

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

Неопределённости сравнения человека и андроидного робота

Г.Р. Иваницкий

Показано, что одним из существенных результатов творчества людей в XXI веке стало создание андроидных роботов, снабжённых искусственным интеллектом. Уровень совершенства этих роботов становится столь высоким, что по внешним признакам и по поведению установить их отличие от живых людей вскоре будет невозможно. Это приводит к логической ошибке: ставить знаки равенства между людьми и андроидными роботами, предполагая, что те и другие имеют сознание. Сегодня научные исследования расширили понимание феномена сознания, но проблемы с его определением не исчезли. В статье даны доказательства, что приложение термина сознания к андроидным роботам является ошибкой, которая может привести к серьёзным последствиям.

Ключевые слова: виртуальные модели, биоэволюция, ценность информации, гормоны и эмоции, системы искусственного интеллекта, андроидные роботы

PACS numbers: 07.05.Mh, 87.18. – h, 87.85.St

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2022.12.039299>

Содержание

1. Введение в проблему и постановка задачи (872).
 - 1.1. Проблемы с определением термина "сознание человека".
 - 1.2. Подходы к созданию модели сознания.
 2. Переплетение свойств сознания в процессе биоэволюции (877).
 - 2.1. Нулевой уровень сознания. 2.2. Новый этап развития: усложнение движения и регенерация повреждений. 2.3. Появление биоритмов — "биологические часы". 2.4. От "третьего глаза" к изменению биохимического синтеза. 2.5. Homo sapiens — лидер в борьбе за выживаемость.
 3. Интегральная теория информации + эмоциональная окраска (886).
 - 3.1. Оценка человеком ценности поступающей информации.
 - 3.2. Наличие памяти и понижение ценности поступающей информации. 3.3. Сравнение компьютерной памяти с памятью человека. 3.4. Гормоны и эмоции — химический язык передачи информации. 3.5. Смеси гормонов с разной концентрацией содержания.
 4. Можно ли отличить андроидного робота от реального человека? (892)
 - 4.1. Андроидные роботы и язык эмоций "человеческого лица".
 - 4.2. Человек или робот? Особая задача распознавания образов.
 5. Выводы (896).
 6. Постскриптум (896).
- Список литературы (899).

1. Введение в проблему и постановка задачи

1.1. Проблемы с определением термина "сознание человека"

Было предпринято много попыток определить термин "сознание человека" с позиции физики. Например, гипотеза о голографической основе сознания, которую сформулировал К. Прибрам (*Karl Pribram*) [1]. Использование идеи Х. Эверетта о параллельном существовании множества миров [2]. Эту идею использовал М.Б. Менский, попытавшись объяснить феномен сознания [3]. Наконец, необходимо отметить гипотезу М.И. Рабиновича и М.К. Мюезинолу, описанную в работе [4]. В их статье была предложена модель эмоциональной и когнитивной активности мозга на основе исследования переходных процессов в фазовом пространстве. Однако список авторов, работающих над проблемой определения сознания, не исчерпывается указанными тремя работами, он весьма обширный. Термин "сознание" не поддавался содержательному определению, которое могло бы удовлетворить и физиков, и нейробиологов. Причины — три. Это две ошибки в классификации биосистем, а третья ошибка — использование термина сознание в приложении к различающимся множествам объектов.

Во-первых, классификация понятий, используемых в биологии, производится на основе обобщения снизу вверх — от частного к общему. Это есть переход от понятий с меньшим объёмом содержащихся множеств, но с большим объёмом их признаков, к понятиям с большим объёмом множества понятий, но меньшим объёмом их признаков. Обобщение — это расширение объёма понятия, при этом жертвуется многими признаками в пользу абстракции. Например, обобщения в биологии — это переход по цепи: Индивид → Вид → Род → Семейство → Класс → Отдел → Царство → Домен → Жизнь. Переход осуществляется с последовательным исключением ряда

Г.Р. Иваницкий. Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, ул. Институтская 3, 142290 Пущино, Московская обл., Российская Федерация
E-mail: ivanitsky@iteb.ru

Статья поступила 11 мая 2022 г.,
после доработки 5 декабря 2022 г.

признаков, например, сначала *Индивида*, затем *Вида* и т.д. Максимальным обобщением в этой цепи становится философская категория, к которой относится термин "*Жизнь*" как таковая.

Во-вторых, существует противоположная обобщению операция — ограничение понятий. Она может происходить от философского максимального обобщения *сверху вниз*, но по другим характеристикам: *Жизнь* → *Сознание* → *Коммуникабельность* → *Информация* → *Эмоции* → *Творчество*. При этом не следует путать *Информацию* (как нематериальную, идеальную категорию) с её *Носителем* (материальной категорией), и, как будет показано далее, не следует ставить знак равенства между *Андроидом* как *продуктом творчества человека* и *самим Человеком*.

Творчество человека более широкое понятие, чем конкретный продукт его творчества. *Творчество* включает разные находки в различающихся областях деятельности человека: в живописи, музыке, архитектуре, литературе, инженерии и т.д. Создание андроидных роботов — это лишь частный случай *творчества человека*. Андроидный робот — это инженерная имитация свойств человека.

В-третьих, причина состоит в том, что *сознание* одного человека не тождественно сознанию другого. Даже однойцевые близнецы могут существенно различаться своими взглядами на внешний мир. Далее покажем, что измерять похожесть *сознания* людей можно только в относительных единицах. Такое утверждение наиболее ярко проявляет неопределённости при попытке определить термин *сознание* через сравнение поведения человека с поведением так называемых креативных андроидных роботов (КАР).

Согласно оценкам, наш мозг содержит ~ 100 млрд нейронов, ещё больше глиальных клеток и нервных связей. За последние 20 лет благодаря развитию позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), электроэнцефалографии (ЭЭГ), функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), магнито-энцефалографии (МЭГ), функциональной инфракрасной спектроскопии (фБИКС), электромагнитной стимуляции мозга (ЭМС), транскраниальному электромагнитному сканированию мозга (ТЭС) и нейрофотоники [5–7] мы о работе мозга узнали больше, чем за предыдущие 300 лет его изучения [8].

Однако до сих пор нет ответов на многие вопросы: можно ли вводить наборы новых навыков непосредственно в мозг человека, минуя рецепторные системы? Удастся ли каким-либо способом осуществить видеозапись образов воспоминаний и снов, возникающих в нашем мозгу? Смогут ли люди совершенствовать своё *сознание* при помощи геной инженерии или управления биохимической (в частности, гормональной) активностью? Можно ли направленно управлять мозгом с помощью магнитных полей? Можно ли сознанием наделить искусственную когнитивную систему?

Чтобы дать ответ на последний вопрос, нужно, прежде всего, понять с биофизической точки зрения, что такое *сознание человека*. Спросите психолога: что такое сознание? Многие из них ответят, что это нечто тождественное моему "Я", или "моей душе", или иной подобной сущности. Сразу возникает второй вопрос: что такое *душа* с позиции физики? На этом для материалиста обсуждение закончится, поскольку *душа* — это нематериальная сущность, и она не может рассматриваться без привлечения теологии, поскольку её существование основано на вере.

Таблица 1. Примеры определений сознания человека

1	Состояние человека в здравом уме
2	Способность правильно отражать явления действительности
3	Способность человека соотносить себя с внешним миром
4	Сформированная в процессе общественной жизни высшая форма психического отражения действительности в виде обобщённой и субъективной модели окружающего мира, основанной на словесных понятиях и чувственных образах
5	Высший уровень психического отражения объективной реальности, а также высший уровень саморегуляции, присущий человеку как социальному существу
6	Состояние психической жизни человека, выражающееся в субъективном переживании событий внешнего мира и событий жизни его самого, а также самоотчёта об этих событиях
7	Способность отделения своего "Я" от других людей и окружающей среды ("не Я") на основе адекватного отражения действительности с помощью коммуникации между людьми на основе речи и индивидуального жизненного опыта
8	Процесс формирования модели мира внутри мозга с использованием анализа множества различных параметров (температуры, положения в пространстве, во времени и отношения к окружающим) с целью достижения определённых целей (поиска сексуального партнёра, пищи, убежища)
9	Необходимая предпосылка для мышления, поскольку только благодаря мышлению, порождающему когнитивные функции, мы отличаем себя от окружающего нас мира. Сознание включает в себя мышление как необходимую свою часть
10	Знания, которые с помощью слов, математических символов, обобщающих образов, произведений искусства и литературы могут быть переданы другим людям, чтобы стать достоянием членов всего общества
11	Состояние внутреннего мира человека, когда он, с одной стороны, обладает способностью произвольно вводить в сферу сознания те или иные из бывших прежде в его памяти представлений, а с другой — может анализировать происходящие в себе самом психические процессы. Память есть составная часть сознания
12	Средство, вне которого нет ни знания, ни опыта, ни человеческого бытия

Если заглянуть в Интернет, то сегодня имеет место множество определений термина *сознание*. Известно порядка 100 таких определений. В таблице 1 я привёл для примера лишь 12 определений.

Перечень определений термина *сознание* можно продолжать и продолжать. За 300 лет опубликовано свыше 25000 статей и монографий на эту тему. До середины XX в. одной из доминирующих психологических теорий был *бихевиоризм*¹, вообще отрицавший целесообразность введения в нейронауку термина "сознание". Причина простая: объективное знание о животных или о людях может быть основано лишь на изучении их поведения, а не на субъективных (неизвестных исследователю) состояниях их разума.

Почему не удаётся построить *универсальную и содержательную модель сознания*, охватывающую все аспекты деятельности человека? Существует, по крайней мере,

¹ Бихевиоризм (от англ. *behavior* — поведение) предполагает, что все действия человека состоят из поведенческих реакций, отвечающих на определённые стимулы.



Рис. 1. Перечень наук, вносящих свой вклад в изучение сознания человека.

двенадцать физических и гуманитарных наук, пытающихся внести свою лепту в понимание этого термина (рис. 1).

Важно отметить, что человек наряду с обработкой информации всегда имеет цель и информационную эмоциональную окраску процесса её достижения. В разных культурах наборы базовых эмоций различаются. Их наличие можно опознать по выражению лица человека, его жестам или по изменению физиологических параметров, например, покраснело или побелело его лицо, выделился пот или появился тремор. Основной набор эмоций: страх, гнев, отвращение, влечение, счастье, печаль, удивление и т.д.

Древовидный список эмоций был описан в конце прошлого века, и с вариациями повторялся в последующих работах [9, 10]. В таблице 2 приведён существенно сокращённый до пяти эмоций список.

Попытки дать содержательное определение термину *сознание* имеют длинную историю. Более 300 лет назад математик и философ Готфрид Лейбниц (*Gottfried Wilhelm von Leibniz*) (1646–1716) уже пытался предложить своё определение *сознания*. Сначала он находился под впечатлением идеи Рене Декарта, но затем отказался от дуализма Декарта в виде "души и тела", т.е. от двоичной трактовки "сознания", и пришёл к идее множественности вариантов *сознания*, т.е. к плюрализму² [11].

Опираясь на непрерывность изменения и развития различных живых организмов и их разнообразия в природе, Лейбниц в качестве модели "сознания" предложил динамическое объединение множества, как он назвал их, *монад*, т.е. набора духовных неделимых "единиц"³. Критикуя дуализм Декарта, он писал: "Если бы можно было

раздуть мозг до размеров мельницы и осмотреть всё его содержимое, то всё равно сознания там, в каком-либо месте, мы не обнаружим" [12].

В 1929 году американский философ К.И. Льюис (*Clarence Irving Lewis*) опубликовал небольшую книжечку под названием "Разум и мировой порядок: набросок теории познания" [13], в которой для обозначения сенсорных, чувственных явлений любого рода использовал известный к тому времени термин *квалиа* (от лат. *qualitas* (ед.ч.) "свойства, качества"). Кратко: *квалиа* — это свойства чувственного опыта, от которого зависит модель внешнего мира, формируемая в нашем мозге.

Например, одни люди могут слышать звуки до 20 кГц, в то время как у других полоса восприятия звука ограничена 14 кГц. Дальтоники не различают цвета. Для синестетов звуки или буквы бывают окрашены в различные цвета [14]. Нельзя слепому с детства человеку объяснить, что такое красное или зелёное, поскольку в его внутреннем мире понятие *цвета* отсутствует. Его мир — это мир звуков, запахов и разнообразных тактильных ощущений... Вполне ожидаемо, что нейрофизиологи могут сомневаться, что существующая физика способна описать *квалиа* и *сознание*, поскольку разнообразие восприятий внешнего мира может оказаться "вещами в себе"⁴. Следовательно, *квалиа*, виртуальные модели внешнего мира в мозге у разных людей могут существенно различаться и создавать проблему общения людей.

Существовали и другие попытки нащупать путь к содержательному определению термина *сознание*. Например, российский психофизиолог академик П.В. Симонов (1926–2002 гг.) пытался в середине XX века дать научное обоснование ключевым понятиям общей психологии (сознанию и эмоциям). Он писал: "Наука опирается на принципы презумпции доказанного. Всё остальное принадлежит царству веры, а верить можно во что угодно..." [15].

Однако не всё можно доказать с высокой достоверностью, поэтому необходимо использовать вероятностный подход к их оценкам. Симонов предполагал, что эмоции Э есть функция вида $\mathcal{E} = f[\Pi, (I_{\Pi} - I_c)]$, где Э — эмоция, её качество и знак; Π — сила и качество актуальной потребности; $(I_{\Pi} - I_c)$ — оценка вероятности (возможности) удовлетворения потребности на основе врождённого и онтогенетического опыта; I_{Π} — информация о средствах, необходимых для удовлетворения потребности; I_c — информация о средствах, которыми располагает субъект в данный момент. Эта, изложенная Симоновым, идея описывать ключевые базовые функции в терминах вероятности была вполне разумной и получила дальнейшее распространение. Поскольку очевидно, что когда детерминированный мир становится стохастическим, то в нём появляется множество неопределённостей и ориентация в этом случае описывается в терминах вероятности.

40 лет назад, в августе 1982 года, в Москве нами был проведён Первый Всесоюзный биофизический съезд,

² Плюрализм (от лат. *pluralis* — множественный) — позиция, согласно которой существует несколько или множество независимых и несводимых друг к другу начал или видов бытия, оснований и форм знания и стилей поведения.

³ Согласно Лейбницу, основой существующих явлений служат так называемые монады (от греч. *monados* — единица, простая сущность). Монады не содержат частей и развёртывают своё содержание благодаря взаимодействию при движении, приводя все материальные субстанции в состояние взаимодействия.

⁴ Термин "вещь в себе" (нем. *Ding an sich selbst betrachtet*) был использован Кантом в работах по теории познания ("Критика чистого разума" и др.). К такому термину он относил: теплоту, цвет, вкус, пространство, время и т.п. Мы ощущаем их присутствие, но не можем познать их с помощью чувственного опыта.

Таблица 2. Трёхуровневый список эмоций

№	Первичная эмоция	Вторичная эмоция	Третичная эмоция
1	Любовь	Привязанность	Обожание. Нежность. Симпатия. Влечение. Забота. Сострадание. Сентиментальность. Ревность
		Похоть. Сексуальное желание	Желание. Страсть. Влюблённость
2	Радость	Жизнерадостность	Развлечения. Блаженство. Весёлость. Ликование. Радость. Восторг. Наслаждение. Счастье. Удовлетворение. Экстаз. Эйфория
		Стремление	Энтузиазм. Рвение. Волнение. Острые ощущения. Возбуждение
		Удовлетворённость	Удовольствие
		Гордость	Триумф
		Оптимизм	Страстное желание. Надежда
		Увлечённость	Восхищение. Восторг
3	Восторг	Удивление	Изумление
4	Гнев	Раздражительность	Обострение. Возбуждение. Раздражение. Ворчливость. Перекрёстное сопоставление
		Раздражение	Разочарование
		Ярость	Возмущение. Враждебность. Свирепость. Горечь. Ненависть. Презрение. Злоба. Обида. Мстительность. Неприязнь
		Отвращение	Презрение. Ненависть
		Зависть	Ревность. Мучение
		Грусть	Депрессия. Мрачность. Несчастье. Горе. Печаль. Меланхолия
		Разочарование	Тревога. Недовольство
		Стыд	Чувство вины. Сожаление. Раскаяние
5	Страх	Пренебрежение	Отчуждение. Пораженчество. Уныние. Смущение. Тоска по дому. Унижение. Неуверенность. Оскорбление. Изоляция. Одиночество. Неприятие
		Ужасы	Шок. Тревога. Страх. Испуг. Паника. Истерия. Унижение
		Нервозность	Тревога. Напряжённое ожидание. Беспокойство. Опасение

свыше 2000 специалистов-биофизиков и учёных смежных специальностей приняли участие в его работе [16]. В процессе его подготовки мы попытались определить сферу деятельности биофизики как науки. Было отмечено, что *"биофизика характеризуется широтой охвата разнородных биологических объектов исследования и физической проблематикой... Самостоятельные разделы биофизики объединены друг с другом либо принципами общности уровней структур изучаемых объектов, либо исследованием функциональных особенностей определённых явлений, либо единством подхода к общему кругу проблем"*.

Приведённое определение являлось некоторым итогом дискуссий того периода. Было зафиксировано, что биофизика есть *системная наука*. Иерархическая классификация строения и функций живой материи *снизу вверх* очевидна и сохраняет свою актуальность (табл. 3).

В 2009 году я написал статью "XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики" [17], в которой попытался показать, как изменились наши знания за 65 лет после выхода книги Эрвина Шрёдингера под тем же названием

"Что такое жизнь с точки зрения физики?". В статье были сформулированы 10 признаков, которые обычно приводятся в учебниках по физиологии как главные признаки живых систем (табл. 4).

Параллельно с этим было показано, что все эти признаки встречаются и в системах неживой природы. Другими словами, *новой физики* для описания живых систем не требуется. Все функции, существующие в живых системах, могут быть описаны на основе уже открытых физических законов. Короче, биология не нуждается в гипотезе существования "вещей в себе". Эта статья вызвала на страницах журналов и в Интернете длительную дискуссию, которая продолжалась более 10 лет [18]. Только три связанных термина: *сознание*, *медитация* ("изменение состояния сознания") и *душа* — выпали из обсуждения в силу их особой неопределённости.

Можно предположить, что из монад Лейбница, как и из квалиа Льюиса, дополнив вероятностными оценками, о которых писал П.В. Симонов, можно собрать нечто, что можно назвать *сознанием* как высшей функцией развивающейся живой материи.

Таблица 3. Иерархическое строение живой материи (структура и функции)

№	Структурная иерархия	Иерархия появляющихся дополнительных функций
1	Квантовый и атомный уровни	Механизмы преобразования энергии
2	Низкомолекулярные соединения	Механизмы влияния внешней среды
3	Высокомолекулярные соединения	Механизмы пространственной подвижности
4	Вирусы и бактериофаги	Механизмы размножения
5	Клеточные органеллы	Кинетика процессов и биологические часы
6	Клетки и бактерии	Механизмы восприятия информации
7	Ткани	Механизмы переработки информации
8	Органы	Механизмы распознавания образов
9	Системы органов	Механизмы поддержания устойчивости
10	Организмы	Механизмы мышления и памяти
11	Социальные системы	Механизмы конкуренции
12	Человечество	Механизмы сознания

Таблица 4. Признаки живой материи

1	Живые организмы характеризуются упорядоченной иерархической организацией
2	Живые организмы являются открытыми системами и получают энергию из окружающей среды, используя её для поддержания своей высокой упорядоченности
3	Способность реагировать на внешнее воздействие (рецепция) — универсальное свойство всех живых систем
4	Способность запоминать информацию о предыдущих состояниях и адаптироваться к изменению внешних условий
5	Способность изменяться и усложняться
6	Способность размножаться
7	Способность к саморегуляции и регенерации повреждений
8	Способность обмена веществ с окружающей средой
9	Способность направленной подвижности
10	Живым объектам свойственна неравновесность состояния

1.2. Подходы к созданию модели сознания

Примем как гипотезу (потом докажем её справедливость и ограниченность), что *сознание S* есть функция по крайней мере двух одновременно существующих и взаимодействующих пространственных миров внутри нашего организма, но по мере взросления человека непременно меняющихся во времени (рис. 2а). Это мир эмоций $\mathcal{E}_n$ на биохимической (гормональной) основе и мир информации I_m , на основе нейронных сетей. Границы нейронных кластеров определяют границы квалиа, т.е. области чувств восприятия внешней среды в коре мозга (рис. 2б). Сознание *S* — функция взаимодействия двух миров $\mathcal{E}_n \leftrightarrow I_m$:

$$S = F(\mathcal{E}_n \leftrightarrow I_m),$$
$$\mathcal{E}_n = f(t, \tau_{\mathcal{E}}, D_{\mathcal{E}}, h_{\mathcal{E}}, J_{\mathcal{E}}),$$
$$I_m = f(t, \tau_I, D_I, h_I, J_I),$$

где $n = 1, 2, 3 \dots N$, $m = 1, 2, 3 \dots M$, t — это внешнее астрономическое время, $\tau_{\mathcal{E}}$, τ_I — внутреннее время каждого из миров системы, $D_{\mathcal{E}}$ и D_I — коэффициенты диффузии

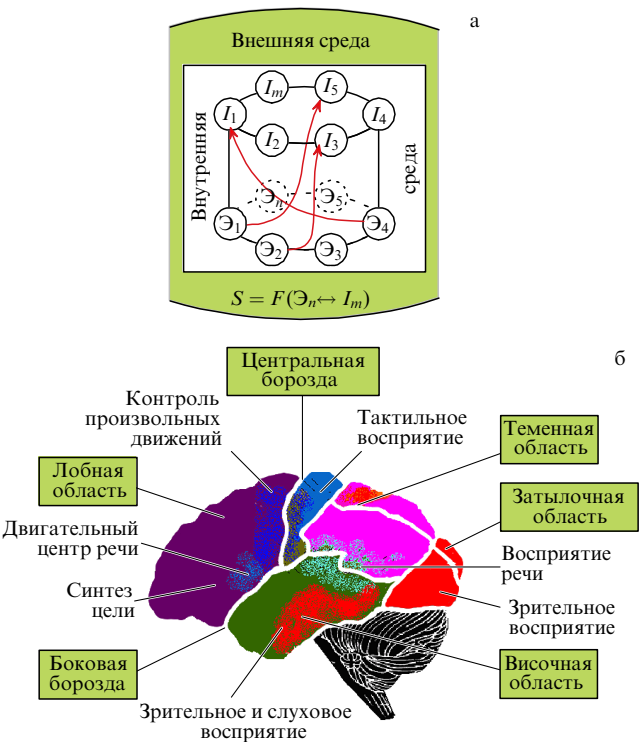


Рис. 2. Сознание человека *S* есть функция взаимодействия биохимического мира эмоций и мира информации I_m , на основе нейронных сетей (а), и расположение зон квалиа в мозге человека (б). Зелёными квадратами отмечены пространственные места расположения функциональных зон в новой коре мозга, хотя детерминированная локализация зон условная в силу их подвижности (адвекции).

внутри каждого из миров, $h_{\mathcal{E}}$ и h_I — коэффициенты кросс-диффузии, $J_{\mathcal{E}}$ и J_I — коэффициент кросс-адвекции ⁵.

⁵ Адвекция происходит от лат. *advectio* — доставка. В гидромеханике вместо термина "адвекция" чаще используется термин *конвекция*. В океанологии под адвекцией понимается перемещение масс воды в горизонтальной плоскости (без смешивания), а конвекция — это вертикальное движение водных масс со смешиванием. Для описания работы мозга под адвекцией мы будем понимать разветвляющийся перенос информации между различными отделами мозга с сопутствующими переносу изменениями эмоций.

Эти два мира охвачены обратной связью $\mathcal{E}_n \leftrightarrow I_m$ по отношению друг к другу и реагируют на изменения во внешней среде, поддерживая устойчивость организма. Верхний мир (кора мозга) через квалиа может определить, на основе распознавания образов, взаимодействия внутренних процессов организма с процессами реального мира во внешней среде, а также позволяет отличить во внешнем мире реального человека, наделённого эмоциями, мышлением и сознанием, от машины, наделённой искусственным интеллектом. В теории относительности данный процесс можно трактовать с позиции внешнего наблюдателя [19].

Далее покажем, что существенным элементом как функции $\mathcal{E}_n$, так и функции I_m является диффузионно-контролируемая автоволновая модель с кросс-диффузией + кросс-адвекцией [20, 21], которая основана на конкуренции набора противоположных эмоций (например, радость $\leftrightarrow$ отчаяние) и образов, распознанных при обработке информации [22].

Можно предположить, что процесс возникновения и развития *сознания* можно попытаться описать на основе эволюции живой материи по Дарвину, анализируя функциональные изменения поведения — от бактерий до приматов, включая появление человека. Однако при этом всегда возникает неопределённость, что делает определение *сознания* вероятностным процессом. Сознание человека отличается от существующих систем искусственного интеллекта. Более того, так будет всегда, если искусственные системы созданы на отличающейся физико-химической основе.

2. Переплетение свойств сознания в процессе биоэволюции

2.1. Нулевой уровень сознания

Все животные имеют внутри себя модель внешнего мира. Исторически первый этап формирования *адаптационной модели* происходил на основе инстинктов и начался около 3,5 млрд лет назад, а продолжался до 2,5 млрд лет назад, т.е. до возникновения на Земле кислородной атмосферы. С развитием нервной системы около 500 млн лет назад адаптационная генетическая модель дополнилась изменяющейся моделью внутри мозга на основе обучения. При этом под влиянием мутаций РНК и ДНК, появлением и изменением нервной системы и эволюционного отбора, модель усложнялась. Первый человек (гоминид-австралопитек) на Земле появился примерно 3,5 млн лет назад⁶. Человек за счёт наличия развитой памяти может обращать время в виртуальной модели в своём мозге как вперёд, так и назад без существенной потери содержащейся информации. Тем не менее человек может и заблуждаться при построении модели, выдавая желаемое за действительное. Так появляются предрасудки и лжегипотезы.

На данном первом этапе обработки информации и появления *сознания* возникает неопределённость, поскольку прошлое влияет на формирование будущего через настоящее. Но такое влияние с высокой точностью априорно определить нельзя. В нелинейных системах горизонт предсказания всегда ограничен [23]. Перефразируя классика, заметим, что "*знать самим нам не дано, как изменение отзовется*". К понятию информации, оценке её ценности и эмоциональной окраски как для человека, так и для искусственных когнитивных систем мы вернёмся в следующем разделе.

Однако если попытаться проследить первые этапы зарождения *сознания* на основе биоэволюции снизу вверх, то придётся начинать классификацию уровней развития *сознания* не с животных, а с растений или бактерий. Этот уровень *сознания* следует назвать *нулевым уровнем* [24]. Лишь по отдельным признакам растения похожи на животных, моллюски на рептилий, рептилии на млекопитающих и так до человека. На разных этапах эволюции имеет место спутанность эмоциональных и информационных миров.

Растения в большинстве своём слабо подвижны. Они покоряют пространство с помощью размножения, т.е. переноса семян или расширения своей корневой системы и сцеплены со сменой сезонов года. Такое существование можно описать в терминах пространственного перемещения, т.е. *адвекции*. Растения в плане адаптации работают с ограниченным набором параметров (колебания излучения Солнца, температура, влажность, атмосферное давление, ветер, освещённость, минеральный и органический состав почвы). Тем не менее растения могут обмениваться информацией с сородичами с помощью летучих органических веществ. Они, по-видимому, реагируют на опасность от насекомых-вредителей и готовят защиту от них, и могут по-разному реагировать на пахучие вещества. Однако в полной мере эмоциями этот процесс называть нельзя, поскольку по определению эмоции могут возникать тогда, когда существуют нервная система и взаимодействующая с ней гормональная система. У растений нервная система отсутствует.

Есть хищные растения, имеющие особые рецепторы, например, *венера мухоловка* (лат. *Dionaea muscipula*), которая умеет обманывать насекомых (муравьёв, пауков, кузнечиков и летающих насекомых), привлекая их к себе приятными для них запахами, чтобы потом превратить их в жертвы и поглотить в виде пищи [25]. Такой процесс добычи пищи частично размывает границу между миром растений и животных (рис. 3).

Что касается бактерий, то у них также нет нервной системы. Они ищут пищу и образуют свои колонии благодаря подвижности, ориентируясь в пространстве с помощью таксиса, определяя направление движения к источнику пищи (аттрактанту) или от источников опасности (репеллента) с помощью определения градиента концентраций аттрактантов и репеллентов. Чтобы определить изменение траектории своего движения, бактерия должна вычислить градиент концентрации и распознать направление на аттрактант или от репеллента, т.е. должна иметь память хотя бы на один шаг своего движения. Индивидуальная скорость движения бактерий зависит как от их подвижности, так и от физических свойств среды (вязкости, температуры, подвижности самой среды, концентрации репеллентов и аттрактантов) [26].

Было показано, что движущиеся бактериальные волны при организации колоний могут осуществлять макровыбросы, состоящие из бактерий, которые при перемещении отщепляются от основной популяционной волны бактерий. Так образуются бактериальные колонии с выростами. Это один из вариантов адвекции (рис. 4).

⁶ Хотя дискуссии о времени появления приматов и гоминоидов продолжают.

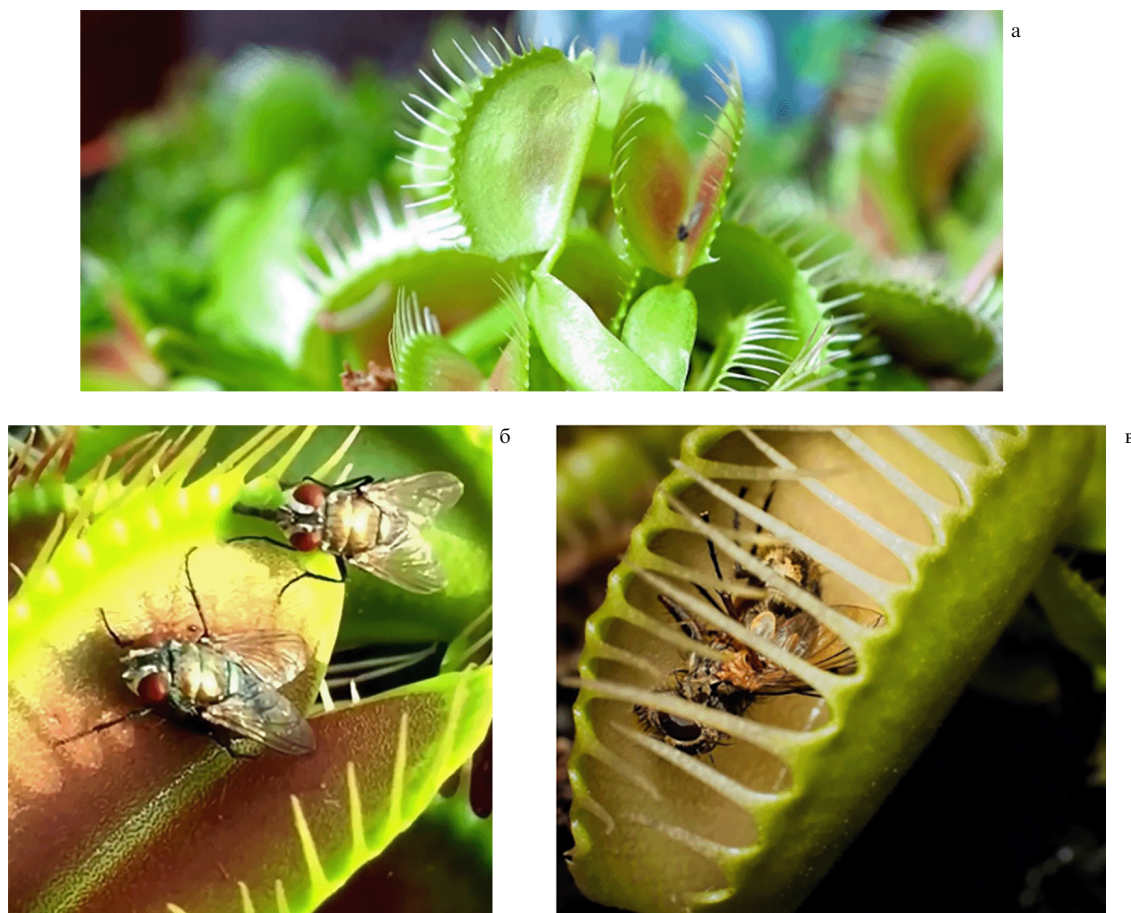


Рис. 3. Захват хищным растением Венериной мухоловкой своих жертв с помощью специализированного ловчего аппарата, образованного из краевых частей листьев (а). Захлопывание ловушки инициируется тонкими чувствительными волосками на внутренней поверхности листьев. Для захлопывания ловушки необходимо оказать механическое (б) воздействие минимум на два волоска на листе с интервалом не более 20 секунд. Такая избирательность обеспечивает защиту от случайного захлопывания в ответ на падение случайных объектов, например, капли дождя или пыли. Захлопывание ловушки и переваривание жертвы начинается как минимум после пятикратной стимуляции чувствительных волосков внутри ловушки (в).

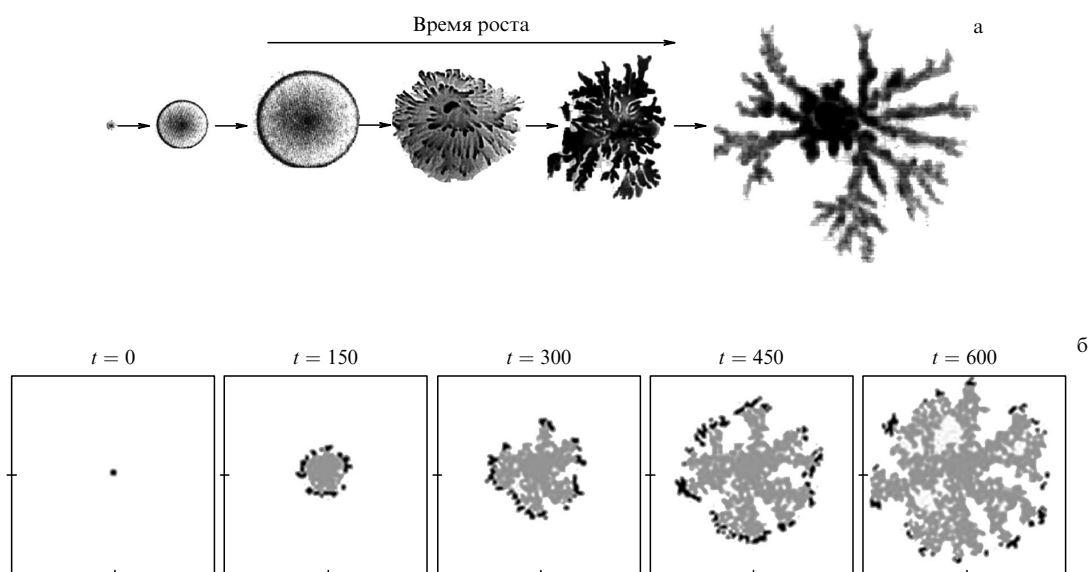


Рис. 4. Метаморфозы роста популяции бактериальной колонии (*E.coli JM103*) во времени: (а) экспериментально наблюдаемое изменение роста структуры колонии; (б) модель динамики формирования ветвящейся структуры в модельном численном эксперименте на компьютерной модели типа "клеточный автомат", где t — время в условных единицах [26].

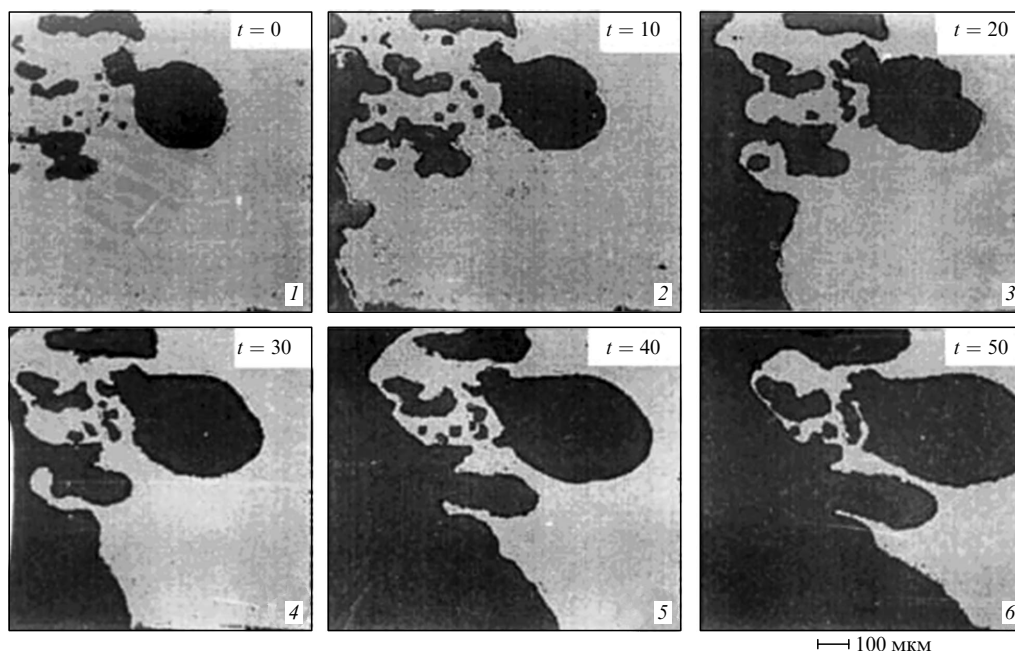


Рис. 5. Фильмограмма из шести кадров динамики роста переднего фронта бактериальной популяции с макровыбросами на переднем фронте "материнской" популяции. Время t указано в минутах, пространственный масштаб в мкм.

Можно все эти эффекты получить в моделях, введя нелинейную диффузию, обеспечивающую переход от кольцевых волн (ведущих центров) к ветвящимся структурам [27, 28]. Для различных форм роста бактериальных колоний, в частности для *E.coli JM103*, характерны следующие скорости распространения бактериальных волн: основная волна имеет скорость $4-9 \text{ мм ч}^{-1}$; при её торможении скорость выбросов $0,5-1 \text{ мм ч}^{-1}$; ветвящееся развитие — $0,1-2 \text{ мм ч}^{-1}$. Можно предположить, что при достаточно медленной скорости распространения бактериальной волны флуктуации числа бактерий на переднем фронте могут вызывать нарушение его формы и создавать бактериальные кластеры. Для проверки этого утверждения более 20 лет назад в нашей лаборатории были экспериментально исследованы особенности динамики распространения различных участков переднего фронта растущей ветвящейся структуры бактериальной колонии (*E.coli JM103*). Возникшие макровыбросы (при $t = 0$) увеличиваются в размере через 10–50 мин и могут отщепляться от материнской популяции. В результате граница материнской популяции становится неровной, формируются "отростки", из которых в течение 50 мин зарождаются бактериальные популяционные "ветки". Стадии формирования неустойчивости переднего фронта бактериальной популяционной волны показаны на рис. 5.

Более того, отдельные бактерии могут отпочковаться от материнской популяции, если на данном участке вязкость среды окажется небольшой. Наряду со стремлением захватить на основе подвижности и размножения как можно большую площадь, расширив свою экологическую нишу, у всех живых организмов существует тяга к ускорению своего пространственного распространения. Однако возникает и торможение, когда расширение пространства затруднено или невозможно, так как оно имеет непреодолимые границы или соседей, занявших пограничное пространство. При этом происходит уплотнение популяции и образуются кластеры из бактерий с демар-

кационными границами. Такая ситуация характерна не только для бактерий [29].

Проиллюстрируем её на примере образования нейронной сети. Движение нейронов можно наблюдать в микроскоп при искусственном формировании нейронной сети в культуре нервных клеток *in vitro* на поверхности питательной среды в чашке Петри. Нейрон, формируя свои связи (аксоны и дендриты), перемещается иногда не к ближайшему кластеру нейронов, а к удалённому от него. Другими словами, нейрон, по аналогии с движением бактерии, обладает таксисом, т.е. стремится приблизиться к притягивающему кластеру нейронов. Механизм такого притяжения пока изучен недостаточно (рис. 6).

Варианты изменения направления движения способствуют воспроизводству, разрастанию и совершенствованию не только бактериальных колоний, но и различных сетей (нейронных или кровеносных). Волна в возбудимой системе с нелинейной кросс-диффузией меняет свой коэффициент диффузии по пространству под влиянием движения соседей.

При этом пространственное перемещение наблюдаемой волны (в данном случае волны популяции бактерий или нейронов), описываемой одной из переменных u , связана с диффузией другой волны, описываемой переменной v . Вторая волна — это волна торможения. Уравнения, приводящие к кросс-диффузии, имеют вид [30, 31]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= \left[u(1-u)(u-a) - v + D_1 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] + h_1 \frac{\partial}{\partial x} \left(Q_1(u, v) \frac{\partial v}{\partial x} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= \left[\varepsilon(u-v) + D_2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right] - h_2 \frac{\partial}{\partial x} \left(Q_2(u, v) \frac{\partial u}{\partial x} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где u — ускоритель (активатор движения), v — замедлитель (ингибитор движения), a — порог возбуждения, ε — отношение масштабов времени активации и торможения, $D_{1,2}$ — коэффициенты самодиффузии волн, $h_{1,2}$ — коэффициенты кросс-диффузии, $Q_{1,2}(u, v)$ — параметр перекрёстного взаимодействия. При $h_1 = h_2 = 0$ математическая модель сводится к системе уравнений для волн с кросс-диффузией.



Рис. 6. Фильмограмма последовательности кадров формирования нейронных кластеров в чашке Петри. Нейрон А (левый верхний угол кадра 1) движется с пульсирующей скоростью к уже сформировавшейся ранее группе нейронов В, по-видимому, обладая таксисом, указывающим направление движения.

тическая модель (2) представляет собой обычную автоволну типа "реакция–диффузия" с коэффициентами диффузии $D_1 \geq 0$, $D_2 \leq 0$ (по крайней мере, один $D_i \neq 0$). В случае, когда хотя бы один из коэффициентов $h_i \neq 0$ (знак может быть любым), система становится кросс-диффузионной. Из уравнений (2) видно, что в данном конкретном случае члены кросс-диффузии h_1 и h_2 имеют противоположные знаки, т.е. кросс-диффузия демонстрирует не притягивающую, а отталкивающую конкуренцию. Система с параметрами (u, v) , зависящая только от времени, будет представлять собой два связанных осциллятора с нелинейным взаимодействием, отклонения которых описываются выражениями $[u(1-u)(u-a)-v]$ и $[\varepsilon(u-v)]$. Они характеризуют обратную связь между функциями ускорения/торможения. При этом описание u (ускорения) будет иметь корни $u_1 = u_2 = v$ и $u_3 = (u-v)$, где u_3 может принимать любые значения.

Кросс-диффузионные процессы приводят к спонтанному образованию и развитию сложных упорядоченных динамических структур. В результате самоорганизации у подобных систем может возникать *эмерджентность*, т.е. появление за счёт обратной связи новых свойств, которыми не обладала ни одна из взаимодействующих частей в отдельности. В этом и состоит сложность точного предсказания развития структуры. В уравнениях (2) появление новых свойств зависит от величины коэффициентов кросс-диффузии в слагаемых

$$\left[+h_1 \frac{\partial}{\partial x} \left(Q_1(u, v) \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right],$$

$$\left[-h_2 \frac{\partial}{\partial x} \left(Q_2(u, v) \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right].$$

Однако в модели (2) отсутствует указание на то, что движущиеся волны могут расщепляться на рукавочки, что необходимо для образования сетей. Это потребовало усложнить уравнения (2), дополнить их кросс-адвекцией. В нашей недавней публикации была исследована динамика автоволн, которые одновременно обладают как кросс-диффузией, так и кросс-адвекцией [21].

Процессы кросс-диффузии и кросс-адвекции связаны, но каждая из них характеризуется своей переменной величиной. Модель с кросс-диффузией и кросс-адвекцией при столкновении фронтов волн была рассмотрена ранее [20]. Система уравнений при совмещении кросс-диффузии с кросс-адвекцией имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = u(1-u)(u-a) - v + D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + h_1 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + J_1 \frac{\partial v}{\partial x}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \varepsilon(u-v) + D \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - h_2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - J_2 \frac{\partial u}{\partial x}.$$

Выражение (3) отличается от выражения (2) тем, что введены дополнительные слагаемые с коэффициентами $+J_1$ и $-J_2$, которые определяют величину кросс-адвекции. В данном случае появляется ещё один процесс, смещающий точку равновесия, к двум отмеченным выше: ускорению (активация) и торможению (ингибирование). В этом случае наряду с взаимным управлением по "ускорению ↔ торможению" имеет место дополнительное управление по "изменению направления перемещения части волны". Ниже, на рис. 7 и 8, дано сравнение изменения скорости волны сначала только при кросс-диффузии (рис. 7), а затем только с кросс-адвекцией (рис. 8) как функции от их коэффициентов h и J .

Кросс-диффузия управляет второй производной по пространству, понижая ускорение диффузионного движения, а кросс-адвекция понижает перекрёстную скорость, т.е. является первой производной по перемещению в пространстве. Следовательно, внутри цикла имеют место два способа управления по пространству. В этом случае одно управление есть диффузионное, второе — направленное.

Нами был рассмотрен частный случай, когда $h_1 = h_2$ и $J_1 = J_2$, а $\varepsilon = 1$, т.е. расхождения масштабов по времени во внешней среде и во внутреннем процессе нет. Для аналитического решения системы можно применить кусочно-линейное приближение Мак-Кина [32, 33], где кубическая нелинейность в уравнении активатора заменяется функцией Хевисайда $H(u-a)$. В результате

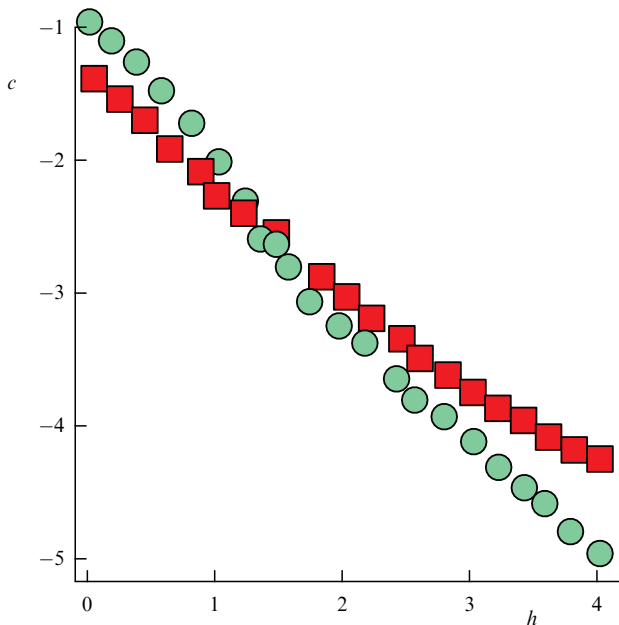


Рис. 7. Скорость волн c как функция коэффициента кросс-диффузии: $c = c(h)$. Значения порога возбуждения, отношения масштабов времени, коэффициентов самодиффузии и кросс-адвекции фиксированы и равны $a = 1/4$, $\varepsilon = 1$, $D = 1$ и $J = 1$. Результаты аналитических расчётов отмечены зелёными кружками, а результаты имитационного моделирования — красными квадратами.

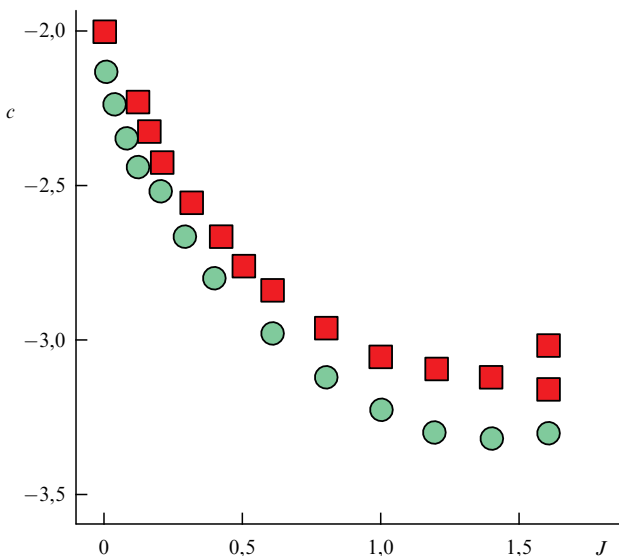


Рис. 8. Скорость волн c как функция коэффициента поперечной адвекции $c = c(J)$. Значения порога возбуждения, соотношения масштабов времени и коэффициентов самодиффузии и кросс-диффузии фиксированы и равны $a = 1/4$, $\varepsilon = 1$, $D = 1$ и $h = 2$ соответственно. Результаты аналитических расчётов отмечены зелёными кружками, а результаты имитационного моделирования — красными квадратами.

модель (3) преобразуется в модель (4), удобную для расчётов и описываемую выражением:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -u - v + H(u - a) + D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + h \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + J \frac{\partial v}{\partial x}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= \varepsilon(u - v) + D \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - h \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - J \frac{\partial u}{\partial x}. \end{aligned} \quad (4)$$

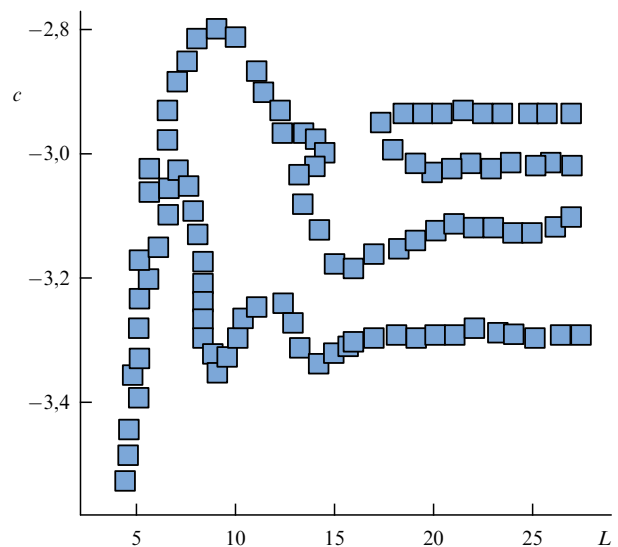


Рис. 9. Скорость волнового пуга как функция интервала шага L , $c = c(L)$, при сильной поперечной адвекции, когда коэффициент кросс-адвекции $J > 1$. При расчёте он зафиксирован на уровне $J = 1.6$. Остальные параметры $a = 1/4$, $\varepsilon = 1$, $D = 1$ и $h = 2$. Обнаруживаются колебательные и прерывистые потоки в виде волн с двумя ветвями.

При имитационном моделировании в этой модели обнаруживаются неочевидные режимы поведения, поскольку изменение скорости теперь зависит не только от диффузии, но и от величины направленных шагов L в пространстве. Обратная связь изменяет форму выбросов и их портреты. На рисунке 9 дан пример изменения скорости пугов при совместном действии кросс-диффузии и кросс-адвекции.

При этом изменяется и вид фазовых соотношений "ускорения ↔ торможения (u, v)" [21]. В отличие от клеток человека, бактерии почти бессмертны. Например, бактерия *E.coli* делится примерно каждые 20 минут, и может делиться, пока не столкнётся с отсутствием питания, с экстремально высокой или низкой температурой, жёстким радиационным излучением или губительными химическими веществами. При возникновении экстремальных условий многие из бактерий погибают, некоторые переходят в состояние споры и в таком виде могут ждать прихода нормальных условий для своего размножения.

В нулевую градацию, т.е. с отсутствием зачатков *сознания*, следует отнести не только растения и бактерии, но и вирусы, грибы и многих насекомых, т.е. все организмы, которые ведут свой образ жизни исключительно на основе врождённых инстинктов.

2.2. Новый этап развития:

усложнение движения и регенерация повреждений

Среди обитателей морей всегда вызвали удивление придонные головоногие моллюски, появившиеся приблизительно 500 млн лет назад. Например, мозг у обыкновенного осьминога — один из самых развитых среди беспозвоночных и имеет зачатки новой коры [34]. Нервная система осьминога состоит из 500 млн нейронов (для сравнения: у крысы 200 млн, у кошки 700 млн нейронов). Конечно, по сравнению с человеком это ничтожное количество, поскольку только в коре мозга человека находится около 20 млрд нейронов. У осьми-

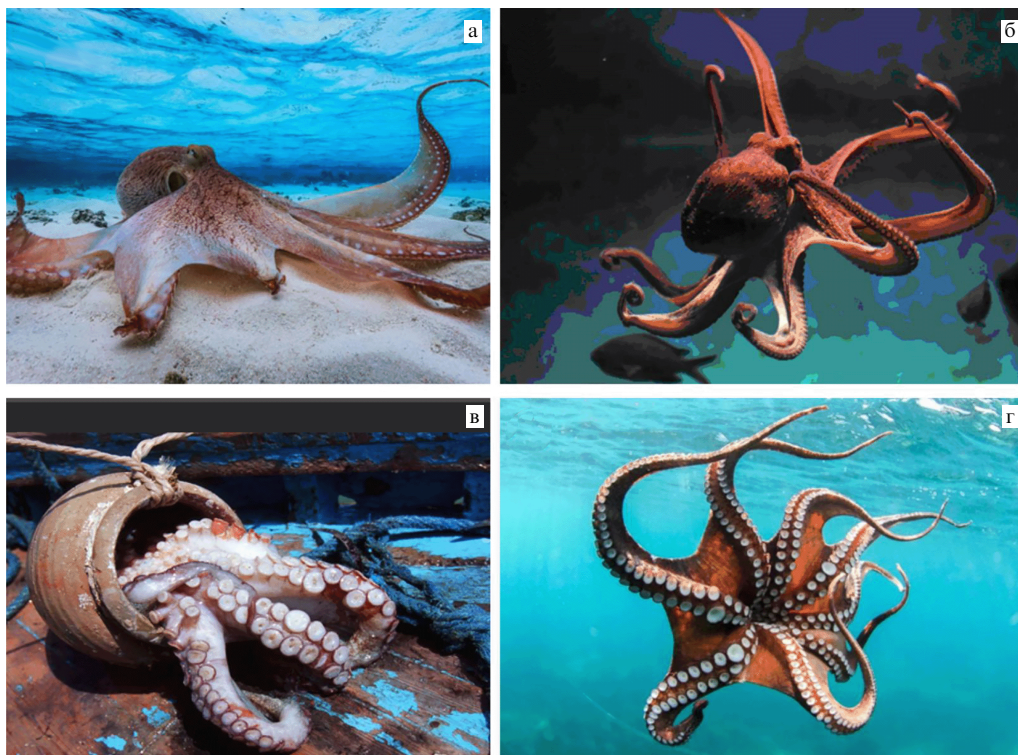


Рис. 10. Система регуляции движения осьминога есть особая система регионального самоуправления бесскелетным телом: (а) распластавшийся осьминог; (б) шагающий осьминог; (в) прячущийся осьминог; (г) плавающий осьминог [35].

нога нейроны не только сосредоточены в центре тела вокруг желудка, но и разбросаны по всему телу и имеют сложные связи в самом теле. Значительное количество нейронов находится в нервных узлах конечностей. Короче: мозг осьминога распределён по всему телу.

Система регуляции жизнедеятельности осьминога — это есть особая система регионально-распределённого управления подвижностью животного. Осьминог в целом — это почти "мозг-студень", податливый и вязкий (рис. 10).

Каждое щупальце осьминога имеет автономное самоуправление, поэтому они могут двигаться в трёхмерном пространстве, создавая разные комбинации направления перемещений тела. При этом количество степеней свободы движения резко увеличивается и равно количеству перестановок P_n , где $n = 8$:

$$P_n = 8! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8 \approx 4 \times 10^4. \quad (5)$$

Это количество степеней свободы следует дополнить набором самостоятельных сокращений каждой мышцы щупальца. Если скорость изменения внешней среды равна:

$$v_{\text{вн. ср.}} = a_{\text{вн. ср.}} t_{\text{вн. ср.}} \quad (6)$$

($a_{\text{вн. ср.}}$ — ускорение изменения скорости внешней среды, $t_{\text{вн. ср.}}$ — время внешней среды), то каждое щупальце осьминога за счёт движения может скомпенсировать или использовать изменение движения внешней среды. Другими словами, имея цель движения в трёхмерном пространстве, осьминог будет направленно двигаться к ней. Кроме того, даже не используя присоски на щупальце, осьминог может сохранять неподвижность отно-

сительно дна водоёма при смещении в нём водных потоков, зависая подобно вертолёту, или двигаться в разных направлениях в широком диапазоне скоростей. При этом для зависания в неподвижном состоянии должно выполняться условие $v_{\text{вн. ср.}} = v_{\text{ос.}}$, соответствующее пропорции:

$$\frac{t_{\text{вн. ср.}}}{t_{\text{ос.}}} = \frac{a_{\text{ос.}}}{a_{\text{вн. ср.}}} \quad (7)$$

где $t_{\text{ос.}}$ и $a_{\text{ос.}}$ — соответственно внутреннее время и ускорение сжатия/расширения каждого из щупальцев. Кроме того, обыкновенный осьминог имеет на каждом щупальце два ряда присосок, в каждом ряду их 120. Всего присосок у осьминога будет 1920. Чтобы каждая присоска локально имела возможность регулировать своё положение, она должна иметь шесть степеней свободы: по две мышцы-антагониста на каждую из осей (x, y, z), и по две мышцы, регулирующие силу прижатия и расслабления присасывания к предмету во внешней среде, итого восемь мышц. Таким образом, получим дополнительно 15360 регулируемых степеней свободы.

Далее, на каждом щупальце расположено до десяти тысяч вкусовых рецепторов, определяющих, съедобный или несъедобный схваченный осьминогом предмет. Следовательно, к степеням свободы движения ($40320 + 15360$) следует добавить ещё 80000 регулируемых систем рецепции. Итого получим 135680 степеней свободы.

Наряду с этим у осьминога внутри организма три насоса, которые можно назвать сердцами, один гонит кровь по всему телу, а два других — жаберных — проталкивают жидкость через жабры. Кровь у осьминога голубая, поскольку переносчик кислорода — медь, а не железо, как в гемоглобине человека [36]. По твёрдой по-

верхности (в том числе отвесной) осьминог передвигается ползком, используя присоски. Он может также плавать щупальцами вперёд или назад, приводя себя в движение своеобразным водомётным движителем — набирая воду в полость и с силой выталкивая её в направлении, обратном движению, через воронку, играющую роль сопла [37].

Следовательно, осьминог — это подводный мультикоптер, т.е. летательный аппарат в водной среде, построенный за счёт эволюционного отбора по вертолётной схеме, с восемью несущими винтами-щупальцами, которые могут принимать любые углы наклона, сжиматься и расслабляться. Кроме того, он имеет дополнительную реактивную тягу в виде жаберных отверстий. Суммарно он имеет > 135 тысяч степеней свободы, выбором которых он может управлять с помощью мотонейронов. Благодаря отсутствию жёсткого скелета тело осьминога может менять форму. Компактно сжимая своё тело, т.е. существенно уменьшая свой объём, осьминог в зависимости от возникшей задачи приспосабливается к изменению внешнего пространства. Осьминоги поддаются дрессировке, обучаемы, имеют развитую память, различают геометрические фигуры, узнают людей, привыкают к тем, кто их кормит. Если проводить с осьминогом достаточно времени, он становится ручным. Однако об уровне разумности осьминогов продолжаются дискуссии. Согласно последним исследованиям в Университете Сан-Франциско, осьминоги могут испытывать психологическую боль (обижаться на своих дрессировщиков) во многом так же, как и млекопитающие [38].

Головоногие моллюски старше первых рептилий. Рептилии появились, скорее всего, около 420–310 млн лет назад. Следовательно, осьминогов можно поставить по уровню интеллекта выше растений, бактерий и даже рептилий. Однако Пол Маклин в своей эволюционной классификации развития мозга [39] не обратил на это особого внимания. Тем не менее появление у осьминогов развитой нервной системы указывает на то, что на генеалогическом древе уже свыше 500 млн лет назад появилось свойство, получившее в дальнейшем название *интеллект*.

Кроме того, у осьминогов есть особый способ защиты — отбрасывание самим животным своей конечности. Схватенный врагом за щупальце, осьминог отсекает его от тела путём сильного сокращения мышцы. Отсечённое щупальце длительное время (пока хватает ему энергетических внутренних запасов) продолжает двигаться и реагировать на тактильные стимулы, что служит отвлекающим фактором для хищника, напавшего на осьминога. Такой способ защиты можно рассматривать как специальный механизм адвекции, но из отсечённого щупальца не может восстановиться целостное животное.

Хотя в отряде кишечных плоских червей существует, например, вид планарии. Их длина от 1–2 см и более. Они могут отлично регенерировать, восстанавливая своё тело после его разрезания. Из каждой половинки после рассечения возникнут новые планарии [40]. В этом есть сходство планарий с бактериями, которые размножаются делением. Внутри организма млекопитающих, включая человека, тоже есть регенерация, но только путём замещения погибших клеток.

Наш организм содержит три группы разных клеток:

1. Необратимо дифференцированные клетки, т.е. уже специализировавшиеся для выполнения определённой

функции (нейроны, мышечные волокна, клетки крови — эритроциты, лейкоциты и тромбоциты). Их заставить делиться невозможно.

2. Обратимо постмитотические клетки. Они тоже специализированы, но при определённых условиях сохраняют возможность деления (например, клетки печени и почек).

3. Наконец, стволовые клетки, неспециализированные клетки, которые легко вступают в процесс деления с последующей специализацией. Что из них образуется, зависит от окружения или регуляторных систем организма (базальные клетки эпидермиса, кишечника, форменные элементы крови).

Однако заставить организм человека вырастить целиком потерянную конечность (руку или ногу), как это делает краб или саламандра, наука не научилась. Можно восстановить частично кожу и печень человека, сростить кости, можно даже в детском возрасте отрастить потерянную конечную фалангу пальца, если остаток ногтя активен и отрастает, но вырастить руку взамен ампутированной нельзя. Для этого необходимо регенерировать кровеносную и нервную сеть, костную и мышечную ткань и заставить множество стволовых клеток направленно специализироваться. Регенерация контролируется многими генами. Если понять, как их одновременно активировать, то возможно, что удастся решить проблему регенерации конечностей у человека. Пока это — фантастика.

2.3. Появление биоритмов — "биологические часы"

Теперь обратимся к рептилиям. В первую градацию развития *сознания*, например, Митио Каку [41] под влиянием идеи Пола Маклина [39] включил рептилий, представляющих класс живых организмов, которые для своего размножения откладывают яйца. Это есть современные черепахи, крокодилы, клювоголовые и чешуйчатые животные. Возможно, что у пресмыкающихся и птиц был общий предок [42]. Особое место при исследовании рептилий занимает их так называемый "третий непарный глаз" (рис. 11), который отсутствует как у головоногих моллюсков, так и у млекопитающих [43].

Этот непарный светочувствительный орган есть не только у рептилий и земноводных, но и у бесчелюстных (миноги, миксины), у некоторых рыб (акантоды, панцирные, костные, лучепёрые, лопастепёрые рыбы). Этот "глаз" воспринимает интенсивность света, но не даёт изображения, а работает как эндокринная железа, участвуя в регуляции суточных и сезонных ритмов и в терморегуляции организма. Некоторым земноводным и рептилиям он необходим для нормальной ориентации в освещённом или затемнённом пространстве. При этом они используют изменение направления освещённости и/или изменение поляризации солнечного света [44].

Итак, генетическая изменчивость и эволюционный отбор нашли способы приспособления организмов к изменению ритмов во внешней среде: суточным (циркадным) ритмам Земли и сезонным ритмам вращения Земли вокруг Солнца. Химический язык общения органов внутри организма — язык гормональный регуляции — обеспечил эту приспособляемость.

Однако этими ритмами обладают и растения, например, подсолнух — вид астровых растений. Русское его название возникло из-за того, что подсолнухи по сравнению с другими растениями в большей степени обладают

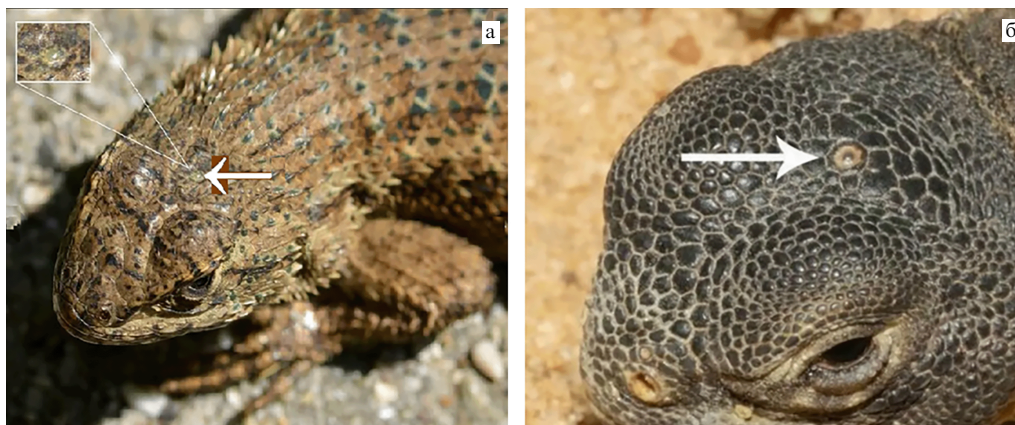


Рис. 11. "Третий непарный глаз", находящийся на голове рептилий разных видов, на фотографии показан стрелкой.

гелиотропизмом — поворотом раскрытых соцветий к Солнцу, отслеживая его перемещение по небосклону. Это частный случай фототропизма. Но фототропизмом обладают многие растения: например, положительный фототропизм есть изгиб стебля и листьев в сторону источника света. Более того, известны и "цветочные часы": в летнее время они могут довольно точно указывать время. Около 5 часов утра распускаются бутоны шиповника и мака, в 10 часов — цветок мать-и-мачеха, в 8 часов вечера в воздухе ощущается аромат душистого табака, а ещё через час начинают благоухать ночные фиалки [45]. Наряду с положительным гелиотропизмом есть и отрицательный гелиотропизм, когда стебель стремится изогнуться так, чтобы оказаться в тени. Так ведёт себя стебель плюща. Таким образом, нельзя при классификации рисовать границу в виде чётких разделяющих линий по всему многообразию признаков живых объектов. Это будут перекрывающиеся спутанные распределения, внутри которых могут существовать или исчезать существенные разделяющие признаки видов.

2.4. От "третьего глаза"

к изменению биохимического синтеза

Историческую связь с "третьим глазом" холоднокровных рептилий можно заметить у млекопитающих в виде желез, вырабатывающих гормоны, хотя млекопитающие утратили "третий глаз", который имел непосредственную чувствительность к свету. Он был заменён эпифизом⁷ и превратился в железу внутренней секреции. Эта железа вырабатывает гормоны. У человека выработка гормона мелатонина (он имеет много функций и прежде всего связан со сном) начинает возрастать примерно в 21 час и возвращается к дневному уровню около 7–8 часов утра. "Биологические часы" — это понятие, относящееся к чувству времени и созданию внутренних собственных суточных ритмов [46].

Давно замечено, что задняя и центральная часть человеческого мозга, включая мозговой ствол, мозжечок и подкорковые узлы, почти идентична строению мозга

рептилий. Эти структуры иногда называют "рептильный мозг". Это древние структуры мозга, которые управляют функциями организма, такими как равновесие, дыхание, пищеварение, сердцебиение и поддержание кровяного давления. Их работа происходит автоматически, не осознаётся человеком и не требует участия мышления и обучения. Кроме того, биоритм контролирует за счёт гормонов такие поведенческие явления, как драка, охота, спаривание и территориальность, необходимые для выживания и воспроизведения себе подобных. Это послужило поводом для Пола Маклина (*Paul Donald MacLean*) попытаться рассмотреть эволюцию мозга с позиции теории эволюции видов Дарвина, взяв за основу первого уровня *сознания* мозг рептилий [39]. Однако такой подход, как показали дальнейшие исследования, оказался ошибочным.

Задолго до американца П. Маклина немецкий исследователь Эрнст Генрих Геккель (*Ernst Heinrich Haeckel*) выдвинул более общую гипотезу. Он в 1874 г. опубликовал книгу "Антропогенез", или "История развития человека" (*"Anthropogenie"*, или *"Entwicklungsgeschichte des Menschen"*; русский перевод 1919 г.). Это было первое в истории науки исследование, в котором с разных сторон обсуждались проблемы эволюции человека. Он сформулировал так называемую *биогенетическую гипотезу*. Суть его гипотезы состояла в том, что каждое живое существо в своём индивидуальном развитии (в эмбриогенезе) повторяет исторически эволюционно пройденные формы его семейства и вида (в филогенезе). Однако в XX веке эта гипотеза была опровергнута.

Причина состояла в том, что архитектоника развивающихся организмов, которую описывают анатомы, учитывает лишь пространственные изменения, а не учитывает время переходного процесса от одной формы к другой. Чтобы тот или иной вид мог существовать в природе, необходимо выполнение трёх условий:

1) он должен отвечать условиям внешней среды (т.е. иметь в пространстве нишу для своего существования, содержащую запас энергии);

2) достигать за конкретный временной интервал половой зрелости, чтобы размножаться (т.е. восполнять во времени численность умерших сородичей);

3) в силу ограничения пространства в любой нише, скорость размножения и смертность должны быть уравновешены, т.е. необходимо соблюдение баланса смертности (продолжительности жизни), рождаемости (про-

⁷ *Эпифиз*, или шишковидная железа, представляет собой железистое образование длиной до 12 мм и шириной до 8 мм. Располагается в головном мозге между полушариями сразу за III желудочком над задней частью среднего мозга, в непосредственной близости от силвиева водопровода — канала, соединяющего полости III и IV желудочков головного мозга.

должительности эмбрионального развития) и длительности начального развития в онтогенезе (т.е. временного периода до самостоятельного существования и размножения).

Как отмечалось выше, из эксперимента известно, что во многих случаях движение клеток и целостных организмов зависит как от их численности, так и от возраста. В работах [47, 48] нами были рассмотрены случаи диффузионной подвижности популяции размножающихся организмов, когда их подвижность сцеплена с возрастным циклом. Модель с "биологическими часами" получается путём добавления к уравнению динамики изменения возрастного состава популяции диффузионного члена, меняющегося в зависимости от плотности популяции:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial n}{\partial \tau} = -m(\tau)n + \text{div}[D \text{grad}(n)], \quad (8)$$

где t — внешнее время; τ — внутреннее время (возраст); x, y — пространственные переменные; $n(t, \tau, x, y)$ — возрастная плотность численности популяции; $m(\tau)$ — коэффициент смертности популяции; D — коэффициент пространственной диффузии особей. Здесь $D = \text{const}$, а $n(t, \tau, x, y) = \text{var}$. Уравнение (8) должно удовлетворять следующим начальным и граничным условиям:

$$n(t, 0, x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} b(\tau)n(t, \tau, x, y) d\tau, \quad (9)$$

$$n(0, \tau, x, y) = \varphi(\tau, x, y), \quad (10)$$

где $b(\tau)$ — коэффициент рождаемости в популяции; $\varphi(\tau, x, y)$ — начальное распределение популяции по возрастам в пространстве. Рассмотрим процесс развития популяции, если исходно она была точечной и синхронной:

$$\varphi(\tau, x, y) = N_0 \delta(x, y) \delta(\tau - \tau_0), \quad (11)$$

где N_0 — начальная численность популяции; δ — дельта-функция. Активизация их движения происходит в некотором интервале возрастов, т.е. в определённой фазе их возрастного полового развития. Это приводит к пространственно-неоднородному распределению популяции в пространстве. Развитие исходно синхронной популяции в пространстве в предположении, что движение особей может происходить, когда их суммарная плотность в данной точке превышает некоторое критическое значение $N_{\text{кр}}$, а возраст особей не превышает значение $\tau_{\text{кр}}$. В этом случае $R = \text{div}[D \text{grad}(n)]$ примет вид

$$R = \theta(N - N_{\text{кр}}) \theta(\tau_{\text{кр}} - \tau),$$

где

$$N = \int_0^{\infty} n(\tau, x, y) d\tau, \quad (12)$$

здесь θ — ступенчатая функция Хевисайда. Эта модель и численный эксперимент объясняют механизм возникновения пространственно-неоднородных изменений, характерных для ряда популяционных и демографических задач при возникновении популяционных волн. Суть модели проста: $R = f(N, \tau)$. Функция f имеет два конкурирующих порога: $N_{\text{кр}}$ и $\tau_{\text{кр}}$. При росте численности по-

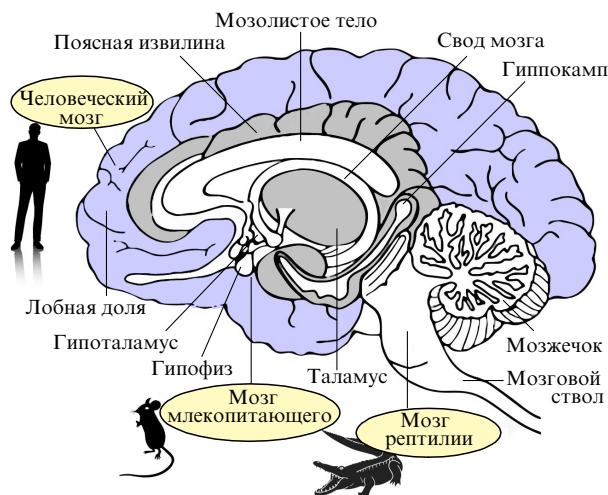


Рис. 12. Эволюционное изменение структуры мозга (вертикальный разрез) по цепи рептилии → млекопитающие → человек.

пуляции за счёт размножения при достижении ею порога индивиды начинают перемещаться в пространстве (x, y) и плотность популяции за время $(\tau - \tau_{\text{кр}})$ быстро уменьшается, затем процесс повторяется. Таким образом, в эволюционной биологии *фактор внутреннего времени (наряду с астрономическим внешним временем)* становится одним из главных факторов регуляции процессов. Ниже покажем, что похожий процесс имеет место и на уровне клеток. Он приводит к формированию нейронных сетей мозга.

Короче, очередной шаг развития происходит от достигнутого ранее уровня, если этот результат отвечает условиям внешней среды. Поэтому идея Пола Маклина, что новая кора нашего мозга возникла случайно как новый орган, а не образовалась эволюционно из уже существующих структур, вызывает большие сомнения. Эволюция мозга, как и эволюция всего живого, происходит в процессе постепенного роста и топологической изменчивости частей. Новые мозговые структуры вырастают на основе старых, уже существующих. Возникающее растёт из существующего [49]. Скачком может возникнуть не структура, а новое функциональное качество образовавшейся структуры, поскольку при увеличении численности популяции с разбросом возрастов внутри неё образуются кластеры нейронных сетей (рис. 12).

Кластеризация приводит к появлению новых функций мозга. Некоторые теоретики эволюции предположили, что продление начальных периодов жизни человека было особенностью его эволюции по сравнению с другими животными в семействе приматов, а именно:

- продление детства, замедление прихода половой зрелости и общее увеличение продолжительности жизни;
- задержка развития конечностей тела (большая голова, плоское лицо и относительно короткие руки);
- уменьшение поверхности волосяного покрова и др.

Иными словами, прогресс связан с торможением развития. Однако все эти признаки — внешние. Если анализировать анатомию лимбической системы, мозжечка и мозгового ствола, то она у человека хотя и похожа на мозг рептилий, но существенно отличается механизмом работы в связи с влиянием развившейся на её поверхности новой коры [50].

2.5. Homo Sapiens — лидер в борьбе за выживаемость

Очевидно, что человек, как животное, во многом не совершенен. Он уступает другим млекопитающим в скорости перемещения в пространстве, мускульной силе и в продолжительности жизни. Мировой рекорд человека в скорости бега на стометровку ниже скорости гепарда в 2,68 раза, по скорости плавания уступает дельфину в 6 раз, по прыжкам в высоту уступает дельфину-афалине в 3 раза, гепарду более чем в 2 раза, кенгуру в 1,5 раза. В Книге рекордов Гиннеса зарегистрирован рекорд человека по отрыву от земли грузовой машины весом 2400 кг, что превышало вес атлета приблизительно 12 раз. Однако мировые рекорды здесь принадлежат не млекопитающим, а насекомым. По-видимому, сильнее всех жук-носорог, который способен носить груз, в 850 раз превышающий вес его тела. Муравей способен носить на себе груз, в 50 раз превышающий его вес. По продолжительности жизни человек также не является рекордсменом. Приведём данные по продолжительности жизни двух известных долгожителей, регистрация возраста которых не вызывает сомнений. Француженка Жанна Кальман умерла 4 августа 1997 г. в возрасте 122 лет и 164 дней, а японец Дзироэмону Кимура прожил 116 лет и 54 дня. Что касается самых долгоживущих млекопитающих, то выигрывает гренландский кит. Его рекорд 211 лет, среди рептилий — галапагосская черепаха (*Geochelone nigra*), свыше 170 лет и гигантская черепаха (*Geochelone gigantea*) — 150 лет.

Сравнения можно продолжать. Однако главное не в том, что проиграл *Homo Sapiens*, а что он выиграл благодаря развитию новой коры мозга и биохимической гормональной системе. Выигрыша три. Первый — это развитие *сознания*. Второй — универсальность в действиях, т.е. человек умеет делать многое на довольно хорошем уровне. Его тело, лицо, конечности имеют много степеней свободы движения, превышающих их количество не только у осьминога, но и у млекопитающих. Третье, основное отличие — у *Homo Sapiens* появился новый тип социальных коммуникаций, включающих в себя звуковой язык, который позволил вводить абстрактные понятия, мыслить по аналогии, создавать обобщения и развивать внешние источники памяти (письменность, живопись, архитектуру, вплоть до Интернета). Это существенно облегчило развитие разных технологий, которые дали преимущество человеку в заселении всего пространства нашей планеты.

3. Интегральная теория информации + эмоциональная окраска

3.1. Оценка человеком ценности поступающей информации

Наш мозг работает с информацией. Важна не только её *информационная ценность*, но и *эмоциональная окраска*. Любая информация может передаваться только с помощью материального носителя. Однако законы преобразования информации и законы её эмоциональной окраски отличаются от законов движения материальных тел, которые её переносят. Подмена одного другим может приводить к недоразумениям.

Что такое *информация* с позиции физики? На этот вопрос не так просто ответить, поскольку термин *информация*, как и термин *сознание*, имеет множество толкова-

ний, многие из которых почти тождественны термину *сознание*. Например, Д.С. Чернавский в своей книге и в статье "Проблема происхождения жизни и мышления с точки зрения современной физики" [22, 51], ссылаясь на книги [52, 53], привёл 16 определений термина *информация* (табл. 5).

Генератором сообщений и способом их передачи может быть не только другой человек, но и любой элемент внешней среды. В общем случае изменение вероятности p_i находится в интервале $1 \geq p_i \geq 0$. Информация I при выборе её из n возможных вариантов, представленных в двоичном коде со времён К. Шеннона, обычно выражается формулой [54]:

$$I = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad (13)$$

где n — количество уровней информации в интервале $i = 1, 2, \dots, n$.

Восприятие информации — это вероятностный процесс.

Утверждение, что взаимодействие при передаче информации между объектом и субъектом образует цикл (объект $\leftrightarrow$ субъект), необходимо дополнить четырьмя дополнительными требованиями к участникам этого цикла.

Во-первых, принимающий информацию человек должен обладать инструментарием для дешифровки получаемого сообщения. Тезаурусы (от греч. $\theta\eta\sigma\alpha\upsilon\rho\acute{o}\varsigma$ — "сокровище"), т.е. запас знаний и лексические единицы (слова, словосочетания), должны отвечать требованиям коммуникации объекта и субъекта. В противном случае информация будет недоступна субъекту и цикл исчезнет.

Во-вторых, информацию следует дополнить признаком *информационной ценности*, что связано с эмоциями человека. Для этого необходимо, чтобы у субъекта и объекта цели были комплементарны относительно получаемой и передаваемой информации.

В-третьих, как отмечалось выше, *информация* не может передаваться без материального носителя. При этом возможна потеря части информации при её передаче.

В-четвертых, *ценность информации* отличается от *цены действия*, используемого для переноса материальных носителей. Она имеет другую размерность и другой смысл.

Первое из перечисленных положений очевидно, остальные кратко поясним. Сначала рассмотрим понятие *ценности информации*. Информация с позиции субъекта есть некоторые передаваемые ему сведения, которые приближают его к решению возникшей перед ним задачи. Окраска восприятия внешнего мира у человека основана на эмоциях. При этом противоположные эмоции, например, любовь и гнев (табл. 2), могут приводить к противоположным действиям. Любовь может породить ревность, вызвать подозрение, а затем и гнев (пример — трагедия Уильяма Шекспира "Отелло", которая находится в списке наиболее значимых произведений мировой литературы, описывающих проявление эмоций людей).

Однако 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

Таблица 5. Определения термина "информация"

1	Знания, переданные кем-то другим или приобретённые путём собственного опыта
2	Сведения, содержащиеся в данном сообщении и рассматриваемые как объект передачи, хранения и обработки
3	То, что имеет в себе функцию сигнала
4	Содержание сведений, полученных из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств
5	Одно из свойств явлений, предметов, процессов объективной действительности, созданных человеком управляющих машин, заключающееся в способности воспринимать внутреннее состояние и воздействие окружающей среды и сохранять определённое время эти результаты, чтобы передавать их другим партнёрам
6	Объективное содержание связи между взаимодействующими материальными объектами, проявляющееся в изменении состояний этих объектов
7	Коммуникационный способ создания порядка из беспорядка или по крайней мере увеличение степени той упорядоченности, которая существовала до получения сообщения
8	Текущие данные о переменных величинах в некоей области деятельности, систематизированные сведения относительно основных причинных связей, которые содержатся в знании как понятия более общего класса, по отношению к которому информация является подчинённой
9	Знание о каком-то особом событии, случае или о чём-либо подобном
10	Данные о внешнем мире, которые мы получаем как путём непосредственного воздействия на наши органы чувств окружающих предметов и явлений, так и опосредованным путём через книги, газеты, рассказы других людей о каком-то особом событии, случае или о чём-либо подобном
11	В проблемах передачи "информаций" называется всякое сообщение или передача сведений о чём-либо, что заранее не было известно
12	Информация в самом общем случае — это разнообразие, которое один объект содержит о другом. С позиций теории отражения информация может быть представлена как отражение разнообразия, которое отражающий объект содержит об отражённом
13	Отражение в сознании людей объективных причинно-следственных связей в окружающем нас реальном мире
14	Содержание процессов отражения
15	Информация не тождественна отражению, а есть лишь его инвариантная часть, поддающаяся определению, объективизации и передаче
16	Информация — это философская категория, рассматриваемая наряду с такими понятиями, как пространство, время, материя. В самом общем виде информацию можно представить как сообщение, т.е. форму связи между источником, передающим сообщение, и приёмником, его принимающим

ложной. Вспомните растение *Венерина мухоловка* (рис. 3). Её цель — обмануть насекомое, привлечь его запахом и съесть. 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 вероятности p можно выразить в виде трёх предельных ситуаций.

Информация важна для субъекта, когда у него появляется задача, которую нужно решить, или возникает цель, которую нужно достичь. Человек не может достичь цели, которую он чётко не видит. Но если он предпринимает попытку за попыткой, то, в конце концов, её достижение становится возможным. При этом имеют место две различающиеся информации: априорная с вероятностью p (т.е. имеющаяся до начала возникшей цели информация) и апостериорная с вероятностью P , которая приводит к решению возникшей задачи (рис. 13).

Апостериорная информация при $P_1 = 1$ наиболее ценная, позволяющая сразу решить задачу. При $P_2 = 0$ информация нейтральная, не имеющая отношения к решению задачи. При $P_3 = -1$ информация лживая, маскирующаяся под ценную информацию. Однако если субъект обладает способностью распознать и отличить

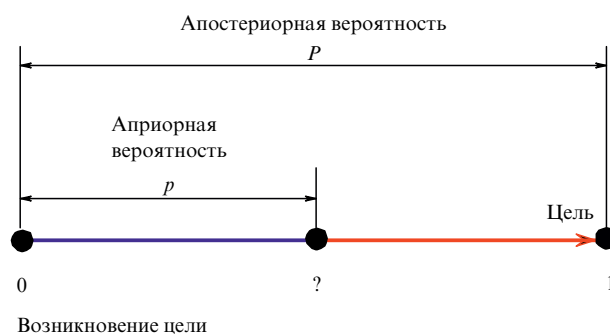


Рис. 13. Априорная p и апостериорная P информации. Недостающая вероятность Δp для достижения цели: $\Delta p = P - p = 1 - p$.

по каким-либо признакам ложь от правды, то он может, приступив к решению задачи, превратить лживую информацию в ценную информацию. Поступая наоборот, он может, вопреки желанию объекта, осуществить переход

$$\text{от } P_3 = -1 \text{ к } P_1 = +1. \quad (14)$$

В случае *удачного* решения задачи субъектом путь её решения запоминается, переходя в долговременную па-

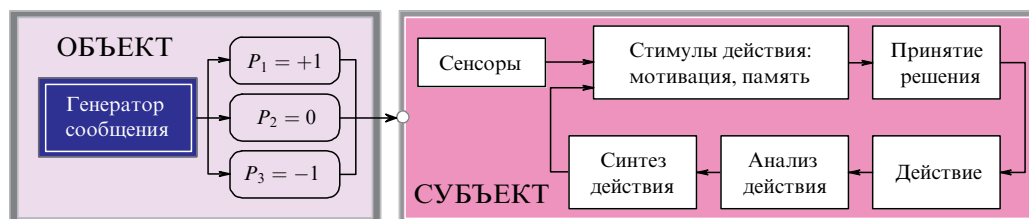


Рис. 14. Схемы информационного взаимодействия объекта и субъекта. В целом поведенческое действие субъекта характеризуется целенаправленностью и активным действием. Объект передает разную информацию, изменяющую вероятности: P_1 , P_2 и P_3 . Требуемая вероятность Δp определяется в блоке "принятие решения".

мать субъекта. Так происходит обучение. Наполнение нашей памяти — это главная часть механизма формирования сознания [55, 56].

Ценность информации связана с объёмом множества, из которого выбираются варианты информации, поступающей от объекта к субъекту. Воспринимаемая информация всегда ограничена полосой пропускания (квалиа — это "окна" её восприятия), а информационный объём — это наша способность хранить информацию, т.е. наша память, объём которой также ограничен. Похоже, что приблизительная ёмкость памяти человеческого мозга порядка 1000 терабайт [57].

На рисунке 14 приведена схема информационного взаимодействия объекта и субъекта.

Наш мозг имеет два возможных пути движения потока информации [58]. Первый — короткий и неосознаваемый путь: сенсоры → стимулы действия → принятие решения → действие. Его иногда называют интуицией⁸. Второй — более длинный путь, становится востребованным, когда по каким-либо причинам при принятии решения возникают осознаваемые сомнения в реализации требуемого действия, т.е. необходим анализ возможных последствий принимаемого решения. Оценка последствий идёт по цепи обратной связи: действие → анализ действия → синтез действия → стимулы действия → принятие решения → изменение действия или отказ от него.

Как было отмечено выше, при определении ценности информации обычно оперируют с двумя её значениями: апостериорная вероятность P и априорная вероятность p . Априорная вероятность p — это наша уверенность, что решение задачи существует. Апостериорная вероятность P — это изменяющаяся вероятность после получения дополнительной информации. Она может быть как больше, так и меньше априорной информации p . Ранее в работе [59] нами было рассмотрено использование упомянутых двух вероятностей при анализе формулы Байеса.

Идеальный байесовский наблюдатель, в отличие от "демона Максвелла", "питается" не только энергией, но и временем, затраченным на восприятие и запоминание информации (крылатые выражения: "повторение — мать учения").

Ценность информации можно охарактеризовать с помощью разных выражений, например, по Бонгарду — Харкевичу [57, 60]. Ценность информации будем обозначать буквой V . В этом случае мерой ценности информа-

ции V_1 в терминах вероятности достижения цели может служить выражение:

$$V_1 = \log_2 \left(\frac{P}{p} \right), \quad (15)$$

где p — априорная вероятность достижения цели, а P — апостериорная вероятность. Однако выражение (15) не учитывает, что сведения, полученные субъектом, могут оказаться нераспознанной ложью. В связи с этим В.И. Корогодина для оценки ценности информации предложил другое выражение V_2 [61]:

$$V_2 = \frac{P - p}{1 - p}. \quad (16)$$

Если $p > P$, то ценность информации становится отрицательной, так как она основывается на ложной информации, а P находится в пределах $1 \geq P \geq 0$. Из выражения (16) получим, что если информация лживая, то $p > P$ и $V_2 < 0$, т.е. ценность информации имеет отрицательный знак. Сам показатель ценности изменяется в диапазоне $V_{\max} > V_2 > -\infty$. Если $p = P$, то $V_2 = 0$, т.е. ценность новой поступающей информации обнуляется, так как новой информации не требуется, поскольку задача уже решена. Согласно теории информации, если информация I измеряется в битах и все наблюдаемые точки (пиксели) являются носителями информации, то, в общем случае, количество информации будет соответствовать выражению:

$$I = m \log_a N, \quad (17)$$

где N — количество информативных точек (пикселей); m — модуль перехода, связывающий единицы измерения информации, т.е. используемый алфавит при формировании информации [62]. При этом логарифм $\log_a N$ имеет смысл при $a > 0$, но не при $a = 1$, $N > 0$. Например, если $m = 1$, $N = 256$ и $a = 2$, то $I = 8$, так как $2^8 = 256$. Приведённый пример соответствует измерению информации в двоичных единицах 0 и 1, т.е. в битах, когда основание $a = 2$. Если выбран другой алфавит, например, байты, то основание будет $b = 8$:

$$I = m_1 \log_b N. \quad (18)$$

Если в выражении (17) m было равно 1, то в выражении (18) при измерении информации I в битах модуль перехода m_1 определяется выражением:

$$m_1 = \frac{1}{\log_a N} = \frac{1}{\log_2 256} = \frac{1}{8}, \quad (19)$$

⁸ Интуиция — это неосознаваемая способность человека проникать в смысл событий и быстро делать правильный вывод. Хотя сам человек в данном случае не может логически объяснить, почему он принял то или иное решение. Ответ ограничивается констатацией — "нравится или не нравится".

где $a = 2$, а $b = N$. Таким образом, 1 байт содержит 8 единиц информации, выраженной в битах. Хотя могут существовать и другие записи информации, например, с использованием десятичных или натуральных логарифмов.

Рассмотрим третье положение. Сначала сделаем замечание, неучёт которого может приводить к недоразумениям. Проблемы возникают из-за различий понятий "информационный объём внешней среды", откуда черпает информацию субъект, и "информационный объём памяти субъекта", где может содержаться накопленная ранее априорная информация, полезная для решения новых возникающих задач. Примем, что внешняя среда — это большая область, заполненная информацией. Внутри неё расположен субъект — малая область. В малой области содержится ранее запомненная информация. Однако данной информации недостаточно, чтобы субъект решил возникшую новую задачу. Для её решения он должен пополнить свой информационный запас из внешней среды. Сенсорные системы человека — это "окна"-квалиа, позволяющие перекачивать информацию из внешней среды. Физические размеры каждого "окна" ограничены как сверху, так и снизу. В теории множеств верхняя граница поступающей из внешней среды информации через каждое "окно" обычно обозначается "sup" (супремум информации), а нижняя граница обозначается "inf" (инфимум информации).

Однако для человека точной границы "окон"-квалиа не существует. Граница — плавающая, поскольку человек на протяжении истории своего существования изобрёл множество приборов, расширивших пространственно-временной диапазон его рецепторов (телескопы, бинокли, микроскопы, локаторы, ускорители частиц, усилители звука и т.д.), и множество способов запоминания информации. Следовательно, размеры "рамы окон" не являются константами, они индивидуальны, и зависят не только от генетики, профессии и возраста (опыта) человека, но и от оснащённости его приборами и информационными навигаторами, то есть от начальных условий информационного взаимодействия внешней среды (объекта) и субъекта, которые имеют место на данный момент развития технологий.

Теперь краткое замечание о материальных носителях информации. Очевидно, что они могут быть любых видов и размеров. Слишком малые (микромир) или слишком большие (астромир) носители информации затрудняют её восприятие и распознавание, так как требуют адаптации разрешающей способности наших квалиа. Например, если работает лишь канал зрительной рецепции и субъекта-эксперта интересует сохранность картины художника (как источника информации), то необходимо вооружиться лупой и рассматривать микротрещины краски, нанесённой на холст. Если задача — оценить особенности мастерства живописца, например, оценка способа нанесения мазков краски на холст, то лупа не нужна. Разрешения наших глаз достаточно, если подойти поближе к картине. Если задача оценить сюжет картины, то необходимо отойти на расстояние, чтобы охватить единым взором всё полотно изображения. Итак, масштаб может как затруднять, так и облегчать решение поставленной задачи. В этом случае для минимальной затраты времени при распознавании образов оптимальным будет такой масштаб внешнего образа, когда его проекция на сетчатке нашего глаза занимает существенную площадь.

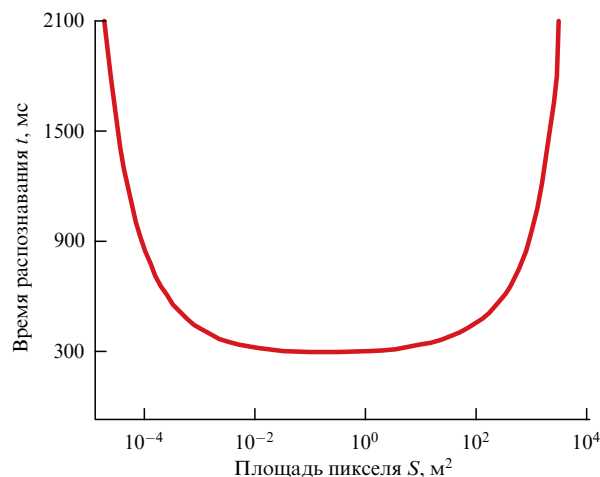


Рис. 15. Зависимость времени зрительного распознавания образа от логарифма площади информационного пикселя, измеряемого в метрах.

На рисунке 15 дана усреднённая зависимость времени распознавания образа от площади пикселя носителя информации.

3.2. Наличие памяти

и понижение ценности поступающей информации

Используя выражение (15), объединим содержимое памяти с ценностью информации. Допустим, цель субъектом достигнута, возникшая задача решена. Это означает, что апостериорная вероятность стала равна $P = 1$. В процессе решения задачи выяснено, что для её решения пришлось совершить n попыток со сменой путей решения. Только один путь оказался удачным и привёл к решению задачи. Следовательно, при постановке задачи априорная информация была равна

$$P = \frac{1}{n-1}, \quad (20)$$

где n — общее количество проанализированных путей при поиске решения задачи. Если $n \rightarrow \infty$, то решить подобную задачу за конечное время маловероятно. Лишь удача позволит случайно в бесконечном множестве найти единственный вариант пути, который приведёт к решению. Допустим, что внутри нашей памяти M или в других внешних доступных нам источниках памяти содержится информация о том, что $(n-1)$ путей, которые были исследованы ранее, не привели к успеху, а только один путь оказался перспективным. Примем, что наша память содержит информацию о $(n-1)$ неперспективных путях, т.е.:

$$M = n - 1,$$

$$\text{а апостериорная вероятность } P = \frac{1}{M+1}. \quad (21)$$

С учётом выражений (15), (20) и (21) запишем ценность в терминах этой памяти:

$$V_1 = \log_2 \left(\frac{P}{p} \right) = \log_2 \left[\frac{n-1}{M+1} \right] = \log_2 \left(1 - \frac{1}{M+1} \right). \quad (22)$$

Из выражения (22) следует, что если память $(M + 1) \rightarrow \infty$, то $V_1 \rightarrow 0$:

$$\lim V_1 \rightarrow \log_2 1 = 0 \text{ при } (M + 1) \rightarrow \infty. \quad (23)$$

Последнее означает, что ценность V_1 информации, получаемой из внешней среды, которая необходима для решения задачи, уменьшается по мере роста объема полезной накопленной ранее информации в памяти мозга. Такой вывод очевиден, однако из него не следует, что большой объем памяти всегда позволяет быстро адаптироваться к изменению внешней среды. Хотя память — это наш накопленный опыт, но его запоминание должно отвечать ряду условий.

3.3. Сравнение компьютерной памяти с памятью человека

Система с очень большой памятью — не всегда хорошая система. Она может быть крайне консервативна. Найти что-то необходимое в плохо организованной памяти — тяжёлая работа. Например, Интернет с адресной памятью сильно облегчает решение задач, но постепенно он превращается в мусорную корзину, потому что там приходится распознавать, истинная это или ложная информация, что требует затраты времени и энергии.

Обычная компьютерная память является локально адресуемой, т.е. предъявляется адрес и извлекается информация, записанная по этому адресу. Она закодирована определённым образом в виде паттерна и находится в определённой ячейке памяти компьютера. Процесс операций с памятью разбит на разделённые во времени две операции: записи и чтения. Если память ограничена, то имеет место опция *забывания* (*стирания ненужной информации*).

У человека память устроена иначе. Поскольку операции с информацией описываются в терминах вероятности, то код состоит из трёх различных состояний: *Да*, *Возможно* и *Нет*. Кроме того, эти операции происходят под управлением отдельного специализированного устройства — контроллера памяти, который распознаёт важность информации, оценивает её качество и придаёт ей эмоциональную окраску. Одним из таких контроллеров является гиппокамп (подкорковая структура мозга). Другими словами, память неразрывно связана с мышлением — распознаванием образов и оценкой возникающих ситуаций. Таким образом, память человека — это динамический, а, следовательно, энергозатратный процесс. События и явления быстро забываются, если не повторяются, что подтверждает динамичность памяти. Информация определённым образом удерживается, но в отсутствии востребования угасает, т.е. вытесняется другой информацией. Через час забывается приблизительно половина от всего попавшего в память, а через полгода может исчезнуть вся информация.

Важно отметить, что человеческая память ассоциативна, т.е. одно воспоминание может порождать большую связанную с ней область. Один слабый феномен (например, запах цветка, зрительный образ или музыкальный аккорд) напоминает нам о другом, а этот другой о третьем. Если время не ограничено, то наши мысли будут перемещаться от паттерна к паттерну по цепочке нейронных кластеров. Например, несколько музыкальных тактов или специфических запахов могут вызвать целую гамму чувственных воспоминаний, включая пейзажи, звуки, образы знакомых людей и событий из нашего прошлого.

Обычная компьютерная память, как правило, является локально адресуемой⁹, а память человека имеет иерархическую структуру, использует несколько слоёв паттернов для записи и считывания информации. Слои паттернов имеют различные пространственно-временные характеристики записи, хранения, поиска, забывания информации и связаны между собой. Но главное отличие нашей памяти от памяти машин состоит в том, что наш мозг работает не с наборами символов, а со смыслами, заключёнными в их наборах.

Амплитудно-частотный спектр ЭЭГ, с которым работает наш мозг, показывает вклад в общую сумму каждой гармонической составляющей, пришедшей по одному или нескольким рецепторным каналам (зрение, слух, осязание и т.д.). Когда ребёнок учится узнавать *кошку*, то первоначально он воспринимает набор её существенных признаков: размеры, наличие хвоста, усов, перемещение на четырёх лапах (это воспринимает зрение), звуки "мяу" (это воспринимает слух), наконец, мягкую шерсть, прямой контакт с телом человека (это воспринимает тактильная рецепция). Для зрения этот процесс выглядит так. Ганглиозная система рецептора переносит каждый признак в виде *гармонической* составляющей $S_{i \text{ из}}(\omega_x, \omega_y)$ из плоскости проекции изображения на сетчатке в плоскость волнового представления изображения в коре мозга. Зрительная информация в основном поступает в затылочную часть коры мозга человека.

По мере накопления опыта, начиная с детского возраста, для каждой гармонической формируется свой весовой множитель $F_i(\omega_x, \omega_y)$ [64]. С помощью набора таких множителей можно осуществлять преобразование волнового изображения: $F_i(\omega_x, \omega_y) S_{i \text{ из}}(\omega_x, \omega_y)$. Множество $\{F_i(\omega_x, \omega_y), S_{i \text{ из}}(\omega_x, \omega_y)\}$, состоящее из набора признаков образа, представленных на языке автоволн, является основой для завершения операции распознавания образа, который происходит в лобной коре мозга [65, 66]. Итак, рецепторные (сенсорные) системы, т.е. квалиа, обладают инструментарием, связывающим внешний мир с внутренним миром человека путём перекодировки получаемого сообщения. Поскольку любой процесс преобразования информации может вносить ошибки, то результат часто содержит некоторую неопределённость. При этом апостериорная вероятность будет меньше единицы.

Покажем, что эмоциональная окраска информации связана с биохимическим фоном, прежде всего, с гормональным фоном.

3.4. Гормоны и эмоции — химический язык передачи информации

Гормоны (др.-греч. ὁρμάω — двигаю, побуждаю) — это биологически активные вещества химической природы, вырабатываемые в одних клетках и связываемые с рецепторами других клеток-мишеней. Они оказывают регулирующее влияние на обмен веществ и скорость обработки информации. У человека на сегодняшний день открыто ≈ 150 химических соединений в видов гормонов и других пептидов, обладающих биологической актив-

⁹ Однако ассоциативная память может быть реализована в виде машинной памяти, используя программные приложения быстрого поиска, например, "память, адресуемая по содержанию ключевого слову" [63].

Таблица 6. Некоторые гормоны, коррелирующие с эмоциями

№	Гормон	Эмоция
1	Эндорфин	"Гормон удовольствия и любви", внушает состояние спокойствия и безмятежности, понижает болевые ощущения
2	Норадреналин	Способствует хорошему настроению, позитивному восприятию реальности. Низкое его содержание вызывает депрессию и тоску
3	Окситоцин	Оказывает сильное положительное влияние на формирование материнского инстинкта у женщин (нежность, верность и надёжность)
4	Серотонин	"Гормон настроения", это нейромедиатор, т.е. одно из веществ, являющихся химическим передатчиком импульсов между нервными клетками человеческого мозга. Контролирует восприимчивость мозговых рецепторов к стрессовым гормонам: т.е. к адреналину и норадреналину. Под воздействием серотонина происходит стимуляция областей, отвечающих за процесс познавательной активности, подъём настроения, двигательной активности и тонуса мышц, роста самообладания или эмоциональной устойчивости. Недостаток серотонина в организме вызывает снижение настроения и депрессию
5	Дофамин	Помогает адаптироваться к новой среде, контролирует способность к обучению, поддерживает стремление ко всему новому, помогает достигнуть цели, придаёт уверенность. Нехватка дофамина приводит к нерешительности и неуверенности в себе. Однако если у человека есть предрасположенность к алкоголю и наркотикам, этот гормон способствует закреплению таких пристрастий
6	Мелатонин	Регулятор основных биоритмов и цикла сна, отдыха и работы, способствует выведению метаболитических "шлаков" из мозга, способствует восстановлению энергообеспечения организма и накоплению жира как депо энергии
7	Эстрадиол	Женский гормон, регулирует менструальный цикл, у девочек вызывает формирование вторичных половых признаков
8	Вазопрессин	Вырабатывается при стрессе, возникающем при исследовании возникшей ситуации, мышление — формулировка и выбор цели, поиск полового партнёра
9	Тироксин	Оказывает сильное влияние на увеличение раздражительности (взвинченность, нервное состояние), но помогает справиться со стрессом
10	Адреналин	Увеличивает агрессивность, его недостаток приводит к пассивности в преодолении жизненных трудностей
11	Тестостерон	"Гормон агрессии", влияет не только на настроение, но и на здоровье
12	Ацетилхолин	"Гормон отвращения", влияет на интеллектуальную деятельность: при малых концентрациях понижает пороги возбуждения нейронов, при больших концентрациях тормозит возбуждение и задерживает принятие решений

ностью. Учитывая химическое строение регуляторов мышления, их можно поделить на группы:

- Стероидные соединения, которые синтезируются из предшественника холестерина. Они образуются в области коры надпочечников или в зоне половых желез у мужчин и женщин.

- Белковые и пептидные гормоны, к которым относятся гипоталамические и гипофизарные соединения, а также гормоны поджелудочной железы.

- Наконец, соединения, являющиеся производными аминокислот, — это соединения, образующиеся в эпифизе, надпочечниках, в нейронах и в щитовидной железе.

У высокоразвитых животных, включая человека, гормональная регуляция сцеплена с нервной регуляцией и составляет совместно с ней единую систему регуляции. Гормональная регуляция, как уже отмечалось на примере рептилий, — одна из эволюционно древних. Гормоны распространяются подвижными жидкостями внутри

организма (кровь, лимфа, тканевая жидкость). Примеры некоторых гормонов, коррелирующие с эмоциями, приведены в табл. 6.

Особо следует отметить нейромедиаторы — биологически активные химические вещества, посредством которых осуществляется передача электрохимического импульса от одной нервной клетки к другой через синаптическую щель между нейронами, а также от нейронов к мышечной ткани или клеткам желёз. Нервный импульс, поступающий в пресинаптическое окончание, вызывает выброс в синаптическую щель везикул медиатора.

Молекулы нейромедиаторов взаимодействуют со специфическими рецепторными белками клеточной мембраны, инициируя цепь биохимических реакций, вызывающих изменение трансмембранного тока ионов, что приводит к деполяризации мембраны и возникновению потенциала действия в следующем нейроне. Таким образом, нейроны "разговаривают" между собой в допол-

нение к электрическим импульсам на языке нейромедиаторов. Казалось бы, что такое двуязычие должно сильно замедлять процесс их общения.

Однако это не так. Ширина щели l , которая разделяет пре- и постсинаптические мембраны, $l \leq 0,1$ мкм, поэтому гормональной везикуле нужно пройти очень небольшую дистанцию, чтобы связаться с рецепторами на постсинаптической мембране. Хотя диффузия является медленным процессом, но на этот короткий путь уходит не более 1–2 мс, т.е. возбуждение следующего нейрона происходит с небольшой задержкой. После выполнения возбуждения нейромедиаторы инактивируются с помощью специальных ферментов. Нейрон вновь готов к восприятию нового химического сигнала.

Таким образом, человек, в отличие от современных искусственных креативных систем, имеет два связанных языка общения между клетками и органами: быстрый — электрический и более медленный — биохимический, включающий гормоны. Нас в данном случае интересуют производные гормоны аминокислотной группы, работающие в нашем мозге.

По-видимому, гормоны являются словарём, формирующим эмоции. Они обладают высокой биологической активностью. Некоторые из химических соединений в силу их специфичности оказывают тонкое регулирующее влияние при очень низких концентрациях (10^{-8} – 10^{-15} моль литр $^{-1}$). Их специфичность объясняется наличием избирательности при взаимодействии рецепторов с этими молекулами [67].

3.5. Смеси гормонов с разной концентрацией содержимого

В 1949 году Клод Шеннон опубликовал работу "Теория связи в секретных системах" [68]. В ней он сформулировал пять критериев защиты секретной информации. Пятый пункт формулировки в этой статье гласил: *"при кодировании сообщения необходимо смешать правильное послание (информацию) со многими неправильными (дезинформацией), что приведёт к большому расширению сообщения. На приёмном конце необходим ключ (дешифратор), который определит бы, какая часть сообщения является информацией"*. Такая формулировка понятна и банальна, но суть её состоит в том, что она возникла у Шеннона из сравнения искусственных машинных языков (например, азбуки Морзе с *детерминированной структурой*) с естественными языками общения людей со сложным культурно-языковым контекстом.

Если использовать реальные языки людей, то возможен расширенный вариант передачи шифрованной информации по одному каналу, когда в качестве дезинформации используется также информация, но предназначенная другим пользователям. В данном случае одновременно по одному каналу передается *разная смешанная информация*, предназначенная для *разных* клиентов. Информация, предназначенная для первого клиента, имеет свой признак "а". Информация, предназначенная для второго клиента, имеет свой признак "б". Информация, предназначенная для третьего клиента, имеет свой признак "в" и т.д. У первого клиента на приёмном конце канала связи есть свой специфический дешифратор на признак информации а. У второго клиента — на признак информации б, у третьего — на признак информации в. Поскольку в канале информация смешанная, то для постороннего наблюдателя она выглядит как бес-

смысленный хаос (шум толпы), но этот хаос детерминированный, так как он в целом несёт содержательную информацию, но предназначенную для разных клиентов.

В живых системах биохимический язык, включая гормоны, используется уже многие миллионы лет. Производителями гормонов являются железы и специализированные клетки, каналами связи — каналы кровоснабжения или каналы межклеточной жидкости, дешифраторы — специфические рецепторы а, б, в..., которые расшифровывают информацию, доставляемую в виде молекул-носителей. В зависимости от набора рецепторов и их избирательной способности смешанная информация распределяется по своим рецепторам и вызывает различные чувства у индивида, которые действуют на организм, на тонус мышц, включая мышцы лица. Лицо человека становится существенным инструментом коммуникации. Младенец обучается такому языку раньше, чем звуковому языку.

Уже через 9 минут после рождения младенца интересуют лица окружающих людей, к 12-му дню младенец способен имитировать мимику. Эта способность ребёнка развивает у него способность распознавания лиц по мимике. В связи с наличием индивидуальных базовых эмоций каждый ребёнок точнее оценивает близких к нему людей по мимике их лиц.

Мимика каждого человека имеет не только генетические особенности, но и культурные "акценты", формирующиеся под влиянием воспитания. Они влияют на наше восприятие и интерпретацию эмоций. Внешний язык мимики и жестов является проявлением внутреннего биохимического языка при его взаимодействии с языком нервной системы (рис. 16).

Одни национальные объединения людей открыты для яркого проявления эмоций. Как правило, в Европе это жители побережья Средиземного моря. Другие, наоборот, имеют лица с "постоянной дежурной улыбкой", например, в Англии. Такая улыбка маскирует эмоциональность. В других сообществах принято считать, что проявлением выражения эмоций нужно управлять в зависимости от обстоятельств. Особые для данной культуры правила выражения человеческих эмоций ребёнком усваиваются ещё в детстве, в процессе наблюдения за выражениями лиц взрослых. Например, в Японии принято скрывать своё негативное состояние в целях поддержания общей гармонии. Однако при этом глаза могут выдавать искусственность выражения лица — улыбка на лице и грустные глаза. В России и в США ограничения на демонстрацию эмоций менее выражены.

4. Можно ли отличить андроидного робота от реального человека?

4.1. Андроидные роботы и язык эмоций "человеческого лица"

Под термином *"андроидный робот"* мы будем понимать электромеханическую машину с искусственным интеллектом, внешне напоминающую человеческое тело с руками и ногами, и с человекоподобным лицом. Хотя иногда к такому варианту робота относят реального человека с вживлённым в мозг чипом, который управляет его поведением. Этот пока не созданный вариант робота теперь стали называть "зомби".

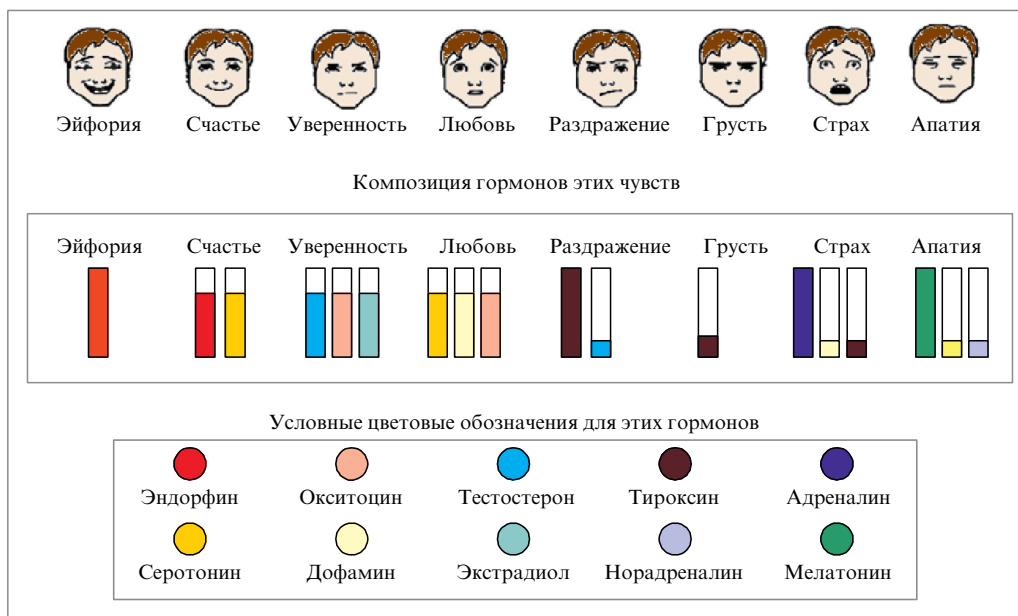


Рис. 16. Примеры мимики лиц человека, сопровождаемые комбинациями гормонов.

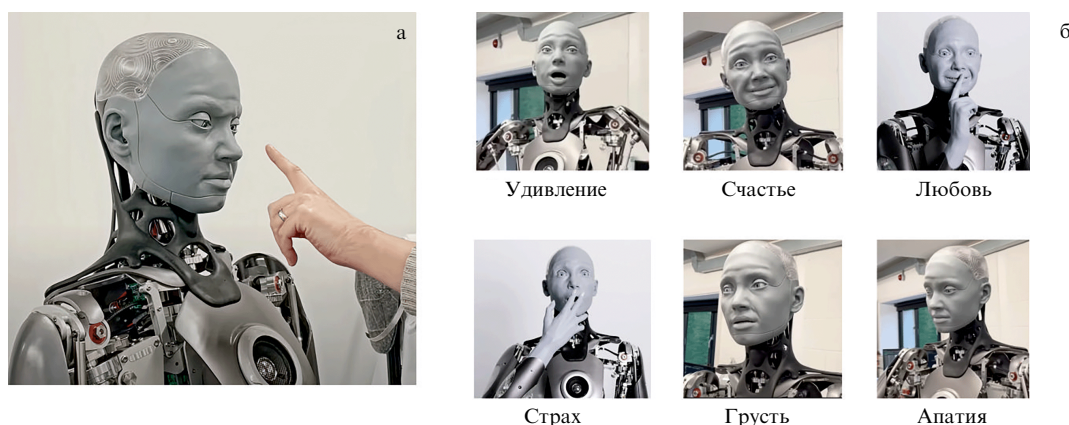


Рис. 17. Робот Амека (а) и изменения её лица, имитирующие мимику человека (б) [84].

Дизайн и использование *андроидного робота* могут быть предназначены как для функциональных целей (взаимодействие с реальными людьми в качестве экскурсоводов, обслуживающего персонала домов престарелых, секретарей офисов и т.п.), так и для экспериментальных целей (изучение двуногого передвижения, изучение языка, мимики и жестов) [59].

Создание таких роботов — это сложная инженерная задача. Во многих странах в настоящее время ведутся работы в данном направлении. В качестве примера приведу перечень наиболее известных андроидных роботов, созданных за последние 10 лет (табл. 7), хотя этот перечень не исчерпывает все последние разработки человекоподобных роботов. Этот перечень быстро пополняется.

Остановимся на последнем роботе. Андроидный робот Амека (Ameca) был показан на выставке CES¹⁰ 2022, которая в начале 2022 г. прошла в Лас-Вегасе. Амеку сразу назвали самым похожим на человека роботом, что

связано с максимально реалистичной мимикой лица. На данный момент этот робот умеет управлять губами, морщить нос, управлять веками, открывая/закрывая глаза, и подмигивать. Мимика Амеки не связана с гормонами и является чисто электромеханической имитацией. Под силиконовым покровом лица Амеки было установлено множество управляемых мини-моторов, при помощи которых деформируется силиконовая кожа её лица, имитируя мимику реального человека: радость, грусть и другие базовые эмоции. Кроме того, этот робот умеет жестикулировать руками, распознаёт объекты вокруг себя и общается с посетителями (рис. 17).

Амека сама рассказывала посетителям выставки, что создана для проведения испытаний взаимодействия между людьми на основе языка, мимики и жестов. Хотя пока она не умеет использовать весь арсенал модуляции голоса. Известно, что при общении людей многое зависит от артикуляции и изменений громкости голоса.

Представители компании Engineered Arts более 15 лет создают роботов, с которыми можно взаимодействовать, как с людьми. "Человеческое лицо — это коммуникационный интерфейс с очень высокой скоростью генерации визуальной информации за счёт подвижности мышц лица".

¹⁰ Выставка CES® (Consumer Electronics Show — Бытовая Электронная Демонстрация) — это событие в Западном мире, поскольку служит полигоном демонстрации любопытных технологий и неожиданных проектов.

Таблица 7. Разработка андроидных роботов

Год	Название	Создатель и возможности робота
2012	COMAN	Отдел передовой робототехники Итальянского технологического института. Первая версия робота-человека COMPLITANT (COMAN), который предназначен для ходьбы и балансировки по пересечённой местности [69].
2012	NimbRo	Группа автономных интеллектуальных систем Боннского университета (Германия) — платформа Humanoid TeenSize NimbRo-OP [70].
2013	TORO	Немецкий аэрокосмический центр (DLR) — робот-гуманоид TORO (гуманоидный робот ROBot с управлением с крутящими моментами) [71].
2013	SCHAFT	20–21 декабря 2013 г. DARPA Robotics Challenge в борьбе за денежный приз в размере двух миллионов долларов США представила 16 роботов-гуманоидов. Команда-лидер SCHAFT набрала 27 баллов из 30 возможных и была куплена фирмой Google [72].
2013	REEM-C	PAL Robotics запускает REEM-C, первого двуногого робота-гуманоида, разработанного как исследовательская платформа робототехники, на 100 % основанная на платформе ROS [73].
2013	Poppy	Первый гуманоидный робот с открытым исходным кодом, напечатанный на 3D-принтере, с ногами, предназначенными для двуногого передвижения. Разработан Департаментом Цветков INRIA [74].
2014	Manav	Первый в Индии робот-гуманоид, напечатанный на 3D-принтере, разработан в лаборатории Учебного и Научно-исследовательского института A-SET Дивакармом Вайшем (глава робототехники и исследований Учебного и Научно-исследовательского института A-SET) [75].
2014	Pepper robot	После приобретения Aldebaran Soft Bank Robotics производит коммерческих общедоступных роботов [76].
2014	Nadine	Женский гуманоидный социальный робот, разработанный в КНР в Наньянском Технологическом Университете в Сингапуре с лицом, похожим на его директора профессора Нади Магнелат Тальманн. Надин — социально интеллектуальный робот, который отвечает на приветствия, устанавливает зрительный контакт и запоминает все разговоры, которые он вёл с посетителями [77, 78].
2016	Sophia	Робот-гуманоид, разработанный гонконгской компанией Hanson Robotics по образу Одри Хепберн. У Софии есть искусственный интеллект, обработка визуальных данных и распознавание лиц [79].
2016	OceanOne	Разработанный командой Стэнфордского университета (США) под руководством Усамы Хатиб, OceanOne выполнил свою первую миссию, погрузившись в поиске сокровищ в затонувшем корабле у берегов Франции на глубину 100 метров. Робот управляется дистанционно, имеет в руках тактильные датчики и искусственный интеллект [80].
2017	TALOS	Компания PAL Robotics создала полностью электрического робота-гуманоида, в суставах рук которого есть датчики с крутящим моментом. Робот TALOS обладает коммуникационной технологией EtherCAT, может также манипулировать полезным грузом до 6 кг в каждом из своих захватов [81].
2018	Rashmi Robot	Ранджит Шривастав (Индия) создал многоязычного реалистичного робота-гуманоида, обладающего способностью интерпретировать наблюдаемые на лицах людей эмоции [82].
2020	Vyommitra	Индийское космическое агентство разрабатывает человекоподобного робота с женским лицом для работы на борту Gaganyaan, орбитального космического корабля с экипажем [83].
2020	Epi	Эпи (Epi), робот-гуманоид, был разработан группой Cognitive Science Robotics Group Лундского университета в Швеции. Epi создан для использования в экспериментах по развитию робототехники, и поэтому его функциональность ориентирована на изучение когнитивного развития. Его управление основано на платформе системы Ikaros [84].
2022	Robot Shalu	Самодельный индийский многоязычный робот-гуманоид с искусственным интеллектом, сделанный из старых технических деталей (отходов) школьниками, может говорить на 9 индийских и 38 иностранных языках (всего 47 языков). Был разработан Динешем Кунваром Пателем, учителем информатики, Кендрия Видьялая, Мумбаи (Индия). Робот Шалу (Shalu) может узнавать человека и запоминать его, идентифицировать множество объектов, решать математические задачи, писать гороскопы и прогнозы погоды, преподавать в классе, проводить викторины [85].
2022	Ameca	Робот-андроид (Фирма Engineered Arts). На момент своего создания он считался наиболее удачным в плане подражания эмоциям человека. Робот умеет копировать человеческую мимику и речь, вести осмысленный диалог. Может стоять на ногах, но пока не умеет ходить, но неплохо работает руками [86].

4.2. Человек или робот?

Особая задача распознавания образов

Очевидно, что не только лицо формирует нашу идентичность, но и походка и внешний вид, жесты, тембр голоса и умение слушать собеседника, а также содержательность беседы. Хотя снабдить андроидов всем арсеналом перечисленных средств и реакций — сложная, но техни-

чески выполнимая задача. Более того, можно смоделировать передачу эмоций от человека к андроиду и от андроида к человеку на основе подражания.

Опыты показывают, что эмоциональная компонента в наших взаимоотношениях с роботами имеет большое значение. Если андроид имеет естественный человеческий голос, то мы не сможем избежать ощущения, что

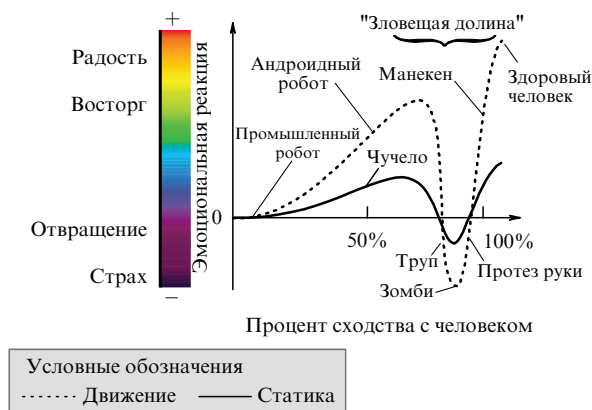


Рис. 18. "Зловещая долина" Масахиро Мори.

перед нами не робот, а человек, даже если робот будет не всегда логично отвечать на наши вопросы. Важен эффект присутствия собеседника. Однако когда робот не очень похож на человека, т.е. заметны отличия, то возникает неприятное чувство. Если этот порог пройден (неестественность облика и движений устранена), то робота начинают воспринимать как человека. Чтобы пройти границу неприязни, надо добиться не только физического подобия, но и интеллектуальной возможности вести разумный разговор. Крылатое выражение: *"встречают по одежке, а провожают по уму"*.

В 1978 году японский учёный Масахиро Мори провёл опрос среди людей, взаимодействующих с разными роботами, исследуя при этом их эмоциональную реакцию на внешний вид роботов. Поначалу результаты были предсказуемыми: чем больше робот похож на человека, тем симпатичнее он кажется — но лишь до определённого предела. Наиболее человекоподобные роботы неожиданно оказались неприятны людям из-за мелких несоответствий облику человека, вызывающих чувство дискомфорта и страха. Неожиданный спад на графике "эмоций" был назван "Зловещей долиной" (рис. 18). Масахиро Мори обнаружил, что анимация усиливает и позитивное, и негативное восприятие [87].

Заметим, что развитие цифровых информационных технологий изменяет восприятие людей. В результате периодически возникают дискуссии на тему: можно ли к роботам применять такие понятия, как мышление? Аргументация сторонников искусственного интеллекта проста. Компьютеры имеют дело не с самими явлениями, а с их моделями в виде программ, реализующих алгоритмы. Одна и та же модель может описывать разные природные явления. В этом смысле программа универсальна и, в принципе, казалось бы, может воспроизвести любую работу мозга с высокой точностью. Разработчики информационных технологий высказывали мнение, что с такой точки зрения все существующие ограничения базируются на тех упрощениях, которые неизбежны сегодня, но настанет время, когда более совершенные программы позволят избавиться от подобных ограничений и тем самым качественно изменят интеллектуальные способности компьютерной техники.

Оценка совершенства программы базируется на результатах эксперимента, основанного на операционном методе. Его основные положения были сформулированы давно. Ещё У.Р. Эшби в середине XX в. определил четыре составные части операционного метода [88]:

1) метод должен быть определён в форме рабочего приёма;

2) он должен быть применим к исследованию всех материальных "машин" — как одушевлённых, так и неодушевлённых;

3) способ получения информации от "машины" должен быть доступен для воспроизведения и демонстрации;

4) источником информации должна служить сама "машина" — никакой другой источник не допускается.

Более 70 лет назад А. Тьюринг (*Alan Turing*) предложил тест [89], с помощью которого он хотел ответить на вопрос: мыслит ли машина? Позднее Д. Сирл (*John Searle*) (иногда его фамилию на русском языке пишут Сёрл) доказал несостоятельность теста Тьюринга [90]. С помощью придуманного мысленного эксперимента Д. Сирл показал, что использование некоторым устройством программы, пускай даже совершенной, ещё не может свидетельствовать о её разумности и наличии у неё *сознания*. Появление *мышления* и *сознания* (как было показано выше) является результатом длительной эволюции живых органических систем. Поэтому никакую деятельность каких бы то ни было анализирующих систем, существующих на другой материальной основе, с другим набором созданных искусственно реакций не следует называть термином *сознание*.

Может показаться, что этот семантический спор лишён смысла, поскольку несёт на себе груз терминов, для многих целей полезных, но неопределённых. Существенно, однако, то, что содержательная часть разногласий затрагивает более общий вопрос о стратегии познания окружающего мира людьми. Когда лектор, используя программу Zoom Video Communications, позволяющую дистанционно подключить с помощью видеотелефонии множество слушателей и на расстоянии общаться с аудиторией, отвечая на вопросы, то мало кто из слушателей может заподозрить, что на мониторе видеосвязи находится не человек, а робот. Тем не менее сегодня ситуация изменилась. На мониторе может быть и робот — это уже экспериментально доказано.

Например, японский инженер Хироси Исигуро (*Hiroshi Ishiguro*, с 2003 г. профессор Осацкого университета) известен как создатель серии человекоподобных роботов. Одно из его творений, Geminoid Hi ростом 180 см, повторяет облик самого создателя робота и заменяет его во время лекций. Это дистанционно управляемый робот, под силиконовой кожей которого пластиковый череп, металлический каркас и тело из пенополиуретана, тактильные датчики и пневматические приводы. Он имел несколько модификаций [91] (рис. 19).

Хироси Исигуро так определяет цель замены себя созданным роботом-двойником: *"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"*.

Создание андроидных роботов вновь вызвало старую бессмысленную дискуссию. Есть ли у робота *сознание*? Вновь была высказана гипотеза о существовании сознания не только у человека, но и у робота. Другими словами, *сознание* — это не объективная реальность, а просто субъективный феномен. Некоторые нейробиологи го-



Рис. 19. Профессор Хироши Исигуро (справа) и его двойник робот-андроид (слева).

ворят, что душа или сознание — это всего лишь взаимное функционирование частей коры и подкорки нашего мозга (см. рис. 2). Бихевиористы считают, что сознания не существует, это иллюзия, в которую мы верим.

Когда человек заявляет, что у него есть *сознание*, то бихевиористы будут возражать, что так мог бы сказать и самообучающийся суперкомпьютер. Сознание — субъективный феномен, и его нельзя продемонстрировать другим людям. Следовательно, он основан на договоренности между людьми. Я верю в то, что вы не суперкомпьютер, а вы считаете, что я не человек, а суперкомпьютер. Это лишь наша вера.

В заключение следует отметить, что существует множество нейрокомпьютерных структур, имитирующих мышление разных сенсорных модальностей [92–94]. Можно попытаться приложить к моделированию сознания релятивистскую теорию, основанную на относительности суждений каждого из нас по отношению к имеющим место в социуме "машин" похожих или не похожих на нас. Недавно такая попытка была сделана физиками Нир Лахав из Университета Бар-Илан (Израиль) и Захарией Нимех из Университета Мемфиса (США), которые опубликовали статью под названием "Теория относительности сознания" [19]. В статье они отметили: "*Феномен сознания не является частным или вымышленным понятием, он просто релятивистский. В системе отсчёта когнитивной системы сознание будет наблюдаемым с точки зрения одного наблюдателя, но при этом не наблюдаемо другим, который будет утверждать, что это иллюзия. В другой когнитивной системе ситуация может быть обратной. Ни одну из позиций этих двух наблюдателей нельзя считать привилегированной...*". Итак, сложность определения термина "сознание" при различных подходах связана с тем, что каждый экспериментатор, использующий тот или иной метод исследований, сталкивается со специфическим набором неопределённостей, затрудняющих решение этой проблемы в целом. Эта ситуация аналогична известной древнеиндийской притче "Слепые и слон" [95], иллюстрирующей заблуждения слепых, ощупывающих разные части слона и не понимающих, на что это существо похоже. Их утверждения ошибочны, поскольку связаны с фрагментарной доступностью источников информации.

5. Выводы

1. Сознание нельзя однозначно определить для всего человечества, поскольку сознание одного человека не

тождественно сознанию другого. Отсюда вытекает многообразие определений термина *сознание*. Оценивать похожесть сознания можно только в относительных единицах при сравнении похожих его носителей.

2. Нахождение отличия зависит от того, какие признаки различия мы положили в основу распознавания и классификации. Ошибки при выборе признаков, используемых при классификации, приводят к парадоксам, поэтому ответ на вопрос: может ли машина иметь сознание? — зависит от договорённости между исследователями, поскольку разные их группы вкладывают в данный термин свой смысл.

3. Человек работает с тремя характеристиками информации: *синтаксической, семантической и прагматической*. Синтаксическая связана с техническими проблемами хранения и передачи информации, семантическая имеет отношение к смыслу и значению истинности сообщений, прагматическая — это влияние информации на поведение воспринимающих информацию систем. У работа семантическая и прагматическая характеристики редуцированы, а целевая функция задана программистом.

4. Согласно давно известному негэнтропийному принципу, информация есть негэнтропия [96]. Умение мыслящими людьми создавать новую информацию, адаптируясь к внешней среде, делиться полученными знаниями с другими людьми повышает устойчивость существования как каждого отдельного человека, так и всего человечества в целом.

Казалось бы, что этими выводами из четырёх пунктов можно закрыть тему. Однако с быстрым развитием цифровых технологий, искусственного интеллекта и робототехники человечество вступило в весьма неопределённую и поэтому опасную фазу своего развития.

6. Постскрипtum

Непрерывно создаваемые человеком новые технологии меняют внешний мир, а его изменение меняет самого человека. Мы уже живём в эпоху гигантского столкновения реального и виртуального миров. Возникающую ситуацию можно назвать *информационным психозом*, при котором пороги между мирами в голове многих представителей человеческой популяции начали исчезать. При этом может возникнуть нарушение устойчивости общества. В своё время человек из животного мира выделился тем, что создал новые носители информации с большими характерными временами жизни, далеко выходящими за пределы жизни одного поколения людей (письменность, искусство, тиражирование информации путём размножения текстов и, наконец, создание новых видов долговременной памяти в эпоху компьютеризации и Интернета). Всё это способствовало развитию информационных технологий и технологическому ускорению развития человеческого общества. Однако в настоящее время широкое использование искусственного интеллекта (ИИ), основанного на статистическом машинном обучении, уже начало приводить к проблемам. Ограничусь двумя примерами.

Известный американский лингвист, философ и профессор Массачусетского технологического института Эврем Ноум Хомский¹¹ (*Avram Noam Chomsky*) в силу

¹¹ Э.Н. Хомский (1928 г.р.) внёс большой вклад в классификацию формальных языков, именуемую *иерархия Хомского*, что содействовало развитию когнитивных наук.

своего многолетнего опыта считает, что развитие ИИ пошло по неправильному и даже опасному для человечества пути. Хотя статистический подход может иметь практическую ценность, например, для полезной поисковой работы, и облегчает при наличии быстрых компьютеров обработку больших объёмов данных, но с научной точки зрения такой подход неадекватный, или, говоря более жёстко, поверхностный.

Хомский неоднократно делился с читателями своим мнением о чат-ботах, реализованных в виде компьютерных программ ChatGPT, OpenAI, Bing AI. Напомним, что под *чат-ботами* (англ. *chatbot*) понимают виртуального собеседника, создаваемого программой компьютера. Чат-бот следит в Интернете за человеком-пользователем, коллекционирует и анализирует его запросы и переписку, а затем на основе статистического анализа этих данных формирует психологический портрет клиента и как бы стремится преодолеть возникшие у человека проблемы.

Автоматически общаясь с клиентом, *чат-бот* с помощью текста или голоса ведёт диалог с клиентом с целью в сжатые сроки предоставить ему актуальную информацию или готовый продукт. Хомский отмечает, что широкое использование подобных программ с ИИ создаёт иллюзию их сверхполезности, поскольку они якобы могут конкурировать с человеческим разумом. Однако *чат-боты* работают в виртуальном мире Интернета, основанном на статистической вероятности, а не в реальном мире знаний и понимания происходящих событий в жизни людей. От себя замечу, *чат-боты*, основываясь лишь на статистике, могут в равной степени утверждать, что Земля круглая или плоская. Более того, они могут прийти к заключению, что искусственное распространение суицида или роста сексуальных меньшинств (ЛГБТ сообществ) в обществе людей полезно, так как это ограничивает рост населения, или что классическая семья (муж, жена и их дети) — это архаизм и т.д. Советы *чат-ботов* поверхностны и поэтому сомнительны. Подобные ошибки при общении с чат-ботами будут приводить к обману людей и в лучшем случае заканчиваться судами. С позиции юриста, кому принадлежат права на произведения, созданные нейросетями, или кто должен отвечать за нанесённый ИИ ущерб? Может ли ИИ быть правообладателем чего-либо созданного им самостоятельно? Суды к рассмотрению подобных дел пока не готовы, поскольку нет законодательной основы. Существующее желание у фирм, создающих программы ИИ, собрать большие массивы данных понятно, но непонятно, в какую теорию эти данные могут уложиться. Русская поговорка — *"слышат звон, но не знают, где он"*, — хорошо отражает итог работы подобных программ.

Подобные дискуссии поднимают извечный философский вопрос науковедения: как делается настоящая научная теория? Как определяется успех в науке? Наука создаётся Разумом и Сознанием людей. Человеческий разум, в отличие от *чат-ботов*, работает с небольшими объёмами информации и не стремится доверяться грубым корреляциям и вероятностным оценкам, а ищет, прежде всего, объяснение событий и прогноз негативных последствий. Вывод: *чат-боты торгуют просто вероятностями, которые к тому же меняются со временем.*

29 марта 2023 года некоммерческая организация Future of Life на своём сайте опубликовала открытое письмо. В нём глава фирмы SpaceX, хозяин ряда других

фирм и миллиардер Илон Маск (*Elon Reeve Musk*), соучредитель фирмы Apple Стив Возняк (*Stephen Gary Wozniak*), предприниматель и политик Эндрю Янг (*Andrew Yang*) и ещё тысяча исследователей ИИ призвали "немедленно приостановить" обучение систем ИИ, "более мощных, чем GPT-4". Основная часть их письма следующая: *«Системы искусственного интеллекта, конкурирующие с человеком, могут представлять серьёзную опасность для общества и человечества, продвинутый ИИ может запустить глубокие изменения в истории жизни на Земле, и его следует разрабатывать и управлять им с соразмерной тщательностью и ограничениями. К сожалению, такого уровня планирования и управления не существует, в последние месяцы лаборатории искусственного интеллекта находятся в неконтролируемой гонке по разработке и развёртыванию всё более мощных "цифровых умов". Никто, даже их создатели, уже не могут понять, как работают эти системы, а, следовательно, не имеют надёжных методов их контроля. Современные системы искусственного интеллекта становятся источниками негативной пропаганды и фейков, нарушая устойчивость общества в решении важных задач, стоящих перед человечеством. Мы должны спросить себя: должны ли мы позволять машинам наводнять абсурдными сведениями наши информационные каналы? Должны ли мы автоматизировать все рабочие места, в том числе те, которые потенциально замещаемы ИИ? Должны ли мы развивать "нечеловеческие умы", которые в конечном итоге могут превзойти нас как скоростью, так и хитростью? Должны ли мы рисковать потерей контроля над развитием нашей цивилизации? Мощные системы искусственного интеллекта следует разрабатывать только тогда, когда мы уверены, что их использование будет положительным, а риски управляемыми. Эта уверенность должна быть хорошо обоснована и развита в рамках совершенствования контроля за работой таких систем. В недавнем заявлении OpenAI относительно всеобщего искусственного интеллекта говорится, что "в какой-то момент может оказаться важным получить независимую оценку, прежде чем приступать к обучению будущих систем, и для самых передовых усилий согласиться ограничить скорость роста вычислений, используемых для создания новых моделей". Мы согласны с этим ограничением. Этот момент уже наступил. Поэтому мы призываем все лаборатории ИИ немедленно приостановить как минимум на шесть месяцев обучение систем ИИ, более мощных, чем GPT-4. Эта пауза должна быть всеобщей и контролируемой, и в ней должны участвовать все ключевые участники. Если такую паузу нельзя установить быстро, то Правительства должны вмешаться и директивно ввести мораторий. Лаборатории искусственного интеллекта и независимые эксперты должны использовать эту паузу для совместной разработки и внедрения набора общих протоколов безопасности для усовершенствованного проектирования и разработки ИИ, которые будут контролироваться независимыми внешними экспертами. Эти протоколы должны гарантировать, что разрабатываемые системы ИИ будут абсолютно безопасны. Это не означает остановку развития ИИ в целом, а просто шаг назад от опасной гонки с непредсказуемыми последствиями. Исследования и разработки в области ИИ должны быть переориентированы на то, чтобы сделать мощные современные системы ИИ более точными, но безопасными, интерпретируемыми, прозрачными, надёжными и заслуживающими доверия. Параллельно разработчи-*

ки ИИ должны работать с политиками, чтобы значительно ускорить разработку надёжных систем контроля ИИ. Эти усилия должны, как минимум, включать новые и дееспособные регулирующие органы, занимающиеся вопросами ИИ, надзором и отслеживанием высокопроизводительных систем ИИ. В этом случае человечество сможет наслаждаться процветающим будущим с ИИ. В своё время общество приостановило использование других технологий с потенциально катастрофическими последствиями. Мы можем применить эту меру и здесь».

Из приведённого текста обращения трудно понять, чего в нём больше — беспокойства за судьбу человечества или желания затормозить конкурентов в борьбе за новый информационный рынок.

Сегодня всё более заметной становится однобокая тенденция развития части молодого поколения на основе компьютерных игр, что приводит к вытеснению реальности из их сознания. Эта молодежь, взрослея, размножает доверчивую клиентуру *чат-ботов*, что действительно начинает приводить к непредсказуемым последствиям. Виртуальный мир в мозге ребёнка, воспитанного на виртуальном компьютерном мире, живёт по законам, которые часто не совпадают с законами реального мира. Это расхождение чревато нарушением устойчивости его психики (эффект киберпанкизма) и может привести в будущем и уже приводит к изменению значительной части вида *Homo Sapiens*.

Однако можно с уверенностью утверждать, что развитие систем ИИ и программ *чат-ботов* остановить не удастся. Крупные лаборатории либо прекратят публикации в отношении того, что они делают, либо при законодательном запрещении в данной стране вынесут свои разработки в другие страны, либо будут доказывать, что их работы несут исключительно благо для всего человечества. Поскольку на Земле уже сформировалось общество потребления, в котором правят исключительно деньги, фирмы будут искать и найдут десятки способов обойти запреты. Русская поговорка: *"Пока жареный петух не клонет"*, — хорошо отражает поведение современных финансовых элит. Возможно, что вскоре *"петух клонет"*, эксперты банка *Goldman Sachs Group* (крупнейшего инвестиционного банка США) сообщали, что в ближайшее время с развитием ИИ без работы могут остаться ещё более 300 млн человек. Кроме того, обращение за советом к *чат-ботам* может вызвать среди подростков, как неустойчивой части общества, рост самостерилизации и суицида.

Тем не менее возможен и оптимистический прогноз. Риски возникали и существовали всегда. Прогнозировать поведение сложных нелинейных систем практически невозможно. Следующее поколение, скорее всего, будет умнее существующего. Подобная ситуация — обычная в развитии человечества и периодически повторяется. Поэтому есть надежда, что и с новыми рисками человечество справится. Однако для этого необходимо интенсивное развитие образования, настроенного на развитие междисциплинарных наук и на усиление пропаганды их научных достижений. Природа едина, а её деление на рубрики условно [4].

Эффективность междисциплинарных наук должна вызывать оптимизм у молодежи, поскольку ускорит выяснение, что все частные риски, как и физические законы, несмотря на их разнообразие, обладают некоторыми общими чертами. Их усвоение ускорит адаптацию чело-

вечества к нововведениям. Здесь уместно напомнить, что наиболее плодотворными оказываются приложения математического формализма на границах рубрикаторов наук. Ещё в 1944 г. известный французский математик Жак Адамар (фр. *Jacques Salomon Hadamard*) написал книгу *"Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique"* (*"Исследование психологии процесса изобретения в области математики"*). Насколько мне известно, на русский язык она переводилась дважды [97]. Главная её мысль, что тому, кто хочет обнаружить скрытое, важно не замыкаться в одной области науки, а сохранять связь с другими её областями. По сути, в упомянутой книге изложена идея об особой роли сознания и мышления в развитии математики. Хотя автор этого в явной форме не указывает, но в неявной форме в ней изложена новая ветвь биофизики, которую можно было бы назвать психофизикой.

Тем не менее не стоит преувеличивать, а тем более абсолютизировать значение тех или иных физико-математических идей или сценариев и их сегодняшнюю прогностическую ценность, в том числе обобщённую теорию Хищник–Жертва. Поскольку, в лучшем случае, их придётся ещё много раз модифицировать, а в худшем — заменить на нечто новое. Эта ситуация — обычная в процессе развития науки. Поскольку *биофизика* как наука пока основана на классической механике, которая ограничена сверху Общей теорией относительности, а снизу квантовой механикой, то от их взаимного ускоренного развития зависит не только решение многих практических задач биомедицины и экологии, но и движение всего фронта фундаментальной науки, включая развитие ИИ [29].

Необходимо понять, не только как работает наш мозг с носителями информации, но и как он работает со смыслом создаваемой и передаваемой информации. При обобщении результатов исследования, с одной стороны, нужно избегать ошибок, порожаемых пластичностью мозга человека и большим индивидуальным разбросом восприятия людьми смыслов информации. Мой опыт показывает, что это весьма непростая задача. Исследователь при изучении мозга, чтобы не выдавать желаемое за действительное, должен учитывать узкий, но непрерывно меняющийся коридор при исследовании каждого индивидуального мозга. Другими словами, исследователь в этом случае находится между Сциллой и Харибдой. Многие выдающиеся люди, посвятившие свою жизнь нейронаукам, становились жертвами ошибочных трактовок полученных результатов. В качестве примера приведу краткий перечень причин подобных ошибок, состоящий из их четырёх групп (возможно, что в реальности их много больше).

1. Ошибки из-за переоценки влияния внешней среды:

- Переоценка значимости частных случаев, диктуемых внешними обстоятельствами.
- Ошибки из-за безграничной веры в непогрешимость математики.
- Переоценка влияния внешнего воздействия на будущие события.

2. Ошибки из-за недооценки влияния внешней среды:

- Недооценка случайностей, т.е. предположение, что события всегда испытывают влияние предыдущих событий.
- Недооценка эффекта усиления внушения, когда многократно повторяемая ложь может в силу внушения казаться правдой.

• Недооценка преобладания в нашей памяти позитивного восприятия прошлых событий, возникающего из-за изменений нашего возраста, и условий прошлого периода.

3. Ошибки, связанные с работой мозга на границе порядка и хаоса.

• Ошибка, возникающие из-за повышенного внимания к какому-то одному аспекту явления, что ограничивает диапазон предсказания в целом.

• Ошибочное предположение, что всегда можно контролировать или, по крайней мере, влиять на результаты событий.

• Недооценка того, что последнее событие запоминается лучше и вытесняет из памяти прошлые события.

4. Ошибки из-за быстрого изменения влияния социального окружения.

• Некритическое отношение к оценке событий какой-либо заметной личностью и зависимостью от этого мнения.

• Пренебрежение возникающими парадоксами из-за взглядов, которые разделяет большинство людей.

• Ошибочное и бессознательное предположение, что все другие разделяют твоё мнение.

Однако надёжных рецептов, как избежать подобных ошибок, пока нет. Каждому из нас остаётся надеяться лишь на развитие собственной интуиции и собственный опыт.

Закончить статью я хочу словами: *маловероятно, что Человек, развивая информационные технологии, загнал себя в безвыходный тупик. Выход на основе компромисса в ближайшее время будет найден и послужит новым этапом ускорения развития человечества с широким использованием ИИ как инструмента познания окружающего нас мира и самого себя.*

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

Список литературы

- Pribram K H *Languages of the Brain; Experimental Paradoxes and Principles in Neuropsychology* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1971); Пер. на русск. яз.: Прибрам К *Языки мозга. Экспериментальные парадоксы и принципы нейропсихологии* (М.: Прогресс, 1975)
- Everett H (III) "'Relative state' formulation of quantum mechanics" *Rev. Mod. Phys.* **29** 454 (1957)
- Менский М Б "Концепция сознания в контексте квантовой механики" *УФН* **175** 413 (2005); Menskii M B "Concept of consciousness in the context of quantum mechanics" *Phys. Usp.* **48** 389 (2005)
- Рабинович М И, Мюезинолу М К "Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность" *УФН* **180** 371 (2010); Rabinovich M I, Muezzinoglu M K "Nonlinear dynamics of the brain: emotion and cognition" *Phys. Usp.* **53** 357 (2010)
- Доронина-Амитонова Л В и др. "Нейрофотоника: оптические методы исследования и управления мозгом" *УФН* **185** 371 (2015); Doronina-Amitonova L V et al. "Neurophotonics: optical methods to study and control the brain" *Phys. Usp.* **58** 345 (2015)
- Жёлтиков А М "Критика квантового разума: измерение, сознание, отложенный выбор и утраченная когерентность" *УФН* **188** 1119 (2018); Zheltikov A M "The critique of quantum mind: measurement, consciousness, delayed choice, and lost coherence" *Phys. Usp.* **61** 1016 (2018)
- Жёлтиков А М, Скалли М О "Запутанные фотоны для микроскопии живых систем: за пределами возможного" *УФН* **190** 749 (2020); Zheltikov A M, Scully M O "Photon entanglement for life-science imaging: rethinking the limits of the possible" *Phys. Usp.* **63** 698 (2020)
- Ramachandran V S *The Tell-Tale Brain: A Neuroscientist's Quest for What Makes Us Human* (New York: Norton and Co., 2011); Пер. на русск. яз.: Рамачандран В С *Мозг рассказывает: что делает нас людьми* (Пер. с англ. Е Чепель) (М.: Карьера Пресс, 2015) 394 с.; van Peer W "Ramachandran, V. S. (2011) The tell-tale brain: A neuroscientist's quest for what makes us human" *Sci. Study Literature* **3** (1) 161 (2013) Book Review, <https://doi.org/10.1075/ssol.3.1.14pee>
- Parkinson B, Fischer A H, Manstead A S R *Emotion in Social Relations. Cultural, Group, and Interpersonal Processes* (New York: Psychology Press, 2005)
- Oatley K, Keltner D, Jenkins J M (Eds) *Understanding Emotions* 2nd ed. (Malden, MA: Blackwell Publ., 2006); Green M "Understanding emotions (2nd edition)" *Acta Neuropsychiatrica* **19** (2) 133 (2007)
- Лейбниц Г В *Сочинения в четырех томах* Т. 1–4 (М.: Мысль, 1982, 1983, 1984, 1989)
- Лейбниц Г В "Новая система природы и общения между субстанциями, а также о связи, существующей между душою и телом" *Сочинения в четырех томах* Т. 1 (М.: Мысль, 1982) с. 271
- Lewis C I *Mind and the World-Order: Outline of a Theory of Knowledge* (New York: C. Scribner's Sons, 1929)
- Иваницкий Г Р "Люди-Х, обладающие необычным взаимодействием рецепторных систем, конструируют внутри себя мир новых образов" (к 140-летию со дня рождения академика П.П. Лазарева) *УФН* **189** 759 (2019); Ivanitskii G R "X-men: humans with an unusual interaction between receptor systems who construct a world of new images within themselves" (on the 140th anniversary of the birth of Academician P P Lazarev) *Phys. Usp.* **62** 711 (2019)
- Симонов П В *Избранные труды* Т. 1 (М.: Наука, 2004) в 2-х т., с. 396
- Иваницкий Г Р "Первый Всесоюзный биофизический съезд" *Биофизика* **27** (4) 749 (1982)
- Иваницкий Г Р "XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики" *УФН* **180** 337 (2010); Ivanitskii G R "21st century: what is life from the perspective of physics" *Phys. Usp.* **53** 327 (2010)
- Иваницкий Г Р "Почему не прекращаются дискуссии на тему: Что такое жизнь с точки зрения физики (ответ на статью А М Смоловича "Гипотеза о физической природе феномена жизни)" *Биофизика* **66** (5) 1022 (2021); Ivanitskii G R "The reason that discussion of what life is from the perspective of physics still continues (a response to the article by A.M. Smolovich "A hypothesis about the physical phenomenon of life)" *Biophysics* **66** (5) 872 (2021)
- Lahav N, Neemeh Z A *Front. Psychol.* **12** 704270 (2021) published: 12 May 2022, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.704270>
- Zemskov E P et al. "Wavy fronts in reaction-diffusion systems with cross advection" *Eur. Phys. J. B* **72** 457 (2009) <https://doi.org/10.1140/epjb/e2009-00370-5>
- Zemskov E P et al. "Solitary pulses and periodic wave trains in a bistable FitzHugh–Nagumo model with cross diffusion and cross advection" *Phys. Rev. E* **105** 014207 (2022)
- Чернавский Д С *Синергетика и информация: динамическая теория информации* (М.: Наука, 2001)
- Кравцов Ю А (Ред.-сост.) *Пределы предсказуемости* (М.: ЦентрКом, 1997)
- Kaku M *The Future of the Mind: the Scientific Quest to Understand, Enhance, and Empower the Mind* (New York: Doubleday, 2014); Пер. на русск. яз.: Каку М *Будущее разума* (М.: Альпина нон-фикшн, 2015)
- Ellison A M, Gotelli N J "Energetics and the evolution of carnivorous plants — Darwin's 'most wonderful plants in the world'" *J. Exp. Botany* **60** (1) 19 (2009)
- Иваницкий Г Р, Медвинский А Б, Цыганов М А "От беспорядка к упорядоченности — на примере движения микроорганизмов" *УФН* **161** (4) 13 (1991); Ivanitskii G R, Medvinskii A B, Tsyganov M A "From disorder to order as applied to the movement of micro-organisms" *Sov. Phys. Usp.* **34** 289 (1991)
- Tsyganov M A et al. "The mechanism of the fractal-like structure formation by bacterial populations" *J. Biol. Phys.* **25** 165 (1999)

28. Mimura M, Sakaguchi H, Matsushita M "Reaction-diffusion modelling of bacterial colony patterns" *Physica A* **282** 283 (2000)
29. Иваницкий Г Р, Медвинский А Б, Цыганов М А "От динамики популяционных автоволн, формируемых живыми клетками, к нейроинформатике" *УФН* **164** 1041 (1994); Ivanitskii G R, Medvinskii A B, Tsyganov M A "From the dynamics of population autowaves generated by living cells to neuroinformatics" *Phys. Usp.* **37** 961 (1994)
30. Biktashev V N, Tsyganov M A "Solitary waves in excitable systems with cross-diffusion" *Proc. R. Soc. A* **461** 3711 (2005)
31. Цыганов М А и др. "Волны в кросс-диффузионных системах — особый класс нелинейных волн" *УФН* **177** 275 (2007); Tsyganov M A et al. "Waves in systems with cross-diffusion as a new class of nonlinear waves" *Phys. Usp.* **50** 263 (2007)
32. McKean H P (Jr.) "Nagumo's equation" *Adv. Math.* **4** 209 (1970)
33. Rinzel J, Keller J B "Traveling wave solutions of a nerve conduction equation" *Biophys. J.* **13** 1313 (1973)
34. Montgomery S *The Soul of an Octopus: a Surprising Exploration into the Wonder of Consciousness* (New York: Atria Books, 2015); Пер. на русск. яз.: Монтгомери С *Душа осьминога: тайны сознания удивительно существа* (М.: Альпина нон-фикшн, 2018)
35. "Энциклопедия природы: Осьминог (*Octopus vulgaris*)", https://www.floranimal.ru/animals/catalog/oktopodidy/osminog/?phrase_id=10805
36. Albertin C B et al. "The octopus genome and the evolution of cephalopod neural and morphological novelties" *Nature* **524** 220 (2015)
37. Hanlon R T, Messenger J B *Cephalopod Behaviour* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996)
38. Crook R J "Behavioral and neurophysiological evidence suggests affective pain experience in octopus" *Science* **24** 102229 (2021)
39. MacLean P D *The Triune Brain in Evolution: Role in Paleocerebral Functions* (New York: Plenum Press, 1990)
40. Тирас Х П, Хачко В И "Критерии и стадии регенерации у планарий" *Онтогенез* **21** 620 (1990)
41. Kaku M *The Future of the Mind: the Scientific Quest to Understand, Enhance, and Empower the Mind* (New York: Penguin Books, 2015); Пер. на русск. яз.: Каку М *Будущее разума* (М.: Альпина нон-фикшн, 2018)
42. Modesto S P, Anderson J S "The phylogenetic definition of Reptilia" *Systematic Biology* **53** 815 (2004)
43. Eakin R M *The Third Eye* (Berkeley, CA: Univ. of California Press, 1973)
44. Labra A et al. "Evolution of the third eye: a phylogenetic comparative study of parietal-eye size as an ecophysiological adaptation in *Liolaemus* lizards" *Biol. J. Linnean Soc.* **101** 870 (2010)
45. Иваницкий Г Р *Мир глазами биофизика* (М.: Педагогика, 1985)
46. Winfree A T *The Timing of Biological Clocks* (New York: Scientific American Library, 1987); Пер. на русск. яз.: Уинфри А Т *Время по биологическим часам* (М.: Мир, 1990)
47. Иваницкий Г Р, Панфилов А В, Цыганов М А "Механизмы пульсаций пространственного распределения численности делющихся биообъектов" *Биофизика* **32** (2) 354 (1987)
48. Иваницкий Г Р и др. "От "демона Максвелла" к самоорганизации процессов массопереноса в живых системах" *УФН* **168** 1221 (1998); Ivanitskii G R et al. "From Maxwell's demon to the self-organization of mass transfer processes in living systems" *Phys. Usp.* **41** 1115 (1998)
49. Basma J et al. "The evolutionary development of the brain as it pertains to neurosurgery" *Cureus* **12** e6748 (2020)
50. Cesario J, Johnson D J, Eisthen H L "Your brain is not an onion with a tiny reptile inside" *Current Directions Psycholog. Sci.* **29** (3) 255 (2020) <https://doi.org/10.1177/0963721420917687>
51. Чернавский Д С "Проблема происхождения жизни и мышления с точки зрения современной физики" *УФН* **170** 157 (2000); Chernavskii D S "The origin of life and thinking from the viewpoint of modern physics" *Phys. Usp.* **43** 151 (2000)
52. Мелик-Гайказян И В *Информационные процессы и реальность* (М.: Наука, 1997)
53. Machlup F *The Production and Distribution of Knowledge in the United States* (Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press, 1962); Пер. на русск. яз.: Махлуп Ф *Производство и распространение знаний в США* (М.: Прогресс, 1966)
54. Бонгард М М *Проблема узнавания* (М.: Наука, 1967); Пер. на англ. яз.: Bongard M *Pattern Recognition* (New York: Spartan Books, 1970)
55. Rose S *The Making of Memory: from Molecules to Mind* (New York: Bantam Press, 1992); Пер. на русск. яз.: Роуз С *Устройство памяти: от молекул к сознанию* (М.: Мир, 1995)
56. Аллахвердов В М *Сознание как парадокс* (СПб.: ДНК, 2000)
57. Корогодин В И "Информация и феномен жизни", Препринт (Пушино: АН СССР, Радиобиологическое общество СССР, Объединенный институт ядерных исследований, 1991)
58. Ramachandran V S *The Tell-Tale Brain: A Neuroscientist's Quest for What Makes Us Human* (Chicago, IL: Random House Publ., 2012); Пер. на русск. яз.: Рамачандран В С *Мозг рассказывает: что делает нас людьми* (Пер. с англ. Е Чепель) (М.: Карьера Пресс, 2012)
59. Иваницкий Г Р "Робот и человек. Где находится предел их сходства?" *УФН* **188** 965 (2018); Ivanitskii G R "The robot and the human. Where's their similarity limit?" *Phys. Usp.* **61** 871 (2018)
60. Харкевич А А *О ценности информации* (Проблемы кибернетики, Вып. 4) (М.: Физматгиз, 1960)
61. Корогодин В И, Корогодина В Л *Информация как основа жизни* (Дубна: Феникс, 2000)
62. Shannon C "The Bandwagon" *Trans. IRE* **2** (1) 3 (1956); Пер. на русск. яз.: Шеннон К "Бандвагон" *Работы по теории информации и кибернетики* (М.: ИЛ, 1963) с. 667
63. Kohonen T *Content-Addressable Memories* (Berlin: Springer-Verlag, 1980); Пер. на русск. яз.: Кохонен Т *Ассоциативные запоминающие устройства* (М.: Мир, 1982)
64. Борисюк Г Н и др. "Модели динамики нейронной активности при обработке информации мозгом — итоги десятилетия" *УФН* **172** 1189 (2002); Borisjuk G N et al. "Models of neural dynamics in brain information processing — the developments 'of the decade'" *Phys. Usp.* **45** 1073 (2002)
65. Kazanovich Ya, Borisjuk R "Synchronization in oscillator systems with a central element and shifts" *Prog. Theor. Phys.* **110** 1047 (2003)
66. Borisjuk R M, Kazanovich Ya B "Oscillatory model of attention-guided object selection and novelty detection" *Neural Networks* **17** 899 (2004)
67. Жуков Д А *Биологические основы поведения. Гуморальные механизмы* (СПб.: Юридический центр Пресс, 2022) 691 с.
68. Shannon C E "Communication theory of secrecy systems" *Bell Syst. Tech. J.* **28** 656 (1949)
69. Compliant HuMANoid Platform (COMAN). Archived from the original on 2012-12-05, https://www.researchgate.net/figure/COMpliant-HuMANoid-Platform-COMAN-developed-by-IIT-and-used-in-the-experiments-to_fig1_272011225
70. Schwarz M et al. "Humanoid TeenSize Open Platform Nimbo-OP", in *RoboCup 2013: Robot World Cup XVII* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8371, Eds S Behnke et al.) (Berlin: Springer, 2013) p. 568
71. DLR — Institute of Robotics and Mechatronics — Toro. Retrieved 2019-06-17, <https://www.dlr.de>
72. The robotics. Archived from the original on 2015-06-11, <https://www.challenge.org/>
73. REEM-C — ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics
74. Meet Poppy, the open source/open hardware humanoid robot inspiring innovation in labs and classrooms! IEEE SCV RAS Chapter (2015), <https://r6.ieee.org/scv-ras/2015/01/30/poppy/>
75. Menezes B "Meet Manav, India's first 3D-printed humanoid robot". Archived from the original on 2015-09-29, <https://www.livemint.com/Industry/rc86Iu7h3rb44087oDts1H/Meet-Manav-Indias-first-3Dprinted-%20humanoid-robot.html>
76. Pepper — ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics, <https://robots.ieee.org/robots/pepper/>
77. Zhang J, Thalmann N M, Zheng J "Combining memory and emotion with dialog on social companion: a review", in *Proc. of the ACM 29th Intern. Conf. on Computer Animation and Social Agents, CASA, Geneva, Switzerland, May 23–25, 2016*, p. 1, <https://doi.org/10.1145/2915926.2915952>
78. Berger S "Humanlike, Social Robot 'Nadine' Can Feel Emotions And Has A Good Memory, Scientists Claim". International Business Times. (2015), <https://www.ibtimes.com/humanlike-social-ro>

- bot-nadine-can-feel-emotions-has-good-memory-scientists-claim-2245600
79. Parviainen J, Coeckelbergh M "The political choreography of the Sophia robot: beyond robot rights and citizenship to political performances for the social robotics market" *AI Soc.* **36** 715 (2021)
 80. Newman B "How did a Stanford-designed 'humanoid' discover a vase from a Louis XIV shipwreck?" (2017), <https://www.montereyherald.com/2016/04/28/how-did-a-stanford-designed-humanoid-discover-a-vase-from-a-louis-xiv-shipwreck/>
 81. Ackerman E "TALOS: A new humanoid research platform targeted for industrial applications", "TALOS Humanoid Now Available from PAL Robotics". IEEE Spectrum. (2017), <https://spectrum.ieee.org/talos-humanoid-now-available-from-pal-robotics>
 82. Dey S "Ranchi man develops humanoid robot Rashmi, Indian version of 'Sophia'", Hindustan Times. 2018-08-02. Retrieved 2020-02-21, <https://www.hindustantimes.com/india-news/ranchi-man-develops-humanoid-robot-rashmi-an-indian-version-of-sophia/story-4O6D2mkMeb3tKORqNT820I.html>
 83. Dwarakanath N "Gaganyaan mission: Meet Vyommitra, the talking human robot that Isro will send to space". India Today, (22 Jan 2020), <https://www.indiatoday.in/science/story/gaganyaan-vyommitra-talking-humanoid-isro-space-1639077-2020-01-22>
 84. Johansson B, Tjostheim T, Balkenius C "Epi: An open humanoid platform for developmental robotics" *Int. J. Adv. Robotic Syst.* **17** (2) (2020) <https://doi.org/10.1177/1729881420911498>
 85. Josh J "KV Teacher turns Innovator, Develops Social Humanoid Robot 'Shalu' that can speak 9 Indian, 38 Foreign Languages". Jagran Prakashan Limited (2021), <https://www.jagranjosh.com/articles/kv-teacher-turns-innovator-develops-social-humanoid-robot-shalu-that-can-speak-9-indian-36-foreign-languages-1612431262-1>
 86. Hale T "Second-Generation Of "World's Most Advance Humanoid Robot" is Here To Say Hello. Technology (2022)", <https://www.iflscience.com/second-generation-of-worlds-most-advance-humanoid-robot-is-here-to-say-hello-65077>
 87. Mori M, MacDorman K F, Kageki N "The Uncanny Valley" *IEEE Robotics Automation Mag.* **19** 98 (2012)
 88. Ashby W R *Design for a Brain; the Origin of Adaptive Behavior* (New York: Wiley, 1960); Пер. на русск. яз.: Эшби У Р *Конструкция мозга* (М.: Книга по требованию, 2021)
 89. Alan M "Turing Computing machinery and intelligence" *Mind* **59** 433 (1950); Пер. на русск. яз.: Тьюринг А *Может ли машина мыслить?* (М.: ИЛ, 1960); http://www.etheroneph.com/files/can_the_machine_think.pdf
 90. Searle J R "Is the brain's mind a computer program?" *Sci. Am.* **262** (1) 26 (1990) <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0190-26>; Пер. на русск. яз.: Сирл Д "Является ли разум мозга компьютерной программой?" *В мире науки* (3) 7 (1990)
 91. Ishiguro H "Toward interactive humanoid robots: a constructive approach to developing intelligent robot", in *Proc. of the 1st Int. Joint Conf. Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2002*, Invited talk, Pt. 2, p. 621
 92. Клиньшов В В, Некоркин В И "Синхронизация автоколебательных сетей с запаздывающими связями" *УФН* **183** 1323 (2013); Klinshov V V, Nekorkin V I "Synchronization of delay-coupled oscillator networks" *Phys. Usp.* **56** 1217 (2013)
 93. Sakaguchi H, Kuramoto Y "A soluble active rotator model showing phase transitions via mutual entertainment" *Prog. Theor. Phys.* **76** 576 (1986)
 94. Казанович Я Б "Осцилляторные нейросетевые модели когнитивных функций мозга", Дисс. ... докт. физ.-мат. наук (Пушино: ИТЭБ РАН, 2018) https://www.impb.ru/downloads/Kazanovich_ar.pdf
 95. "Слепые и слоны", WIKI 2 Википедия переиздание, https://wiki2.org/ru/%D0%A1%D0%BB%D0%B5%D0%BF%D1%8B%D0%B5_%D0%B8_%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%BD
 96. Brilloun L *Scientific Uncertainty, and Information* (New York: Academic Press, 1964); Пер. на русск. яз.: Бриллюэн Л *Научная неопределенность и информация* (М.: Мир, 1966)
 97. Hadamard J *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique* (Paris: Gauthier-Villars, 1975); Пер. на русск. яз.: Адамар Ж *Исследование психологии процесса изобретения в области математики* (М.: Советское радио, 1970); Адамар Ж *Исследование психологии процесса изобретения в области математики* (М.: МЦНМО, 2001); Пер. на англ. яз.: Hadamard J *An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field* (New York: Dover Publ., 1954)

Uncertainties in comparing a human and an android robot

G.R. Ivanitskii

*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,
ul. Institutskaya 3, 142290 Pushchino, Moscow region, Russian Federation
E-mail: ivanitsky@iteb.ru*

It is shown that one of the significant results of human creativity in the 21st century has been the creation of android robots equipped with artificial intelligence. The level of perfection of these robots is becoming so high that it will soon be impossible to establish differences between them and living people by their external features and behavior. This leads to a logical fallacy: to equate humans and android robots, assuming that both have consciousness. Today, scientific research has expanded the understanding of the phenomenon of consciousness, but problems with its definition have not disappeared. The article provides evidence that the application of the term consciousness to android robots is a mistake that can lead to serious consequences.

Keywords: virtual models, bioevolution, value of information, hormones and emotions, artificial intelligence systems, android robots

PACS numbers: 07.05.Mh, **87.18.-h**, 87.85.St

Bibliography — 97 references

Uspekhi Fizicheskikh Nauk **193** (8) 872–901 (2023)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2022.12.039299>

Received 11 May 2022, revised 5 December 2022

Physics – Uspekhi **66** (8) (2023)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2022.12.039299>