

И. И. Абрамов, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск,
220013, Республика Беларусь, e-mail: nanodev@bsuir.edu.by

СОЗНАНИЕ ЧЕЛОВЕКА, ИЛИ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ. ЧАСТЬ III.

Поступила в редакцию 22.04.2019

На основе предложенной ранее полной электронной интерпретации функционирования мозга рассмотрен феномен "сознание человека". В части III работы в результате более детального анализа процесса осознанной обработки сенсорной информации сформулирован основной принцип функционирования мозга — преобразование сигналов и энергетических реконструкций, а также рассмотрены: понятие "квалиа"; характер обработки информации мозгом, природы жизни; основные проблемы и направления исследования сознания.

Ключевые слова: сознание человека, мозг, полная электронная интерпретация, наноэлектроника

Осознанная обработка сенсорной информации

Рассмотрим сначала один из самых сложных режимов работы мозга — осознанную обработку сенсорной информации. Согласно предложенной полной электронной интерпретации функционирования мозга [1—6] — это один из вариантов смешанных (третий тип) режимов работы мозга. Попробуем уточнить, что при этом происходит, так как в части I [7], в сущности, рассмотрен доминирующий процесс в работе сознания. В качестве основы, кроме отмеченных принципов в части I [7] использовалась и современная информация нейронауки, прежде всего нейробиологии (см., например, работы [8—14]), а также привлекавшаяся для построения эмпирических теорий сознания (хороший их обзор приведен в учебнике [15]), а именно: теории глобального рабочего пространства Баарса; теории нейронального глобального рабочего пространства Деана и др.; нейробиологической теории Крика и Коха; теории динамического ядра Тонони и Эдельмана; теории информационной интеграции Тонони; теории рекуррентной обработки Ламме; теории сознания как чувства происходящего Дамасио и др. С точки зрения автора, эмпирические теории сознания представляют наибольшую перспективу для дальнейшего развития, так как основываются на серьезной научной базе (данных нейробиологии, нейронауки в целом), а не фанта-

зиях, т. е. будем по-прежнему анализировать феномен "сознание человека" в соответствии с принципом "бритвы Оккама" [7].

При детализации процесса осознанной обработки сенсорной информации, строго говоря, необходимо анализировать полную систему, а именно [7, 16]: мозг — другие составляющие нервной системы — тело — окружающая среда. В части I [7] отмечалось, что, к сожалению, возможно лишь приближенное рассмотрение явлений, происходящих в полной системе, поэтому проанализируем, что происходит хотя бы в целом на каждом из основных этапов процесса обработки.

Преобразования информации начинаются с самого начала процесса после попадания сигналов из внешней среды и от внутренних органов на рецепторы сенсорных систем. Известно, что рецепторы, как правило, предназначены для принятия одного вида сигналов. В то же время попадающие на тело, в том числе рецепторы, сигналы могут быть самыми разнообразными [1, 2]: механическими, оптическими, тепловыми, химическими, электрическими и др. Кроме того, не следует забывать, что расположение рецепторов на теле человека носит дискретный характер. В связи с этим сразу же проводятся *редуцирование и декомпозиция* входящей информации от окружающей среды и внутренних органов. Например, известно, что для

первичной обработки электромагнитных волн используются рецепторы (точнее фотопигменты, см. далее), чувствительные только к трем областям длин волн оптического диапазона, приблизительно соответствующих возможности человека отличать красный, зеленый и синий цвета.

Итак, когда начинается обработка информации? Ответ очевиден: сразу. Особенно это хорошо понятно на примере электромагнитных волн, так как человек воспринимает только узкий спектр волн оптического диапазона. Влияет ли тело на этот процесс? Ответ менее очевиден, но все же: конечно. Это прежде всего связано с тем, что рецепторы сенсорных систем расположены в теле человека, а следовательно, влияние на них может быть, например, в результате изменения температуры тела, болезней, действия химических процессов и их изменения и т. п. Следует также особо отметить чувствительность нижних порогов ощущений от различных факторов, приводящих как к повышению, так и к понижению чувствительности, например, в зависимости от яркости освещения, индивидуальных различий, психологического, т. е. обратного, влияния, взаимодействия ощущений, и многих других (см., например, [17]).

Таким образом, при обработке сенсорных сигналов необходимо учитывать влияние как окружающей среды, что очевидно, так как поступающие сигналы идут от нее, так и тела. Поэтому не должно вызывать удивление все более распространяющееся мнение, особенно среди нейробиологов, о необходимости учета влияния и тела на сознание человека.

В результате поступления информации из внешней среды и от внутренних органов происходит ее декомпозиция по внешним и внутренним сенсорным системам, принципы работы которых хорошо описаны в учебнике [18]. После первичной обработки, как правило, стимул соответствующей модальности *конвертируется* в электрические сигналы. А далее эти сигналы распространяются по нервной системе с постоянными преобразованиями из электрических в химические (например, в химических синапсах) сигналы, и наоборот. Так как в этом процессе передачи информации принципиальное значение имеют различные каналы (ионные и др.), т. е. наноэлектромеханические системы (НЭМС) [7], то влияние оказывают и механические процессы. Другими словами, при передаче информации для дальнейшей обработки в главный информационный центр человека, т. е. мозг, идет постоянное преобразование сигналов, а следовательно, их изменения (*трансформация*), т. е., вообще говоря, предварительная обработка информации продолжается.

После таких *многочисленных преобразований* (редуцирования, декомпозиции, конвертирования, трансформации) сигналов, что должен сделать мозг, чтобы отразить действительность (в соответствии с отмеченным в части I [7] принципом отражения высшей нервной деятельности)? Он должен собрать все это вместе, т. е. сделать *реконструкцию* действительности в самом же мозге! Другого места у него просто нет. Как он это делает? Попытаемся это понять для процесса обработки сенсорной информации с использованием имеющихся и отмеченных ранее современных сведений из нейронаук.

Самое интересное заключается в том, что после поступления такой *разобранной информации* в мозг преобразования продолжают, т. е. до основательной реконструкции еще далеко. В дальнейшем для упрощения анализа будем проводить рассмотрение в соответствии с полной электронной интерпретацией функционирования мозга, т. е. считать нейронные цепи электрическими цепями первого типа, по которым распространяются электрические сигналы [1, 2, 4, 7].

Для сознательной обработки сенсорной информации *основное* значение имеют три крупных структуры мозга: ствол, таламус и кора. Сразу же отмечу, что влияние при выполнении различных психических функций, включая сознание, могут оказывать и другие структуры мозга. Это также связано с тем, что мозг характеризуется дублированием в работе нейронных цепей. Необходимо это для обеспечения *надежности* функционирования мозга. Кроме того, идет постоянный обмен информацией (сигналами) между различными областями мозга, нейронными цепями, нейронами. И все это может быть важным! В связи с этим допустимо говорить лишь о ключевых структурах, основных процессах. Отмеченные особенности работы мозга приводят к многочисленным возможным вариантам исполнения мозгом даже казалось бы одних и тех же психических функций. Поэтому далее рассматриваем только несколько возможных вариантов обработки сенсорной информации, которые, однако, позволяют выделить основные закономерности, характерные особенности и доминантные процессы.

Ствол мозга, судя по всему, играет важное значение для поддержания необходимого уровня активации структур мозга, соответствующего состоянию бодрствования человека. При этом является также важным обмен информацией (сигналами) с корой головного мозга, проходящей через таламус, т. е. туда и обратно. Кора вместе с таламусом таким образом регулирует деятельность ствола, поддерживая в результате кооперативной работы состоя-

ние бодрствования. Ключевое же значение непосредственно для сознательной обработки сенсорной информации, как обычно считается в нейробиологии (см. например, [9]), имеет таламокортикальная система (таламус и кора головного мозга). Известный нейробиолог А. Дамасио, однако, считает, что "самые первые проявления психики возникают в стволовой части мозга" [19]. Многие конечно зависят от того, что иметь в виду. Как было показано ранее, обработка информации начинается с самого начала процесса.

Поступившая разобранная информация об окружающей среде и теле в мозг распределяется далее таламусом (своеобразным "коммутатором", как его часто образно называют в нейробиологии) на карты соответствующих сенсорам систем¹: зрительной, слуховой, осязательной (тактильной), вкусовой. Единственным исключением является информация о запахах (обонятельная система) [12]. Она попадает на карту, минуя таламус. Поэтому также различают следующие виды "памяти: зрительная, слуховая, обонятельная, вкусовая и осязательная (тактильная)" [20]. Сенсорные карты — это области коры головного мозга, в которых хранится соответствующая информация в разобранном виде в результате иерархической обработки, проведенной ранее, и, судя по всему, частично заложенной генетически. В настоящее время в целом определены области мозга (нормально функционирующего), в которых расположены карты (см., например, [9]).

Для дальнейшего рассмотрения нам важно отметить следующее: "Задняя часть коры содержит области проекций основных органов чувств: зрения, слуха, осязания, обоняния и вкуса. Напротив, передняя часть включает регуляцию действий, планирование, некоторые функции рабочей памяти, речь и им подобное" [9].

Таким образом, карты сенсорных систем и карты целей, смыслов разделены в мозге существенно. В то же время карты сенсорных систем расположены в различных областях коры головного мозга.

Сначала у специалистов вызвало крайнее удивление следующее: "мозг использует одни и те же области, чтобы вообразить какую-нибудь сцену и увидеть ее в действительности" [21]. Сейчас эта точка зрения признана многими нейробиологами (см., например, [9, 22]). Следовательно, при обработке поступающей сенсорной информации идет *иерархическая сборка* информации в результате прохождения электрических сигналов по нейронным цепям соответствующей области коры. Это

¹ Более детальное разбиение на сенсорные системы приведено в работе [18]. И в этом случае, однако, можно говорить о соответствующих картах.

говорит о том, что *из разобранной информации, полученной и заложенной ранее на хранение (закодированной), может быть воспроизведена в результате прохождения электрических сигналов (декодировки) не только старая, но и, что особенно восхищает, вновь поступающая информация, т. е. новая!* Таким образом, идет гибкая сборка вновь поступившей информации из самых разнообразных фрагментов². Эта *реконструированная* информация, к сожалению, разрозненная по картам мозга, т. е. надо продолжить объединять ее, но уже в единое целое.

Зачем такие казалось бы на первый взгляд сложности? Главный смысл этого заключается в необходимости чрезвычайно экономичного хранения информации, как для запоминания, так и воспроизведения старой и новой информации, т. е. бережного отношения к имеющимся ресурсам коры головного мозга, которые, к сожалению, ограничены, и в то же время мозг должен и может надежно работать десятилетиями. Следовательно, речь идет об определенных, достаточно универсальных механизмах обработки информации с помощью электрических (нейронных) цепей первого типа после ее предварительной обработки на входе в соответствующие сенсорные системы. В результате реактивации соответствующих нейронных цепей карт сенсорных систем фактически собираются коалиции (назовем их *коалиции нейронов сенсорных карт*), ответственные за реконструкции тех или иных воспоминаний и/или действительности. Случай "и" может соответствовать галлюцинациям, инициированным извне.

Далее происходит еще более интересное. Информация от сенсорных карт поступает в лобные доли для объединения в единое целое. И здесь возможно множество различных вариантов. В связи с этим рассмотрим лишь некоторые, характерные.

Предположим, что вы идете по улице. Обычно все происходит в автоматическом (на подсознательном уровне) режиме, т. е. работает система 1 [7]. Фактически сигналы, проходящие по объединенной коалиции нейронов, и есть планирование (моделирование или прогноз) ситуации [7] (назовем объединение нейронов в данном случае *коалицией планирования или прогнозирования*), а дальше происходит инициация действия (см. рис. 1, стр. 313 [7]) и передача сигналов соответствующим системам для исполнения. Замечу, что согласно данным нейробиологии карты действия расположены рядом, т. е. тоже в лобной доле, что приводит к эко-

² Вспомним о пикселях в экранах телевизоров и других устройствах. В мозге, однако, это происходит намного изощреннее, так как очевидно, что экрана в нем нет, да и подобных традиционной электронике воспроизводящих устройств тоже. Все сделано универсальнее и интереснее.

номии времени взаимодействия. Так фактически происходит подсознательное действие в данном случае со значительной экономией времени, что может быть важным. По оценкам нейробиологов для осуществления таких действий требуется около 100 мс [9].

Однако самое интересное все же происходит в другом случае. Предположим, что коалиция нейронов, хотя бы одной из сенсорных систем, сигнализирует об опасности. Например, вы увидели в процессе движения по улице что-то опасное. В данной ситуации происходит повышение активации и превышение порога осознания, который может зависеть от многих факторов, а также своеобразный резонанс с картами целей, смыслов в лобных долях. Известно, что "в состоянии бодрствования префронтальная кора является наиболее активной" [20], т. е. как бы находится в режиме ожидания, своеобразного сканирования ситуации. Не исключено, что соответствующие области (подобласти) лобных долей дополнительно активируются сигналами из таламуса, т. е. происходит еще и подготовка к приему сигналов соответствующей сенсорной карты (или карт). В результате такого резонансного взаимодействия (процесса самоорганизации) начинает идти из лобных долей в сенсорные карты обратная (отраженная) волна повышенной активации. Этот процесс уже требует большего времени — по оценкам нейробиологов около 300—500 мс и более.

Энергетический поток, проходящий по этой объединенной коалиции нейронов, и есть осознание [7]. Отмечу, что эта коалиция осознания, по-видимому, отличается от коалиции прогнозирования для данного случая. Повышенная активация при осознании необходима, по крайней мере, для следующего: 1) выделения "главной" коалиции нейронных цепей и в результате осознания возможной корректировки действий (см. рис. 2.1, а стр. 313 [7]); 2) "отсечки", подавления второстепенных цепочек, в том числе связанных с другими маловажными в рассматриваемом случае психическими функциями. Именно для этого, как мне кажется, в основном и нужны более многочисленные связи в мозгу сверху вниз, чем снизу вверх. Это вызывает у многих нейробиологов крайнее удивление: зачем; 3) для возможной корректировки (запоминания) как сенсорных карт, так и одновременно карт целей, смыслов, действий в лобных долях. Конечно же, в зависимости от поступающей информации возможна не только "отсечка", но и взаимодействие с областями, психическими функциями, обеспечиваемыми структурами мозга, отвечающими, прежде всего, за речь, а также эмоции, моторные функции и др.

Для осуществления такой сознательной деятельности необходим определенный уровень активации, лежащий в оптимальном для каждого человека диапазоне. Если активация ниже состояния бодрствования, то нормальный человек находится в некоторых измененных состояниях сознания (ИСС) [23], например, состояниях сна. Более низкие активации характерны также для некоторых психических расстройств (деменции и др.), различных видов комы. В то же время превышение оптимального диапазона активации может приводить к приступам эпилепсии, другим расстройствам. Кроме уровня активации для прохождения этой волны по коалиции осознания, необходима также определенная степень синхронизации. Учитывая то, что области объединения лобных долей и размещения сенсорных карт находятся на относительно большом расстоянии в мозге, кроме уровня активации становятся более важными высокочастотные сигналы, характерные для гамма-волн.

Таким образом, *осознание человека — главный доминирующий процесс энергетической реконструкции в соответствующей коалиции нейронов в оптимальном диапазоне активации бодрствующего состояния нормального человека.* В данный момент времени коалиция осознания может быть в мозге только одной, что и приводит к известному феномену "бутылочного горлышка" (см., например, [13]). Конечность времен, связанных с осознанием, приводит к другому феномену — неэкономичности в целом многозадачной мыслительной деятельности [24], так как приходится переключать сознание с одной деятельности на другую (идет последовательная обработка). А это занимает около 500 мс, т. е. приводит к потере времени на переключение. Этим осознание также существенно отличается от подсознательной деятельности, характеризуемой множеством процессов, происходящих в параллель.

Схематично процесс осознания показан на рис. 2, а (стр. 313 [7]). Понятно, что он характеризуется повышенными энергозатратами. Исключениями, по-видимому, являются такие ИСС как, например, состояние "потока", медитации [23]. Еще раз подчеркну, что "сознание — бесспорно системное, интегративное свойство мозга человека" [7].

В соответствии с изложенным выше и выделяются основные составляющие "спирали" мыслительной деятельности [7], когда работает система 1 и система 2 в случае третьего смешанного режима функционирования мозга. В случае внутреннего режима работы системы 2 может быть исключена инициация действия. В то же время сама инициация мыслительных процессов, судя по всему, происходит в префронтальной коре (ПФК) (лобные доли), а далее идет чередование работ коалиций ней-

ронов прогнозирования и осознания (см. рис. 2, b, стр. 313 [7]).

Еще раз подчеркну, что здесь рассмотрены всего лишь несколько возможных вариантов мыслительной деятельности. Большое разнообразие может возникать вследствие подключения других структур мозга, регулярного обмена сигналами между различными областями, а также выхода некоторых из параллельных подсознательных процессов на уровень осознания, и наоборот, приводя к своеобразным осцилляциям, сменам в спирали мыслительной деятельности. И наконец, от индивидуальных особенностей нейронных цепей.

И тем не менее, *несмотря на возможность большого числа возможных вариантов, при обработке информации в центральной нервной системе общей закономерностью являются преобразования сигналов и энергетические реконструкции. Эту общую закономерность автор и считает главным принципом функционирования мозга.*

Рассмотрим несколько интересных и важных вопросов.

Первый вопрос: есть ли в мозге единый управляющий центр? В нейробиологии его часто образно называют "дирижером", "генеральным директором" и т. п. Обычно эти функции приписываются ПФК (лобные доли) [9, 11, 25]. В нейробиологии ведутся жаркие дискуссии на эту тему. Возражения противников, как правило нейропсихологов (см., например, [19]), основываются на том, что при поражениях ПФК нередко сознательные возможности человека страдают незначительно.

Автор разделяет точку зрения, согласно которой: 1) ПФК — объединяющий, сканирующий ситуацию центр мозга, который, как известно, имеет многочисленные связи со всеми областями мозга, а также более развитую сеть дендритов по сравнению с другими структурами, а следовательно, и опять же связей. Все это облегчает для ПФК выполнение отмеченных функций; 2) ПФК содержит фактически карты целей, смыслов, алгоритмов (по существу, это своеобразная библиотека) решений тех или иных задач, поэтому, по-видимому, окончательно формируется в мозге позже всех структур при нормальном развитии. В ПФК обнаружено много "клеток, которые ведут себя как датчики цели" [12]; 3) мозг характеризуется большой пластичностью, а следовательно, надежностью, поэтому при повреждениях некоторых участков, в том числе ПФК, утраченные функции могут на себя взять другие неповрежденные участки мозга, чему способствует разветвленная система связей в мозге. И это хорошо известно в нейропсихологии. Многое, конечно, зависит и от конкретного человека, т. е. индивидуальных особенностей нейрон-

ных цепей. Так, казалось бы похожие повреждения (опухоли, инсульты и др.) у разных людей могут приводить к самым различным последствиям [12]: у одних — к катастрофическим, а у других — к никаким. Такому поведению, по-видимому, способствует и кольцевой характер связей нейронных цепей мозга³. Важно ли в этом случае, где начало? В связи с этим интересна также информация работы [12] о том, что при решении пяти различных когнитивных задач обязательно возбуждаются не только две области в ПФК, но и одна в теменной доле.

Таким образом, ПФК является важным центром, осуществляющим объединяющие и иницирующие функции в мозге нормального человека, однако многое может зависеть от индивидуальных особенностей, вида деятельности. В частности, подобные функции на себя могут, по-видимому, брать, хотя бы частично, и другие области мозга, особенно в случаях повреждений или недоразвитости ПФК.

Второй вопрос: а что же происходит дальше? Рассмотренная волна повышенной энергетической активации, которая и составляет предмет нашего осознания, и является фактически основным содержанием так называемой рабочей памяти. Было видно, что эта волна является динамичной временно создаваемой структурой и возникает периодически в бодрствующем состоянии. Что происходит далее, а точнее, возможные варианты развития событий, неплохо установлено в нейробиологии (см., например, [9, 14]). Для более длительного запоминания информация должна попасть в гиппокамп, который перенаправляет ее в различные области мозга. "К примеру, эмоциональные воспоминания хранятся в мозжечковой миндалине, а слова записываются в височной области. В то же время цвет и другая визуальная информация собирается в затылочной доле, а тактильные ощущения и движение — в теменной. На данный момент ученые различают более 20 категорий воспоминаний, хранимых в различных частях мозга, среди них фрукты и овощи, растения, животные, части тела, цвета, числа, буквы, существительные, глаголы, имена собственные, лица, гримасы, эмоции и звуки" [14]. В результате постоянно корректируются сенсорные карты и карты ПФК в зависимости от происходящих и осознанных событий. По крайней мере, важным фактором здесь является также степень новизны, как впрочем час-

³ Следует, однако, заметить, что нейронные цепи не эквивалентны даже морфологически, так как могут включать различные типы нейронов, отличающихся друг от друга даже для одного типа (см. далее).

то и непосредственно для процесса осознания в рассматриваемом случае.

Квалиа

Интересное и поучительное мнение по этому вопросу высказал известный нейропсихолог Д. Данкан [12]: "Философы, изучающие сознание, обозначают содержание разных чувственных ощущений термином "квалиа" (qualia). Сами они причисляют квалиа к трудноразрешимым проблемам, хотя я вижу в этом некое лукавство. Ведь трудноразрешимой принято называть такую проблему, которую мы признаем сложной, но все же намереемся ее решить. Я бы предпочел называть квалиа проблемой, которая настолько одурачила нас, что мы даже не знаем, в чем ее суть".

Сущность главной проблемы психофизиологии кратко сформулировал великий русский физиолог И. П. Павлов, который задал ставший легендарным вопрос: "Каким образом материя мозга производит субъективное явление?" В то же время, каким образом мозг порождает сознание, известный современный философ Д. Чалмерс отнес к трудным проблемам [26]. Сюда же он отнес проблему "квалиа", т. е. чувственных переживаний. В целом, мнения по данному вопросу изменяются в очень широком диапазоне, начиная от полного неприятия, т. е. просто ухода от вопроса, и заканчивая тем, что он считается неразрешимым. Так что цитата, приведенная в начале, неплохо отражает современное общее состояние рассматриваемого вопроса, т. е. определенной растерянности.

Попытаемся, однако, разобраться с этой, действительно сложной, проблемой "квалиа", рассмотрев ставший классическим пример об ощущении "красного" [26].

Начнем с начала, т. е. физических основ.

"Существуют два типа фоторецепторов: колбочки и палочки... Колбочки избирательно реагируют на цвет, менее чувствительны к тусклому цвету, чем палочки, и важны для детального цветового зрения при дневном свете. Каждая колбочка содержит один из трех видов фотопигментов, специализированных белков, чувствительных к различным длинам волн света. Эти длины волн приблизительно соответствуют нашей способности различать красный, зеленый и синий цвета. Когда свет попадает на молекулу фотопигмента, энергия света поглощается, и молекула затем преобразует свою форму таким образом, что в этом фоторецепторном нейроне изменяется движение электрического тока" [9].

Что будет в случае отсутствия одного вида пигментов, в частности соответствующего красному

цвету? Ответ известен: дальтонизм, а точнее, протанопия — нарушение в красной части спектра. И ощущения "красного" цвета у такого человека не будет, т. е. красный цвет им не будет восприниматься. Что же будет видеть в этом случае человек с протанопией? Ответ: серый, т. е. другой цвет. Таким образом, редукция (катастрофическая в данном случае) произошла сразу же вследствие болезни. Понятно, что она отличается качественно от редукции в нормальном случае (см. ранее).

Нормальное для человека зрение⁴ возможно только при наличии всех трех видов фотопигментов, условно называемых "красный", "зеленый" и "синий". Известно, что различные сочетания цветов красного, зеленого и синего диапазонов спектра позволяют видеть и другие цвета и тона (опять же вспомним цветной телевизор).

Итак, необходимым, но недостаточным, условием нормального человеческого восприятия красного цвета, прежде всего, является наличие пигментов красного. Другими необходимыми условиями восприятия красного является также нормальное развитие ряда других составляющих зрительной системы. Рассмотрим этот случай для ситуации осознанной обработки информации (см. ранее).

В нормальной зрительной системе сигналы поступают согласно описанному выше для обработки в область сенсорной карты, ответственной за цвет, в частности красный. Далее собирается сенсорная коалиция нейронов, ответственных за красный цвет и восприятие соответствующего предмета. *В конечном итоге, в результате прохождения сигналов по собранной коалиции осознания и происходит энергетическая реконструкция, которая и соответствует ощущению человека увиденного красного предмета. Отмечу, что прохождение сигналов, сборка коалиции осознания и энергетическая реконструкция происходят синхронно! Таким образом, ощущение "красного" возникает в соответствии со сформулированным главным принципом функционирования мозга — преобразований сигналов и энергетических реконструкций.*

Что влияет на формирование сенсорных карт? Очевидно, что два фактора играют решающую роль: опыт и генетика. Генетика приводит к тому, что у всех нормальных людей ощущение "красного" будет *приблизительно* одинаковым, если не будет каких-либо серьезных нарушений в приобретенном опыте. "Приблизительно" связано с этими же двумя факторами, а именно: генетикой и опы-

⁴ Как жаль, что у нас всего лишь три вида фотопигментов, поэтому некоторые птицы и бабочки видят невидимые (не ощущаемые) для нас цвета, имея другие виды пигментов [27].

том, а точнее, с индивидуальными особенностями соответствующих нейронных цепей, которые и являются предопределяющей материальной основой субъективности [28]. Так, известно, что есть люди, которые лучше различают отличия в цветах, запахах, обладают более тонким музыкальным слухом и т. п. Будут ли эти энергетические реконструкции в мозге человека полностью соответствовать действительности? Ответ однозначный: нет! Так как любая копия, а энергетическая реконструкция и есть копия, никогда не совпадает с оригиналом. А у других видов животных? Очевидно, что эти ощущения могут еще больше отличаться в связи с возможными отличиями (см. ранее) в преобразованиях сигналов и энергетических реконструкциях в их мозге.

Таким образом, наши ощущения не полностью отражают действительность, а лишь приближенно. По мнению автора, несмотря на то что согласно сформулированному принципу функционирования мозга преобразований сигналов и энергетических реконструкций становится в общем понятно, что такое ощущения человека, их точное описание, как и сознания, — невозможно также по аналогичным причинам [7].

Характер обработки информации в мозге и природы жизни

Рассмотрим несколько важных вопросов.

Вопрос 1. *Является цифровой или аналоговой обработка информации в мозге?*

Сразу же обратимся к классике. Так, еще Дж. фон Нейман писал [29]: "Самым непосредственным выводом из наблюдения за работой нервной системы является то, что ее деятельность носит *prima facie* (на первый взгляд) цифровой характер". Эти слова великого ученого привели ряд специалистов к выводу о том, что обработка информации в мозге человека носит цифровой характер. Можно лишь в этих случаях сожалеть о том, что, во-первых, невнимательно прочитано само предложение (упущено "*prima facie* (на первый взгляд)"), а во-вторых, автор порекомендовал бы все же внимательно прочесть эту легендарную книгу до конца. В частности, достаточно привести другую цитату из раздела книги "Цифровые и аналоговые части нервной системы", а именно [29]: "Я хочу сказать следующее: процессы, происходящие в нервной системе, могут многократно, как я уже отмечал, менять свой характер с цифрового на аналоговый и обратно на цифровой и т. д." Удивление и восхищение вызывает то, что свой анализ Дж. фон Нейман опубликовал в 1958 году!

Имеющиеся на настоящий момент времени сведения позволяют поддержать точку зрения Дж. фон Неймана и сделать однозначный вывод по рассматриваемым вопросам.

Будем рассматривать один из самых сложных режимов работы мозга — осознанную обработку сенсорной информации (см. ранее). Оказывается, что принципиально важные цифровые и аналоговые составляющие обработки информации в этом случае имеют место не только на микроскопическом, но и на макроскопическом уровнях.

На микроскопическом уровне. Можно найти много цифровых и аналоговых составляющих при анализе функционирования нейронных цепей мозга на этом уровне. Выделю всего лишь два момента. В части I [7] отмечалось, что ключевыми активными элементами в электрических (нейронных) цепях первого типа являются ионные каналы, т. е. НЭМС, работающие по принципу: открыт — закрыт, т. е. цифровому. В то же время в химических синапсах принципиально важны диффузионные процессы, т. е. реализуется явная аналоговая составляющая. При этом, как отмечалось ранее, имеют место регулярные преобразования сигналов из электрических в химические, и наоборот.

На макроскопическом уровне. В целом, работа системы 1 и системы 2 выглядит непрерывной (по спирали [7]). Однако переход от одной коалиции нейронов к другой (см. ранее) носит явно дискретный характер. Такими же, по крайней мере, являются смена направлений мыслительной деятельности, выход подсознательных процессов на уровень осознания, т. е. переходы от одного витка спирали к другому (см. [7]).

Следовательно, мышление является непрерывно-дискретным процессом, а обработка информации в мозге носит в целом иерархический характер, сочетающий как аналоговые, так и цифровые компоненты.

Вопрос 2. *Является цифровой или аналоговой природа жизни?*

Этот вопрос — более общий, чем связанный с ним рассмотренный, более частный вопрос 1. Попытаемся ответить и на этот вопрос, так как в настоящее время он вызывает все больший интерес (см., например, [30]).

"Центральная догма молекулярной биологии гласит о том, что информация в клетке идет от ДНК через РНК к белку, и более никак" [9]. Известно также следующее высказывание Р. Докинза: "Если суммировать молекулярную генетику одним словом, я бы сказал "цифровая"" [31]. Подобные взгляды приводят специалистов к популярному в настоящее время выводу о том, что природа жизни — цифровая.

Опять же обратимся к классике — легендарной книге Дж. фон Неймана, а именно [29]: "Сами гены, очевидно, являются частями цифровой системы компонентов. Однако их действия состоят в стимулировании образования особых химических веществ, а именно определенных энзимов, свойственных данному гену, и поэтому принадлежат к аналоговой области". Сегодня можно усилить и эту точку зрения великого ученого с привлечением установившегося научного направления, в частности эпигенетики. "Эпигенетика: изучение экспрессии генов под влиянием окружающей среды. Открытие альтернативных описанным в центральной догме путей передачи информации иногда называется третьей биологической революцией" [9].

Следовательно, и в этом вопросе аналоговая составляющая, связанная с влиянием окружающей среды, имеет принципиальное значение.

В качестве последнего аргумента отмечу следующее. Согласно самой мощной современной физической теории — квантовой механике — хорошо известно, что возможны три вида спектров физической величины, а именно: 1) дискретный; 2) состоящий из отдельных полос; 3) непрерывный. Этим квантовая механика коренным образом отличается от классической физики, в которой допускается только непрерывный вид спектра. Поэтому автор считает, что Природа, реализуя жизнь, в том числе человека, использовала все богатство возможностей.

По изложенным причинам окончательный и однозначный ответ на два поставленных вопроса: *"Характер как обработки информации в мозге человека, так и природы жизни — общий, т. е. аналого-цифровой!"*

Рассмотренные вопросы имеют принципиальное значение, по крайней мере, для двух очень интересных проблем: бессмертия и создания сверхума.

В части I [7] отмечалось, что копирование сознания человека может рассматриваться как своеобразный вариант его бессмертия. Из предыдущего становится понятно, что копии сознания целесобразно делать на аналого-цифровой (смешанной или гибридной) основе. Что же касается создания сверхума (см. [23]), то, по-видимому, и здесь основной должна быть аналого-цифровая, т. е. гибридная электроника. Не исключено, что так же как и мозг человека, это будет органическая гибридная наноэлектроника [1—6].

Проблемы и направления исследования сознания

Основные проблемы исследования мозга человека в целом, сознания в частности, прежде

всего, являются следствием его фантастического уровня интеграции как объекта электроники. В части I [7] была дана весьма грубая оценка — около $10^{19} \dots 10^{21}$ активных элементов, а именно: числа каналов M , т. е. НЭМС. К сожалению, на настоящий момент времени можно уверенно указать лишь диапазон, в котором может находиться это число:

$$10^{15} \ll M \ll 10^{25}, \quad (1)$$

где нижний предел соответствует приблизительно числу синапсов (известно, что число каналов гораздо больше числа синапсов), а верхний предел — общему числу молекул в мозге человека (объем мозга — около 10^3 см^3 , а число молекул на 1 см^3 — около 10^{22}). Отмечу, что только недавно определено приблизительно среднее число нейронов N в мозге нормального взрослого человека, т. е. решена более простая задача. Оно варьируется по разным источникам в диапазоне $(86,1 \pm 8,1) \cdot 10^9$ [32]. Приблизительно столько же $(85,0 \dots 86,0) \cdot 10^9$ глиальных клеток [10, 33]. Таким образом, речь идет о числе $N \approx 10^{11}$. Однако замечу, что в то же время даже неизвестно число типов нейронов, которых по оценкам, "несомненно, больше сотни, а может быть, и больше тысячи" [34]. Более того, "нет двух совершенно одинаковых нейронов" [34]. С синапсами ситуация сложнее (обычно указывается диапазон $10^{14} \dots 10^{15}$). Автор уже не обсуждает вопрос о числах дендритов, шипиков, а также морфологических (топологических) особенностях нейронных цепей. В связи с изложенным крайне сложно анализировать объект электроники, в котором неизвестны даже числа основных структур, а в то же время они по-настоящему астрономические. При этом не вызывает сомнения, что режимы работы мозга, в которых реализуется осознание, являются самыми сложными (см. [7] и ранее). Не следует забывать о возможности множества отличающихся вариантов, даже в одних и тех же режимах функционирования мозга. Бесспорно усложняет ситуацию и то, что мы имеем дело в мозге с реконструкциями, а не действительностью. Как исследовать объект такой фантастической сложности со столь значительными неопределенностями? *Таким образом, мы имеем дело с задачей грандиозной степени сложности при исследовании сознания человека. Как уже отмечалось, точное ее решение получить невозможно.*

Тем не менее, попытаемся ответить на вопрос: что надо сделать, чтобы достичь более адекватного понимания сознания?

Анализ позволяет выделить следующие основные направления.

Во-первых, уже отмечалось, что наиболее перспективными для дальнейшего развития являются эмпирические теории сознания. Поэтому перво-степенное значение имеют более глубокие исследования в нейробиологии (нейрофизиологии, нейропсихологии и др.) и нейронауках в целом. К сожалению, исследования на настоящий момент времени часто характеризуются отрывочностью, неполнотой, противоречивостью, а также основываются на частных, обычно статистически недостоверных, данных для конкретных людей в небольшой период времени. В то же время хорошо известно, что мозг человека является динамичной, постоянно изменяющейся структурой. Остался еще ряд серьезных неясных вопросов в работе мозга. В частности, роли глиальных клеток в обработке информации. Для автора понятно, что они оказывают влияние на функционирование мозга, так как важны для работы синапсов. Насколько важно это влияние? Не совсем ясен вопрос с нейрогенезом — пластичностью мозга высшего уровня [35]. Мне кажется, что эти и многие другие вопросы (см., например, [9]) могут преподнести немалые сюрпризы в понимании функционирования мозга.

Во-вторых, практически все современные методы и средства экспериментальных исследований мозга (визуализации), к сожалению, носят косвенный характер и достаточно грубы, что отмечалось многими специалистами. Так, детальный анализ современных методов визуализации мозга дан в работе [9]. Вердикт неутешительный: "...ни один метод не обладает необходимым пространственно-временным разрешением для прослеживания единичных нейронов и даже небольших групп нервных клеток, например колонок в коре" [9]. Поэтому необходимо использовать целый набор методов, что не всегда возможно и усложняет анализ. Используемый для исследования сознания метод интроспекции является в общем-то косвенным методом и имеет также ряд серьезных недостатков. Наиболее существенным из которых является то, что исследуемый процесс и сообщение о нем не только разделены во времени, но и то, что при сообщении могут быть задействованы уже другие области по сравнению с участвующими в исследуемом процессе, а также влияние могут оказывать подсознательные процессы. Все это вместе может приводить к искажениям, и в конечном итоге к артефактам, что отмечалось, в частности, в работе [13]. В основном также исследуется процесс зрительного осознания. Очевидно, что существенные отличия могут возникать в других видах осознания. Все это требует очень тщательной интерпретации получаемых результатов, разработки специальных методов обработки информации. *Перспективу для*

качественного улучшения экспериментальных методов исследования мозга автор видит, прежде всего, в использовании нанoeлектроники, наноматериалов, нанотехнологий и наноуказ в целом [28]. Это тем более важно, что при создании мозга Природа интенсивно использовала нанообъекты [28]: гены, ДНК, РНК, нейромедиаторы, белки и др., а сам мозг — объект органической гибридной нанoeлектроники.

В-третьих, учитывая косвенный, приближенный характер всех методов экспериментальных исследований мозга, необходимы серьезные усилия по развитию теорий сознания, соответствующих методов математического моделирования. Согласно анализу современного состояния развития понимания сознания, по-видимому, приоритет должен быть отдан эмпирическим теориям. Именно они, судя по всему, правильно описывают хотя бы некоторые аспекты сознания. Не будем, однако, забывать о большом разнообразии сознательной деятельности, исключительной степени сложности задачи (см. ранее). Для математического моделирования перспективу представляет разработка многоуровневых схем и реализующих их систем, один из вариантов которых описан в работах [1, 2] в рамках предположений полной электронной интерпретации функционирования мозга. Важным в этом случае является свойство открытости подхода, возможность учета влияния различных факторов, объединения с другими подходами [28]. Так как основными активными элементами в мозге, как объекте электроники, являются каналы, т. е. НЭМС, то использование сложных квантово-механических методов, по крайней мере на нижних иерархических уровнях, будет обязательным [1, 2]. В любом случае необходимо учитывать, что рассматриваемая проблема относится к труднорешаемым задачам класса NP в математическом смысле [1, 2]. Учитывая грандиозные числа нейронов N и НЭМС M в мозге человека, перспективным будет также развитие статистических методов анализа [1, 2] и синергетического подхода [36]. *Вследствие сложившейся ситуации важным направлением следует считать разработку комплексных подходов исследования мозга [1, 2] на основе использования как отличающихся экспериментальных методов, так и разнообразных методов математического моделирования. При этом можно привлекать различные теории функционирования мозга.*

И последнее, несмотря на важность исследования сознания человека для самых различных областей науки, техники и другой деятельности, не следует забывать, что приоритетное направление — возможность восстановления сознания у людей, которые его теряют или уже потеряли. К сожалению, успехи здесь крайне незначительны. Опреде-

ленные надежды в настоящее время подают комплексные эмпирические методики, например протокол ReCODE для лечения болезни Альцгеймера [37] и некоторые другие методики восстановления ряда функций мозга [38, 39]. Важным в этом направлении должен быть обязательный учет особенностей пациента, т. е. индивидуального характера нейронных цепей и других отличий его мозга от нормы. Особую перспективу автор и здесь видит в использовании возможностей нанoeлектроники, наноматериалов, нанотехнологий и нанонаук в целом [28]. Главным нашим союзником в этом самом трудном направлении исследования будет удивительная пластичность мозга, т. е. он сам [28].

Заключение

Более детальный анализ процесса осознанной обработки сенсорной информации позволил сформулировать главный принцип функционирования мозга — преобразования сигналов и энергетических реконструкций. На этой основе проанализирован один из самых трудных вопросов, обычно связываемых с сознанием, — квалиа, т. е. чувственных ощущений человека. Показано, что чувственные ощущения являются энергетическими реконструкциями в мозге человека при восприятии соответствующих объектов. Как и любые другие копии, они не могут полностью соответствовать действительности.

Рассмотрены широко дебатлируемые в литературе вопросы о характерах обработки информации в мозге и природы жизни. Из трех возможных вариантов для каждого из вопросов приведены аргументы в пользу того, что этот характер и в том и в другом случаях — общий, а именно: аналого-цифровой. Отмечено, что эти вопросы имеют принципиальное значение для двух проблем: искусственного бессмертия и создания сверхума.

Выделены основные проблемы и перспективы исследования сознания человека. Подчеркнуто, что они, главным образом, определяются фантастическим уровнем интеграции мозга как объекта органической гибридной нанoeлектроники.

Основная ошибка при создании многих теорий сознания, судя по всему, заключалась в поиске некоторой стандартной схемы его реализации. По мнению автора, в действительности ее просто нет, а вот главный принцип функционирования мозга есть, а именно: преобразования сигналов и энергетических реконструкций. В целом, работа мозга характеризуется огромным разнообразием. Главным же недостатком и одновременно достоинством мозга, пожалуй, является то, что он приблизительно отражает действительность. Поэтому нельзя

смотреть на мозг как на стандартный объект, основываясь при этом на некоторых отрывочных частных данных. Индивидуальность здесь принципиально важна, несмотря на общие принципы построения мозга, по крайней мере, нормальных людей. Вместе с тем, очевидно, что это и не могло быть иначе, учитывая фантастический уровень интеграции мозга как объекта электроники, а также особенности мозга каждого человека. По изложенным причинам ни сознание, ни квалиа не могут быть, к сожалению, описаны и проанализированы точно, а может быть... к счастью!

Автор считает своим приятным долгом выразить искреннюю признательность моим ученицам Н. В. Коломейцевой, И. А. Романовой и И. Ю. Щербаковой за подготовку рукописи работы к печати.

Список литературы

1. **Абрамов И. И.** Мозг как объект электроники. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 80 с.
2. **Abramov I. I.** Brain as an object of electronics. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 76 p.
3. **Абрамов И. И.** Мозг — объект органической гибридной нанoeлектроники, или взгляд со стороны. Часть I // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 1. С. 52—54.
4. **Абрамов И. И.** Мозг — объект органической гибридной нанoeлектроники, или взгляд со стороны. Часть II // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 3. С. 45—53.
5. **Абрамов И. И.** Мозг — объект органической гибридной нанoeлектроники, или взгляд со стороны. Часть III // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 5. С. 45—54.
6. **Абрамов И. И.** Мозг — объект органической гибридной нанoeлектроники, или взгляд со стороны. Часть IV // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 6. С. 49—53.
7. **Абрамов И. И.** Сознание человека, или возможности электроники. Часть I // Нано- и микросистемная техника. 2018. Т. 20, № 5. С. 308—320.
8. **Николс Дж. Г., Мартин А. Р., Валлас Б. Дж., Фукс П. А.** От нейрона к мозгу. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 672 с.
9. **Cognition, brain, and consciousness.** Introduction to cognitive neuroscience. Second Edition / Ed. by B. J. Vaars, N. M. Gage. Amsterdam: Elsevier, 2010. 658 p.
10. **Газзанига М.** Кто за главного? Свобода воли с точки зрения нейробиологии. М.: Изд-во АСТ: CORPUS, 2017. 368 с.
11. **Голдберг Э.** Управляющий мозг: Лобные доли, лидерство и цивилизация. М.: Смысл, 2003. 335 с.
12. **Данкан Д.** Где рождается интеллект. М.: Карьера Пресс, 2015. 256 с.
13. **Деан С.** Сознание и мозг. Как мозг кодирует мысли. М.: Карьера Пресс, 2018. 416 с.
14. **Kaku M.** The future of the mind: the scientific quest to understand, enhance, and empower the mind. New York: Doubleday Publishers, 2014. 400 p.
15. **Revonsuo A.** Consciousness. The science of subjectivity. Hove and New York: Psychology Press, Taylor & Francis Group. 2010. 324 p.
16. **Абрамов И. И.** Мозг человека — шедевр естественной электроники. Проблемы и перспективы исследования // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. "Актуальные про-

блемы радио- и кинотехнологий", 2017, Россия, Санкт-Петербург. С. 79–86.

17. **Лурия А. Р.** Лекции по общей психологии. СПб.: Питер, 2007. 320 с.

18. **Батуев А. С.** Физиология высшей нервной деятельности и сенсорных систем: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2010. 317 с.

19. **Дамасио А.** Так начинается "я". Мозг и возникновение сознания. М.: Карьера Пресс, 2018. 384 с.

20. Мозг человека. Как это работает / под общ. ред. П. Абрахамса. М.: Изд. АСТ, 2016. 176 с.

21. **Рамачандран В. С.** Мозг рассказывает. Что делает нас людьми. М.: Карьера Пресс, 2012. 422 с.

22. **Кандель Э.** В поисках памяти: Возникновение новой науки о человеческой психике. М.: Астрель: CORPUS, 2012. 736 с.

23. **Абрамов И. И.** Сознание человека, или возможности электроники. Часть II // Нано- и микросистемная техника. 2018. Т. 20, № 6. С. 368–384.

24. **Компернолле Т.** Мозг освобожденный: Как предотвратить перегрузки и использовать свой потенциал на полную мощь. М.: Альпина Паблишер, 2015. 571 с.

25. **Лурия А. Р.** Основы нейропсихологии. М.: Изд-во МГУ, 1973. 375 с.

26. **Чалмерс Д.** Сознательный ум: В поисках фундаментальной теории. М.: УРСС: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2013. 512 с.

27. **Кэрролл Ш.** Приспособиться и выжить! ДНК как летопись эволюции. М.: Изд-во АСТ: CORPUS, 2015. 384 с.

28. **Абрамов И. И.** Перспективы использования наноэлектроники, наноматериалов и нанотехнологий в исследо-

вании и медицине мозга человека // Нано- и микросистемная техника. 2016. Т. 18, № 1. С. 49–64.

29. **Нейман Дж.** Вычислительная машина и мозг / Кибернетический сб. Вып. 1. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. С. 11–60.

30. **Жизнь.** На переднем крае эволюционной биологии, генетики, антропологии и науки об окружающей среде / Под ред. Дж. Брокмана. М.: Изд-во АСТ, 2018. 384 с.

31. **Будущее** науки в XXI веке. Следующие пятьдесят лет / Под ред. Дж. Брокмана. М.: АСТ: АСТ МОСКВА, 2008. 255 с.

32. **Бостром Н.** Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 496 с.

33. **Худ Б.** Иллюзия "Я", или Игры, в которые играет с нами мозг. М.: Эксмо. 2015. 384 с.

34. **Хьюбел Д.** Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.

35. **Кемперманн Г.** Революция в голове. Как новые нервные клетки омолаживают мозг. М.: Азбука-Аттикус, Ко-Либри, 2018. 272 с.

36. **Хакен Г.** Принципы работы головного мозга: Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. М.: ПЕР СЭ, 2001. 351 с.

37. **Бредесен Д.** Нестареющий мозг: глобальное медицинское открытие об истинных причинах снижения умственной активности, позволяющее обрести ясность ума, хорошую память и спасти мозг от болезни Альцгеймера. М.: Эксмо, 2019. 304 с.

38. **Амен Д.** Измените свой мозг — изменится и жизнь! М.: Эксмо, 2014. 448 с.

39. **Перлмуттер Д., Колман К.** Здоровый мозг: Программа для улучшения памяти и мышления. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. 352 с.

I. I. Abramov, D. Sci., Professor, nanodev@bsuir.edu.by,
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, 220013, Belarus

Corresponding author:

Abramov Igor I., D. Sci., Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, 220013, Belarus, nanodev@bsuir.edu.by

Human Consciousness, or Possibilities of Electronics. Part III

Received on April 22, 2019

Accepted on May 20, 2019

The phenomenon of "human consciousness" is considered on the basis of the full electronic interpretation of brain functioning proposed earlier. In the third part of the work, the basic principle of the brain functioning — signal transformations and energetic reconstructions — is formulated as a result of a more detailed analysis of the process of conscious processing of sensory information; concept of "qualia", the nature of information processing by the brain, the nature of life, main problems and trends of consciousness research are also considered.

In particular, the mode of conscious processing of sensory information was analyzed on the basis of considering a more complete system: "the brain — other components of the nervous system — the body — the environment". As a result, the main principle of brain functioning was formulated, namely: signal transformations and energetic reconstructions. Another difficult problem — "qualia", i.e. of sensual sensations (experiences), is considered on the basis of the formulated principle. It is shown that sensory sensations are energetic reconstructions occurring in the human brain when perceiving relevant objects, that is, they are material, like thought and other mental functions. As a result of the consideration of the nature of information processing in the brain and the nature of life, it is argued that this nature in both cases is common, namely analog-digital. In conclusion, the main problems and trends of human consciousness research are highlighted. It is noted that they are determined mainly by the fantastic level of integration of the human brain as an object of organic hybrid nanoelectronics.

Keywords: human consciousness, brain, full electronic interpretation, nanoelectronics

For citation:

Abramov I. I. Human Consciousness, or Possibilities of Electronics. Part III., *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2019, vol. 21, no. 9, pp. 555–574.

DOI: 10.17587/nmst.21.555-574

Conscious processing of sensory information

Consider first one of the most difficult modes of the brain — conscious processing of sensory information. According to the proposed full electronic interpretation of brain function [1–6], this is one of the variants of the mixed (third type) modes of the brain. Let us try to clarify what happens in this case, since in Part I [7], in essence, the dominant process in the work of consciousness is considered. In addition to the noted principles in Part I [7], modern information from neuroscience, primarily neurobiology (see, for example, [8–14]), was also used as a basis, as well as being used to construct empirical theories of consciousness (a good overview is given in textbook [15]), namely: the global workspace theory (Baars); the theory of the neural global workspace (Dehaene et al.); the neurobiological theory (Crick and Koch); the theory of the dynamic core (Tononi and Edelman); the information integration theory (Tononi); the recurrent processing theory (Lamme); the theory of consciousness as the feeling of what happens (Damasio) and others. From the author's point of view, empirical theories of consciousness represent the greatest perspective for further development, since they are based on a serious scientific basis (data from neurobiology, neuroscience in general), and not fantasies, i.e. we will continue to analyze the phenomenon of "human consciousness" in accordance with the principle of "Occam's razor" [7].

When detailing the process of conscious processing of sensory information, strictly speaking, it is necessary to analyze the complete system, namely [7, 16]: the brain — the other components of the nervous system — the body — the environment. Part I [7] noted that, unfortunately, only an approximate consideration of the phenomena occurring in the complete system is possible, so we analyze what is happening at least as a whole at each of the main stages of the processing process.

Transformations of information begin from the very beginning of the process after the signals from the external environment and from the internal organs reach the receptors of the sensory systems. It is known that receptors, as a rule, are designed to accept one type of signals. At the same time, signals entering the body, including receptors, can be very diverse [1, 2]: mechanical, optical, thermal, chemical, electrical, etc. In addition, one should not forget that the location of the receptors on the human body is of discrete nature. In this regard, the *reduction* and *decomposition* of incoming information from the environment and internal organs are carried out immediately. For example, it is known that for the preprocessing of electromagnetic waves, receptors are used (more precisely, photopigments, see below), which are sensitive only to three regions of the

wavelengths of the optical range, approximately corresponding to a person's ability to distinguish between red, green, and blue.

So, when does the processing of information begin? The answer is obvious: right away. This is especially well understood by the example of electromagnetic waves, since a person perceives only a narrow spectrum of waves in the optical range. Does the body affect this process? The answer is less obvious, but still: of course. This is primarily due to the fact that the receptors of sensory systems are located in the human body, and therefore, they can be influenced, for example, by changes in body temperature, diseases, chemical processes and their changes, etc. It should also be particularly noted that the sensitivity of the lower thresholds of sensations from various factors leading to both increasing and decreasing sensitivity, for example, depending on the brightness of the light, individual differences, psychological, i.e. reverse, influence, interaction of sensations, and many others (see, for example, [17]).

Thus, when processing sensory signals, it is necessary to take into account the influence of both the environment, which is obvious, since the incoming signals come from it and the body. Therefore, an ever more pervasive opinion, especially among neurobiologists, about the need to take into account the body influence on the human mind should not come as a surprise.

As a result of the receipt of information from the external environment and from internal organs, its decomposition into external and internal sensory systems occurs, the principles of which are well described in the textbook [18]. After the initial processing, as a rule, the stimulus of the corresponding modality *is converted* into electrical signals. And then these signals are distributed through the nervous system with constant transformations from electrical to chemical (for example, in chemical synapses) signals, and vice versa. Since in this process of information transfer, various channels (ionic, etc., i.e. nanoelectromechanical systems (NEMS)) are of fundamental importance [7], then mechanical processes also have an effect. In other words, when transmitting information for further processing to the main information center of a person, i.e. the brain, there is a constant conversion of signals, and therefore, their changes (transformations), that is, generally speaking, pre-processing of information continues.

After such *numerous transformations* (reduction, decomposition, conversion, etc.) of signals, what should the brain do to reflect reality (in accordance with the principle of reflection of higher nervous activity noted in Part I [7])? It has to put it all together, i.e. make a *reconstruction* of reality in the very same brain! It simply

has no other place. How the brain does it? Let us try to understand this for the processing of sensory information using current and previously noted information from neuroscience.

The most interesting thing is that after the receipt of such *disassembled information* into the brain, the transformation continues, i.e. a thorough reconstruction is still far away. In the future, to simplify the analysis, we will conduct the consideration in accordance with the full electronic interpretation of brain function, i.e. to consider neural circuits as electrical circuits of the first type along which electrical signals propagate [1, 2, 4, 7].

For conscious processing of sensory information, three *major* brain structures are of primary importance: the trunk, the thalamus and the cortex. Immediately, I note that other brain structures can also have an effect in the performance of various mental functions, including consciousness. This is also due to the fact that the brain is characterized by duplication in the work of neural circuits. It is necessary to ensure the *reliability* of the brain. In addition, there is a constant exchange of information (signals) between different areas of the brain, neural circuits, and neurons. And all this can be important! In this regard, it is permissible to talk only about key structures, main processes. The noted features of the brain work lead to numerous possible variants of the brain performing even seemingly the same mental functions. Therefore, in the following, we consider only a few possible options for processing sensory information, which, however, will make it possible to single out the basic regularity, characteristic features, and dominant processes.

The brain stem, apparently, is important to maintain the required level of activation of brain structures, corresponding to the state of wakefulness. It is also important to exchange information (signals) with the cerebral cortex passing through the thalamus, i.e. roundtrip. The cortex, along with the thalamus, thus regulates the activity of the trunk, maintaining the state of wakefulness as a result of cooperative work. The key value directly for conscious processing of sensory information, as is commonly believed in neurobiology (see, for example, [9]), is played by the thalamocortical system (thalamus and cerebral cortex). The well-known neurobiologist A. Damasio, however, believes that "the very first manifestations of the psyche arise in the brainstem" [19]. Of course, much depends on what is meant. As was shown earlier, information processing begins from the very beginning of the process.

The received disassembled information about the environment and the body in the brain is further distributed by the thalamus (a kind of "switch", as it is often figuratively called in neurobiology) on the maps of

the corresponding sensor systems¹: visual, auditory, tactile, gustatory. The only exception is odor information (olfactory system) [12]. It hits the map bypassing the thalamus. Therefore, the following types of "memory: visual, auditory, olfactory, gustatory and tactile" are distinguished [20]. Sensory maps are areas of the cerebral cortex in which relevant information is stored in a disassembled form as a result of the hierarchical processing carried out earlier, and, apparently, partially laid down genetically. At present, in general, the areas of the brain (normally functioning) in which the maps are located (see, for example, [9]) are defined.

For further consideration, it is important for us to note the following: "The back part of the cortex contains areas of projections of the main sense organs: sight, hearing, touch, smell and taste. On the contrary, the front part includes the regulation of actions, planning, some functions of working memory, speech and the like" [9].

Thus, maps of sensory systems and maps of goals, meanings are divided in the brain significantly. At the same time, maps of sensory systems are located in different areas of the cerebral cortex.

At first, specialists were extremely surprised by the following: "the brain uses the same areas to imagine a scene and see it in reality" [21]. Now this point of view is recognized by many neuroscientists (see, for example, [9, 22]). Consequently, in the processing of incoming sensory information, a *hierarchical assembly* of information occurs as a result of the passage of electrical signals through neural circuits of the corresponding region of the cortex. *This suggests that from the disassembled information received and previously deposited (encoded), not only old information can be reproduced as a result of the passage of electrical signals (decoding), but also, which especially impresses, the newly received information, i.e. new!* Thus, there is a flexible assembly of newly received information from a wide variety of fragments². This *reconstructed* information, unfortunately, is scattered by brain maps, i.e. it is necessary to continue to unite it, but in a single whole.

What are such at first sight seeming difficulties needed for? The main point of this is the need for extremely economical storage of information, both for memorizing and reproducing old and new information, i.e. saving the available resources of the cerebral cortex, which, unfortunately, are limited, and at the same time,

¹ A more detailed breakdown into sensor systems is given in [18]. And in this case, however, we can talk about the corresponding maps.

² Recall the pixels in the TV screens and other devices. In the brain, however, this is much more sophisticated, since it is obvious that there is no screen in it, and indeed reproducing devices similar to traditional electronics. Everything is made more universal and more interesting.

the brain must and can work reliably for decades. Consequently, we are talking about certain, fairly universal mechanisms for processing information using electric (neural) circuits of the first type after it has been pre-processed at the entrance to the corresponding sensory systems. As a result of the reactivation of the corresponding neural circuits of the maps of the sensory systems, coalitions are actually assembled (let's call them *the coalitions of the neurons of the sensory maps*) responsible for the reconstruction of certain memories and/or reality. The case of "and" may correspond to hallucinations initiated from outside.

Further more interesting happens. Information from sensory maps enters the frontal lobes for integration into a single whole. And here there are many different options. In this regard, we consider only some of the characteristic.

Suppose you are walking down the street. Usually, everything happens in an automatic (at a subconscious level) mode, i.e. system 1 is working [7]. In fact, the signals passing through the combined coalition of neurons are planning (modeling or prediction) of the situation [7] (let's call the union of neurons in this case a *planning or prediction coalition*), and then the action is initiated (see fig. 1, p. 313 [7]) and signaling the relevant systems for execution. I note that according to the neuroscience data, the action *maps* are located nearby, i.e. also in the frontal lobe, which leads to saving interaction time. So actually, a subconscious action takes place in this case with a significant time saving, which can be important. Neuroscientists estimate that such actions require about 100 ms [9].

However, the most interesting thing happens in another case. Suppose that a coalition of neurons, at least one of the sensory systems, signals danger. For example, you saw something dangerous in the process of walking down the street. In this situation, there is an increase in activation and exceeding the threshold of awareness, which may depend on many factors, as well as a kind of resonance with the maps of goals, meanings in the frontal lobes. It is known that "in the waking state the prefrontal cortex is the most active" [20], i.e. as if in standby mode, a kind of scanning of the situation. It is possible that the corresponding areas (subregions) of the frontal lobes are additionally activated by signals from the thalamus, i.e. there is also preparation for receiving signals from the corresponding sensor map(s). As a result of this resonant interaction (the process of self-organization), the reverse (reflected) wave of increased activation begins to go from the frontal lobes to the sensory maps. This process already requires more time — according to neuroscientists, about 300...500 ms and more.

The energy flow passing through this united coalition of neurons is awareness [7]. I note that this *coalition of*

awareness, apparently, differs from the coalition of prediction for this case. Increased activation in awareness is necessary, at least, for the following: 1) the selection of the "main" coalition of neural circuits and as a result for the realization of possible corrective actions (see fig. 2.1, *a*, and p. 313 [7]); 2) "cutoffs", suppression of secondary chains, including those associated with other mental functions that are of little importance in the case under consideration. It is for this purpose, as it seems to me, that more numerous connections in the brain are needed from the top down than from the bottom up. Many neuroscientists are extremely surprised by this: why; 3) for the possible correction (memorization) of both sensory maps, and simultaneously maps of goals, meanings, and actions in the frontal lobes. Of course, depending on the incoming information, not only a "cutoff" is possible, but also interaction with areas, mental functions provided by brain structures that are primarily responsible for speech, as well as emotions, motor functions, etc.

To carry out such a conscious activity, a certain level of activation is needed, which lies in the optimum range for each person. If the activation is below the waking state, then the normal person is in some altered states of consciousness (ASC) [23], for example, sleep states. Lower activations are also characteristic of some mental disorders (dementia, etc.), various types of coma. At the same time, exceeding the optimal range of activation can lead to epileptic seizures and other disorders. In addition to the level of activation, a certain degree of synchronization is also necessary for the passage of this wave through a coalition of awareness. Considering the fact that the regions of the frontal lobes and the placement of sensory maps are located at a relatively large distance in the brain, in addition to the level of activation, high-frequency signals characteristic of gamma waves become more important.

Thus, *human awareness is the main dominant process of energetic reconstruction in the corresponding coalition of neurons in the optimal range of activation of the waking state of a normal person*. At this point in time, a coalition of awareness can be only one in the brain, which leads to the well-known "bottleneck" phenomenon (see, for example, [13]). The finiteness of the times associated with awareness leads to another phenomenon — the inefficiency of the whole multitasking mental activity [24], since one has to switch consciousness from one activity to another (there is a sequential processing). And it takes about 500 ms, i.e. leads to loss of time to switch. Thus awareness is also significantly different from the subconscious activity, characterized by a variety of processes occurring in parallel.

Schematically, the process of awareness is shown in fig. 2, *a* (p. 313 [7]). It is clear that it is characterized

by increased energy consumption. Exceptions, it seems, are such ASCs as, for example, the state of "flow", meditation [23]. Once again, "consciousness is, undoubtedly, a systemic, integrative property of the human brain" [7].

In accordance with the above, the main components of the "spiral" of mental activity [7] are highlighted when system 1 and system 2 work in the case of the third mixed mode of brain functioning. In the case of an internal mode of operation of system 2, the initiation of an action can be excluded. At the same time, the very initiation of mental processes, apparently, occurs in the prefrontal cortex (PFC) (frontal lobes), and then comes the alternation of coalitions of neuron prediction and awareness (see fig. 2, b, p. 313 [7]).

Once again, here are just a few possible options for thinking. A great variety can arise due to the connection of other brain structures, regular exchange of signals between different areas, as well as the exit of some of the parallel subconscious processes to the level of awareness, and vice versa, leading to peculiar oscillations, changes in the spiral of mental activity. And finally, due to the individual characteristics of neural circuits.

And yet, despite the possibility of a large number of possible options, while processing of information in the central nervous system, the regularity is the signal transformations and energetic reconstructions. The author regards this regularity as the basic principle of the brain functioning.

Consider some interesting and important issues.

The first question: is there a single control center in the brain? In neuroscience, it is often figuratively called the "conductor", "CEO", etc. Usually these functions are attributed to PFC (frontal lobes) [9, 11, 25]. In neuroscience, there are heated discussions on this topic. The objections of opponents, as a rule, by neuropsychologists (see, for example, [19]), are based on the fact that, in cases of PFC lesions, the conscious possibilities of a person often suffer only slightly.

The author shares the point of view according to which: 1) PFC — the center of the brain uniting and scanning the situation, which, as is well known, has numerous connections with all areas of the brain, as well as a more developed network of dendrites compared to other structures, and therefore, again connections. All this makes it easier for PFC to perform the marked functions; 2) PFC actually contains maps of goals, meanings, algorithms (essentially, this is a kind of library) of solutions of various tasks, therefore, it seems that it is finally formed in the brain after all structures during normal development. In PFC, many "cells that behave as sensors of the target" have been detected [12]; 3) the brain is characterized by high

plasticity and, therefore, reliability, therefore, in the event of damage to some areas, including PFC, other intact brain areas can assume lost functions, which is facilitated by an extensive system of connections in the brain. And this is well known in neuropsychology. Much, of course, depends on a particular person, i.e. individual characteristics of neural circuits. So, it would seem that similar injuries (tumors, strokes, etc.) in different people can lead to very different consequences [12]: for some people — to catastrophic, and for others — to none. This behavior, apparently, contributes to the ring nature of the connections of the neural circuits of the brain³. Is it important in this case, where is the beginning? In this connection, the information from work [12] that, when solving five different cognitive tasks, not only two areas in the PFC, but also one in the parietal lobe, are necessarily excited, is also interesting.

Thus, PFC is an important center that performs unifying and initiating functions in the brain of a normal person, but much can depend on individual characteristics, type of activity. In particular, such functions may, apparently, take, at least partially, other areas of the brain, especially in cases of damage or underdevelopment of PFC.

The second question: what happens next? The considered wave of increased energy activation, which is the subject of our awareness, is actually the main content of the so-called working memory. It was evident that this wave is a dynamic temporarily created structure and occurs periodically in the waking state. What happens next, or rather, possible scenarios, is well established in neurobiology (see, for example, [9, 14]). For longer memorization, the information must fall into the hippocampus, which redirects it to different areas of the brain. "For example, emotional memories are stored in the amygdala, and words are recorded in the temporal lobe. At the same time, color and other visual information is collected in the occipital lobe, and tactile sensations and movement are in the parietal lobe. At the moment, scientists distinguish more than 20 categories of memories stored in various parts of the brain, including fruits and vegetables, plants, animals, body parts, colors, numbers, letters, nouns, verbs, proper names, faces, grimaces, emotions and sounds "[14]. As a result, sensory maps and PFC maps are constantly adjusted, depending on the occurring and conscious events. At least, an important factor here is also the degree of novelty, as well as often and directly for the process of awareness in this case.

³ It should be noted, however, that neural circuits are not even morphologically equivalent, since they can include different types of neurons that differ from each other even for the same type (see below).

Qualia

An interesting and instructive opinion on this issue was expressed by the well-known neuropsychologist J. Duncan [12]: "Philosophers who study consciousness designate the content of various sensory sensations by the term qualia. They themselves consider qualia as hard problems, although I see this as something cunning. Indeed, it is customary to call a hard one such a problem, which we recognize as difficult, but still intend to solve it. I would prefer to call qualia a problem that so fool us that we don't even know what its essence is."

The essence of the main problem of psychophysiology was briefly formulated by the great Russian physiologist I. P. Pavlov, who asked the legendary question: "How does brain matter produce a subjective phenomenon?" At the same time, how the brain generates consciousness, the well-known modern philosopher D. Chalmers attributed to hard problems [26]. Here he took the problem of "qualia", i.e. sensual experiences. In general, opinions on this issue vary in a very wide range, ranging from total rejection, i.e. just avoiding the question, and ending up being considered unsolvable. So the citation given at the beginning quite well reflects the current general state of the issue in question, i.e. a certain confusion.

Let us try, however, to deal with this, really difficult, problem of "qualia", having considered the classic example about the sensation of "red" [26].

Let's start from the beginning, i.e. physical fundamentals.

"There are two types of photoreceptors: the cones and the rods... Cones selectively react to color, less sensitive to dull color than rods, and important for detailed color vision in daylight. Each cone contains one of three types of photopigments, specialized proteins, sensitive to different wavelengths of light. These wavelengths roughly correspond to our ability to distinguish between red, green, and blue. When light hits a photopigment molecule, the light energy is absorbed, and the molecule then develops its shape in such a way that the movement of electric current changes in this photoreceptor neuron" [9].

What will happen in the absence of one type of pigments, in particular, corresponding to the red color? The answer is well known: color blindness, or rather protanopia — a violation in the red part of the spectrum. And such a person will not have the feeling of a "red" color, i.e. red color will not be perceived by them. What will a man with protanopia see in this case? The answer is gray, i.e. another color. Thus, the reduction (catastrophic in this case) occurred immediately due to illness. It is clear that it differs qualitatively from the reduction in the normal case (see earlier).

Normal human sight⁴ is possible only with all three types of photopigments, conventionally called "red", "green" and "blue". It is known that various combinations of colors of the red, green and blue ranges of the spectrum and allow us to see other colors and tones (again, remember the color TV).

So, a necessary, but insufficient, condition for a normal human perception of red, first of all, is the presence of red pigments. Other necessary conditions for the perception of red is also the normal development of a number of other components of the visual system. Consider this case for a situation of conscious information processing (see earlier).

In a normal visual system, the signals are received as described above for processing in the area of the sensory map responsible for color, in particular red. Next, a sensory coalition of neurons responsible for the red color and perception of the corresponding object is assembled. *Ultimately, as a result of the passage of signals through the collected coalition of awareness, an energetic reconstruction takes place, which corresponds to the sensation of the person of the red object seen. I note that the passage of signals, the assembly of the coalition of awareness and energetic reconstruction occur simultaneously! Thus, the sensation of "red" arises in accordance with the formulated main principle of the functioning of the brain — signal transformations and energetic reconstructions.*

What influences the formation of sensory maps? Obviously, two factors play a crucial role: experience and genetics. Genetics leads to the fact that all normal people have approximately the same feeling of "red", if there are no serious violations in the acquired experience. "Approximately" is associated with these same two factors, namely, genetics and experience, or rather, with the individual characteristics of the corresponding neural circuits, which are the determining material basis of subjectivity [28]. So, it is known that there are people who better distinguish differences in colors, smells, have a more delicate ear for music, etc. Will these energetic reconstructions in the human brain fully correspond to reality? The answer is simple: no! Since any copy, and the energetic reconstruction is a copy, never coincides with the original. How does it happen for other animals? Obviously, these sensations may differ even more due to possible differences (see earlier) in signal transformations and energetic reconstructions in their brain.

Thus, our sensations do not fully reflect reality, but only approximately. According to the author, despite the fact that according to the formulated principle of

⁴ What a pity that we have only three types of photopigments, so some birds and butterflies see invisible (not perceived) colors for us, having other types of pigments [27].

brain functioning, signal transformations and energetic reconstructions, it becomes generally clear what human sensations are, their exact description, like consciousness, is also impossible for similar reasons [7].

The nature of information processing in the brain and the nature of life

Consider a few important questions.

Question 1. *Is information processing in the brain digital or analog?*

Immediately turn to the classics. So, J. von Neumann also wrote [29]: "The most direct conclusion from monitoring the work of the nervous system is that its activity is *prima facie* (at first glance) digital in nature." These words of the great scientist led a number of experts to conclude that the processing of information in the human brain is digital. It is only possible in these cases to regret that, firstly, the sentence itself was not attentively read (omitted "*prima facie* (at first glance)"), and, secondly, the author would recommend to read this legendary book carefully to the end. In particular, it is enough to cite another quotation from the section of the book "Digital and analog parts of the nervous system", namely [29]: "I want to say the following: the processes occurring in the nervous system can repeatedly, as I have already noted, change their character from digital to analog and back to digital, etc. " Surprise and admiration is caused by the fact that J. von Neumann published his analysis in 1958!

The information currently available allows us to support the point of view of J. von Neumann and to make an unequivocal conclusion on the issues under consideration.

We will consider one of the most complex modes of the brain — conscious processing of sensory information (see earlier). It turns out that the fundamentally important digital and analog components of information processing in this case take place not only at the microscopic, but also at the macroscopic level.

Microscopic level. You can find a lot of digital and analog components in the analysis of the functioning of the neural circuits of the brain at this level. I will highlight only two points. Part I [7] noted that the key active elements in electrical (neural) circuits of the first type are ion channels, i.e. NEMS operating on the principle: open — closed, i.e. digital. At the same time, diffusion processes are crucial in chemical synapses, i.e. explicit analog component is implemented. In this case, as noted earlier, there are regular conversions of signals from electrical to chemical, and vice versa.

Macroscopic level. In general, the operation of system 1 and system 2 looks continuous (in a spiral [7]). However, the transition from one coalition of neurons to another (see earlier) is clearly discrete in nature. The

same, at least, is the change of directions of thinking activity, the output of subconscious processes to the level of awareness that is transitions from one turn of the spiral to another (see [7]).

Consequently, thinking is a continuous-discrete process, and information processing in the brain is generally hierarchical in nature, combining both analog and digital components.

Question 2. *Is nature of life digital or analog?*

This question is more general than the related, more specific question 1. We will try to answer this question, since it is now of increasing interest (see, for example, [30]).

"The central dogma of molecular biology says that information in a cell goes from DNA through RNA to a protein, and no other way" [9]. The following statement by R. Dawkins is also known: "If we summarize molecular genetics in one word, I would say "digital" [31]. Such views lead experts to the currently popular conclusion that the nature of life is digital.

Again let us turn to the classic — the legendary book of J. von Neumann, namely [29]: "The genes themselves are obviously parts of the digital system of components. However, their actions are to stimulate the formation of specific chemicals, namely, certain enzymes inherent in this gene and therefore belongs to the analog domain. " Today it is possible to strengthen this point of view of the great scientist with the involvement of the established scientific field, in particular epigenetics. "Epigenetics: the study of gene expression under the influence of the environment. The discovery of alternative ways described in the central dogma of information transfer is sometimes called the third biological revolution" [9].

Consequently, in this question the analog component, connected with the influence of the environment, is of fundamental importance.

As a final argument, I will note the following. According to the most powerful modern physical theory — quantum mechanics — it is well known that three types of spectra of a physical quantity are possible, namely: 1) discrete; 2) consisting of separate lanes; 3) continuous. Thus quantum mechanics is fundamentally different from classical physics, in which only the continuous form of the spectrum is allowed. Therefore, the author believes that Nature, realizing life, including man, used all the wealth of possibilities.

For the reasons stated, the final and unequivocal answer to the two questions posed: "*The nature of both information processing in the human brain and the nature of life is common, that is analog-digital!*"

The questions discussed are of fundamental importance, at least for two very interesting problems: immortality and the creation of supermind.

Part I [7] noted that the copying of human consciousness can be considered as a peculiar variant of its immortality. From the previous it becomes clear that it is advisable to make copies of consciousness on an analog-digital (mixed or hybrid) basis. As for the creation of the supermind (see [23]), then, apparently, the analog-digital should also be the main one, i.e. hybrid electronics. It is possible that, like the human brain, it will be organic hybrid nanoelectronics [1–6].

Problems and directions of consciousness research

The main problems of the study of the human brain as a whole, consciousness in particular, are primarily the result of its fantastic level of integration as an object of electronics. Part I [7] gave a very rough estimate — about $10^{19} \dots 10^{21}$ active elements, namely: the number of channels M , i.e. NEMS. Unfortunately, at the present moment of time, we can confidently indicate only the range in which this number can be:

$$10^{15} \ll M \ll 10^{25}, \quad (1)$$

where the lower limit corresponds approximately to the number of synapses (it is known that the number of channels is much greater than the number of synapses), and the upper limit corresponds to the total number of molecules in the human brain (the brain volume is about 10^3 cm^3 , and the number of molecules per cm^3 is about 10^{22}). I note that the approximate average number of neurons N in the brain of a normal adult has been only recently determined, i.e. solved a simpler problem. It varies according to different sources in the range $(86.1 \pm 8.1) \cdot 10^9$ [32]. There are approximately the same $(85.0 \dots 86.0) \cdot 10^9$ glial cells [10, 33]. Thus, we are talking about the number $N \approx 10^{11}$. However, I note that at the same time, even the number of types of neurons is unknown, which, according to estimates, "undoubtedly, are more than a hundred, and maybe more than a thousand" [34]. Moreover, "there are no two completely identical neurons" [34]. With synapses, the situation is more complicated (usually the range is $10^{14} \dots 10^{15}$). The author no longer discusses the issue of the numbers of dendrites, spines, as well as the morphological (topological) features of neural circuits. In connection with the above, it is extremely difficult to analyze the object of electronics, in which even the numbers of the main structures are unknown, and at the same time they are truly astronomical. There is no doubt that the modes of the brain, in which awareness is realized, are the most complex (see [7] and earlier). Do not forget about the possibility of many different options, even in the same modes of functioning of the brain. There is no doubt that the situation is complicated by the fact that we are dealing with reconstruc-

tions in the brain, and not with reality. How to investigate an object of such fantastic complexity with such significant uncertainties? *Thus, we are dealing with the task of a grand degree of complexity in the study of human consciousness. As already noted, its exact solution is impossible to obtain.*

Nevertheless, let us try to answer the question: what should be done to achieve a more adequate understanding of consciousness?

The analysis allows us to identify the following main directions.

First, it has already been noted that the most promising for further development are empirical theories of consciousness. Therefore, deeper studies in neurobiology (neurophysiology, neuropsychology, etc.) and neuroscience in general are of paramount importance. Unfortunately, research at the present time is often characterized by fragmentary, incomplete, inconsistent, and also based on private, usually statistically unreliable, data for specific people in a short period of time. At the same time, it is well known that the human brain is a dynamic, constantly changing structure. There are still a number of serious unclear issues in the work of the brain. In particular, the role of glial cells in information processing. For the author, it is clear that they affect the functioning of the brain, as important for the operation of synapses. How important is this influence? The question of neurogenesis (plasticity of the brain of the highest level [35]) is not entirely clear. It seems to me that these and many other questions (see, for example, [9]) may present considerable surprises in understanding the functioning of the brain.

Secondly, almost all modern methods and tools for experimental studies of the brain (visualization), unfortunately, are indirect and rather rude, as noted by many experts. So, a detailed analysis of modern methods of visualization of the brain is given in [9]. The verdict is not comforting: "... no method has the necessary space-time resolution for tracking single neurons and even small groups of nerve cells, for example, columns in the cortex" [9]. Therefore, it is necessary to use a whole set of methods, which is not always possible and complicates the analysis. The method of introspection used for the study of consciousness is, in general, an indirect method and also has a number of serious drawbacks. The most significant of which is that the process under study and the report about it are not only separated in time, but also that other areas can already be involved in the report compared to those participating in the process under study, and subconscious processes can also have an effect. All this together can lead to distortions, and ultimately to artifacts, which was noted, in particular, in [13]. Basically, the process of visual awareness is also investi-

gated. It is obvious that significant differences may arise in other types of awareness. All this requires a very careful interpretation of the results, the development of special methods for processing information. *The author sees the perspective for the qualitative improvement of experimental methods for the study of the brain in the use of nanoelectronics, nanomaterials, nanotechnologies and nanoscience in general [28].* This is all the more important because when creating the brain, Nature intensively used nanoobjects [28]: genes, DNA, RNA, neurotransmitters, proteins, etc., and the brain itself is an object of organic hybrid nanoelectronics.

Thirdly, considering the indirect, approximate nature of all methods of experimental studies of the brain, serious efforts are needed to develop theories of consciousness, the corresponding methods of mathematical modeling. According to the analysis of the current state of development of understanding of consciousness, apparently, priority must be given to empirical theories. They, apparently, correctly describe at least some aspects of consciousness. Let us not forget, however, about the great variety of conscious activity, the exceptional degree of complexity of the task (see earlier). For mathematical modeling, the development of multilevel simulation approaches and systems implementing them represents a perspective, one of the variants of which is described in [1, 2] within the framework of a full electronic interpretation of brain functioning. Important in this case is the property of openness of the approach, the ability to take into account the influence of various factors, combining with other approaches [28]. Since the main active elements in the brain, as an object of electronics, are the channels, i.e. NEMS, then the use of complex quantum-mechanical methods, at least at the lower hierarchical levels will be mandatory [1, 2]. In any case, it is necessary to take into account that the problem in question is related to the NP class problems in the mathematical sense [1, 2]. Considering the tremendous numbers of neurons N and NEMS M in the human brain, the development of statistical analysis methods [1, 2] and a synergistic approach [36] will also be promising. *Due to the current situation, the development of integrated approaches to the study of the brain [1, 2] based on the use of both different experimental methods and various methods of mathematical modeling should be considered an important area. At the same time, various theories of brain functioning can be used.*

And last, despite the importance of the study of human consciousness for the most diverse areas of science, technology and other activities, we should not forget that the priority direction is the possibility of restoring consciousness to people who lose or have already lost it. Unfortunately, the progress here is ex-

tremely insignificant. Certain hopes are currently being offered by complex empirical techniques, such as the ReCODE protocol for the treatment of Alzheimer's disease [37] and some other techniques for the recovery of a number of brain functions [38, 39]. Important in this direction should be a mandatory account of the patient's characteristics, i.e. individual character of neural circuits and other differences of his brain from the norm. Here, the author also sees a particular perspective in using the possibilities of nanoelectronics, nanomaterials, nanotechnologies, and nanoscience in general [28]. Our main ally in this most difficult direction of research will be the amazing plasticity of the brain, i.e. the brain itself [28].

Conclusion

A more detailed analysis of the process of conscious processing of sensory information made it possible to formulate the main principle of brain functioning — signal transformations and energetic reconstructions. On this basis, one of the most difficult questions, usually associated with consciousness, is analyzed — qualia, i.e. human sensations. It is shown that sensory sensations are energetic reconstructions in the human brain when perceiving the corresponding objects. Like any other copies, they cannot fully correspond to reality.

The widely debated in the literature questions about the nature of information processing in the brain and the nature of life are considered. Of the three possible options for each of the questions, there are arguments that this character in both cases is common, namely analog-digital. It is noted that these questions are of fundamental importance for two problems: artificial immortality and the creation of supermind.

The main problems and prospects for the study of human consciousness are highlighted. It was emphasized that they are mainly determined by the fantastic level of integration of the brain as an object of organic hybrid nanoelectronics.

The main mistake in creating many theories of consciousness, apparently, was to find some standard scheme for its implementation. According to the author, in reality, it simply does not exist, but the main principle of the functioning of the brain is, namely: the signal transformations and energetic reconstructions. In general, the work of the brain is characterized by a huge variety. The main disadvantage and at the same time dignity of the brain, perhaps, is that it approximately reflects reality. Therefore, it is impossible to look at the brain as a standard object, relying on some fragmentary private data. Individuality is fundamentally important here, despite the general principles of building the brain, at least for normal people. How-

ever, it is obvious that this could not be otherwise, considering the fantastic level of integration of the brain as an object of electronics, as well as the features of the brain of each person. For the reasons stated, neither consciousness nor qualia can, unfortunately, be described and analyzed accurately, or maybe... fortunately!

The author considers it a pleasant duty to express sincere gratitude to my students N. V. Kolomeitseva, I. A. Romanova and I. Y. Shcherbakova for preparing the manuscript for publication.

References

1. **Abramov I. I.** Mozg kak obekt jelektroniki. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 80 p. (in Russian).
2. **Abramov I. I.** Brain as an object of electronics. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 76 p.
3. **Abramov I. I.** Mozg — obekt organicheskoy gibridnoj nanojelektroniki, ili vzgljad so storony. Chast' I, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2013, no. 1, pp. 52—54. (in Russian).
4. **Abramov I. I.** Mozg — obekt organicheskoy gibridnoj nanojelektroniki, ili vzgljad so storony. Chast' II, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2013, no. 3, pp. 45—53. (in Russian).
5. **Abramov I. I.** Mozg — obekt organicheskoy gibridnoj nanojelektroniki, ili vzgljad so storony. Chast' III, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2013, no. 5, pp. 45—54. (in Russian).
6. **Abramov I. I.** Mozg — obekt organicheskoy gibridnoj nanojelektroniki, ili vzgljad so storony. Chast' IV, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2013, no. 6, pp. 49—53. (in Russian).
7. **Abramov I. I.** Human consciousness, or possibilities of electronics. Part I. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*. 2018, vol. 20, no. 5. P. 308—320. (in Russian).
8. **Nicholls J. G., Martin A. R., Wallace B. G., Fuchs P. A.** From neuron to brain. 4-th ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2001.
9. **Cognition**, brain, and consciousness. Introduction to cognitive neuroscience. Second Edition / Ed. by B. J. Baars, N. M. Gage. Amsterdam: Elsevier, 2010. 658 p.
10. **Gazzaniga M. S.** Who's in charge? Free will and the science of the brain. New York: Harper Collins Publishers, 2011.
11. **Goldberg E.** The executive brain: Frontal lobes in a complex world. Oxford University Press, 2001.
12. **Duncan J.** How intelligence happens. London: Yale University Press, 2010.
13. **Dehaene S.** Consciousness and the brain. Deciphering how the brain codes our thoughts. New York: Viking, 2014.
14. **Kaku M.** The future of the mind: The scientific quest to understand, enhance, and empower the mind. New York: Doubleday Publishers, 2014. 400 p.
15. **Revonsuo A.** Consciousness. The science of subjectivity. Hove and New York: Psychology Press, Taylor & Francis Group. 2010. 324 p.
16. **Abramov I. I.** Mozg cheloveka — shedevr estestvennoj jelektroniki. Problemy i perspektivy issledovaniya. Materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. "Aktual'nye problemy radio- i kinotehnologij", 2017, Russia, Sankt-Peterburg, pp. 79—86. (in Russian).
17. **Luria A. R.** Lektsii po obshchey psikhologii. SPb.: Piter. 2007. 320 p. (in Russian).
18. **Batuyev A. S.** Fiziologiya vysshej nervnoj dejatel'nosti i sensoryh sistem: Uchebnik dlja vuzov. Sankt-Peterburg, Piter. 2010. 317 p. (in Russian).
19. **Damasio A.** Self comes to mind. Constructing the conscious brain. New York: Pantheon Books, 2010.
20. **How the brain works.** ed. by P. Abrahams. Bright Star Publishing Co., 2015.
21. **Ramachandran V. S.** The tell-tale brain. A neuroscientist's quest for what makes us human. New York: W. W. Norton & Company, 2011.
22. **Kandel E. R.** In search of memory: The emergence of a new science of mind. W. W. Norton & Company, 2006.
23. **Abramov I. I.** Human consciousness, or possibilities of electronics. Part II. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2018, vol. 20, no. 6, pp. 368—384 (in Russian).
24. **Compernelle T.** Brain chains. Discover your brain and unleash its full potential in hyperconnected multitasking world. Compublications, 2014.
25. **Luria A. R.** Osnovy nejropsihologii. M.: Izd-vo MGU, 1973. 375 p. (in Russian).
26. **Chalmers D. J.** The conscious mind: In search of a fundamental theory. Oxford University Press, 1996.
27. **Carroll S. B.** The making of the fittest. DNA and the ultimate forensic record of evolution. N. Y., London: W. Norton & Company, 2006.
28. **Abramov I. I.** Prospects of nanoelectronics, nanomaterials and nanotechnologies in research and medicine of the human brain, *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2016, vol. 18, no. 1, pp. 49—64.
29. **Von Neumann J.** The computer and the brain. New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1958.
30. **Life: The leading edge of evolutionary biology, genetics, anthropology, and environment science / Ed. by J. Brockman.** Harper Perennial, 2016.
31. **The next fifty years: Science in the first half of the twenty-first century / Ed. by J. Brockman.** Vintage, 2002.
32. **Bostrom N.** Superintelligence. Path, dangers, strategies. N. Y.: Oxford University Press, 2014.
33. **Hood B. M.** The self illusion: Why there is no 'you' inside your head. Constabl, 2012.
34. **Hubel D. H.** Eye, brain and vision. New York: Scientific American Library, 1988.
35. **Kempermann G.** Die revolution im kopf: Wie neue nervenzellen unser gehirn ein leben lang jung halten. Droemer eBook, 2016.
36. **Haken H.** Principles of brain functioning. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
37. **Bredesen D. E.** The end of Alzheimer's. The first program to prevent and reverse cognitive decline. Avery, 2017.
38. **Amen D. G.** Change your brain, change your life. N. Y.: Penguin, 1998.
39. **Perlmutter D., Colman C.** The better brain book. N. Y.: Penguin, 2005.