

XXI ВЕК: СОЗНАНИЕ И МОЗГ¹

© 2023 г. Г.Р. Иваницкий*,#

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
ул. Институтская, 3, Пущино Московской области, 142290, Россия

*E-mail: ivanitsky@iteb.ru

Поступила в редакцию 15.03.2023 г.

После доработки 03.07.2023 г.

Принята к публикации 12.07.2023 г.

Существенным результатом творчества людей в XXI веке стало создание креативных андроидных роботов, снабженных искусственным интеллектом. Уровень совершенства этих роботов становится столь высоким, что по внешним признакам установить их отличие от живых людей вскоре будет невозможно. Существующие методы анализа (тесты А. Тьюринга и Дж. Сирла) ставят много интересных вопросов, связанных с неопределенностью определения термина «сознание». Однако похожесть людей и роботов может приводить к логической ошибке, т.е. к подмене реального мира виртуальным миром.

Ключевые слова: способы обработки информации в мозгу человека, креативные андроидные роботы, ценность информации.

DOI: 10.31857/S000630292304021X, EDN: KOJXRU

Среди основных рисков, угрожающих существованию человечества, имеют место следующие явления.

Во-первых, падение крупных метеоритов или существенное изменение климата на нашей планете (резкое потепление и глобальная засуха, затопление больших территорий при таянии льдов на полюсах Земли или резкое и длительное похолодание, которое приведет к глобальному голоду).

Во-вторых, изменение динамических процессов внутри Земли, которые могут создать условия, приводящие к землетрясениям и росту вулканической деятельности.

В-третьих, ограниченность энергетических ресурсов и пресной воды на планете, что неизбежно приводит к массовой миграции населения и локальным войнам.

В-четвертых, возникновение новых вирусных пандемий, в том числе и рукотворных, нарушающих устойчивость густо заселенных регионов планеты.

В-пятых, развал существовавших империй, стремящихся удержать свое мировое господство, что может привести к мировой атомной войне и уничтожению большей части (возможно и всего) человечества.

В-шестых, рост потребления наркотических средств и увеличение психических заболеваний. Рост количества людей, страдающих деменцией.

В-седьмых, с развитием робототехники вытеснение людей с рынка труда, что приведет к росту расслоения общества и повсеместному нарушению устойчивости социальных систем.

В связи с перечисленными рисками возрастает роль фундаментальных пограничных системных наук, подобных биофизике, направленных на исследование критических ситуаций и изучение их причинно-следственных отношений.

ПОПЫТКА ОПРЕДЕЛИТЬ СОЗНАНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Чтобы бороться с возникающими рисками, нужно понимать и осознавать их опасность. Однако, никто не знает, что такое *сознание* и что означает глагол *осознавать*. 300 лет пытаются найти этому термину определение. Бихевиористы (от англ. *behaviour* — поведение) считали, что *сознания* не существует, это иллюзия, в которую мы верим. Термины «сознание», «эмоции» и «поведение» не имеют четких определений. Когда человек заявляет, что у него есть *сознание*, то бихевиористы возражают, что так мог бы сказать и самообучающийся суперкомпьютер-робот. *Сознание* — субъективный феномен. И.П. Павлов в свое время отказался использовать этот термин

¹ Пленарная лекция на открытии VII Съезда биофизиков России (Краснодар), 17 апреля 2023 года

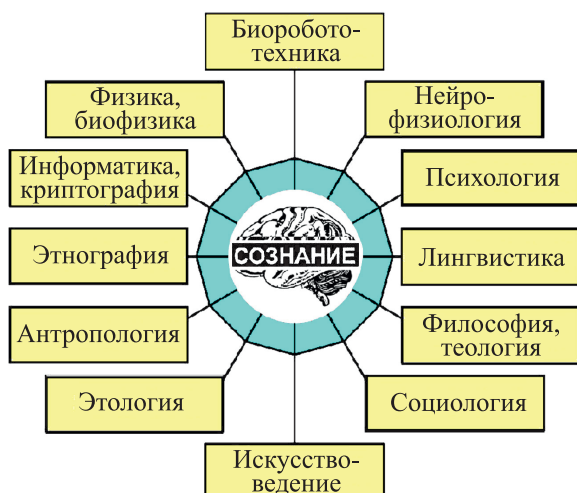


Рис. 1. Научные дисциплины, имеющие свое определение сознания.

в своей лаборатории. Гипотезу работы мозга он построил на условных и безусловных рефлексах. Сегодня исследователи вернулись к активному изучению *сознания*. По крайней мере, 12 наук пытаются внести свою лепту в его определение (рис. 1).

Всем известно выражение: *человек потерял сознание*. Но что это такое, что он потерял? Пока ответа нет. Существует порядка 100 определений сознания. Опубликовано на эту тему порядка 25000 статей и книг.

КРАТКИЕ ИТОГИ XX ВЕКА: КАК РАБОТАЕТ НАШ МОЗГ

Анатомические (рис. 2) и физиологические исследования мозга человека в XX веке показали, что, несмотря на очевидный успех, остались неопределенности в описании механизмов его работы, которые не позволяют объяснить множество вариантов поведения человека, наблюдаемых психологами.

Исследования обычно проводились на разных уровнях структурной организации мозга (рис. 2б), от молекул до целостной нервной системы. Однако каждый иерархический уровень описывался в своих терминах, на своем языке, что не позволяет объединить эти описания в виде единой модели. Эволюционное усложнение мозга показало, что он в филогенезе увеличивается как путем наращивания столбов, так роста пластов нейронов (рис. 3).

Платой за усложнения структуры мозга служит увеличение затрат времени при переходе к двигательной реакции. Если насекомое богомол с простой системой организации мозга (№ 1 на рис. 3) совершает простую двигательную реакцию за 1 мс, то у человека (№ 5 на рис. 3) на простую реакцию «зажглась лампочка — нажми кнопку» требуется 80–100 мс. Сравнение мозга человека с мозгом рептилий, например, крокодила, показало появление у человека новой структуры — развитой большой коры головного мозга (рис. 4б).

Сравнение коры мозга человека с корой других млекопитающих показало, что у людей кора занимает большой объем мозга — свыше 80% (рис. 5).

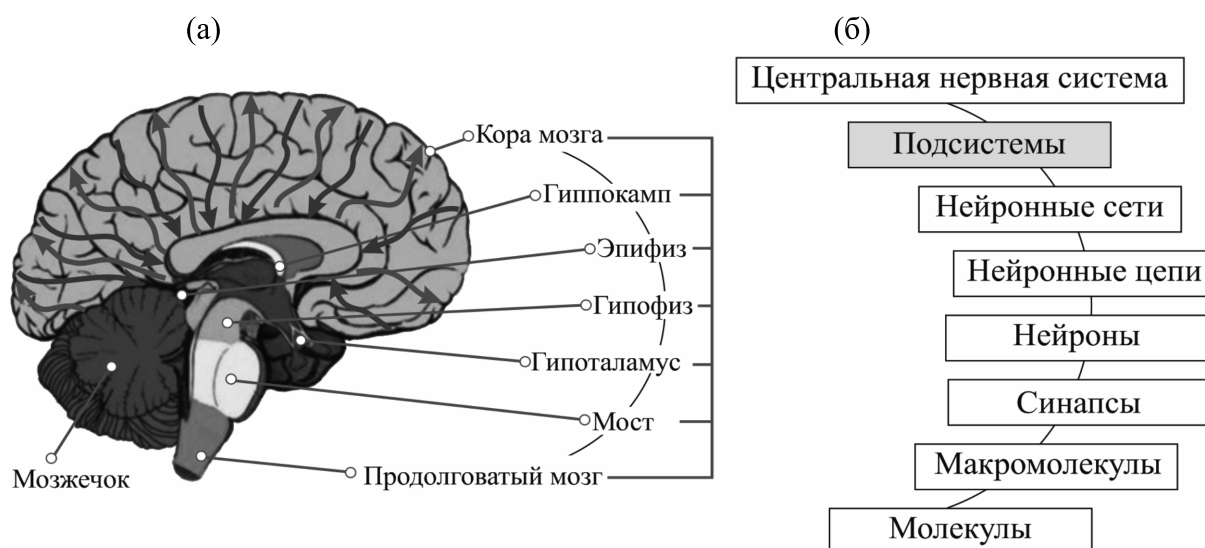


Рис. 2. Структурные образования подсистем головного мозга человека (а) и их иерархическая организация (б).

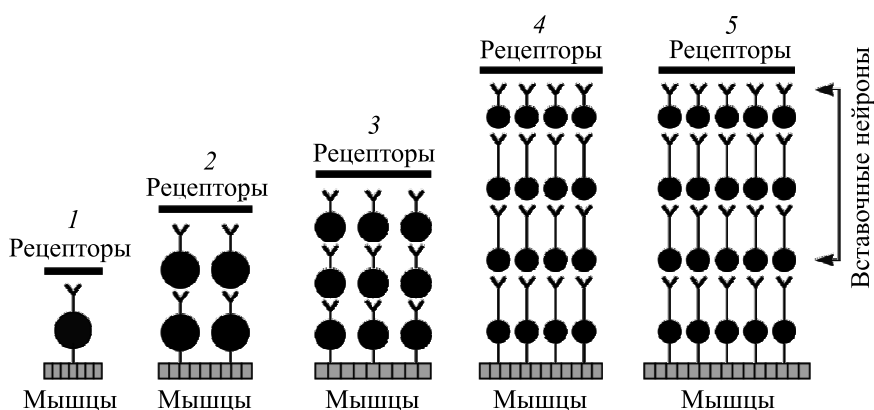


Рис. 3. Развитие мозга в филогенезе. Черными кружками отмечены вставочные нейронные слои.

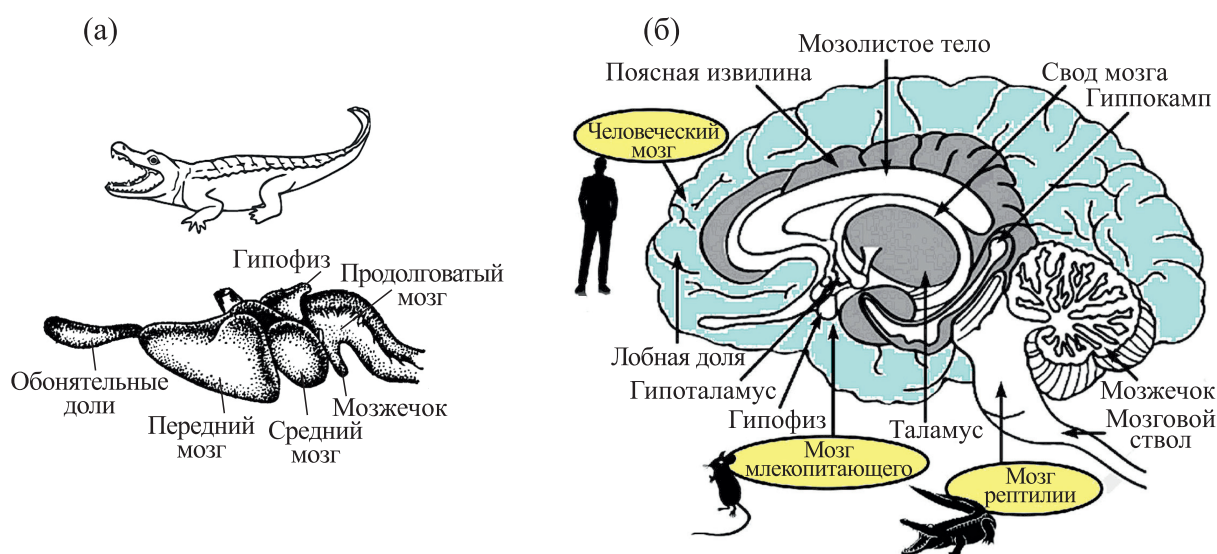


Рис. 4. Строение головного мозга рептилии — крокодила (а) и строение эволюционно развившегося мозга человека (б).

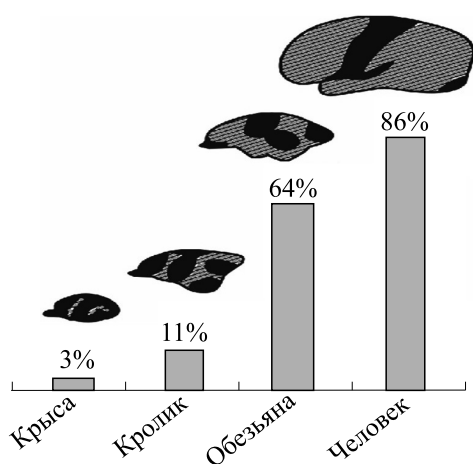


Рис. 5. Увеличение доли новой коры в эволюции млекопитающих по сравнению со старой корой (черные области).

В середине XX века были созданы первые универсальные вычислительные машины, появилась гипотеза, что человечество, наконец, приобрело возможность моделировать деятельность своего мозга.

МОЖЕТ ЛИ МАШИНА МЫСЛИТЬ?

В 1950 г. Алан Тьюринг в философском журнале *Mind* (Разум) опубликовал статью под названием «Вычислительные машины и разум» (*Computing Machinery and Intelligence*), в которой предложил тест, который должен был бы доказать, что вычислительная машина на основе заложенной в нее программы начинает обладать «мышлением». Он сформулировал свой тест на основе ответа на вопрос: может ли машина совершать действия, неотличимые от обдуманных действий человека? Суть этого теста показана на рис. 6.

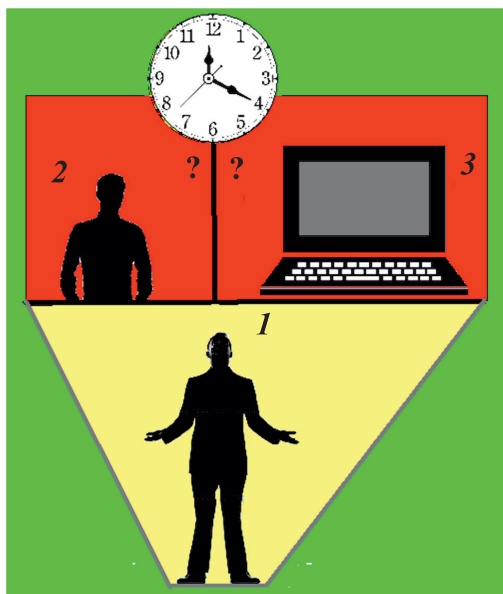


Рис. 6. Человек-экзаменатор (1) задает вопросы скрытым от него двум субъектам — человеку (2) и машине (3) — и получает от них ответы. Если за заданное время он не сможет отличить, с кем он ведет диалог — с машиной или человеком, то можно утверждать, что машина мыслит. Если это утверждение справедливо, то люди — это машины особой биологической разновидности на водно-органической основе. Тогда, по всей видимости, можно создать мыслящие машины, обладающие сознанием, из самых разных материалов.

30 лет спустя с целью опровергнуть тест А. Тьюринга американский философ Дж. Сирл придумал другой тест — «китайскую комнату» [1]. Суть теста Дж. Сирла состояла в доказательстве, что комбинаторный перебор, реализуемый в вычислительных машинах, не эквивалентен мышлению человека. Даже сам человек на основе перебора может давать на первый взгляд разумные ответы без понимания смысла вопроса (рис. 7).

В результате Сирл делает вывод: «Способ, посредством которого человеческий мозг порождает осмысленные явления, не может сводиться лишь к выполнению детерминированной инструкции, т. е. к компьютерной программе».

Последующие события внесли новые неопределенности в сравнение мышления человека и компьютерной программы. 11 мая 1997 г. компьютер Deep Blue (корпорация IBM) в матче из шести партий обыграл чемпиона мира по шахматам Гарри Каспарова со счетом 2:1 и три ничьих. Затем 19 лет спустя с 9 по 15 марта 2016 г. программа AlphaGo в матче из пяти партий обыграла корейского профессионала Ли Седола в китайскую игру Го со счетом 4:1. Игра Го имеет больше комбинаций, чем шахматы.

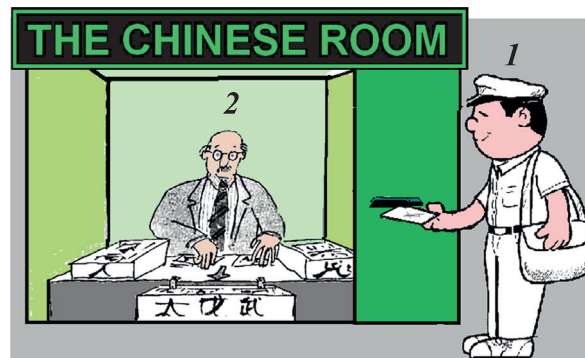


Рис. 7. Тест Дж. Сирла. Человек (1), владеет китайской иероглифической письменностью. Он отправляет человеку (2) вопрос в виде иероглифа. Человек (2) не знает китайской письменности, но имеет следующую инструкцию: «Получив иероглиф такого вида, возьми такой-то иероглиф из корзинки № 1 и поместив его рядом с таким-то иероглифом из корзинки № 2, отправь обратно».

XXI ВЕК — НАЧАЛО ЭПОХИ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АНДРОИДНЫХ РОБОТОВ

Развитие мозга гоминидов от Человека Умелого до Человека Разумного завершилось приблизительно 50—100 тыс. лет назад (рис. 8а). В XXI веке Человек Разумный создал похожего на себя по внешнему виду Креативного Андроидного Робота (рис. 8б).

Дальнейшие события в этом направлении происходили с ускорением. Фольклор современных студентов, занимающихся информационными технологиями и робототехникой, гласил:

Прогресс все ускоряет бег,

В нем победил не человек.

Разрыв становится сильнее,

Андроид превзошел людей!

С 11 по 13 января 2017 г. программа Libratus, созданная Университетом Карнеги—Меллона, выиграла у четырех лучших в мире профессиональных игроков в покер. Игра в покер содержит не только множество неопределенностей, но и основана на лжи, т. е. на обмане противника.

Что касается мозга современного человека, то можно сделать вывод: наш мозг по массе составляет всего ~2% нашего организма, но в активном состоянии может потреблять свыше 25% всей энергии, поступающей к нам с пищей. Мы имеем самую развитую новую кору по сравнению с другими млекопитающими, покрывающую средний мозг. Мозг человека содержит 86 млрд. нейронов и порядка 100 трлн. синапсов, обеспечивающих активные связи между нейронами.

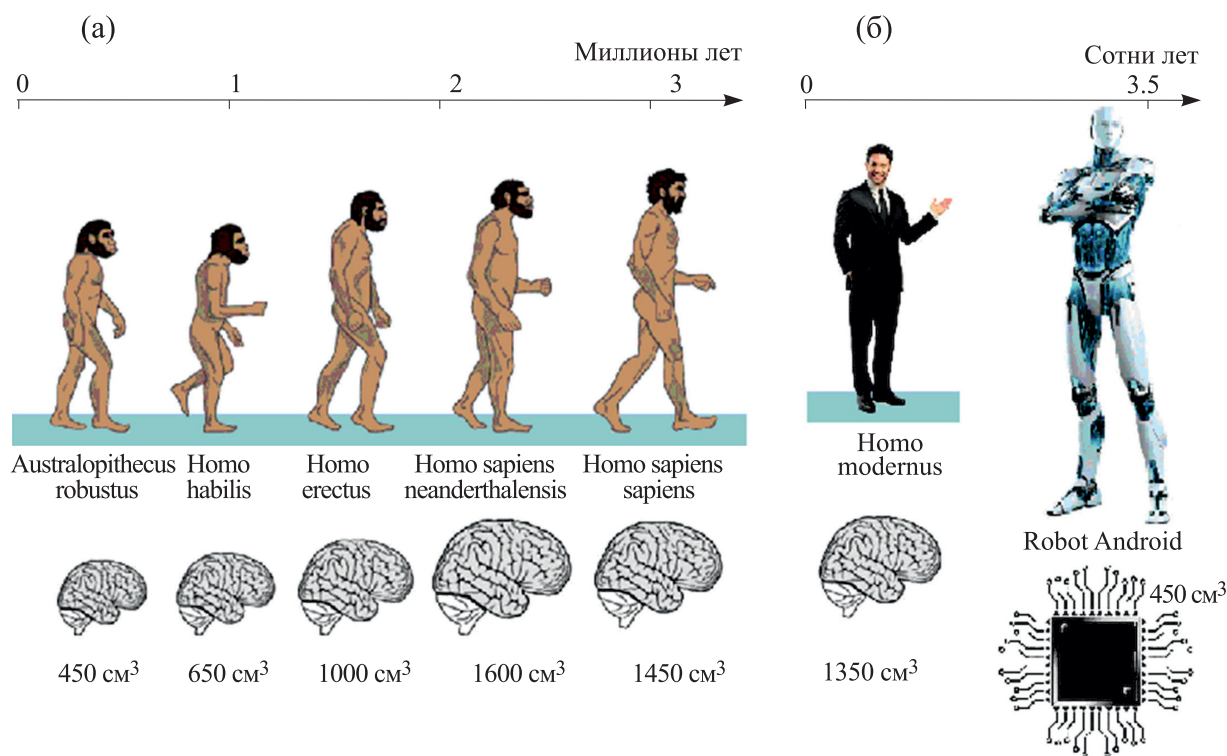


Рис. 8. Эволюция гоминидов: биологическая (а) и информационно-техническая (б).

ЭМОЦИИ И ГОРМОНЫ

Человек, в отличие от робота, наряду с обработкой информации всегда имеет Цель и информационную эмоциональную окраску процесса ее достижения. В культурах разных народов базовые эмоции различаются. Их присутствие можно распознать по выражению лица человека, его жестам или по изменению физиологических параметров человека. Основной набор эмоций — это любовь, страх, гнев, отвращение, влечение, счастье, печаль, удивление и т. д. Древовидные трехкомпозиционные графы связи слов, описывающих эмоции были построены в конце прошлого века и с вариациями повторялись в последующих работах

в XXI веке. На рис. 9 показаны графы для двух базовых эмоций.

Страх и *любовь* являются врожденными процессами с генетически заданными физиологическими компонентами и с определенными мимическими проявлениями.

Страх мобилизует организм для избегания опасных ситуаций, угрожающих его жизни. Причинами страха считают реальную или воображаемую опасность. *Любовь* наряду с верой и надеждой выступает одной из главных добродетелей во всех религиях. Существенную роль в проявлении эмоций играют гормоны. В нашем организме

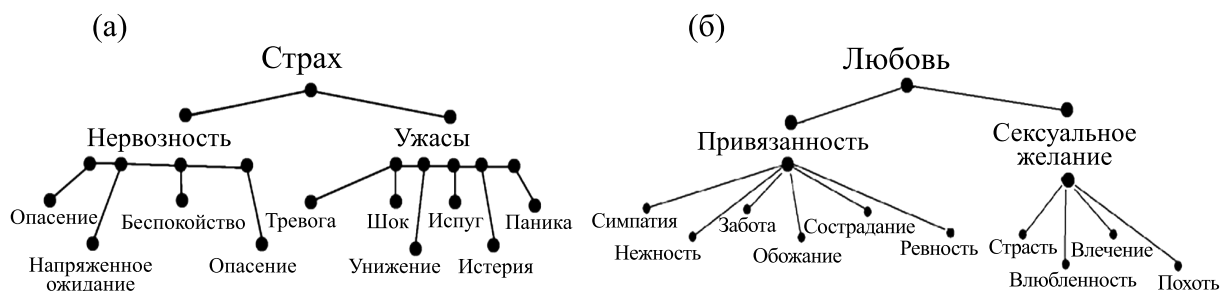


Рис. 9. Пример двух базовых эмоций: страх (а) и любовь (б).

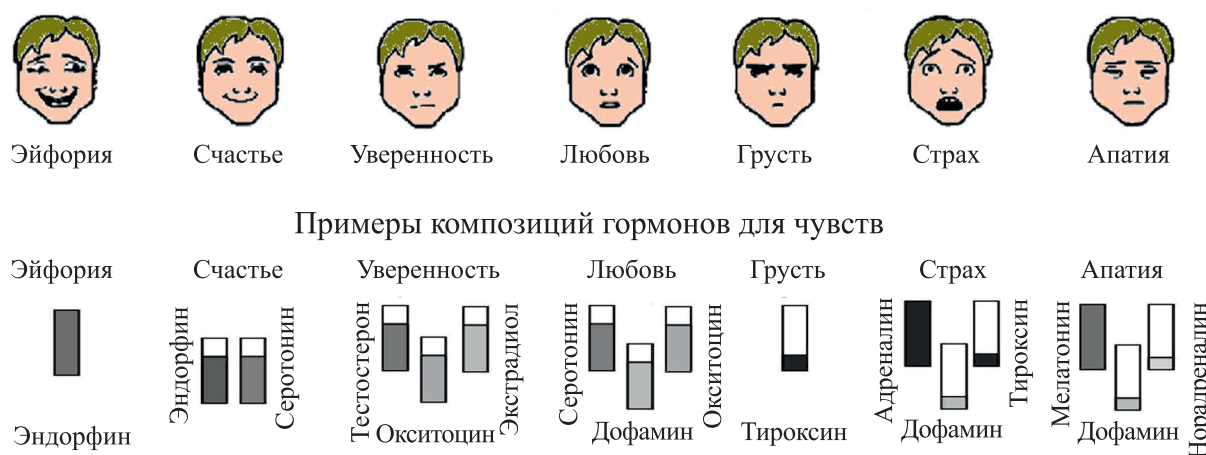


Рис. 10. Мимика лица и композиции гормонов.

синтезируется порядка 150 разных гормонов. Их комбинации связаны с эмоциями (рис. 10).

Гормоны вырабатываются в одних клетках и связываются с рецепторами клеток-мишеней в других органах, оказывая регулирующее влияние на обмен веществ и скорость обработки информации. Учитывая химическое строение гормонов, их делят на группы: стероидные гормоны, белковые и небольшие пептидные гормоны, являющиеся производными аминокислот. Они синтезируются в разных частях эндокринной системы человека: в области коры надпочечников, в зоне половых желез у мужчин и женщин, в поджелудочной железе, в эпифизе, надпочечниках, в нейронах и в щитовидной железе. Например, проявление эмоции *Любовь* связывают с гормонами — Серотонин, Дофамин, Окситоцин и другие в меньших концентрациях. Казалось, что главное отличие человека от Креативного Андроидного Робота найдено. У Роботов нет эмоций. Мы не видим осмысленной мимики их лица.

РОБОТ С МИМИКОЙ ЛИЦА

Однако за последние 10 лет разработано свыше пятнадцати новых платформ для создания Креативного Андроидного Робота. Остановимся на последней — Андроидный робот Амека (*Amecca*) был показан на выставке CES в Лас-Вегасе в начале прошлого 2022 г. Выставка CES (Consumer Electronics Show — Бытовая Электронная Демонстрация) — это событие в западном мире. На ней демонстрируются новые технологии и неожиданные проекты. Амеку на этой выставке назвали самым похожим на человека роботом, что связано с реалистичной мимикой ее «лица». На данный момент этот робот умеет управлять губами, морщить нос, управлять веками глаз и подмигивать. Ми-

мика Амеки не связана с гормонами. Это чисто электромеханическая имитация. На лице Амеки установлено множество мини моторов, при помощи которых деформируется силиконовое покрытие ее лица, создавая иллюзию мимики реального человеческого лица (рис. 11).

«Человеческое лицо» — это коммуникационный интерфейс с высокой скоростью генерации визуальной информации за счет подвижности мышц. С помощью изменения выражения лица и жестов можно сообщить настолько много информации, что даже иногда отпадает необходимость в словах. Младенец обучается этому языку раньше, чем звуковому языку. Уже через 9 мин после рождения младенца интересуют лица окружающих людей, к 12-му дню младенец способен имитировать мимику. В связи с наличием индивидуальных базовых эмоций, каждый ребенок учиться оценивать намерения людей. Внешний язык мимики и жестов является проявлением не только внутреннего химического гормонального языка. Если сравнить мимику южных и северных народов, то она будет разная. Мимика каждого человека имеет не только генетические особенности, но и испытывает на себе существенное влияние культуры народа, в которой воспитывается человек.

У Амеки внешнее проявление эмоций основаны на программах машинного перевода текстов. Внутри ее памяти заложен словарь, описывающий проявление эмоций (любовь, грусть, радость и их антиподы, и отрицания). По вопросам, задаваемых ей, в результате анализа словарного состава вопроса (или слов в диалоге и их комбинаторики), подается сигнал на работу соответствующего двигателя, растягивающего или сжимающего силиконовое покрытие «лица». Главная

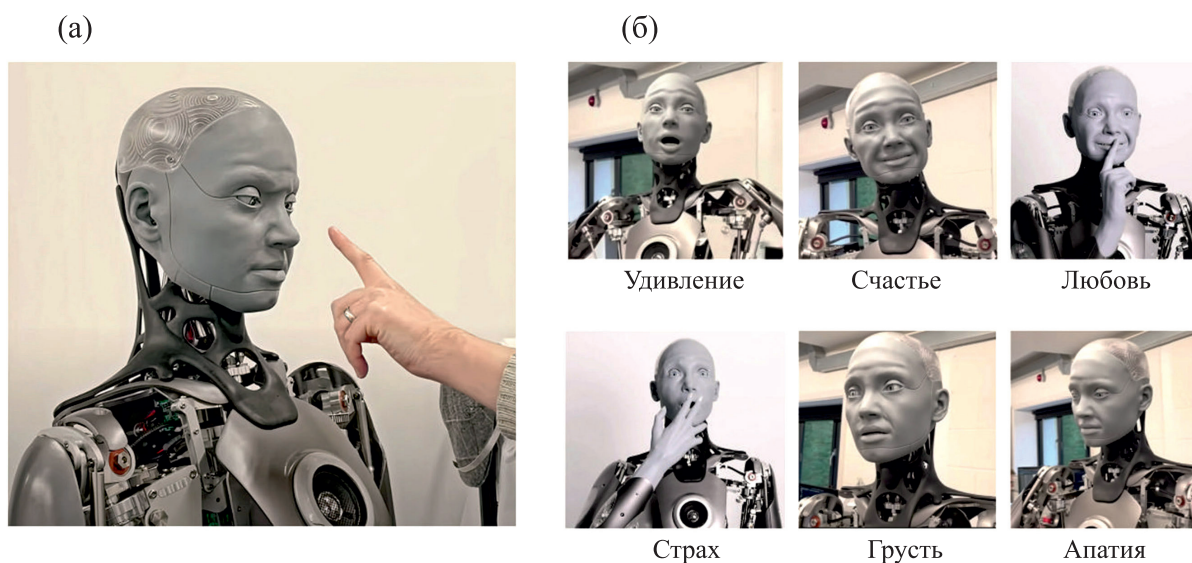


Рис. 11. Робот «Амека» (Engineered Arts, Великобритания) с мимикой лица.

цель создания креативных роботов — это стремление фирм заработать большие деньги (рис 12).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНДРОИДНЫХ РОБОТОВ

Области использования Креативного Андроидного Робота имеют, по крайней мере, семь практических приложений: (1) секретари, встречающие посетителей; (2) официанты, принимающие заказы; (3) экскурсоводы, рассказывающие об экспозиции выставки; (4) сиделки или мед-

сестры медицинских учреждений и домов престарелых; (5) продавцы товаров; (6) эстрадные артисты; (7) лекторы, читающие лекции и отвечающие на вопросы слушателей с заранее запрограммированными ответами.

Особое место занимают роботы-двойники — Геминоиды (рис. 13).

В интервью на вопрос, какова цель создания двойников, профессор из Университета в Осака Хироси Исигуро ответил: «Прежде всего, это попытка при помощи андроида понять, кто такой человек. С помощью Геминоида мы можем присутствовать везде, где пожелаем. Мы также можем прикоснуться к философскому вопросу: что собой представляет присутствие человека? Где проходит граница между сознанием и телом? Это моя цель, вот почему я изучаю телеприсутствие человека в оболочке робота-андроида».

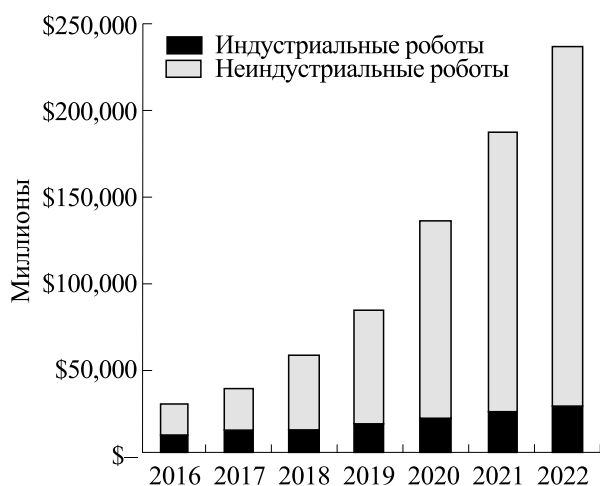


Рис. 12. Рост объема продаж роботов к 2022 г. оценивался в 237.3 млрд. долларов США. Он вырос за счет покупок в основном роботов неиндустриального назначения (Tractica: Total Industrial and Non-Industrial Robotics Revenue, World Markets (2016-2022)).



Рис. 13. Профессор Хироси Исигуро (справа) и его двойник — робот Геминоид (слева).

Таблица 1.

Вопрос и ответ XX века	Вопрос и ответ XXI века
МОЖЕТ ли машина иметь сознание в таком же смысле, в каком имеем его мы? Если ДА, то люди — это машины особой биологической разновидности на водно-органической основе. Тогда по всей видимости можно создать мыслящие машины, обладающие сознанием из самых разных материалов, включая кремний.	ЯВЛЯЕТСЯ ли искусственно созданная программа основой мышления или это всегда лишь имитация? Это принципиально иной подход к проблеме. Он затрагивает общий вопрос: что первично информация или ее носитель? Нельзя сделать одно и тоже сознание на разных материалах, из которого создается машина.

Итог этих дискуссий XX и XXI веков и выводы из них представлены в табл. 1.

ИНФОРМАЦИЯ, ЕЕ НОСИТЕЛЬ И ЕЕ ЦЕННОСТЬ

Все описанные выше явления связаны с обработкой информации. Информация и ее носитель — это разные понятия, хотя сама информация и не может распространяться без носителя. Носитель информации — это материальный объект, а информация есть идеальная субстанция, передающая смысл происходящих вокруг явлений. Именно развитие у приматов разных способов обработки и запоминания смыслов, заложенных в информации, привело к появлению человека. Носители информации могут различаться: электромагнитные поля (свет); акустические поля (звук); молекулы, взвешенные в воздухе (запах); жидкие и твердые вещества (вкус), наконец, творения человека на разных носителях (рисунки, тексты, строения, машины и т.п.).

Биология исследует в основном движение и взаимодействие носителей информации (молекул и зарядов), которые описываются законами механики Ньютона, и законами квантовой механики. Постоянно следует помнить, что информация измеряется в отличающихся для разных носителей единицах — битах, байтах, кубитах. Законы обработки информации отличаются от законов материального мира. Существует свыше полутора десятка определений информации. Следовательно, термин *информация*, как и термин *сознание*, страдает неопределенностью.

Теория информации развивается уже порядка 100 лет, начиная с первых работ 1920-х годов (работы Гарри Найквиста и Ральфа Хартли). Сегодня она находится на пересечении пяти наук — теории вероятностей, статистики, статистической механики, инженерии и электротехники. Порядка 50 лет к ее изучению проявляют интерес биофизики.

В биологии использование термина *информация* началось с термина *негэнтропия* (отрицательная энтропия), когда Эрвин Шредингер в 1944 г. в книге "*Что такое жизнь?*" ввел этот термин. В

теории информации и в статистике термин *негэнтропия* используется как мера отклонения распределения энтропии при работе системы от нормального распределения Гаусса. Если в распределении появляется асимметрия, то это означает, что внутри этих процессов есть элементы с обратной связью, т.е. возникает самоуправление. Из всех распределений с заданным средним значением и дисперсией нормальное (гауссово) распределение имеет наибольшую энтропию. Негэнтропия соответствует разности энтропий между наблюдаемым распределением и распределением Гаусса. Таким образом, негэнтропия всегда положительна и обращается в нуль тогда и только тогда, когда сигнал (воздействие на систему) является случайным, т.е. система не содержит информации. Следовательно, негэнтропия и информация характеризуют одно и тоже явление — устойчивость системы, но измеряемую в разных единицах. Негэнтропия измеряется в единицах энергии (джоулей или калорий), деленной на градус в шкале Кельвина, информация — в относительных единицах (битах) путем сравнения с некоторой стандартной системой хранения или передачи информации по каналу связи. Далее методом сравнения, используя эталонную систему, обрабатывающую информацию, описываются другие системы. Однако для описания работы мозга такой подход мало продуктивен.

При исследовании мозга важно понимать, что термины *информация* и *сознание* связаны между собою. Информация приобретает смысл, когда у Субъекта, принимающего информацию от Объекта, есть Цель. Любой живой организм обладает генетической памятью, в которой на ДНК записана информация, унаследованная им от родителей. Генетическая информация используется бессознательно в виде безусловных рефлексов. Однако наряду с генетической информацией существует интеллектуальная информация, приобретенная от учителей и/или в результате своего жизненного опыта.

Интеллектуальная информация может быть *априорной информацией* и описываться в виде *априорной вероятности достижения цели*. Если *априорной информации* недостаточно, чтобы до-

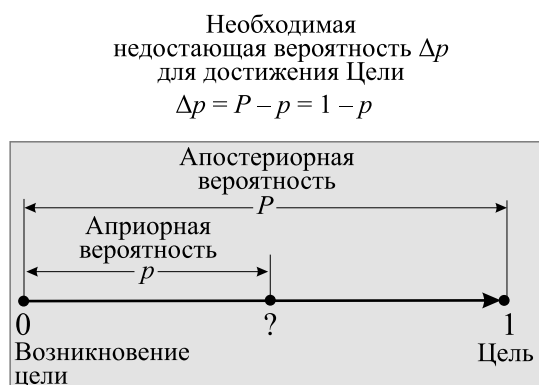


Рис. 14. В предельном случае, когда цель достигнута, апостериорная вероятность $P = 1$, а вероятность отсутствующей информации $\Delta p = 0$.

стичь цель, то живой объект должен получить ее недостающую часть Δp из внешней среды. Цель будет достигнута тогда, когда апостериорная информация P станет равной единице (рис. 14).

Следовательно, через априорную p и апостериорную P вероятности можно выразить *ценность* полученной информации V , которая позволит достичь поставленную Цель. Например, по Бонгарду и Харкевичу [2, 3] *ценность информации* равна:

$$V_{Б-Х} = \log_2(P/p).$$

В.И. Корогодина предложил другую формулу для определения *ценности информации* [4, 5]:

$$V_K = \frac{P - p}{1 - p}.$$

Причина состояла в том, что *ценность информации* зависит не только от Цели Субъекта (принимающего информацию), но часто и от Цели Объекта (передающего информацию). Если цель Объекта помешать решению задачи Субъектом, то передаваемая субъекту информация может быть ложной. Если у субъекта отсутствует способность отличать ложь от правды, то лживая информация будет отдалять его на оси времени от решения собственной задачи, порою приводя к трагическим последствиям. Таким образом, *ценность*

информации в терминах апостериорной вероятности P можно выразить в виде трех предельных ситуаций:

При $P_1 = 1$ наиболее ценная информация, позволяющая сразу решить задачу.

При $P_2 = 0$ информация нейтральная, не имеющая отношение к решению задачи.

При $P_3 = -1$ информация лживая, маскирующаяся под ценную информацию. Если апостериорная информация имеет отрицательное значение, в по формуле Корогодина ее ценность будет отрицательной. Однако если субъект обладает способностью распознать и отличить по каким-либо признакам ложь от правды, он может, приступив к решению задачи, превратить лживую информацию в ценную информацию. Поступая наоборот, он тем самым, вопреки желанию Объекта, может осуществить переход от $P_3 = -1$ к $P_1 = +1$.

Таким образом взаимодействие между Объектом и Субъектом можно представить в виде блок-схемы, представленной на рис. 15.

ПРОБЛЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ СОЗНАНИЯ

Если *сознание человека* рассматривать как процесс, то это адаптация организма к внешним условиям, т.е. динамический способ формирования внешнего мира в виде виртуальной, информационной модели внутри мозга. Последовательность операций, осуществляемых в сознании, состоит из четырех актов:

Сознание = Рецепция + Память +
+ Мышление + Поведение.

Если из этих актов убрать «память и мышление», то *сознание* исчезнет, хотя внешнее поведение может сохраниться. При этом информация анализироваться не будет:

Подознание = Рецепция + Поведение.

Окружающий мир предстает перед нами в разных обликах. «Метаморфозы Природы» отображаются в «Метаморфозах модели внутри мозга», также как местность отображается при ее переносе

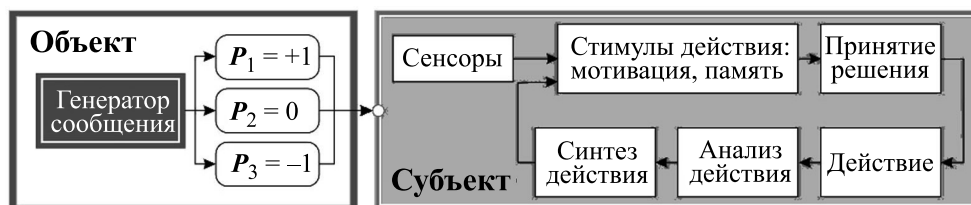


Рис. 15. Блок-схема информационного взаимодействия Объекта и Субъекта. В целом поведенческое действие Субъекта характеризуется целенаправленностью и активным действием. Объект передает информацию, имеющую разную вес с вероятностью P_1 , P_2 или P_3 . В блоке «принятие решения» определяется ценность информации и на ее основе синтезируется действие организма.

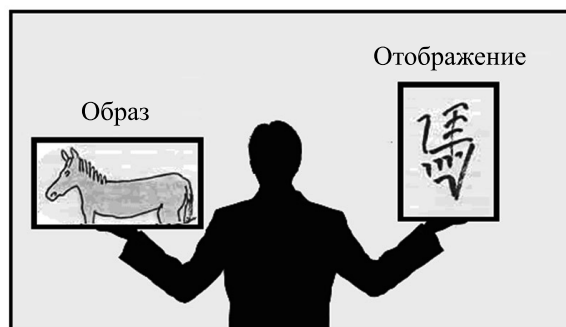


Рис. 16. Реальный образ и его отображение в виде символа — китайского иероглифа.

се на географическую карту. Это отображение условное, выраженное в паттернах, смысл которого посторонний наблюдатель не понимает. Аналогично человек, не знающий китайского языка, не сможет понять переход от образа лошади к его отображению в виде иероглифа (рис. 16).

В коре нашего мозга есть области, которые служат представителями наших рецепторных, информационных систем (рис. 17).

Проблема исследования сознания состоит в том, что, в отличие от генетики, мы пока в полной мере не знаем код интеллектуальной информации, поскольку исследуем в основном не информационные смыслы, а материальные носители информации. Это аналогично тому, что, желая понять смысл книги, мы будем исследовать не само содержание текста, а состав бумаги и краски, на котором он написан. Мы изучаем в основном носители информации, а не ее смысл. Еще в XIX веке Шарль Пьер Бодлер — французский поэт, классик французской литературы и основоположник символизма — писал:

*Природа — некий храм, где от живых колонн
Обрывки смутных фраз исходят временами,
Как в чаще символов, мы бродим в этом храме,
И взглядом родственным глядит на смертных он.*

Мы знаем точно, что мышление тормозит принятие решения. Крылатым выражением при принятии решений служит высказывание: *нужно подумать или утро вечера мудренее*. Возникает конкуренция между подкорковыми структурами, требующими немедленно действия, и новой корой мозга, тормозящей действие, чтобы предварительно оценить его последствия в существующей внешней среде.

Смысловые паттерны квалиа, например, во снах могут давать разнообразную комбинаторику. Проблема выяснения интеллектуального кода состоит в том, что в отличие от сравнительно стабильного кода тела, записанного на ДНК, код сознания непрерывно меняется под влиянием

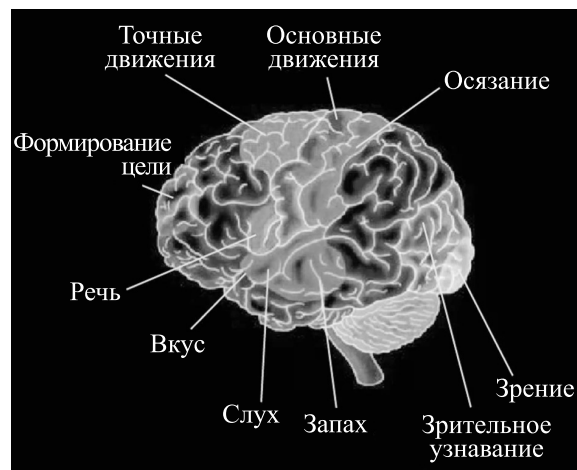


Рис. 17. Представительства информационных систем в коре головного мозга. их часто в англоязычной литературе называют Квалиа, от лат. Qualita «свойство, качество».

внешней среды, возраста и собственных интересов человека. Само выяснение этого кода является некорректной обратной задачей физики, т.е. по «уликам», которые мы наблюдаем в данный момент, необходимо выяснить причины, которые приводят к наблюдаемым «уликам». Такие задачи решаются в обратном порядке причинно-следственных отношений и очень чувствительны даже к небольшим ошибкам измерения. К сожалению, сегодня методы изучения динамических процессов в мозге не позволяют достичь необходимой пространственно-временной точности, т.е. нанометров (10^{-6} мм) в пространстве и долей 10^{-3} с во времени.

ПРЕВРАЩЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МОЗГА В ПРЯМУЮ ЗАДАЧУ

Можно попытаться превратить обратную задачу в прямую, выдвинув гипотезу и построив модель взаимодействия кластеров, формирующих паттерны. Затем проверить предсказанные моделью результаты в эксперименте.

Мы выдвинули такую гипотезу, приняв как постулат, что механизмы конкуренции, обработки и запоминания информации на нейронных кластерах можно описать на основе волнового уравнения ФитцХью—Нагумо с кросс-диффузией и кросс-адвекцией, которая в точке является моделью нелинейного маятника Балтазара—Ван дер Поля. Этот постулат был основан на наших экспериментах (проведенных почти 40 лет назад) по наблюдению автоволнового распространения тепловой активности в изолированном фрагменте мозга [6].

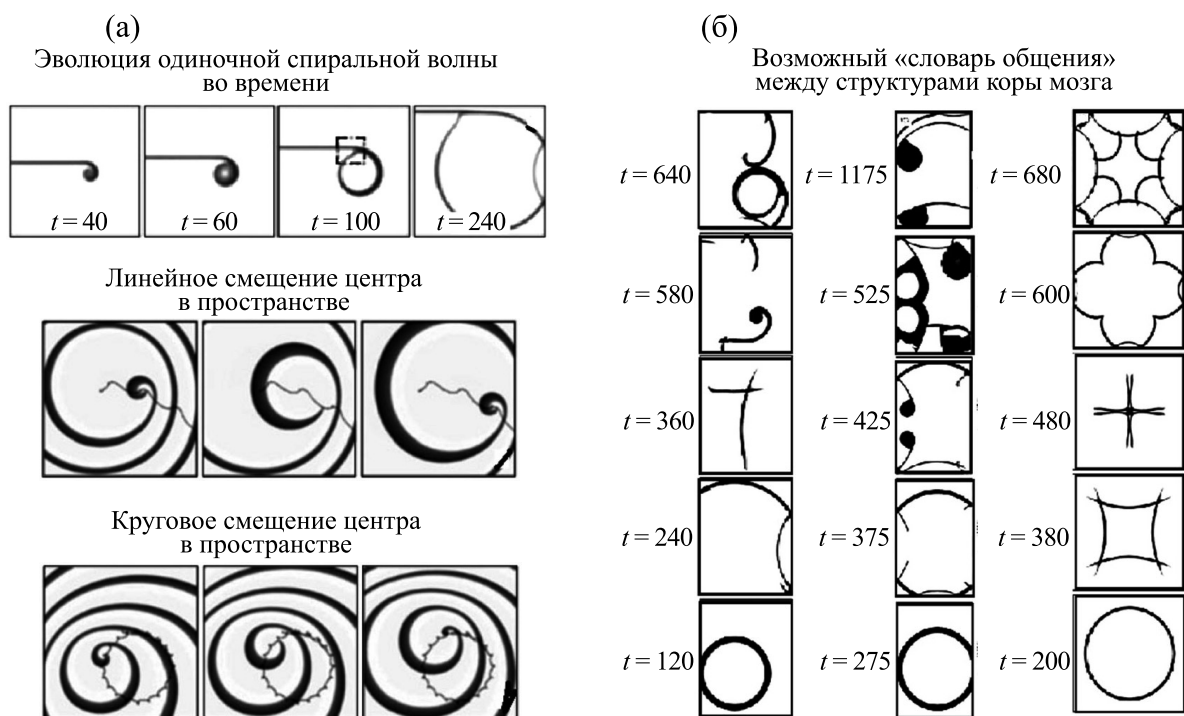


Рис. 18. Изменение во времени и в пространстве электромагнитного поля, создаваемого вокруг аксона при движении по нему импульса возбуждения (а) и возможный «словарь общения» между структурами коры мозга (б).

Математическая модель имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = f(u, v) + D_u \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \pm h_u \frac{\partial}{\partial x} \left(Q_u(u, v) \frac{\partial v}{\partial x} \right) \pm j_u \frac{\partial u}{\partial x},$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g(u, v) + D_v \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \mp h_v \frac{\partial}{\partial x} \left(Q_v(u, v) \frac{\partial u}{\partial x} \right) \mp j_v \frac{\partial v}{\partial x},$$

где u — это волна, движущаяся с относительной скоростью du/dt , например, в коре мозга, v — это волна, движущаяся, например, в подкорке с относительной скоростью dv/dt . Эти две волны перекрестно влияют друг на друга, изменяя ареал распространения (диффузию) и направление движения (адвекцию) в этом ареале. Волна подкорки стремится ускориться, а волна коры тормозит влияние подкорки. Коэффициенты h и j являются показателями перекрестной связи соответственно для диффузии и адвекции. Процесс, описываемый этими уравнениями, нами был исследован сначала без адвекции, т.е. только с перекрестной диффузией [7], а затем с добавлением адвекции [8]. Было исследовано во времени и в пространстве изменение электромагнитного поля, создаваемого изменением потенциала вокруг аксона при движения по нему импульса возбуждения (рис. 18а). Далее на этой основе по изменению волновых локальных паттернов был состав-

лен возможный «Словарь общения» между структурами мозга (рис.18б).

ВЫВОДЫ

Ограниченность существующих сегодня методов исследования, не позволяет пока подтвердить правильность выдвинутой гипотезы. Позитронно-эмиссионная томография имеет невысокое временное разрешение (≈ 10 с). Электроэнцефалография достигает временного разрешения до 2 мкс, но имеет низкое пространственное разрешение. В результате мы наблюдаем взаимодействие нейронных групп лишь интегрально. Их границы и переходы практически не наблюдаются. Вживание микро-электродов повышает пространственное разрешение, но этот метод — инвазивный и его использовать на человеке нельзя. Наконец, функциональная магнитно-резонансная томография позволяет регистрировать изменение потребления кислорода и, следовательно, скорость метаболических процессов. Ее пространственное разрешение — порядка 1 мм, а временное — порядка 2 с, но этого также недостаточно (рис. 19).

Имеется много косвенных доказательств того, что распространение и изменение электромагнитных полей мозга являются главным способом обработки информации и ее кратковременного

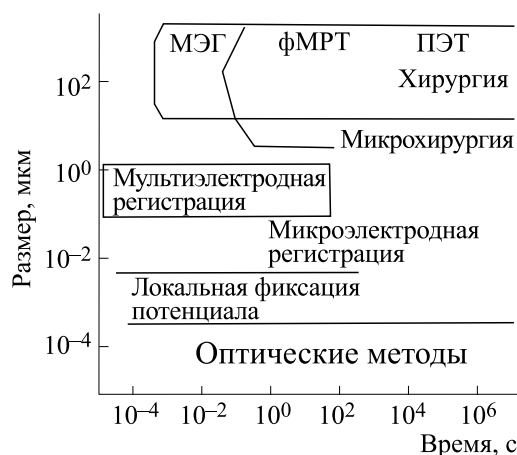


Рис. 19. Диапазон существующих различных физических методов для регистрации пространственно-временного изменения паттернов мозга [9].

запоминания. С помощью сверхпроводящих квантовых интерференционных датчиков можно наблюдать вращение этих полей внутри черепной коробки (рис. 20).

Метод магнитной энцефалографии с использованием сверхпроводящих квантовых интерференционных датчиков при регистрации процессов, происходящих в мозге, может дать значительно больше информации, чем обычная электроэнцефалография или термография, так как кости черепа сильно ослабляют электрические сигналы и тепловое излучение. Однако и у этого метода пространственно-временное разрешение пока недостаточно для расшифровки «разговоров» между нейронными кластерами.

На основании изложенного можно сделать два вывода:

1. *Вывод пессимистический.* По-видимому, человечество вступило в новую, весьма опасную, фазу своего развития, когда виртуальный мир вытесняет реальный мир. Эту ситуацию можно назвать *информационным психозом*, при котором пороги между мирами исчезают. При этом может возникнуть нарушение устойчивости общества.

2. *Вывод оптимистический.* Риски возникали и существовали всегда. Эта ситуация — обычная в развитии человечества, и периодически повторяется. Чрезвычайная эффективность современной науки вселяет оптимизм.

Выбор дальнейшего пути развития человечества становятся главным направлением при использовании синтетических наук, таких как, например, *биофизика*, или, если кому-то больше нравится, то *психофизика*. Здесь уместно вспомнить, что нередко наиболее плодотворными оказываются приложения биофизического форма-

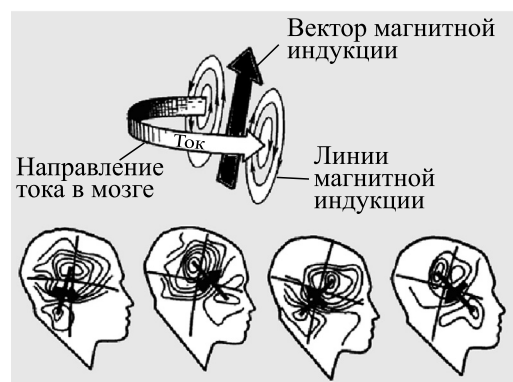


Рис. 20. Пример одного из сравнительно новых методов исследования мозга — магнитная энцефалография с помощью сверхпроводящих квантовых интерференционных датчиков. Регистрируется изменение контуров магнитных полей вблизи поверхности головы, что дает возможность локализовать очаги повышенной электрической активности мозга [10].

лизма к повышению устойчивости систем, о которых никто и не подозревал в начале их создания.

Подробнее с вопросами, затронутыми в данной статье, можно ознакомиться в работах [11–15] и процитированных в них списках литературы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках Госзадания № 075-01025-23-01.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит описания исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Searle, *Behav. Brain Sci.* **3** (3), 417 (1980). DOI: 10.1017/S0140525X00005756
2. М. М. Бонгард, *Проблема узнавания* (Наука, М., 1967).
3. А. А. Харкевич, *О ценности информации*, в сб. Проблемы кибернетики. Вып. 4 (Физматгиз, М., 1960).
4. В. И. Корогодин, *Информация и феномен информации* (Препринт) (Пушино, 1991).
5. В. И. Корогодин и В. Л. Корогодина, *Информация как основа жизни* (Издат. центр «Феникс», Дубна, 2000).

6. Е. Н. Хижняк, А. Г. Брагин, Г. Р. Иваницкий и др., Биофизика, **31** (5), 897 (1986).
7. М. А. Цыганов, В. Н. Бикташев, Дж. Бриндли и др., Успехи физ. наук, **177**, 275 (2007)
8. Е. Р. Zemskov, М. А. Tsyganov, G. R. Ivanitsky, and W. Horsthemke, Phys. Rev. E, **105**, 014207 (2022).
9. Л. В. Доронина-Амитонова и др., Успехи физ. наук, **185**, 371 (2015).
10. Г. Н. Борисюк, Р. М. Борисюк, Я. Б. Казанович и Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук, **172**, 1189 (2002).
11. Г. Р. Иваницкий, А. Б. Медвинский и М. А. Цыганов, Успехи физ. наук, **164**, 1041 (1994).
12. Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук, **187**, 757 (2017),
13. Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук, 188, 965 (2018).
14. Г. Р. Иваницкий и А. А. Морозов, Успехи физ. наук, 190, 1165 (2020).
15. Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук, **191**, 872 (2023).

The XXI Century: Consciousness and the Brain

G.R. Ivanitskii*

**Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,
Institutskaya ul. 3, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia*

The most remarkable result of human creativity in the XXI century is the development of creative android robots equipped with artificial intelligence. The rate of progress made in developing these robots is so fast that it will soon be impossible to distinguish robots from human beings in appearance features. Searching for the difference between humans and robots (tests by A. Turing, J. Searle, etc.) gives rise to a host of difficult questions concerning the common understanding of the definition of the term “consciousness”. However, the similarities between humans and robots can lead to a logical error, i.e., to substitution of actual reality for virtual reality.

Keywords: ways of information processing in the human brain, creative android robots, value of information