

МАЙКЛ ГРАЦИАНО

НАУКА

СОЗНА  
НИЯ

СОВРЕМЕННАЯ  
ТЕОРИЯ  
СУБЪЕКТИВНОГО  
ОПЫТА



КНИГИ ПОЛИТЕХА

**Майкл Грациано**  
**Наука сознания. Современная**  
**теория субъективного опыта**  
**Серия «Книги Политеха»**

*Текст предоставлен правообладателем*

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=63172803](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=63172803)*

*Наука сознания. Современная теория субъективного опыта: Альпина  
нон-фикшн; Москва; 2021  
ISBN 9785001393849*

### **Аннотация**

В книге профессора психологии и нейронауки Принстонского университета Майкла Грациано, автора уже получившей известность теории схемы внимания, представлена новая теория сознания. Согласно ей, то, что мы называем сознанием, на самом деле является моделью нашей собственной психики. Грациано утверждает, что для людей естественно создавать такие модели — даже по отношению к неодушевленным объектам. Автор выдвигает гипотезу происхождения сознания в эволюционном ряду, описывает наряду с реальными несколько интеллектуальных экспериментов, подробно останавливается на феномене социального сознания и предлагает сценарий прижизненного переноса личности на искусственные носители для посмертного существования.

# Содержание

Глава 1	9
Глава 2	22
Глава 3	37
Конец ознакомительного фрагмента.	50

# Майкл Грациано

## Наука сознания.

### Современная теория субъективного опыта

Книга издана при поддержке Политехнического музея и Фонда развития Политехнического музея.

Переводчик *Анна Петрова*

Научный редактор *Ольга Сварник, канд. психол. наук*

Редактор *Анастасия Ростоцкая*

Оформление серии *Андрея Бондаренко и Дмитрия Черногаева*

Издатель *П. Подкосов*

Руководитель проекта *И. Серёгина*

Корректоры *И. Астапкина, О. Петрова*

Компьютерная верстка *М. Зинуллин*

Дизайн обложки *Д. Черногаев*

© Michael S. A. Graziano, 2019

© А. Бондаренко, Д. Черногаев, художественное оформление серии, 2021

©Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО

*Все права защищены. Данная электронная книга предназначена исключительно для частного использования в личных (некоммерческих) целях. Электронная книга, ее части, фрагменты и элементы, включая текст, изображения и иное, не подлежат копированию и любому другому использованию без разрешения правообладателя. В частности, запрещено такое использование, в результате которого электронная книга, ее часть, фрагмент или элемент станут доступными ограниченному или неопределенному кругу лиц, в том числе посредством сети интернет, независимо от того, будет предоставляться доступ за плату или безвозмездно.*

*Копирование, воспроизведение и иное использование электронной книги, ее частей, фрагментов и элементов, выходящее за пределы частного использования в личных (некоммерческих) целях, без согласия правообладателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.*





КНИГИ ПОЛИТЕХА  
человек и жизнь



**“КНИГИ ПОЛИТЕХА”** – партнерский проект ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО МУЗЕЯ, издательств CORPUS, “АЛЬПИНА НОН-ФИКШН” и “БОМБОРА”.

В серии выходят лучшие современные и классические книги о науке и технологиях – все они отобраны и проверены учеными и отраслевыми специалистами.

Серия “Книги Политеха” – это пять коллекций, связанных с темами постоянной экспозиции Политехнического музея:

**“Человек и жизнь”** – мир живого, от устройства мозга до биотехнологий.

**“Цифры и алгоритмы”** – математика, искусственный интеллект и цифровые технологии.

**“Земля и Вселенная”** – происхождение мира, небесные тела, освоение космоса, науки о Земле.

**“Материя и материалы”** – устройство мира с точки зрения физики и химии.

**“Идеи и технологии”** – наука и технологии, их прошлое и будущее.



Политехнический музей представляет новый взгляд на экспозицию, посвященную науке и технологиям. Спустя столетие для музея вновь становятся важными мысль и идея, а не предмет, ими созданный.

Научная часть постоянной экспозиции впервые визуализирует устройство мира с точки зрения современной науки – от орбиталей электрона до черной дыры, от структуры ДНК до нейронных сетей.

Историческая часть постоянной экспозиции рассказывает о достижениях российских инженеров и изобретателей как части мировой технологической культуры – от самоходного судна Ивана Кулибина до экспериментов по термоядерному синтезу и компьютера на основе троичной логики.

Политех делает все, чтобы встреча человека и науки со-

стоялась. Чтобы наука осталась в жизни человека навсегда.  
Чтобы просвещение стало нашим общим будущим.

Подробнее о Политехе и его проектах – на [polytech.one](https://polytech.one)

*Бену и Эли*



# Глава 1

## Слон в комнате<sup>1</sup>

Когда моему сыну было три года, я “озвучивал” его любимого плюшевого слоника, делая вид, что тот умеет говорить. В столь юном возрасте ребенок еще не мог понять, насколько никудышный из меня чревовещатель, так что это срабатывало. Сын был в восторге. В последующие несколько лет я оттачивал свою технику и удивлялся загадочной силе этой иллюзии. Чревовещение – не просто голос, исходящий из игрушки, как если бы в ней был спрятан динамик. Даже голосом бездарного исполнителя вроде меня творится волшебство: игрушка обретает жизнь, личность, она будто бы наполняется сознанием.

Очевидно, в человеческом мозге должны быть механизмы, вынуждающие приписывать игрушке сознание. Но они развились не для того, чтобы мы развлекались чревовещанием. Человек – общественное животное, и он регулярно применяет эти механизмы по отношению к другим. Когда я с кем-то разговариваю, у меня автоматически возникает

---

<sup>1</sup> Elephant in the Room (*англ.*) – идиоматическое выражение, используемое для характеристики чего-то настолько бросающегося в глаза, что не заметить его сложно, однако наблюдатели либо и в самом деле не видят проблемы, либо по каким-то причинам предпочитают не обращать на нее внимания. Ср. с выражением “Слона-то я и не приметил”. – *Прим. ред.*

представление о мыслях, эмоциях и переживаниях собеседника. Конечно, я не вижу его психическую деятельность напрямую. Но мой мозг строит удобную модель психической деятельности и проецирует ее на этого человека, т. е. поступает так же, как мой сын с “заговорившей” игрушкой.

Мы обращаемся подобным образом не только с людьми. Мы приписываем сознание домашним кошкам и собакам, а некоторые готовы поклясться, что у них и растения в горшках обладают сознанием. Древние люди были убеждены, что разумны деревья и реки; дети видят личность в своих любимых игрушках, и, черт возьми, вчера я наорал на свой компьютер! Но речь, собственно, не идет о том, чтобы интеллектуальными усилиями выяснить, есть ли у чего-то психика, или прийти к заключению, что могло бы быть в этом психическом мире, – хотя это мы тоже делаем. Я говорю об интуитивном чутье, которое часто подводит нас, но иногда очень убедительно сообщает нам, что некий предмет прямо-таки излучает сознание.

Размышляя о чревовещании, я стал задумываться о том, что и мое собственное сознание, и сознание, приписываемое другим, могут исходить из одного и того же источника. Возможно, есть объединяющее объяснение: мы автоматически строим модели психики и проецируем их как на самих себя, так и на других людей. Наши интуитивные представления о загадочной сознающей личности, наше убеждение, что она есть во мне, в тебе, в домашнем любимце или игрушке, –

могут быть основаны на упрощенных, но удобных моделях, комплексах информации, которые выстраивает мозг, чтобы понять свой мир.

Столь глубокие озарения приходят только к тому, кто разговаривает с плюшевыми слониками. Благодаря им я сосредоточился в своей научной работе на исследованиях сознания.

В течение 20 лет я занимался более традиционными проблемами нейронауки: как мозг отслеживает происходящее в непосредственной близости к телу и как контролирует сложные движения в этом пространстве<sup>2</sup>. Оказалось, что базовая подготовка в практике науки о мозге пригодилась для построения теории сознания. В 2010 г., исходя из данных нейронауки, психологии и эволюционной биологии и добавив некоторые инженерные прозрения, мы с коллегами начали набрасывать контуры того, что называли теорией схемы внимания<sup>3</sup>. Эта теория – часть глобальной смены парадигмы в

---

<sup>2</sup> Мои исследования личного пространства и сложных движений изложены в двух книгах. M. S. A. Graziano, *The Intelligent Movement Machine* (Oxford, UK: Oxford University Press, 2008); M. S. A. Graziano, *The Spaces between Us: A Story of Neuroscience, Evolution, and Human Nature* (New York: Oxford University Press, 2018).

<sup>3</sup> Следующие ссылки дают комплексное представление об этой теории. Другие, более технические или сосредоточенные на экспериментальных данных работы здесь не приводятся. M. S. A. Graziano and S. Kastner, “Human Consciousness and Its Relationship to Social Neuroscience: A Novel Hypothesis,” *Cognitive Neuroscience* 2 (2011): 98–113; M. S. A. Graziano, *Consciousness and the Social Brain* (Oxford, UK: Oxford University Press, 2013); T. W. Webb and M. S. A. Graziano, “The Attention

научном сообществе<sup>4</sup>. Новый подход не решает так называемую трудную проблему сознания – как физический мозг может создавать нефизические сущности<sup>5</sup>. Но он объясняет, почему люди могут ошибочно полагать, что трудная проблема существует в принципе, почему это ошибочное представление заложено в нас так глубоко, что вряд ли мы сможем его изменить, и почему оно выгодно (если не необходимо) для функционирования мозга.

Вначале я рассматривал эту теорию с позиции социальных взаимодействий. Но в ее глубине лежит более общее

---

Schema Theory: A Mechanistic Account of Subjective Awareness,” *Frontiers in Psychology* 6 (2015): article 500.

<sup>4</sup> Невозможно воздать здесь должное всем новым работам, посвященным механистическому, недualiстическому подходу к сознанию. Я привожу лишь несколько примеров и прошу прощения у множества блестящих авторов, которых не упоминаю. S. J. Blackmore, “Consciousness In Meme Machines,” *Journal of Consciousness Studies* 10 (2003): 19–30; P. S. Churchland, *Touching a Nerve: Our Brains, Our Selves* (New York: W. W. Norton, 2013); F. Crick, *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul* (New York: Scribner, 1995); S. Dehaene, *Consciousness and the Brain* (New York: Viking Press, 2014); D. Dennett, *Consciousness Explained* (Boston: Back Bay Books, 1991); K. Frankish, “Illusionism as a Theory of Consciousness,” *Journal of Consciousness Studies* 23 (2016): 11–39; R. J. Gennaro, *Consciousness and Self Consciousness: A Defense of the Higher Order Thought Theory of Consciousness* (Philadelphia: John Benjamin’s Publishing, 1996); O. Holland and R. Goodman, “Robots with Internal Models: A Route to Machine Consciousness?” *Journal of Consciousness Studies* 10 (2003): 77–109; T. Metzinger, *The Ego Tunnel: The Science of the Mind and the Myth of the Self* (New York: Basic Books, 2009).

<sup>5</sup> D. Chalmers, “Facing Up to the Problem of Consciousness,” *Journal of Consciousness Studies* 2 (1995): 200–219.

свойство мозга: знание, основанное на моделях<sup>6</sup>. Мозг строит внутренние модели – изменчивые сгустки информации, которые образуются постоянно и произвольно, подобно пузырям значений, лежащих ниже уровня высшего мышления или языка. Эти внутренние модели отражают важные для отслеживания элементы, иногда ими являются внешние объекты, а иногда – свойства самой личности. Отражения оказываются упрощенными и искаженными, будто реальность изображена импрессионистом или кубистом, а мы описываем их как самую что ни на есть действительность. Мы не можем этого не делать, в нас это встроено. Наше интуитивное понимание окружающего мира и самих себя всегда искажено и упрощено и всегда основано на этих внутренних моделях.

В описываемой теории метафизические догадки о самих себе, о сознании как нефизической внутренней сущности (иногда ее именуют “призраком в машине”<sup>7</sup>) строятся на основе определенной внутренней модели. Я называю ее схемой внимания: почему – объясню дальше. Это упрощенное описание того, как мозг вбирает и обрабатывает информацию; оно представляет собой эффективный для мозга способ понимать и отслеживать свои собственные возможности. По-

---

<sup>6</sup> Более ранний и весьма прозорливый подход к сознанию, делающий акцент на внутренних моделях, содержится в работе: O. Holland and R. Goodman, “Robots with Internal Models: A Route to Machine Consciousness?” *Journal of Consciousness Studies* 10 (2003): 77–109.

<sup>7</sup> G. Ryle, *The Concept of Mind* (Chicago: University of Chicago Press, 1949).

добного рода внутреннюю модель можно использовать, хоть и в меньшей степени, чтобы отслеживать и прогнозировать мышление и поведение других людей.

Подход, основанный на моделях, может выглядеть так, будто сознание мы со счетов сбрасываем, – но нет. Внутренняя модель, сообщающая нам о нашем сознании, богата, она обладает глубиной и протяженностью. Скорее всего, без нее не обойтись. Практически ничего из того, что мы осуществляем – будь то восприятие, мышление, активная деятельность или социальные взаимоотношения, – не работало бы без этой части системы.

В своей книге я буду пользоваться терминами “сознание”, “субъективное осознание” и “субъективный опыт (субъективное переживание)” как взаимозаменяемыми, хотя и соглашусь, что ученые не всегда применяют их в одном и том же контексте. Слово “сознание” окружено особенно широким ореолом нечетких коннотаций. Прежде чем я доберусь до того, что имею в виду, я хочу уточнить, чего точно в виду *не имею*. Иногда люди представляют себе сознание как способность понимать, кто ты такой, понимать свой путь в жизни. Другие считают, что это скорее способность воспринимать окружающий мир, обрабатывать информацию и принимать на ее основе разумные решения. Ничего из этого я в виду не имею.

Чаще всего внутренний опыт трактуют, пожалуй, как по-

ток сознания – постоянно меняющееся, калейдоскопическое содержание психической деятельности. То самое брожение в голове, которое Джеймс Джойс запечатлел в знаменитом романе “Улисс”<sup>8</sup>. Писатель скрупулезно записывал сменяющие друг друга виды, звуки, ощущения от прикосновений, вкусы и запахи, всплывающие воспоминания о недавнем и далеком прошлом, неостановимый внутренний диалог, противоборствующие эмоции и фантазии (некоторые из них сочли настолько возмутительными, что книгу сначала запретили: судебное разбирательство 1933 г. “Соединенные Штаты против книги под названием “Улисс”» обеспечило нас современным юридическим определением непристойности). Но и этого я не имею в виду, говоря о сознании. Такой поток материала не поддается четкому определению, а его научное изучение было бы непосильным хотя бы по причине его объема.

Представьте вместо этого, что мы сложили в ведро тысячу мелких предметов. Можно подобно Джойсу составить пространственный список всего, что там есть. Но можно также задать вопрос более фундаментальный: как насчет самого ведра? Не будем пока о его содержимом. Из чего сделано ведро, откуда оно взялось? Как человек вообще что-то осознает? Сознание не может быть просто информацией внутри нас, потому что в каждый конкретный момент мы осознаем лишь кро-

---

<sup>8</sup> J. Joyce, *Ulysses* (Paris: Sylvia Beach, 1922). Русский перевод: Джойс Д. Улисс / Пер. с англ. В. Хинкиса и С. Хоружего; коммент. С. Хоружего. – М.: Республика, 1993.

шечную часть того, что содержится в мозге. Чтобы мы осознали кусочек информации, с ней что-то должно произойти. Так из-за чего же происходит осознание? Этот вопрос все больше занимал философов и ученых<sup>9</sup>. Термин “сознание” стал означать акт осознания чего-то, а не материал, который вы осознаете.

Я подозреваю, что постепенный сдвиг в философии от сосредоточения на элементах в потоке сознания к *акту осознания* некоторым образом связан с развитием за последние полвека компьютерных технологий. С усовершенствованием информационных технологий информационное содержание сознания перестало быть загадкой, а сам акт его осознания, переживания опыта отдалился и кажется неразрешимым. Давайте рассмотрим несколько примеров.

Вы можете подсоединить к компьютеру цифровую камеру и дать системе команду обрабатывать входящую зрительную информацию. Компьютер в состоянии определить цвета, формы, размеры объектов, распознать их. Человеческий мозг делает что-то похожее. Разница в том, что у людей еще есть субъективное переживание того, что они видят. Мы не просто регистрируем информацию о том, что предмет красный: мы переживаем *опыт* красноты. Мы что-то *чувствуем*, когда видим. Современный компьютер может обработать

---

<sup>9</sup> D. Chalmers, *The Character of Consciousness* (New York: Oxford University Press, 2010); T. Nagel, “What Is It Like to Be a Bat?” *The Philosophical Review* 83 (1974): 435–50; J. R. Searle, “Consciousness,” *Annual Review of Neuroscience* 23 (2000): 557–78.



зрительный образ, но инженеры еще не придумали, как заставить его осознать полученную информацию.

А теперь рассмотрим кое-что более личное, нежели зрительное восприятие: ваши воспоминания, которые определяют ваш жизненный путь. Постоянно бурлящие воспоминания – типичный пример джойсовского потока сознания. И все же мы умеем строить машины, которые хранят и извлекают их. На это способен каждый компьютер, а ученые знают общие принципы, да чуть ли не все детали того, как воспоминания хранятся в мозге. Память – не какая-то принципиальная загадка. Но не является она и причиной сознания. Содержание сознания – в данном примере это воспоминания – совсем не то же самое, что акт *осознания* воспоминания.

Приведу еще один пример: принятие решений. Тайну человеческого сознания лучше всего характеризует именно эта наша способность. Мы берем информацию, обрабатываем ее, оцениваем – и совершаем выбор, что делать дальше. Но я бы все-таки сказал, что сознание не является неотъемлемой частью принятия решений. Все компьютеры делают это. В каком-то смысле это и есть задача компьютера. Он берет информацию, производит с ней какие-то действия и пользуется ею, чтобы выбрать один из многих вариантов дальнейших действий. Большинство решений в человеческом мозге – вероятно, десятки тысяч в день – принимаются автоматически, без участия субъективного переживания опыта. В некоторых особых случаях мы сообщаем о субъективном

осознании принятия решения. Иногда мы называем это намерением, выбором или свободой воли. Но простая способность принять решение не требует сознания.

Эти и многие другие примеры показывают, как именно расцвет компьютерных технологий позволил увидеть различие между содержанием сознания (которое становится все понятнее на инженерном уровне) и актом осознания этого содержания. Мне интересна вторая, более значимая часть этой головоломки: как нам вообще удастся получить субъективное переживание чего бы то ни было?

Некоторые считают, что это ограничивающий подход. Меня часто спрашивают: а как же память? Как же осознанный выбор? Самопонимание? А намерения и убеждения? Разве это не основа сознания? Я согласен: все перечисленные вопросы важны, они суть главные предметы, лежащие в ведре человеческого сознания. Но в них нет принципиальной загадки. Это вопросы обработки информации, и мы можем представить себе, хотя бы в общих чертах, как они ставятся в инженерном смысле. Принципиальная загадка – само ведро. Что такое сознание – из чего оно сделано? Как в него попадают, в чем выгода в него попасть и почему в него попадает так мало из содержащегося в мозге?

Ученые традиционно полагали, что, применяя научный подход, нечто столь аморфное и ускользающее понять невозможно. Но, принимая в расчет недавние наблюдения и выводы, я практически уверен, что сознание настолько же подда-

ется пониманию и построению, как и обработка зрительной информации, память, принятие решений или любой другой элемент из его содержания.

Я и раньше много писал о сознании. Но эта книга целиком обращена к широкой аудитории. В ней я пытаюсь как можно проще и четче разъяснить многообещающую научную теорию сознания, которая одинаково приложима и к биологическому мозгу, и к искусственной машине.

Завязка нескольких следующих глав – эволюция. Я буду описывать развитие усложнения нервной системы начиная от полумиллиарда лет назад, когда появились нейроны (одни из видов клеток, из которых состоит мозг). По пути я стану вводить элементы теории схемы внимания, и к шестой главе у нас будут готовы основные строительные леса.

Затем я обращусь к тому, как данная теория взаимодействует с другими. Это одна из полудюжины основных теорий сознания, которые сейчас набирают вес в научной литературе. Согласно моим представлениям, которые я стараюсь передать в книге, эти теории не всегда следует рассматривать как конкурирующие – и не стоит гадать, какая из них перебьет всех соперников. Несмотря на их различия (а я действительно со многим в них не согласен) между этими теориями могут также быть странные, потайные связи. В каждой есть важные мысли. Мне кажется, мы начинаем видеть на горизонте проблески общего мнения... Или, скорее, сети согла-

сованных представлений.

В последних главах я углублюсь в потенциальные технологические последствия этой теории. Мы близки к пониманию сознания, достаточному для его конструирования. А когда у нас это получится, новые технологии, вероятно, изменят лицо нашей цивилизации. Сознательные машины – лишь первый шаг. Если сознание удастся построить, то тогда в принципе и разум можно будет переносить с одного устройства на другое. Более отдаленное, но возможное следствие – считывание данных с человеческого мозга и перенос психического мира этого человека на искусственную платформу<sup>10</sup>. Такие технологии могли бы позволить личности жить вечно и исследовать враждебные биологическим телам среды – например, межзвездное пространство. У нас на пути больше не стоят законы физики, необходимо лишь изобрести нужные устройства.

Если сознание можно понять с научной и инженерной точек зрения, то данная тема перестает быть просто философским развлечением для ученых. Она становится непосредственно важной практической задачей. Дальше в книге я

---

<sup>10</sup> R. A. Koene, “Scope and Resolution in Neural Prosthetics and Special Concerns for the Emulation of a Whole Brain,” *Journal of Geoethical Nanotechnology* 1 (2006): 21–29; R. Kurzweil, *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology* (New York: Penguin Books, 2006); H. Markram, E. Muller, S. Ramaswamy, M. W. Reimann, M. Abdellah, C. A. Sanchez, A. Ailamaki, et al., “Reconstruction and Simulation of Neocortical Microcircuitry,” *Cell* 163 (2015): 456–92; A. Sandberg and N. Bostrom, “Whole Brain Emulation: A Roadmap,” Technical Report #2008–3, Future of Humanity Institute, Oxford University, 2008.

опишу возможные применения сознания во многих вариантах технологического будущего; некоторые из них покажутся привлекательными, а некоторые, скажем прямо, ужасными. Но, хорошо это или плохо, я практически уверен, что мы стремительно движемся к научному пониманию сознания и способности сделать его искусственно.

# Глава 2

## Крабы и осьминоги

Самовоспроизводящаяся бактериальная жизнь появилась на Земле примерно 4 млрд лет назад. На протяжении почти всей истории Земли жизнь оставалась на одноклеточном уровне, и ничего похожего на нервную систему не существовало вплоть до 600–700 млн лет назад. В теории схемы внимания сознание основано на определенном способе обработки информации нервной системой. Ключевой элемент этой теории (и, я полагаю, любого развитого интеллекта) – внимание: способность мозга в каждый момент времени сосредоточивать свои ограниченные ресурсы на небольшом фрагменте мира, чтобы получить большую глубину обработки. В этой и нескольких следующих главах я рассмотрю, как внимание могло развиваться от древних животных до людей и как вместе с ним могло появиться свойство, которое мы называем сознанием<sup>11</sup>.

Начнем с морских губок, они “помогут” очертить грани-

---

<sup>11</sup> И другие авторы убедительно описывали возможный ход эволюции сознания, включая туда связи сознания с вниманием (хотя делали это иначе, чем я). К примеру: С. Montemayor and Н. Н. Haladjian, *Consciousness, Attention, and Conscious Attention* (Cambridge, MA: MIT Press, 2015); R. Ornstein, *Evolution of Consciousness: The Origins of the Way We Think* (New York: Simon & Schuster, 1991).

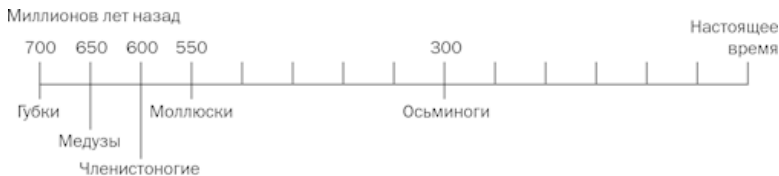
цы эволюции нервной системы. Губки – самые примитивные многоклеточные организмы, у них нет так называемого плана тела, нет конечностей, нет мышц, – и нервы им не нужны. Они закрепились на дне океана и фильтруют питательные вещества подобно сити. Но у нас есть общие с губками гены, в том числе не менее 25 из тех, которые у людей помогают структурировать нервную систему<sup>12</sup>. У губок те же самые гены могут выполнять более простые функции, например участвовать в коммуникации клеток друг с другом. Губки как будто балансируют на эволюционной грани нервной системы.

Считается, что последний общий у нас с ними предок существовал в диапазоне от 700 до 600 млн лет назад (см. шкалу времени на рис. 2.1)<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> O. Sakarya, K. A. Armstrong, M. Adamska, M. Adamski, I. F. Wang, B. Tidor, B. M. Degnan, T. H. Oakley, and K. S. Kosik, “A Post-Synaptic Scaffold at the Origin of the Animal Kingdom,” *PLoS One* 2 (2007): e506.

<sup>13</sup> Z. Yin, M. Zhu, E. H. Davidson, D. J. Bottjer, F. Zhao, and P. Tafforeau, “Sponge Grade Body Fossil with Cellular Resolution Dating 60 Myr before the Cambrian,” *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 112 (2015): E1453–60.



**Рис. 2.1** Описываемые в этой главе беспозвоночные и примерное время их появления

Другие древние животные – медузы – напротив, обладают нервной системой. Медузы плохо сохраняются в окаменелостях, но, анализируя их генетические взаимосвязи с другими животными, биологи предполагают, что они могли отделиться от остального животного царства примерно 650 млн лет назад<sup>14</sup>. Эти цифры, возможно, изменятся с получением новых данных, но в качестве правдоподобного предположения скажем, что нейроны – базовые клеточные компоненты нервной системы – впервые появились в животном царстве между губками и медузами.

Нейрон по сути своей – это клетка, передающая сигнал. Волна электрохимической энергии прокатывается по мембране клетки от одного края нейрона до другого со скоро-

---

<sup>14</sup> D. H. Erwin, M. Laflamme, S. M. Tweedt, E. A. Sperling, D. Pisani, and K. J. Peterson, “The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals,” *Science* 334 (2011): 1091–7; A. C. Marques and A. G. Collins, “Cladistic Analysis of Medusozoa and Cnidarian Evolution,” *Invertebrate Biology* 123 (2004): 23–42.



стью чуть более 60 м/с и действует на другой нейрон, мышцу или железу. Самые первые нервные системы могли быть устроены как простые сети нейронов, пронизывающие тело и соединяющие мышцы. По этому принципу нервных сетей существуют гидры<sup>15</sup>. Это небольшие водные создания, прозрачные, похожие на цветы, в роли тела у них выступает мешок со множеством щупалец; они принадлежат к той же древней категории, что и медузы. Если коснуться гидры в одном месте, нервная сеть распространит сигнал повсюду и вся гидра дернется.

Нервная сеть не обрабатывает информацию – не извлекает из нее какого-то значения. Она просто передает сигналы по телу, соединяет сенсорный стимул (прикосновение) с мышечной реакцией (подергивание). Но после возникновения нервной сети нервные системы довольно быстро перешли на новый уровень сложности: речь идет о способности усиливать некоторые сигналы относительно других. Форсирование сигнала – простой, но мощный прием, один из основных способов, посредством которых нейроны манипулируют информацией. Это базовый компонент практически всех известных нам вычислений, происходящих в мозге.

Один из наиболее изученных примеров – глаз краба<sup>16</sup>. У

---

<sup>15</sup> H. R. Bode, S. Heimfeld, O. Koizumi, C. L. Littlefield, and M. S. Yaross, "Maintenance and Regeneration of the Nerve Net in Hydra," *American Zoology* 28 (1988): 1053–63.

<sup>16</sup> R. B. Barlow Jr. and A. J. Fraioli, "Inhibition in the Limulus Lateral Eye in Situ," *Journal of General Physiology* 71 (1978): 699–720.

этого животного сложные глаза со множеством детекторов, в каждом из которых есть нейрон. Когда свет падает на детектор, он активирует находящийся внутри нейрон. Пока все идет как надо. Но добавим щепотку сложности: каждый нейрон связан с ближайшими соседями и по этим связям они соревнуются друг с другом. Когда активируется нейрон в одном детекторе, он пытается приглушить активность нейронов в соседних, подобно человеку в толпе, который старается кричать громче всех и заглушить тех, кто рядом с ним.

В результате получается, что, если на глаз краба направлено размытое пятно света и на один из детекторов попадает самая яркая его часть, нейрон в этом детекторе развивает высокую активность, побеждает в соревновании и отключает соседей. Паттерн активности набора детекторов сигнализирует не только о пятне света, но и о том, что вокруг пятна – кольцо темноты. Таким образом, сигнал усилен. Глаз краба берет размытую реальность из оттенков серого и повышает ее резкость, получая контрастную картинку, где тени темнее, а яркое ярче. Усиление сигнала – прямое следствие того, что нейроны подавляют своих соседей: этот процесс называется *латеральным торможением*<sup>17</sup>.

Описанный механизм в глазу краба, пожалуй, один из самых простых и базовых примеров, модельный экземпляр внимания. Сигналы соревнуются друг с другом, победители усиливаются за счет проигравших, и победившие сигнала

---

<sup>17</sup> К. Haderer, “On the Theory of Lateral Inhibition,” *Kybernetik* 14 (1974): 161–5.

лы затем влияют на движения животного. *Это и есть моделирующая сущность внимания.* Наше, человеческое, внимание – просто усложненная версия, состоящая из подобных компонентов. Латеральное торможение, такое же как в глазу у краба, можно найти на любой стадии обработки информации в нервной системе человека – от глаза до высших уровней мышления в коре головного мозга. Зарождение внимания лежит глубоко в эволюционной древности, ему более полумиллиарда лет, и произошло оно от удивительно простого нововведения (на тот момент, разумеется).

Крабы принадлежат к обширной группе животных под названием “членистоногие”, в которую входят пауки, насекомые и подобные им создания с твердыми сегментированными экзоскелетами. Они отделились от других животных около 600 млн лет назад<sup>18</sup>. Самое известное вымершее членистоногое, у которого сегодня больше всего поклонников, – это трилобит, существо из сочленений и ножек, похожее на маленького мечехвоста, которое главным образом копошилось на дне кембрийских морей примерно 540 млн лет назад. Когда трилобиты вымерли и оказались погребены в тончайшей взвеси осадка на дне океана, они превратились в окаменелости, у которых во всех подробностях сохранились фасеточные глаза<sup>19</sup>. Если вы взглянете в выпученные очи иско-

---

<sup>18</sup> S. Koenemann and R. Jenner, *Crustacea and Arthropod Relationships* (Boca Raton: CRC Press, 2005).

<sup>19</sup> B. Schoenemann, H. Pärnaste, and E. N. K. Clarkson, “Structure and Function of

паемого трилобита через лупу, то, скорее всего, вам удастся увидеть нетронутую мозаику отдельных детекторов. Судя по ископаемым остаткам, глаза трилобитов весьма напоминали глаза современных крабов и, должно быть, в них использовался тот же способ соревнования между соседними детекторами, чтобы повысить резкость обзора древнего морского дна.

Представьте себе животное, которое собирается по частям, сосредоточиваясь на каждом конкретном фрагменте. У такого животного любая часть тела будет работать как отдельный механизм, отбирая себе информацию и выделяя самые перцептивно значимые (насыщенные) сигналы. Один глаз скажет: “Вот самое яркое пятно, не реагируй на остальные”. А в это же время одна из ног пожалуется: “Меня только что сильно ткнули вот сюда, не обращай внимания на легкие прикосновения рядом!” Животное, способное лишь на такое, будет действовать как сборище отдельных “дейтелей”, которые склеены друг с другом просто физически, при этом каждый выкрикивает свои сигналы и вызывает свои собственные действия. Поведение такого животного будет в лучшем случае беспорядочным.

Для того чтобы непротиворечиво реагировать на окружающую среду, животному нужно более централизованное

внимание. Могут ли отдельные источники входящей информации – глаза, тело, ноги, уши, химические сенсоры – объединить свои данные, чтобы создать глобальную иерархию и отсортировать соревнование между сигналами? Подобное взаимодействие позволило бы животному выделить тот самый яркий объект в окружающей среде, который показался бы важнее всего в данный момент, и отреагировать единым, значимым образом.

Никто не знает, когда впервые появилось такое централизованное внимание, – в частности, потому что никто не знает точно, у каких животных оно есть, а у каких нет. У позвоночных есть центральный процессор внимания, который я опишу в следующей главе. Но у беспозвоночных механизмы внимания не так тщательно изучены. У многих видов животных, например кольчатых червей и брюхоногих моллюсков, нет централизованного мозга. У них есть кластеры нейронов, или ганглии, разбросанные по всему телу для локальной обработки информации<sup>20</sup>. Вероятно, нет у этих животных и централизованного внимания.

Более подходящие кандидаты на обладание им – членистоногие, такие как крабы, насекомые и пауки. У них есть центральный мозг или, по крайней мере, скопление нейро-

---

<sup>20</sup> R. Gillette and J. W. Brown, “The Sea Slug, *Pleurobranchaea californica*: A Signpost Species in the Evolution of Complex Nervous Systems and Behavior,” *Integrative and Comparative Biology* 55 (2015): 1058–69.

нов в голове, которое обильнее всех остальных в их телах<sup>21</sup>. Эти крупные ганглии могли развиваться в том числе из-за каких-то потребностей зрения. Поскольку глаза расположены в голове, а зрение – самое сложное и нагруженное информацией чувство, голова получает самую большую долю нейронов. Некоторые аспекты обоняния, вкуса, слуха и осязания также сходятся в этом центральном ганглии. Насекомые мозговитее, чем мы думаем. Когда вы пытаетесь прихлопнуть муху, а ей практически всегда удастся ускользнуть – это не просто рефлекс. Скорее, у мухи есть то, что мы называем централизованным вниманием – способность быстро сосредоточить ресурсы обработки информации на том фрагменте окружающего мира, который важнее всего в данный момент, чтобы выдать скоординированную реакцию<sup>22</sup>.

Осьминоги – суперзвезды среди беспозвоночных: их интеллект поразителен. Их относят к моллюскам – как улиток и мидий. Моллюски появились, вероятно, около 550 млн лет назад и оставались довольно просто организованными – по крайней мере, в том, что касается нервной системы, – на

---

<sup>21</sup> C. R. Smarandache-Wellmann, “Arthropod Neurons and Nervous System,” *Current Biology* 26 (2016): R960–R965.

<sup>22</sup> S. Koenig, R. Wolf, and M. Heisenberg, “Visual Attention in Flies – Dopamine in the Mushroom Bodies Mediates the After-Effect of Cueing,” *PLoS One* 11 (2016): e0161412; B. van Swinderen, “Attention in *Drosophila*,” *International Review of Neurobiology* 99 (2011): 51–85.

протяжении сотен миллионов лет<sup>23</sup>. У одной из ветвей развития, головоногих моллюсков, постепенно развились сложный мозг и сложное поведение; формой они стали напоминать современных осьминогов примерно 300 млн лет назад<sup>24</sup>.

Осьминоги, кальмары и каракатицы – поистине инопланетяне по отношению к нам<sup>25</sup>. Так далеко от нас на древе жизни нет других разумных животных. Они показывают нам, что мозговитый ум – не единичный феномен, так как он независимо развивался как минимум дважды: один раз в случае позвоночных, а затем снова у беспозвоночных. Осьминоги прекрасные хищники, а полагаются они на зрение. Хороший хищник должен обладать лучшей координацией и умом, чем его добыча, а использование зрения, чтобы обнаружить и распознать жертву, требует особо крупных модели-

---

<sup>23</sup> D. H. Erwin, M. Laflamme, S. M. Tweedt, E. A. Sperling, D. Pisani, and K. J. Peterson, “The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals,” *Science* 334 (211): 1091–97; B. Runnegar and J. Pojeta Jr., “Molluscan Phylogeny: The Paleontological Viewpoint,” *Science* 186 (1974): 311–17.

<sup>24</sup> J. Kluessendorf and P. Doyle, “*Pohlsepia mazonensis*, an Early ‘Octopus’ from the Carboniferous of Illinois, USA,” *Palaeontology* 43 (2000): 919–26; A. R. Tanner, D. Fuchs, I. E. Winkelmann, M. T. Gilbert, M. S. Pankey, A. M. Ribeiro, K. M. Kocot, K. M. Halanych, T. H. Oakley, R. R. da Fonseca, D. Pisani, and J. Vinther, “Molecular Clocks Indicate Turnover and Diversification of Modern Coleoid Cephalopods during the Mesozoic Marine Revolution,” *Proceedings of Royal Society, B, Biological Sciences* 284 (2017): 20162818.

<sup>25</sup> P. Godfrey-Smith, *Other Minds: The Octopus, the Sea, and the Deep Origins of Consciousness* (New York: Farrar, Straus and Giroux, 2016); S. Montgomery, *The Soul of an Octopus* (New York: Atria Books, 2015).

рующих мощностей. Ни у какой другой сенсорной системы нет подобного пожарного шланга, хлещущего внутрь всевозможной информацией, и нет подобной необходимости в грамотном способе сосредоточиваться на полезных фрагментах этой информации. А значит, внимание для такого хищника решает всё. Может быть, этот-то образ жизни осьминога и повлиял на развитие его интеллекта.

По тем или иным причинам у этого животного развилась выдающаяся нервная система. Осьминоги могут использовать инструменты, решать задачи и демонстрируют неожиданные творческие подходы<sup>26</sup>. Классическим стал пример, в котором эти моллюски научились откручивать крышки стеклянных банок, чтобы добраться до лакомства внутри. У осьминога есть центральный мозг, а также небольшие независимые процессоры в каждом щупальце; таким образом получается уникальная комбинация централизованного и распределенного управления<sup>27</sup>. Также у животного, вероятно, есть модели самого себя: богатые, постоянно обновляющиеся сгустки информации для отслеживания своего тела и по-

---

<sup>26</sup> A.-S. Darmaillacq, L. Dickel, and J. A. Mather, *Cephalopod Cognition* (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014); D. B. Edelman, B. J. Baars, and A. K. Seth, "Identifying Hallmarks of Consciousness in Non-Mammalian Species," *Consciousness and Cognition* 14 (2015): 169–87; J. N. Richter, B. Hochner, and M. J. Kuba, "Pull or Push? Octopuses Solve a Puzzle Problem," *PLoS One* 11 (2016): e0152048.

<sup>27</sup> B. Hochner, "An Embodied View of Octopus Neurobiology," *Current Biology* 22 (2012): R887–92.



ведения. С инженерной точки зрения, чтобы функционировать эффективно, ему быгодились эти модели. Например, у моллюска может быть что-то вроде схемы тела, которая следит за его формой и структурой, чтобы координировать движения (возможно, у каждого щупальца есть своя схема себя). В этом смысле можно сказать, что осьминог знает о самом себе. Он обладает как этой информацией, так и сведениями об окружающем мире, и эти данные приводят к сложному поведению.

Но перечисленные действительно чудесные черты не означают, что у осьминога есть сознание.

Исследователи сознания иногда используют термин “объективное осознание” для обозначения того, что информация попала внутрь, обрабатывается и может повлиять на выбор поведения<sup>28</sup>. Это определение задает невысокую планку: так можно сказать, что микроволновая печь осознает настройки времени, а беспилотный автомобиль – надвигающееся препятствие. Да, осьминог объективно осознает себя и объекты вокруг. В нем содержится информация.

Но осознает ли он *субъективно*? Если бы осьминог умел говорить, мог бы он сообщить о субъективном опыте сознания так же, как мы с вами?

Давайте его и спросим. Проведите неправдоподобный

---

<sup>28</sup> P. M. Merikle, D. Smilek, and J. D. Eastwood, “Perception without Awareness: Perspectives from Cognitive Psychology,” *Cognition* 79 (2001): 115–34; R. Szczepanowski and L. Pessoa, “Fear Perception: Can Objective and Subjective Awareness Measures Be Dissociated?” *Journal of Vision* 10 (2007): 1–17.

мысленный эксперимент (и запомните его – он нам еще пригодится в этой книге). Предположим, в нашем распоряжении оказался потрясающий научно-фантастический прибор – назовем его Речинатор-5000, – который переводит информацию в речь. В нем есть порт, к которому можно подключить голову осьминога, и прибор вербализует информацию, найденную в мозге.

Прибор может озвучить что-то вроде: “Там рыба”, если зрительная система осьминога содержит информацию о рыбе, плывущей неподалеку. Он может сказать: “Я существо с кучей конечностей, которые могут двигаться так и сяк”. Или: “Чтобы достать рыбу из банки, нужно повернуть ту круглую штуку”. Прибор бы многое сказал, отражая информацию, которая, как мы знаем, содержится в нервной системе осьминога. Но нам неизвестно, произнесет ли он: “У меня есть субъективный личный опыт – осознание – этой рыбы. Я не просто обрабатываю информацию о ней. Я ее *переживаю*. Я *чувствую*, каково это – видеть рыбу”. Мы не знаем, есть ли в мозге информация подобного рода, поскольку не в курсе того, что сообщают осьминогу его модели самого себя. У него, возможно, нет механизмов, чтобы смоделировать сознание или приписать себе это свойство. Применение понятия “сознание” по отношению к этому животному может оказаться нерелевантным.

Тайна осьминога – пример того, что животное может быть сложным и умным, а мы тем не менее все еще не в силах от-

ветить на вопрос о его субъективном опыте или даже о том, есть ли смысл задавать такой вопрос применительно к этому существу.

Возможно, один из источников путаницы здесь – невольное, но мощное стремление человека приписывать сознание всему вокруг. Как я подчеркнул в первой главе, мы склонны видеть сознание у кукол и других, еще менее вероятных кандидатов. Люди иногда верят, что их домашние растения осознают. Осьминог, у которого богатый поведенческий арсенал и большие глаза, наполненные сфокусированным вниманием, является в некотором роде тестом Роршаха с чернильными пятнами, убедительно запускающим в нас сильное социальное восприятие. Мы не только умом понимаем, что он собирает объективную информацию о мире, – мы не можем не чувствовать, что из этих задумчивых глаз исходит субъективное осознание. Но правда состоит в том, что мы этого не знаем, и наше ощущение сознающего разума говорит больше о нас, чем об осьминогах. Специалисты, которые изучают осьминогов, рискуют стать самыми ненадежными экспертами, потому что именно на них прежде всех остальных действуют чары этих удивительных созданий. Позже, в пятой главе, я вернусь к всепроникающему аспекту человеческого сознания: оно инструмент в нашем социальном арсенале, и мы безотчетно приписываем его тем, кто действует вокруг нас.

Чтобы внести ясность: я не утверждаю, что у осьминогов

*нет* сознания. Но нервная система этих моллюсков до сих пор настолько неполно изучена, что мы не можем сравнить организацию их мозга с организацией нашего и предположить, до какой степени могут быть похожи на наши их алгоритмы и модели самих себя. Для проведения подобных сравнений нам нужно заняться животными из своей собственной родословной — позвоночными.

# Глава 3

## Централизованный интеллект лягушки

В детстве я много времени проводил на ферме на севере штата Нью-Йорк. Каждое лето целыми ночами мы слушали брачное кваканье лягушки-быка в пруду за домом. Мы звали его Элвисом, а лягушку, чей голосок потоньше доносился в ответ, – Присциллой. С тех пор я обожаю лягушек, а занявшись нейробиологией, захотел узнать, что происходит у них в головах.

У этих животных есть область мозга, которая называется “тектум”. На латыни это значит “крыша”, тектум – крыша среднего мозга, самый заметный выступ на его верхушке. Он есть не только у лягушек. Возможно, лучше всего он изучен у амфибий, но присутствует также у рыб, рептилий, птиц и млекопитающих. Эта область мозга есть у всех позвоночных, и, насколько нам известно, ни у кого другого. Можно с немалой уверенностью предположить, что тектум развился примерно полмиллиарда лет назад у маленьких бесчелюстных рыб, общих предков позвоночных, и все потомки унаследовали эту часть мозга<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup> E. Knudsen and J. S. Schwartz, “The Optic Tectum, a Structure Evolved for Stimulus Selection,” in *Evolution of Nervous Systems*, ed. J. Kaas (San Diego:

У людей тоже есть тектум, но у нас он расположен не на верхушке мозга. Это сравнительно небольшой выступ (точнее, их два — по одному с каждой стороны), погребенный под кипами мозговых структур, которые расширились в нашем эволюционном прошлом. У людей и других млекопитающих он обычно называется верхним холмиком четверохолмия. Здесь для простоты я буду называть этот холмик тектумом.

Большую часть эволюционной истории позвоночных тектум был вершиной интеллектуальных достижений: самый сложный процессор в центре мозга. У лягушки он принимает зрительную информацию и выстраивает из мира вокруг амфибии некий аналог карты<sup>30</sup>. Каждая точка на округлой поверхности тектума соответствует точке в окружающем животное пространстве. Тектум с правой стороны мозга лягушки содержит точную карту зрительного поля левого глаза, то же самое с левым тектумом и правым глазом. Когда вокруг лягушки хаотично летает черная точка, глаза принимают эту информацию, зрительный нерв посылает сигналы в тектум, а тот запускает управление мышцами. В результате язык лягушки “выстреливает” с потрясающей точностью и ловит муху.

---

Academic Press, 2017), 387–408; C. Maximino, “Evolutionary Changes in the Complexity of the Tectum of Nontetrapods: A Cladistic Approach,” *PLoS One* 3 (2008): e3582.

<sup>30</sup> D. Ingle, “Visuomotor Functions of the Frog Optic Tectum,” *Brain, Behavior, and Evolution* 3 (1970): 57–71.

Логику такого устройства ввода-вывода особенно ярко продемонстрировал нейробиолог Роджер Сперри. В начале 1960-х гг.<sup>31</sup> он провел на лягушке операцию: отделил глаза, перевернул их на 180° и вставил обратно<sup>32</sup>. Глаза прижились. У лягушек удивительные способности к регенерации. Зрительный нерв заново пророс от глаз к тектуму и восстановил внутреннюю зрительную карту. Когда подопытная лягушка вновь начала видеть, при появлении мухи над головой она стала выбрасывать язык вниз. Если муха жужжала справа от лягушки, язык вылетал влево. Централизованный интеллект лягушки – это простой, но идеально эффективный механизм, который собирает сигналы от нервов и подбирает для них соответствующие реакции. К сожалению, манипуляции ученых его обманули. Модифицированную лягушку пришлось кормить с рук, иначе она бы погибла от голода.

Тектум лягушки занят не только зрением. Он также со-

---

<sup>31</sup> Здесь авторская неточность. Роджер Сперри проводил подобные эксперименты в начале 1940-х гг. Работа 1943 г., на которую ссылается автор в Примечаниях, посвящена исследованию зрения тритонов без регенерации нерва. Упомянутый выше эксперимент был описан в работе 1944 г. “Optic nerve regeneration with return of vision in anurans”, опубликованной в *Journal of neurophysiology*. Полное библиографическое описание статьи см. в Примечаниях на с. 224. – *Прим. науч. ред.*

<sup>32</sup> R. W. Sperry, “Effect of 180 Degree Rotation of the Retinal Field on Visuomotor Coordination,” *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* 92 (1943): 263–79; R. W. Sperry, “Optic nerve regeneration with return of vision in anurans,” *Journal of neurophysiology* 7.1 (1944): 57–69 (дополнение науч. ред.).

бирает информацию от ушей и осязательных рецепторов на коже<sup>33</sup>. Карта поверхности тела лягушки, а также слухового и зрительного пространств вокруг животного сходятся и частично интегрируются в тектуме. Это высший уровень интеграции в мозге амфибий: центральный процессор, который собирает воедино разрозненные сигналы, поступающие из окружающей среды, сосредоточивается на самом важном событии, происходящем в каждый конкретный момент, и запускает реакцию<sup>34</sup>. Тектум – механизм централизованного внимания лягушки.

Ученые могут прошупывать мозг с удивительной точностью, подобно тому как инженер-компьютерщик прошупывает микросхему. В одном из стандартных методов используются электроды: тонкие, как волосок, жесткие проводки, покрытые пластиковой изоляцией везде, кроме кончика. Оголенной остается примерно десятая доля миллиметра провода. Словно миниатюрный детектор, электрод в состоянии обнаруживать электрическую активность на микроскопическом расстоянии от оголенного металла. Длинный, гибкий провод, тянущийся от электрода, соединяет его с принимающим оборудованием. Точный механизм закрепляет электрод

---

<sup>33</sup> C. Comer and P. Grobstein, "Organization of Sensory Inputs to the Midbrain of the Frog, *Rana pipiens*," *Journal of Comparative Physiology* 142 (1981): 161–68.

<sup>34</sup> B. E. Stein and M. A. Meredith, *The Merging of the Senses* (Cambridge, MA: MIT Press, 1993).



на месте, а затем двигает его микрометр за микрометром, чтобы исследовать заданную область мозга.

Такая схема достаточно чувствительна для измерения активности отдельных нейронов в мозге. Когда нейрон вблизи кончика электрода подает сигнал своим соседям, устройство регистрирует этот крошечный электрический импульс. Сигнал усиливается и передается в динамики, а экспериментатор слышит щелчок. В обычных обстоятельствах нейрон выдает один-два случайных щелчка в секунду, но, если он активно задействуется в происходящем, клетка может внезапно разразиться сотней щелчков за секунду. Любимая забава нейробиологов – слушать щелчки отдельных нейронов и гадать, какую роль те выполняют в мозге.

Каждый нейрон в тектуме лягушки работает как детектор<sup>35</sup>. Он следит за определенной зоной пространства – например, областью непосредственно над головой – и срабатывает чаще, когда в эту область попадает какой-то объект. Нейроны бывают разные: какие-то предпочитают движущиеся определенным образом зрительные стимулы, другим больше нравятся звуки или прикосновения. По крайней мере некоторые нейроны мультисенсорны: для них нет разницы, приближается к макушке видимый объект, раздается оттуда звук или к голове прикасаются, – они сработают, что-

---

<sup>35</sup> C. Comer and P. Grobstein, "Organization of Sensory Inputs to the Midbrain of the Frog, *Rana pipiens*," *Journal of Comparative Physiology* 142 (1981): 161–68; D. Ingle, "Visuomotor Functions of the Frog Optic Tectum," *Brain, Behavior, and Evolution* 3 (1970): 57–71.

бы передать сигнал остальному мозгу. Если два или более чувств сходятся, передавая одно и то же сообщение о приближающемся объекте, соответствующие нейроны в тектуме становятся особенно активными. Простое вычисление словно говорит: “одна улика – уже хорошо, а если их две или три – явно происходит что-то важное”<sup>36</sup>.

Подобный экспериментальный метод можно использовать и в обратном направлении: посылать по электроду импульсы, чтобы активировать близлежащие нейроны. Этот метод называется микростимуляцией. Такая стимуляция настолько слаба, что на коже вы ее не почувствуете, но ее хватает, чтобы пощекотать нейроны и побудить их послать свои собственные сигналы. Использование микростимуляции позволяет задать вопрос: “Если искусственно заставить возбуждаться эту группку нейронов у кончика электрода, что они велют делать животному?”

Скажем, саламандра при электрической стимуляции тектума производит сложное скоординированное движение<sup>37</sup>. Она поворачивается, открывает рот, высовывает язык, вытягивает передние конечности и делает хватательные движения своими длинными тонкими пальцами – будто ловя до-

---

<sup>36</sup> B. E. Stein and M. A. Meredith, *The Merging of the Senses* (Cambridge, MA: MIT Press, 1993).

<sup>37</sup> T. Finkenstadt and J.-P. Ewert, “Visual Pattern Discrimination through Interactions of Neural Networks: A Combined Electrical Brain Stimulation, Brain Lesion, and Extracellular Recording Study in *Salamandra salamandra*,” *Journal of Comparative Physiology* 153 (1983): 99–110.

бычу. Какую бы область пространства ни отслеживали нейроны в определенной зоне тектума, при электрической стимуляции этих нейронов животное будет тянуться к той самой области.

Стимулируйте точку на карте тектума игуаны – и повернутся ее тело, голова, глаза<sup>38</sup>. Животное будет смотреть ровно на то место, которому соответствует ваша точка на карте.

Стимулируйте тектум рыбы, и ее тело изменит положение, чтобы сориентироваться на нужную область пространства<sup>39</sup>. Точно развернуться в нужном направлении для рыбы – это не просто пошевелить шейным суставом. Здесь требуется сложное взаимодействие плавников и воды.

У гремучих змей есть своя версия инфракрасного зрения: пара специализированных чувствительных к температуре органов, расположенных посередине между глазами и ноздрями. Эти органы посылают информацию в тектум, который формирует карту температурных сигналов, наложенную на обычную зрительную карту пространства<sup>40</sup>. Предполагается, что на этой мультисенсорной карте основываются

---

<sup>38</sup> B. E. Stein and N. S. Gaither, "Sensory Representation in Reptilian Optic Tectum: Some Comparisons with Mammals," *Journal of Comparative Neurology* 202 (1981): 69–87.

<sup>39</sup> H. Vanegas and H. Ito, "Morphological Aspects of the Teleostean Visual System: A Review," *Brain Research* 287 (1983): 117–37.

<sup>40</sup> P. H. Hartline, L. Kass, and M. S. Loop, "Merging of Modalities in the Optic Tectum: Infrared and Visual Integration in Rattlesnakes," *Science* 199 (1978): 1225–29.

как способность змеи поворачивать голову в сторону добычи, так и точность ее нападения.

В тектуме совы зрительная карта совмещена со звуковой<sup>41</sup>. Когда птица охотится, она может нацеливаться, либо увидев добычу, либо, при охоте ночью, услышав ее шуршание в траве.

Стимулируйте верхний холмик обезьяны, и произойдет стремительное скоординированное движение головы и глаз<sup>42</sup>. Обезьяна повернется к нужной точке пространства. Мне не встречались исследования с применением электрической стимуляции к верхнему холмику мозга человека, но мы – подвид приматов, и у нас предположительно действует тот же механизм, что и у обезьян. Когда вы поворачиваетесь на что-то посмотреть, особенно если неожиданное событие заставляет вас ориентироваться быстро, рефлекторно, – это непринужденное на вид, хорошо скоординированное движение скорее всего запускается из тектума.

Все позвоночные пользуются тектумом примерно одинаковым образом, хотя у многих видов есть свои дополнительные особенности. Область мозга собирает сенсорную информацию, выбирает самое яркое из происходящего вокруг и направляет животное, физически поворачивая его органы

---

<sup>41</sup> S. P. Mysore and E. I. Knudsen, "The Role of a Midbrain Network in Competitive Stimulus Selection," *Current Opinion in Neurobiology* 21 (2011): 653–60.

<sup>42</sup> R. H. Wurtz and J. E. Albano, "Visual-Motor Function of the Primate Superior Colliculus," *Annual Review of Neuroscience* 3 (1980): 189–226.

чувств в нужную сторону.

Такая ориентировка иногда называется явным вниманием<sup>43</sup>. Это простое решение фундаментальной проблемы: вокруг происходит так много всего, что мозгу не справиться с обработкой всей информации. Животному нужно выбрать наиболее его интересующее и отбросить остальное. Если вы направите глаза и уши на один объект, то автоматически отбросите другие события, которые окажутся на периферии. Для вас эту работу выполняет тектум. Это первый в эволюции “центральный пульт управления” вниманием в мозге позвоночных.

Большинство людей, говоря о внимании, имеют в виду именно явное. В обиходном смысле слова, на что вы смотрите – тому и уделяете внимание. Отвернувшись от объекта – не уделяете.

Но взгляд – это лишь часть истории о внимании. Студент может машинально черкать на бумажке, смотреть в тетрадь, но по-прежнему обращать *скрытое* внимание на преподавателя. Или представьте, что вы случайно услышали, как люди вас обсуждают. Вы не станете поворачиваться к ним, чтобы не выдать себя, но ваше внимание, ваши ресурсы обработки информации сосредоточатся на этом разговоре. Или вы можете замечтаться, сидя в кресле, и ваше внимание обратится на что-то, чего попросту не существует в физическом мире, а

---

<sup>43</sup> М. I. Posner, “Orienting of Attention,” *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 32 (1980): 3–25.

ваш взор будет рассеянно блуждать по потолку. Во всех этих примерах направление внимания не совпадает с направлением взгляда. Этот более сложный его вид – скрытое внимание – не входит в обязанности тектума, который занимается только явной ориентировкой. С тектумом в роли основного центра внимания лягушка в состоянии пользоваться только явным вниманием. Она может физически разворачиваться к объектам окружающего мира.

Во внимании – явном ли, скрытом – нет смысла, если им нельзя управлять. Но управление – не такая уж простая инженерная задача. Нужно тщательно отслеживать управляемое. Впервые в этой эволюционной истории мы встретим не просто клетки, обрабатывающие информацию, и не просто животных, направляющих внимание, но мозговые системы, которые создают *схему внимания* – комплекс информации (его называют внутренней моделью), следящий за состоянием внимания. Наша эволюционная история подбирается все ближе к чему-то напоминающему сознание. Но пока еще не добралась.

Беспилотному автомобилю нужна внутренняя модель всей конструкции. Встроенный в него компьютер должен не только получать информацию о внешнем мире и затем посылать сигналы рулю и педалям. Системе необходима информация о самой машине, ее форме и размере, ее поведении на дороге, ее постоянно меняющихся характеристиках: ско-

рости, ускорении, местоположении. Без богатой, постоянно обновляемой внутренней модели, содержащей большой объем информации, у машины будет лишь центр управления, который посылает водительские команды, но, скорее всего, дело кончится аварией.

Принцип внутренней модели был впервые описан в инженерной сфере<sup>44</sup>. Неважно, что управляется – что-то материальное, вроде машины или роботизированной руки, или нечто аморфное, например поток воздуха во всех помещениях большого здания. Чтобы система управления работала как следует, ей нужна внутренняя модель того, чем она управляет. Ей требуется возможность наблюдать машину, робота или потоки воздуха. Внутренняя модель чем-то напоминает карту на столе генерала – с маленькими пластиковыми танками и солдатами. Это связный комплекс информации, который, обычно упрощенным или схематичным образом, отражает и отслеживает то, чем нужно управлять.

Тот же принцип работает и в биологии. Мозг управляет телом с помощью внутренней модели, так называемой схемы тела – комплекса информации о его структуре и постоянно меняющемся состоянии<sup>45</sup>. Иногда при инсульте повреждают-

---

<sup>44</sup> E. F. Camacho and C. Bordons Alba, *Model Predictive Control* (New York: Springer, 2004); R. C. Conant and W. R. Ashby, "Every Good Regulator of a System Must Be a Model of That System," *International Journal of Systems Science* 1 (1970): 89–97; B. A. Francis and W. M. Wonham, "The Internal Model Principle of Control Theory," *Automatica* 12 (1976): 457–65.

<sup>45</sup> M. S. A. Graziano and M. M. Botvinick, "How the Brain Represents the

ся области мозга, которые строят схему тела<sup>46</sup>. Если пациент больше не осознает форму или структуру своей руки, он не сможет ею управлять. Пострадают простые навыки – указывать на что-то, дотягиваться рукой, держать чашку. Но увидеть важность внутренней модели можно и не заглядывая в отделение постинсультной реабилитации. Повесьте тяжелую сумку с покупками на запястье и попробуйте взяться за ручку двери: поначалу ваши движения будут неуклюжими. Внутренняя модель руки, имеющаяся у мозга, внезапно оказывается неправильной: изменились динамические свойства конечности. Но очень быстро, за несколько попыток, внутренняя модель выучит новые правила, и ваши движения станут плавнее и точнее<sup>47</sup>

---

Body: Insights from Neurophysiology and Psychology,” in *Common Mechanisms in Perception and Action: Attention and Performance XIX*, ed. W. Prinz and B. Hommel (Oxford, UK: Oxford University Press, 2002), 136–57; N. Holmes and C. Spence, “The Body Schema and the Multisensory Representation (s) of Personal Space,” *Cognitive Processing* 5 (2004): 94–105; F. de Vignemont, *Mind the Body: An Exploration of Bodily Self-Awareness* (Oxford, UK: Oxford University Press, 2018).

<sup>46</sup> H. Head and G. Holmes, “Sensory Disturbances from Cerebral Lesions,” *Brain* 34 (1911): 102–254; G. Vallar and R. Ronchi, “Somatoparaphrenia: A Body Delusion. A Review of the Neuropsychological Literature,” *Experimental Brain Research* 192 (2009): 533–51.

<sup>47</sup> A. M. Haith and J. W. Krakauer, “Model-Based and Model-Free Mechanisms of Human Motor Learning,” in *Progress in Motor Control: Neural Computational and Dynamic Approaches, Volume 782*, ed. M. Richardson, M. Riley, and K. Shockley (New York: Springer, 2013), 1–21; S. M. McDougle, K. M. Bond, and J. A. Taylor, “Explicit and Implicit Processes Constitute the Fast and Slow Processes of Sensorimotor Learning,” *Journal of Neuroscience* 35 (2015): 9568–79; R. Shadmehr and F. A. Mussa-Ivaldi, “Adaptive Representation of Dynamics during Learning of a





# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.