулов и закрытых глазах электрическая активность смещается в низкочастотную область с преобладанием альфа-ритма (8–13 Гц). Таким образом, высокочастотные колебания электрической активности в диапазоне от 10 Гц до 100 Гц, которые должны порождаться процессами автоотождествления в коре головного мозга, не только существуют в действительности, но и являются доминирующими. Кроме того, электрическая активность коры в целом обнаруживает зависимость частоты колебаний ЭЭГ потенциала от потока входной информации, которая, в общих чертах, согласуется с частотной характеристикой, построенной на основе психофизических данных.

В случае пространственного стимула, например, зрительного образа, необходимым условием осознания является одновременное отождествление всех его пространственных характеристик. Одновременное отождествление требует синхронной циркуляции сигналов в пространственно распределенных нейронных структурах соответствующих областей коры. Условием целостного осознания многомодального стимула является синхронная циркуляция сигналов в проекционных, специализированных и ассоциативных областях коры, реагирующих на этот стимул. Таким образом, из гипотезы автоотождествления следует и пространственный критерий реализуемости процесса осознания: циркуляция сигналов в различных областях коры, отвечающих на стимул, должна быть синхронной (протекающей одновременно).

Процесс автоотождествления, реализующийся посредством одновременной циркуляции сигналов с одинаковой частотой в однородной нейронной структуре, должен порождать в ней поле пространственно когерентных колебаний. Стимул, содержащий различные компоненты, например, границы, цвет и движение, может одновременно порождать несколько

полей когерентных колебаний со своими частотами в разных специализированных и ассоциативных областях коры. При этом, автоотождествление быстро меняющихся характеристик может осуществляться высокими частотами циркуляции, а малоподвижных и стабильных характеристик — низкими частотами. Поэтому текущий спектр электрической активности коры может содержать множество полей пространственно когерентных колебаний, отличающихся частотой и топографическим распределением, которые обеспечивают одновременное отображение характеристик изменяющегося стимула.

В исследованиях электрической и магнитной активности человеческого мозга, в которых важное место занимал компьютерный анализ детальной пространственно-временной структуры процессов, поля пространственно когерентных колебаний обнаружены в самом деле [18, 40 и др.]. В работе [40] описаны электрофизиологические эксперименты, в которых измерения потенциалов осуществлялись с помощью 48 макроэлектродов, размещенных на голове в виде сети из 8 дуг по 6 электродов, равномерно распределенных между лобным и затылочным полюсами. Обработка ЭЭГ измерений производилась с помощью специально разработанных программ, позволяющих оценивать кросс-корреляционные отношения, спектрально-когерентные и фазовые характеристики потенциалов. В результате компьютерного анализа измерений установлено существование многочисленных и четко различаемых полей пространственно когерентных колебаний электрической активности коры. Эти поля когерентных колебаний различной частоты характеризуются различным топографическим распределением. В работе [17] показано, что поля пространственно когерентных колебаний различной частоты имеют области взаимного перекрытия, которые оказываются областями высокой локальной синхронизации потенциалов (определяемой по кросс-корреляционным коэффициентам).

Существуют многочисленные данные о полях когерентных колебаний в коре головного мозга, полученные в экспериментах на животных. Например, в обширном цикле теоретических и экспериментальных исследований процесса восприятия запахов, *W. Freeman* [41] обнаружил пространственно когерентные колебания электрической активности обонятельной луковицы и обонятельной коры кролика в диапазоне от 20 Гц до 90 Гц. Оказалось, что каждый запах идентифицируется определенным пространственным распределением амплитуд пространственно когерентных колебаний обонятельной луковицы, так что предъявление разных запахов вызывает разные паттерны когерентного возбуждения [42].

Автоотождествление любой сенсорной характеристики, порождающее ее осознание, может происходить только в той области коры, которая отображает данное сенсорное качество. Например, осознание цвета должно происходить в зрительной области V4, специализация которой связана с отображением цвета, а осознание движения — в специализированной области V5. Тогда разрушение этих областей коры должно вести к неспособности осознавать цвет и движение. Нейрофизиологические данные показывают, что разрушение специализированных зрительных областей коры действительно ведет к полной и специфической утрате способностей осознавать соответствующие сенсорные качества [43]. Больные с пораженной пре-стриарной корой и сохраненной областью V1 способны идентифицировать отдельные линии и простые контуры и могут аккуратно их копировать. Но они неспособны воспринимать совокупность линий как единое целое, например, как дом или собор [43]. Это значит, что сенсорные признаки не только отображаются, но и осознаются посредством механизмов зрительной области V1. Осознание целостных образов возможно только посредством процессов автоотождествления в пре-стриарной и ассоциативной коре, в которых эти образы формируются и которые оказались разрушенными.

Анатомическим базисом сознания являются массивованно-параллельные автономные обратные связи коры головного мозга. Обратные связи являются автономными, если они начинаются с выходных популяций нейронов данной области коры и заканчиваются на входных популяциях этой же области. Автономные обратные связи должны обладать топографической упорядоченностью и могут замыкаться через соответствующие ядра подкорковых структур. Они могут получать коллатерали от ретикулярной формации таламуса и ствола мозга.

Автономные обратные связи должны существовать в первичных проекционных областях, специализированных областях коры и ассоциативных областях, включая височную и префронтальную зоны. Автономные обратные связи должны охватывать сенсорные, сенсомоторные и моторные области коры. Осознание осуществляется в тех же областях коры, где происходит неосознаваемое восприятие и формирование моторного ответа.

Функциональная схема системы сознательного восприятия представлена на рис.3. Хотя процессы неосознаваемого восприятия и осознания тесно связаны между собой и протекают в одних и тех же областях коры, их ней-

ронные механизмы четко различаются в структурном и функциональном отношении. В аппарате неосознаваемого восприятия обратные связи передают выходное возбуждение данной области коры на нижележащие уровни. Нисходящее возбуждение избирательно стимулирует нейронные ансамбли нижележащих уровней, облегчая передачу тех компонентов сенсорного возбуждения, которые соответствуют данной объемлющей характеристике [44–46]. Например, если объемлющей характеристикой является решетка, то могут стимулироваться нейронные популяции нижележащего уровня, реагирующие на линии определенной ориентации.

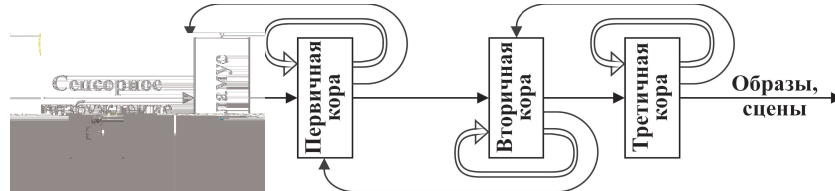


Рис. 3. Функциональная схема системы сознательного восприятия. Обратные связи нисходящей стимуляции показаны *одинарными* линиями. *Двойными* линиями показаны автономные обратные связи механизма автоотождествления

Основой аппарата осознания являются массивованно-параллельные автономные обратные связи, которые осуществляют передачу паттерна категоризации, порождаемого нейронной структурой данной области коры, на ее собственный вход. Этот циклический процесс с положительной обратной связью формирует когерентную активность нейронов, обеспечивая интенсивное отображение определенного сенсорного признака или объемлющей характеристики стимула. В процессе эволюции происходило усложнение нервной системы, дифференциация и специализация коры и подкорковых структур, росло модальное разнообразие воспринимаемых сигналов и количество последовательных уровней обработки.

Важнейшей задачей адаптации становилось связывание данных разных субмодальностей и уровней обработки для формирования целостного восприятия. Но данные разных модальностей и разных уровней обработки об одном и том же сенсорном событии отображаются в разные моменты времени. Для того, чтобы представить их совместно, необходимы корковые механизмы, запоминающие специфические паттерны возбуждения на время в несколько десятков или сотен миллисекунд. Автономные обрат-

ные связи, передающие паттерны категоризации данной области коры на её собственный вход, обеспечивают запоминание специфического возбуждения на время его циркуляции по замкнутому контуру. Восприятие стимулов связано с функционированием специфической активирующей системы мозга. Однако активация циклических процессов автоотождествления не может осуществляться только специфической системой, поскольку в этом случае осознание было бы приковано к полю стимуляции, чего на самом деле нет. В работе [18] *Llinas* и *Ribary*, руководствуясь разносторонними наблюдениями, приходят к выводу, что специфическая система обеспечивает содержание, а неспецифическая — временное связывание этого содержания в единое когнитивное переживание.

Неспецифическая активирующая система, включающая ретикулярную формацию ствола и таламуса, имеет проекции на все области коры и, в свою очередь, управляется корой больших полушарий через нисходящие проекции [47, 48]. Активация процессов автоотождествления неспецифической системой может обеспечить связь процессов осознания с потребностями и внутренней мотивацией субъекта. Это дает восприятию значительную свободу от поля стимуляции и открывает возможности инициативных форм поведения. Кроме того, неспецифическая система может одновременно активировать циклические процессы автоотождествления сенсорных характеристик, относящихся к разным модальностям (субмодальностям) и разным уровням обработки, обеспечивая их одновременное отображение. Поскольку процессы автоотождествления выражаются полями когерентных колебаний потенциала разной частоты, их запуск из состояния релаксации должен выглядеть как «десинхронизация» ЭЭГ. В экспериментальной работе [17] показано, что явление десинхронизации медленного высокоамплитудного ритма ЭЭГ действительно состоит в замене его множеством полей пространственно когерентных колебаний с различными частотами.

Сенсорный стимул, который вызвал специфический паттерн нейронной активности коры, может отображаться и после своего исчезновения, если процессы автоотождествления сенсорных характеристик поддерживаются неспецифической активирующей системой мозга на протяжении хотя бы нескольких циклов. Сохранение специфических паттернов нейронной активности, отображающих стимул на протяжении нескольких десятков или сотен миллисекунд после его исчезновения, может формировать ультракратковременную (иконическую, эхоическую) сенсорную память.

Процессы автоотождествления являются средством отображения актуально значимых стимулов. Поэтому запуск этих процессов должен произ-

водиться (или не производиться) после определения значимости стимула. То есть, теоретически необходимая последовательность процесса сознательного восприятия должна включать сначала неосознаваемую оценку актуальной значимости стимула, а затем его осознание. Тогда, в ответ на стимул, высокочастотные синхронные колебания потенциала в коре должны возникать с запаздыванием, по сравнению с временем прихода сигнала в проекционную область, или не возникать вообще. В психофизических экспериментах с одновременной регистрацией волн вызванного потенциала установлено, что оценка значимости стимула действительно происходит до возникновения ощущения, в первые 100–150 мс, еще на неосознанном уровне [19, 49]. По данным работы [50] начало синхронизации высокочастотных колебаний не связано с началом действия стимула и может запаздывать на 50–100 мс. По данным [51], возникновение высокочастотных колебаний происходит с запаздыванием 80–100 мс.

Модель автоотождествления позволяет предсказать некоторые характеристики процесса сознательного восприятия, которые доступны экспериментальной проверке. Высокочастотные процессы автоотождествления формируют явные представления сенсорных признаков и характеристик стимула в тех областях коры, где они отображаются. Поэтому, локализация полей высокочастотных пространственно-когерентных колебаний на нижних уровнях должна коррелировать с модальностью, а на верхних уровнях с функциональной или когнитивной специфичностью стимула.

Адаптивное значение имеет целостный образ, а не его отдельные сенсорные признаки. Поэтому первичное осознание должно происходить в ассоциативной коре, отображающей объемлющую характеристику объекта. С этого уровня обработки стимуляция передается по каскаду обратных связей вниз, и в следующий момент времени могут осознаваться среднemasштабные сенсорные характеристики. В последнюю очередь должны осознаваться мелкомасштабные детали и всякого рода подробности. Экспериментальные данные подтверждают такую последовательность восприятия. Например, экспериментально установлено, что во время фиксации взора, сенсорный образ обрабатывается последовательно, по этапам, с выделением сначала общих характеристик, потом все более мелкомасштабных и детальных [35].

Поскольку типичное время фиксации взгляда составляет 200–300 мс, процесс сознательного восприятия может включать 5–10 циклов. Аналогичная оценка получается и для обонятельной системы. Вдох для обонятельной системы значит то же, что и фиксация взгляда для зрительной, и тоже длится доли секунды. Обнаруженные У. Фрименом [42] высокочастотные когерентные колебания приурочены к вдоху и имеют вид пачек, состоящих приблизительно из десятка волн каждая.

Осознание высшей объемлющей характеристики на первом этапе восприятия объясняет нашу способность схватывать осмысленное целое еще до осознания составляющих признаков. То, что мы видим мельком, мы видим в общих чертах. Необходимо некоторое, хотя и небольшое, время, чтобы увидеть подробности. Хорошо знакомым и часто встречающимся стимулам должны соответствовать эффективные операционные структуры соответствующих областей ассоциативной коры. В ответ на такие стимулы, операционная структура коры может порождать интенсивные специфические паттерны категоризации. Поэтому их осознание может осуществляться с первого цикла автоотождествления. Мало знакомые или редко встречающиеся стимулы могут вызывать размытые паттерны категоризации. Акцентация их специфичности может требовать нескольких циклов автоотождествления. Тогда, при прочих равных условиях, субъект должен осознавать сначала хорошо знакомые объекты окружающей среды и лишь затем менее знакомые.

Мало знакомый или незнакомый стимул становится хорошо знакомым в процессе обучения, которое физиологически состоит в формировании операционной структуры коры, реагирующей на этот стимул интенсивным специфическим паттерном нейронной активности. Поэтому обучение должно уменьшать время осознания сенсорных событий. Например, временные пороги различения сенсорных сигналов должны уменьшаться под влиянием тренировки. Действительно, как уже было упомянуто раньше, временные пороги различения последовательных сигналов для слуховой, зрительной и тактильной модальностей уменьшаются под влиянием тренировки с 60 мс до 15–20 мс [33].

Не все сенсорные данные требуют точного и детального осознания. Если некоторая информация не представляет актуальной ценности, процесс может быть прерван на стадии осознания общего (качественного) характера стимуляции или только факта ее наличия. Это предосознание, возможно, и представляет собой ощущение. То есть, ощущение может быть ранней стадией осознания, на которой отображаются только качественные свойства

стимула.

Если детали стимулов не отображаются, они могут представляться в простой (например, однопараметрической) форме, что позволяет одновременно включать в процесс осознания множество событий. Расширение параллельного потока заметных (акцентированных) сигналов дает организму важные адаптивные преимущества и это свойство восприятия могло быть объектом эволюционного отбора.

Заметим, что некоторые стимулы, например, слишком слабые или быстро изменяющиеся, физически недоступны детальному осознанию и могут только ощущаться. Данные многих рецепторных органов, например, равновесия, температуры или давления, а также данные о внутренней среде организма, в противоположность зрительной или слуховой информации, всегда отображаются в качественной форме. В результате подавляющее большинство стимулов окружающей среды и внутреннего мира субъекта только ощущается. Но именно этот многомодальный и многообразный поток пред осознаваемых стимулов и создает чувство жизни, ощущение бытия в окружающем мире.

Ощущение как и осознание порождается интенсивным отображением стимула. Однако, в случае ощущения, интерпретация отображения характеризуется нерасчлененными, недифференцированными категориями. Ясное осознание характеризуется высоко дифференцированной категоризацией и многоуровневой символьной интерпретацией. Категории, символы, образы составляют общую для всех людей базу знаний, созданную культурной эволюцией человечества. Именно поэтому со-знание есть совместное знание [28]. В осознании преобладают психические процессы символьной интерпретации. Высоко дифференцированное отображение данных делает возможным их анализ и синтез, а явное символьное представление позволяет оперировать данными как внешними объектами. В результате становится возможным оперирование знаниями, что составляет важнейшее содержание сознательной деятельности мозга [22, 27, 28].

На рис. 4 представлена блок-схема системы восприятия и моторного ответа. Нижний уровень, включающий сенсорную систему, аппарат неосознаваемой обработки данных и моторную систему, отображает функционирование организма в ситуациях, когда мы вполне адекватно реагируем на стимулы, не осознавая ни стимулов, ни собственных действий. Верхний функциональный уровень включает осознание стимулов и действий, позволяющее обозревать текущую ситуацию и собственное поведение. В типичных случаях одновременно работают оба уровня и, в зависимости

от внутренней мотивации и внешних условий, функциональная нагрузка между ними непрерывно перераспределяется.

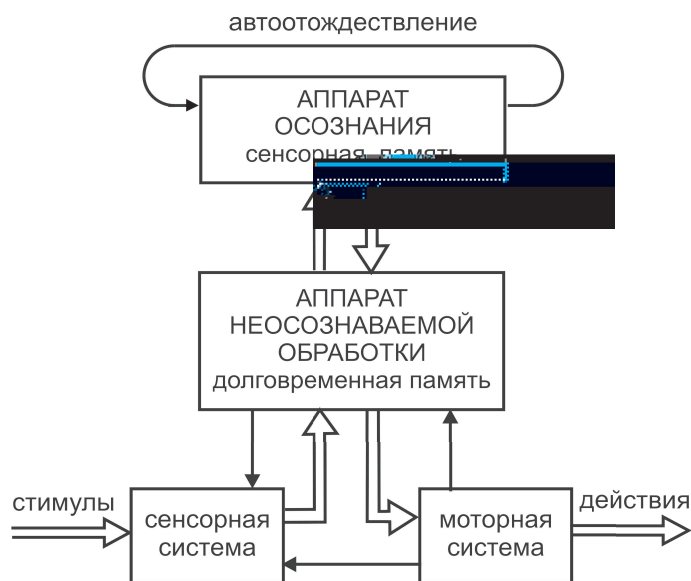


Рис. 4. Блок-схема системы восприятия и моторного ответа

Известно, что чем эффективнее выполняемые действия, тем менее мы их осознаем. В книге [52] Ч. Шеррингтон пишет: «Между рефлекторным действием и сознанием существует, по-видимому, настоящая противоположность. Рефлекторное действие и сознание как бы исключают друг друга — чем больше рефлекс является рефлексом, тем менее он осознается».

Чем отличаются эти два вида нервной активности, которые формируют, с одной стороны, осознание, а с другой навык и привыкание, находящиеся в противоположных отношениях? Осознание связано с продлением специфического возбуждения на нескольких нейронных уровнях с помощью специального циклического механизма. Продление специфического возбуждения необходимо для одновременного отображения сенсорных признаков и характеристик различных модальностей (субмодальностей) и уровней обработки, что делает возможным формирование адекватных моторных планов и программ поведения.

Если определенный навык или рефлекс уже существует, то это значит, что моторные планы и программы реализации данного типа поведения уже сформированы. Тогда, для запуска моторных планов и программ поведения, достаточно категоризации стимула. В этом случае отсутствует необходимость одновременной активации всей иерархии вложенных сенсорных характеристик стимула и, следовательно, физиологический механизм осознания может не включаться.

Любой сигнал должен пройти, по крайней мере, один цикл автоотождествления, чтобы мозг мог осознать его. Цикл занимает время, необходимое для прохождения сигнала по аксонам обратных связей и возбуждения входных нейронных структур. Поэтому осознание сигналов запаздывает. В результате неосознаваемые сигналы могут вызывать моторные реакции еще до того, как они будут осознаны. Действительно, способность субъекта реагировать на стимулы до их осознания непосредственно наблюдаема и достоверно установлена в психофизиологических экспериментах.

Подводя итоги всему изложенному, можно сформулировать определение основных терминов. Осознание — это процесс представления собственного знания в явной форме. Сознание — система оперирования данными, представленными в явной форме.

Явные события — это события вне воспринимающей системы, то есть внешние события. Это отличает их от неявных событий, происходящих внутри воспринимающей системы. Как это ни удивительно, но мы способны воспринимать внутренние события в явной форме, подобно внешним событиям. Это значит, что наша нервная система может взаимодействовать с частными внутренними состояниями как с независимыми сущностями, если эти частные состояния могут быть обособлены и представлены на входах нервной системы подобно внешним событиям. Механизм автоотождествления представляет внутренние данные (паттерны категоризации) на входы нервной системы, что позволяет воспринимать их в явной форме.

Автоотождествление является универсальным процессом явного представления данных, как воспринимаемых из вне, так и порождаемых собственной операционной активностью мозга. Механизм автоотождествления не зависит ни от модальности, ни от функциональной специфичности данных (сенсорных или моторных). Однако, несмотря на то, что циклический процесс автоотождествления порождает осознание, сам он недоступен осо-

знанию и не поддается волевому регулированию. Он представляет собой базовый нейрофизиологический уровень всех частей и модальностей аппарата сознания.

В процессах восприятия осознание является формой вторичной обработки данных, назначение которой состоит в явном представлении сенсорных событий. Аппарат осознания формирует, параллельно потоку неосознаваемой информации, селективный многомодальный поток явного (явленного, представленного себе) знания. Эта универсальная система явного представления данных придает новое качество процессу восприятия в психическом плане, позволяя не только смотреть и адекватно реагировать, но смотреть и видеть, не только слушать и действовать, но слушать и слышать.

Эволюционное возникновение сознания отчасти освободило организм от внешнего управления текущим поведением. Организм, который обзревает текущую ситуацию и собственное поведение, имеет выбор и может действовать более гибко, инициативно и целесообразно. Возникают новые формы обучения, например, основанные на подражании. Более индивидуальные и сложные формы обучения и поведения обеспечивают новые адаптивные возможности, которые дают сознательным организмам преимущества в процессах эволюционного отбора. Эти преимущества обеспечивают дальнейший рост, усложнение и совершенствование аппарата сознания.

Настоящая работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект 07-01-00218.

1. *Sherrington C.* Man on his nature, 2nd ed. – Cambridge, England: Cambridge University Press, 1951.
2. *Edelman G. M., Tononi G.* A universe of consciousness. – N.Y.: Basic Books, 2000. – 274 pp.
3. *Кавамура К., Парин С. Б., Полевая С. А., Яхно В. Г.* Возможность построения симуляторов осознания сенсорных сигналов // Лекция на IX Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2008». *Лекции по нейроинформатике.* – Часть 1. М.: МИФИ, 2008. – с. 23–57.
4. *Иваницкий А. М.* Мозговые механизмы оценки сигналов. – М.: Медицина, 1976. – 264 с.

5. *Иваницкий А. М., Стрелец Б. В., Корсаков М. А.* Информационные процессы мозга и психическая деятельность. – М.: Наука, 1984. – 200 с.
6. *Эделмен Дж.* Селекция групп и фазная повторная сигнализация: Теория высших функций головного мозга // В сб.: «Разумный мозг». – М.: Мир, 1981. – с. 68–131.
7. *Edelman G. M.* The remembered present. A biological theory of consciousness. – N.Y.: Basic Books, 1989. – 346 pp.
8. *Harth E.* The creative loop. Addison-Wesley Publishing Company, 1995. – 197 pp.
9. *Gray J. A.* The contents of consciousness: A neuropsychological conjecture // *Behav. Brain Sci.* – 1995. – v. 18, No. 4. – pp. 659–722.
10. *Grossberg S.* The attentive brain // *American Scientist.* – 1995. – v. 83. – pp. 438–449.
11. *Crick F.* The function of the thalamic reticular complex: The research light hypothesis // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 1984. – v. 81. – pp. 4586–4590.
12. *Crick F., Koch C.* Some reflections on visual awareness // *Gold Spring Harbor Symp. on Quantit. Biol.* – 1990. – Vol. LV. – pp. 953–962.
13. *Павлов И. П.* Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности животных. – Полн. собр. соч., 2-е изд. М.-Л.: 1951. – т. 3, кн. 1. – 174 с.
14. *Ухтомский А. А.* Доминанта. СПб.: Питер, 2002. – 448 с.
15. *Ливанов М. Н.* Пространственная организация процессов головного мозга. – М.: Наука, 1972. – 182 с.
16. *Симонов П. В.* «Светлое пятно сознания» // *Журн. высш. нерв. деят.* – 1990. – т. 40, № 6. – с. 1040–1044.
17. *Свидерская Н. Е., Королькова Т. А., Тишанинова Л. В.* Поля повышенной активности: электрофизиологические корреляты // *Журн. высш. нерв. деят.* – 1993. – т. 43, № 6. – с. 1080–1087.
18. *Llinas R., Ribary U.* Coherent 40-Hz oscillation characterizes dream state in humans // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 1993. – v. 90. – pp. 2078–2081.
19. *Иваницкий А. М.* Психическая деятельность и организация мозговых процессов // *Вестник АМН СССР.* – 1987, № 8. – с. 14–20.
20. *Иваницкий А. М.* Мозговая основа субъективных переживаний: гипотеза информационного синтеза // *Журн. высш. нерв. деят.* – 1996. – т. 46, № 2. – с. 241–252.
21. *Desmedt J., Tomberg C.* Neurophysiology of preconscious mechanisms of the human brain // *Abstr. Xth Intern. Congr. of Electromyography and Clin. Neurophysiol.* Kyoto, Japan. Oct. 15–19, 1995. – p. 4.

22. Сергин В. Я. Сознание как система внутреннего видения // *Журн. высш. нерв. деят.* – 1994. – т. 44, № 4–5. – с. 627–639.
23. Сергин В. Я. Психофизиологические механизмы осознания: гипотеза самоотожествления // *Журн. высш. нерв. деят.* – 1998. – т. 48, № 3. – с. 558–571.
24. Sergin V. Ya. Self-identification as key mechanisms of awareness // “*Cybernetics and Systems*”–98. World Scientific Publishing Co., 1998. – v. 2. – pp. 605–609.
25. Sergin V. Ya. Sensory awareness: Hypothesis of self-identification // In “*Conceptual Advances in Brain Research*”. – UK: Harwood Academic Publishers, 2000. – v. 2. – p. 97–112.
26. Sergin V. Ya. Consciousness as a data-processing system // *Neural Network World*. – 1994. – v. 4, No. 5. – pp. 601–608.
27. 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.
28. Симонов П. В. Мотивированный мозг. – М.: Наука, 1987. – 267 с.
29. Маунткастл В. Организующий принцип функции мозга — элементарный модуль и распределенная система // В сб.: «*Разумный мозг*». – М.: Мир, 1981. – с. 15–67.
30. Крик Ф., Кох К. Проблема сознания // *В мире науки*. – 1992, № 11–12. – с. 113–119.
31. Hirsh I. J., Sherrick C. E. Perceived order in different sense modalities // *J. of Exp. Psychol.* – 1961, No. 62. – pp. 423–432.
32. Kristofferson A. B. Attention and Psychophysical Time // *Acta Psychologica*. – 1967, No. 27. – pp. 93–100.
33. Efron R. Conservation of temporal information by perceptual systems // *Perception and Psychophysics*. – 1973. – v. 14, No. 3. – pp. 518–530.
34. Joliot M., Llinas R., Ribary Urs. Human oscillatory activity near 40 Hz coexists with cognitive temporal binding // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. – 1994, v. 91. – pp. 1748–1775.
35. Хофман И. Активная память. – М.: Мир, 1986. – 310 с.
36. Hulan J. R. The distribution of attention // *Psychological Review*. – 1903, No. 10.
37. Джеральд Ф. Э., Шеррик К. Э. Пространство, время, осязание // *В мире науки*. – 1986, № 9. – с. 57–62.
38. Kristofferson A. B. A quantal step function in duration discrimination // *Perception and Psychophysics*. – 1980. – v. 27, No. 4. – pp. 300–306.

39. *Kristofferson A.B.* Quantal and deterministic timing in human duration discrimination // *Annals of New York Academy of Sciences*. – 1984. – v. 423. – p. 3–15.
40. *Свидерская Н. Е., Шлитнер Л. М.* Когерентные структуры электрической активности коры головного мозга человека // *Журн. высш. нерв. деят.* – 1990. – т. 16, № 3. – с. 12–19.
41. *Freeman W.J.* Tutorial on neurobiology: From single neurons to brain chaos // *Intern. J. of Bifurcation and Chaos*. – 1992. – v. 2, No. 3. – pp. 451–482.
42. *Фриман У. Дж.* Физиология восприятия // *В мире науки*. – 1991, № 4. – с. 26–33.
43. *Zeki S.A.* Vision of the brain. – Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1993. – 366 pp.
44. *Сергин В. Я.* Перцептивное связывание сенсорных событий: Гипотеза объемлющих характеристик // *Журн. высш. нерв. деят.* – 2002. – т. 52, № 6. – с. 645–655.
45. *Сергин В. Я.* Биологически правдоподобная модель зрительного восприятия: иерархия объемлющих сенсорных характеристик // Лекция на IX Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2007». *Лекции по нейроинформатике*. Часть 2. Москва: МИФИ, 2007. – с. 77–120.
46. *Sergin V.Ya.* Perceptual binding of sensory events: the hypothesis of inclusive characteristics // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. – 2003. – v. 33, No. 8. – pp. 753–761.
47. *Кратин Ю. Г., Сотниченко Т. С.* Неспецифические сместы мозга. – Л.: Наука, 1987. – 158 с.
48. *Newman J., Baars B. J., Cho S.-B.* A neural global workspace model for conscious attention // *Neural Networks*. – 1997. – v. 10, No. 7. – pp. 1195–1206.
49. *Костандов Э. А.* Осознаваемые и неосознаваемые формы высшей нервной деятельности человека // *Механизмы деятельности мозга человека*. Ч.1. – Л.: Наука, 1988. – с. 491–526.
50. *Gray C.M.* Synchronous oscillations in neuronal systems: Mechanisms and functions // *J. of Comput. Neurosci.* – 1994, No. 1. –pp. 11–38.
51. *Bressler S.U.* Large-scale cortical networks and cognition // *Brain Res.* – 1995, No. 20. – pp. 288–304.
52. *Шеррингтон Ч.* Интегративная деятельность нервной системы. – Л., 1969.

, ведущий научный сотрудник Института математических проблем биологии РАН, доктор физико-математических наук, заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов: нейро-биологические механизмы и системная организация восприятия, сознания, рассудочного и образного мышления, интуиции. Является автором более 80 научных работ, в том числе двух монографий и трех изобретений.