



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИОФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Г.Р. Иваницкий

**БИОФИЗИКА
МОЗГА
РЕАЛЬНОСТЬ
И МОДЕЛИ**

МОСКВА
2023

УДК 001
ББК 72
И 19

Ответственный редактор
Доктор физико-математических наук А.Б. Медвинский

Рецензенты:
Доктор биологических наук В.И. Архипов
Доктор физико-математических наук Р.Р. Алиев

Рекомендовано к изданию Ученым советом
Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН

Иваницкий Г.Р. **Биофизика мозга. Реальность и модели.** Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН. – М.: РАН, 2023. – с. 262.

Сегодня научная фантастика XX века превратилась в реальность. Приводится сравнение развития искусственного интеллекта антропных роботов с естественным интеллектом мозга человека. Уровень совершенства антропов стал столь высок, что это привело к логической ошибке. Многие исследователи стали ставить знак равенства между людьми и роботами, предполагая, что роботы, как и люди, могут иметь сознание. Подобная ошибка приводит к опасным социальным последствиям. Информационные технологии начали изменять *сознание* людей – реальный мир стал замещаться виртуальным миром. В монографии подводится итог работ автора в попытке дать ответы на вопросы: что такое *сознание*? Есть ли в природе процессы, которые нельзя описать с помощью математики? Что происходит в мозгу во сне и наяву? Можно отличить антропа от реального человека?

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

СОДЕРЖАНИЕ

К ЧИТАТЕЛЮ	6
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ	13
1. Пятидесятилетний спор о роли моделей в нейронауках	13
1.1. Проблемы классификации	13
1.2. Взгляд на феномен человека через окно социологии	14
1.3. Взгляд на человека через окно теологии	21
1.4. Феномен человека – это борьба противоположностей	23
1.5. Роль неопределенностей при попытке понять поведение сложных систем	25
1.6. Неопределенность термина мышление	29
Глава 2. ЛЮДИ И АНДРОИДЫ	34
1. Введение в проблему	34
1.1. Двойственность отношения к робототехнике	34
1.2. Виды роботов и прогноз их развития	36
1.3. Основные отличия роботов от человека в настоящее время	40
2. Проблема креативности	43
2.1. Пирамида иерархических уровней в организации живых систем	43
2.2. Диалоги на разных уровнях иерархической организации	47
2.3. Диалог сердца с мозгом	49
2.4. Парадоксы взаимодействия сенсоров	54
2.5. Простая модель достижения консенсуса	55
2.6. Виртуальная модель, синтезируемая нашим мозгом	60
2.7. Сенсоры тоже могут ошибаться. Эволюционное предотвращение появления ложных образов	61
3. Адаптация робота и человека к окружающей среде	62
3.1. XX век: от кибернетики к синергетике	62
3.2. Синергетика – теории кооперативных динамических взаимодействий диссипативных систем	64
4. XXI век: новая интерпретация старых идей	68
4.1. Время дорогих проектов	68
4.2. Классическая и вероятностная логика	71
4.3. Мозг, живущий в вероятностном мире	74
5. Заключение	77
5.1. Математическое сжатие информации	77
5.2. Выход за границы обычного в новое информационное пространство	79
5.3. Предел сходства Робота и Человека	81
6. Выводы	84
Глава 3. ЧТО ТВОРИТСЯ ВНУТРИ НАШЕГО МОЗГА	86
1. Введение в проблему	86
1.1. Актуальность проблемы	86
1.2. Перечень вопросов, на которые даются ответы в главе	88
1.3. От интуиции к математическим моделям	89

2. Биологические ритмы волн и сон	91
2.1. За границей бодрствования	91
2.2. Изменение ритмов волн – это язык общения органов	94
2.3. О чем говорят нам ритмы мозга	98
2.4. Фазы сна	101
2.5. Зачем нужен быстрый сон?	103
2.6. «Спи, очищаясь!»	104
2.7. Информационные «шлаки»	107
2.8. Информационные «шлаки» подавляют информационную активность мозга	108
3. XXI век: борьба с нейродегенеративными заболеваниями	109
3.1. Системный подход к проблеме	109
3.2. От моделей на лабораторных животных к компьютерным технологиям моделирования	111
3.3. Можно ли затормозить процесс старения человека?	116
4. Математическая модель загрязнения и очистки мозга	119
4.1. Основы математического описания работы мозга	119
4.2. Сигмоидальная модель удаления «шлаков»	122
5. Выводы	131
Глава 4. ИЛЛЮЗИЯ ПОЛЁТОВ ВО СНЕ	136
1. Введение	136
1.1. Циркадные ритмы	136
1.2. Постановка задачи	141
2. Ответы на вопросы	142
2.1. Почему во сне температура тела снижается?	142
2.2. Почему человек засыпает чаще всего в позе «эмбриона»?	143
2.3. Как меняются фазы сна?	145
2.4. Как меняется давление опоры на тело человека при изменении позы во сне?	146
2.5. Какова во сне продолжительность сюжетов сновидения?	148
2.6. Как динамика смены поз провоцирует во сне иллюзию полета?	150
2.7. Какова роль зрения и осязания в полётах во сне?	151
3. Обсуждение	154
4. Выводы	155
Глава 5. МОЖЕТ ЛИ МАШИНА ИМЕТЬ СОЗНАНИЕ?	156
1. Введение в проблему и постановка задачи	156
1.1. Проблемы с определением термина «сознание человека»	156
1.2. Постановка задачи и модель сознания	164
2. Переплетение свойств сознания в процессе биоэволюции	166
2.1. Нулевой уровень сознания	166
2.2. Новый этап развития: усложнение движения и регенерация повреждений	173
2.3. Появление биоритмов – «биологические часы»	177

2.4. От «третьего глаза» к изменению биохимического синтеза	178
2.5. Homo Sapiens – лидер в борьбе за выживаемость	181
3. Интегральная теория информации + эмоциональная окраска	182
3.1. Оценка человеком ценности поступающей информации	182
3.2. Наличие памяти и понижение ценности поступающей информации ...	189
3.3. Сравнение компьютерной памяти с памятью человека	190
3.4. Гормоны и эмоции – химический язык передачи информации	192
3.5. Смеси гормонов с разной концентрацией содержимого	194
4. Можно ли отличить андроида от реального человека?	196
4.1. Андройдные роботы и язык эмоций «человеческого лица»	196
4.2. Человек или робот? Особая задача распознавания образов	199
5. Выводы	203
Глава 6. ВМЕСТО ЭПИЛОГА	204
1. В поисках устойчивости биосистем	204
2. Как и в каком направлении двигаться дальше	214
СПИСОК ТЕРМИНОВ И АББРЕВИАТУР	217
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	232

К ЧИТАТЕЛЮ

Не стоит предполагать завершенность наших знаний о мозге, поскольку это пока не маяк, а блуждающие огни.

Итог непрерывно продолжающихся дискуссий



В книге в сжатой форме обобщён опыт многих поколений исследователей, включая автора этой книги, в попытках ответить на вопросы: Что такое Сознание? Куда может прийти человечество, прокладывая путь своего развития, опираясь сегодня на рекомендации Искусственного Интеллекта? Мы живём в вероятностном мире, в котором правит Случай. Но что такое Случай? Ранее в термин Случай человечество вкладывало результат борьбы Добра и Зла. На этом основаны все религии. Сегодня сравнение внешней Реальности и её Виртуальных моделей внутри нас стали синонимами этой борьбы. Опасность состоит не в том, что Искусственный Интеллект начинает мыслить лучше, чем Человек, а в том, что Человек погружается в Виртуальный мир и начинает мыслить как Искусственный Интеллект, где нет места понятиям Добра и Зла.

Если потребовалось бы написать рекламную характеристику содержания этой книги, то она выглядела бы приблизительно так.

«Главное содержание книги – это попытка показать, что, во-первых, развитие Искусственного интеллекта остановить не удастся, поэтому нужно найти способ без рисков объединиться с ним. Во-вторых, чтобы избавиться от заблуждений в понимании развития таких сложных систем как наш мозг, надо помнить, что исключения из правил важнее самих придуманных нами правил».

Несколько рекомендаций читателю от автора. Я знаю, что каждая математическая формула сокращает круг читателей. Тем не менее, во многих разделах этой книги используется математическое описание моделей, поскольку без математики биофизика теряет смысл. Для тех немногих людей, которые будут знакомиться с содержанием книги лишь из любознательности, я хочу рекомендовать рецепт известного английского физика и математика лауреата Нобелевской премии Р. Пенроуза (Roger Penrose): *«Если вы испытываете ужас перед формулами (как большинство людей), то могу порекомендовать способ, которым и сам часто пользуюсь... Мой рецепт заключается, более или менее, в том, чтобы полностью проигнорировать строку с формулой, и сразу переводить взгляд на следующую за ней текст».*

Если ваше любопытство и любознательность не будут удовлетворены, поскольку вы проигнорировали все формулы, то некоторое время спустя, почувствовав большую уверенность, можете вернуться к ним или посмотреть их смысл в рекомендуемых статьях или в Интернете. Отвращение к формулам легко может превратиться в симпатию к излагаемым идеям. Если же этого не случилось, то не огорчайтесь, смело отложите книгу, и больше не возвращайтесь к её чтению. Спасибо, что прочли её, хотя бы бегло!

Кроме того, в тексте книги встречаются термины и аббревиатуры, которые приняты в нейронауках и в биофизике, и имеют прямое отношение к содержанию глав. При первом их появлении дается их объяснение. Если по ходу очередной встречи термина или аббревиатуры вы забыли их смысл, то в конце книги приведен «Алфавитный список терминов и аббревиатур» с их краткими пояснениями. Надеюсь, что этот список поможет разгрузить память и облегчить чтение книги.

• • •

Заканчивая в 1959 году кафедру вычислительной техники и автоматики престижного по тем временам Московского авиационного института, я, будучи еще студентом и прочитав переведенную в 1958 году на русский язык книгу американского математика Норберта Винера «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине», решил заняться проблемами нейробиологии с позиции физики и математики. Так в 1960 году я стал сотрудником Института биологической физики АН СССР, директором которого был Г.М. Франк (1904–1976).

Затем по моей просьбе он на несколько месяцев откомандировал меня в Институт нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко в Лабораторию анатомии мозга, возглавляемую профессором С.М. Блинковым (1904–1994). В этой лаборатории исследования мозга проводились с разных сторон, прежде всего, с позиции нарушения его нормальной работы. В самом Институте лечились пациенты с повреждениями или генетическими отклонениями в различных областях мозга, которые вызывали у них странные эффекты в умственной деятельности и в поведении. Были такие пациенты, которые «видят» музыкальные тона или «познают» непонятным образом строение всего до чего дотрагиваются. Каждый очередной семинар, посвященный подобным явлениям, заставлял меня, молодого исследователя-физика, как и других стажеров-физиков, под влиянием идей С.М. Блинкова, придумывать новый инструментарий и технологию изучения подобных явлений. Часто, но не всегда, когда задача лечения пациента каким-то образом была решена, фундаментальное объяснение самого явления оставалось на уровне гипотезы. Причина – арсенал методов изучения мозга в тот период был весьма беден.

Под руководством С.М. Блинкова я выполнил и защитил в августе 1964 года кандидатскую диссертацию на тему «Разработка методов автоматического подсчета и измерения клеток мозга», а затем, в 1965 году, переехав в город Пущино, продолжил работу в Институте биологической физики АН СССР и

защитил в 1970 году докторскую диссертацию на тему: «Методы машинного анализа морфологии клеток и срезов ткани». Полученные мною знания по нейроанатомии не сильно приблизили меня к ответу на вопрос – как мыслит человек? Круговорот дальнейших событий и дефицит времени заставили меня откладывать поиск ответа на этот, как мне казалось, важный для меня вопрос. Однако интерес к исследованию работы мозга не проходил. В тот период (70-ые годы XX века) мне казалось, что прямой путь к познанию работы мозга лежит через компьютерную технику и создание новых информационных технологий. Как будет ясно из текста этой книги, мое предположение оказалось ошибочным, но такой вывод я смог сделать много лет спустя.

В настоящее время происходит расцвет нейронаук на основе, которую за 50 лет смогла заложить физика и математика. Но этот успех – ограниченный, поскольку физика сама проходила в XX веке очередной этап своего развития. Ещё А. Эйнштейн показал, что пространство и время являются намного более странными, чем могли бы представить себе сторонники механики Ньютона, а Гейзенберг доказал, что на субатомном уровне терпят крах самые основополагающие представления о причине и следствии. Затем произошло открытие чёрных дыр, квантовой запутанности, а также сотен других явлений, которые породил квантовый мир. Они вызывали и вызывают чувство удивления.

Космология подарила нам расширяющуюся Вселенную, тёмную материю и тёмную энергию. Дискретная математика и теория информации дала миру не только компьютер А. Тьюринга. Уже появились нейрокомпьютеры и квантовые компьютеры, в которых биты К. Шеннона заменили кубиты. Возможно, что в будущем квантовые компьютеры потеснят «классические компьютеры». Развитие каждого раздела науки – это предвидение и толчок в будущее. Были созданы Интернет, мобильные телефоны, разнообразные гаджеты и новинки коммуникации, а понимания работы мозга так и не наступило. Мне с моим любопытством пришлось возвращаться в эпоху до появления Интернета, более того к идеям, которые высказывались много тысяч лет назад древнегреческими мыслителями, но уточнять их смысл с учетом новых знаний и технологических достижений конца XX и начала XXI века.

Приведу семь постулатов, которые, как я надеюсь, облегчат понимание идей, изложенных в этой книге.

1. *Нашим телом мы практически обязаны генетике своих родителей, а разумом и сознанием – лишь частично.* По мере взросления развивается наше сознание. Мы приобретаем собственный жизненный опыт.

2. Головной мозг – это *интерфейс* между телом и внешним миром.

3. Никогда не говори, что *знаешь самого себя*, потому, что жизнь – это *непрерывный поиск* компромисса между мышлением, сознанием, телом и внешней средой.

4. *Сердце – представитель тела в диалоге с мозгом.* Сердце не только снабжает мозг энергией, но общается с ним на языке пульсаций кровотока, движения спинномозговой и межклеточной жидкостей, а мозг отвечает потоком электрических импульсов. Органы (легкое, желудок, эндокринная система и

др.) ведут диалог друг с другом, с мозгом и с другими частями тела на своем языке.

5. *Сознание отдыхает во сне лишь короткое время*, поскольку озабочено проблемой своего выживания и выживания своей кормилицы – тела.

6. *Сквозь призму разума и сознания мир выглядит иначе*, чем он воспринимается телом.

7. *Жизнь – это переходной процесс*, в котором разум, сознание и мышление непрерывно ищут динамическую устойчивость организма, вопреки изменениям внешней среды. Смерть – это прекращение поиска устойчивости и возвращение *живой к неживой материи*.

Эти семь постулатов выглядят банальными, но если к ним присмотреться внимательно, то из них вытекает целый ряд неожиданных выводов, которые будут рассмотрены в книге.

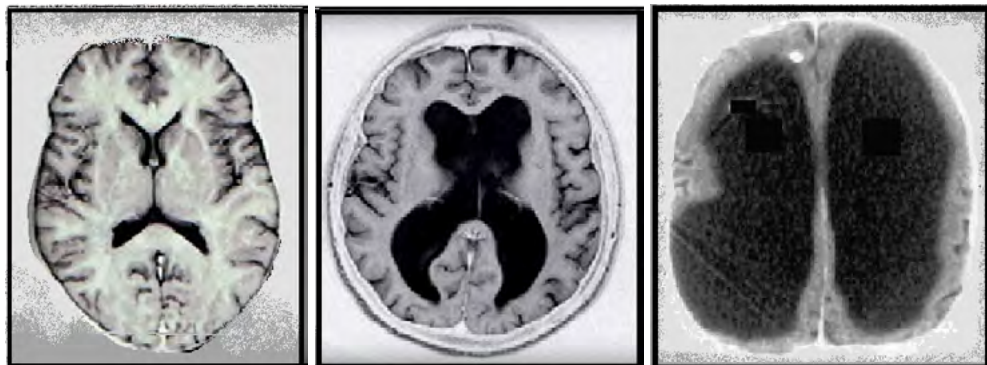
• • •

В начале моей научной карьеры мне казалось, что кто-то из маститых ученых укажет мне кратчайший путь к пониманию того, как работает наш мозг. Сегодня я сам достиг преклонного возраста и так не думаю. Постепенно, пройдя длинный путь в изучении анатомии мозга и его физиологии, я пришёл к выводу, что понять работу мозга можно лишь путем изучения экспериментально наблюдаемых парадоксов, связанных с его работой, которые противоречат существующим гипотезам. Индийская мудрость гласит: «Если закрыть дверь перед всеми парадоксами, то истина не сможет войти». Итак, можно предположить, что для понимания развития сложных систем исключения из правил, не менее важны, чем сами правила. Чтобы не быть голословным, приведу пример.

В конце 1980 года в журнале *Science* была опубликована Р. Левином (R. Lewin) статья под парадоксально-рекламным названием: «*Так ли уж нам нужен мозг?*». Речь шла о дискуссии по поводу коры головного мозга человека. Причиной публикации послужил медицинский факт, изложенный британским неврологом Джоном Лорбером (John Lorber), который на основе своей клинической практики, утверждал, что некоторые пациенты являются более нормальными, чем можно было бы судить по магнитно-резонансной томографии (МРТ) их мозга. Лорбером было обнаружено, что один из студентов университета, который был социально нормальным, имел высокий индекс интеллекта IQ 126, получил с отличием диплом по математике, практически не имел белого вещества в головном мозгу. Размер его головы был немного больше, чем у сверстников. Сканирование с помощью МРТ показало, что вместо нормальных ~4,5 см толщина белого вещества мозга, свободная от жидкости часть, составляла толщину порядка миллиметра. Всё остальное пространство было заполнено спинномозговой жидкостью. Это далеко не единичный парадоксальный случай в медицинской практике. В общем случае гидроцефалия¹ (см. рисунок) – это патология, хотя её происхождение до конца не выяснено.

¹ Гидроцефалию в народе именуют «водянкой мозга».

В 2007 году во французском журнале была опубликована статья под названием «*Brain of a white-collar worker*» (Бело-воротничковый работающий мозг). В ней был описан случай с пациентом, за которым велось длительное наблюдение. Речь шла о 44-летнем мужчине, который родился с гидроцефалией. Более 30 лет назад ему было сделано вентрикуло-перитонеальное шунтирование, которое частично отвело мозговую жидкость. Умственное развитие этого человека шло нормально.



а

б

в

Сравнение анатомии нормального мозга и гидроцефалов: *а* – МРТ нормального головного мозга. Светлым изображено белое вещество мозга, темным – жидкость (ликвор). Нормальная форма жидкостных пространств головного мозга – шелевидная. Желудочки видны внутри мозга. Пространство, занимаемое корой – темная кайма вокруг мозга; *б* – показан эффект сравнительно небольшой гидроцефалии. Видно избыточное скопление ликвора внутри головного мозга. Желудочки расширились. Наконец, на рис. *в* приведен вариант сильной гидроцефалии, имевшей место у необычных гидроцефалов².

Он женился, имел двоих детей и работал госслужащим. Психологическое обследование его личности спустя 39 лет показало, что IQ его интеллекта был близок к норме 75, а словарный IQ и того больше, порядка 84. При этом сканирование мозга демонстрировало невероятное расширение боковых желудочков мозга, показанных на рисунке (в). С появлением МРТ в разных странах за последние 30 лет была набрана довольно внушительная статистика по изучению этого явления как исключения из общих правил. Очевидно, что гидроцефалия связана с особым вариантом циркуляции лимфатической и спинномозговой жидкости. Качество работы мозга (мышление, разум, сознание) по психологическим показателям в описанных выше случаях не выходило за пределы нормы. Хотя известны обратные ситуации. Чаще гидроцефалы имеют интеллектуальные и физические недостатки.

Когда возникает парадокс, то ответ ждут от биофизиков. Какие же особенности организма человека позволяют преодолеть неблагоприятные внутренние и внешние условия? Ответ – это универсальная пластичность организма, вклю-

² Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П. *К вопросу о парадоксальных ситуациях, возникающих при гидроцефалии*. Биофизика. 63. № 2. 412 -416 (2018).

чая мозг, основанная на возможности взаимодействия внутренней среды организма с внешней средой. К механизмам пластичности мозга мы ещё вернемся.

По-видимому, в биологической эволюции в интервале времени приблизительно от 1 млн до 500 тыс. лет назад произошло важное событие в развитии коры головного мозга гоминидов. Появилось большое разнообразие вставочных нейронов, не занятых непосредственной прямой связью между рецепцией и подвижностью. Природа не терпит «лодырей». Всё возникающее в живых системах занято полезной работой, повышающей устойчивость организма при изменениях внешней или внутренней среды организма. Так устроен естественный отбор. Обмен информацией между этими вставочными нейронами в коре мозга позволил заложить основу науки о новых возможностях коры в отражении и запоминании картин внешнего мира в виде их моделей.

Представление о себе и о внешней среде стало возникать на основе виртуальной модели, строящейся в мозгу, которая отражает данную нам в ощущениях реальность. В сознании последовательно активируются нейронные ансамбли, отражающие свойства внешней среды. Смысловым элементам в иерархической модели среды служат нейронные комбинации их сетей. Сознание в каждый момент как бы «высвечивает», т.е. активирует, отдельный смысловой элемент модели среды.

В быту совокупность этих явлений называют: либо удовлетворение любопытности, а чаще – результат обучения. Этот переход привёл к появлению у человека абстрактного мышления и собственного «Я». Этот процесс потянул за собою целый ряд функциональных изменений поведения, которые привели организм человека к увеличению его степеней свободы, т.е. к универсальности поведения. Появилось дополнительное звено в виде виртуального пространства возбудимых элементов внутри мозга, в котором вставочные нейроны новой коры могли взаимодействовать друг с другом, создавая свой виртуальный внутренний информационный мир. Помогая тем самым в экстремальных ситуациях деятельности рабочих нейронов, повышая или понижая их активность. Была ли это случайная мутация или закономерное явление? – остается загадкой. Чтобы возникла счастливая случайность, то ей кто-то должен помочь, но – кто?

Помимо этого вопроса, сегодня остается много вопросов, доставшимся нам с XX века: можно ли создать креативного андроидного робота (КАР), который был бы не отличим от человека? Нужна ли новая физика для описания процессов в мозгу? Что такое сознание человека? Чем отличается искусственный интеллект роботов от интеллекта человека?

Постараюсь далее дать ответы на эти и другие вопросы, которые будут возникать по мере изложения главных идей. Содержание книги основано на моих публикациях и обзорах, представленных в системе Math-Net.Ru. Особо хочу отметить четыре публикации последних лет в журнале «Успехи физических наук» в разделе “Физика наших дней”, которые связаны единой тематикой и представляют основу этой книги:

1. Иваницкий Г.Р. «Самоорганизующаяся динамическая устойчивость биосистем, далёких от равновесия» УФН **187** 757–784 (2017), Ivanitskii G.R. “The

self-organizing dynamic stability of far-from-equilibrium biological systems” Phys. Usp. **60** 705–730 (2017); DOI: 10.3367/UFNe.2016.08.037871

2. Иваницкий Г.Р. «Робот и Человек. Где находится предел их сходства?» УФН **188** 965–991 (2018). Ivanitskii G.R. “The robot and the human. Where's their similarity limit?” Phys. Usp. **61** 871–895 (2018); DOI: 10.3367/UFNe.2018.03.038302

3. Иваницкий Г.Р., Морозов А.А. «Объект исследования – стареющий мозг» УФН **190** 1165–1188 (2020). Ivanitskii G.R., Morozov A.A. “Subject of study – the aging brain” Phys. Usp. **63** 1092–1113 (2020); DOI: 10.3367/UFNe.2020.06.038791

4. Иваницкий Г.Р. «Неопределённости сравнения человека и андроидного робота» УФН **193** 872–901 (2023). Ivanitskii G.R. “Uncertainties in comparing a human and an android robot” Phys. Usp. **66** 818–845 (2023); DOI: 10.3367/UFNe.2022.12.039299. Ivanitskii G.R. “Uncertainties in comparing a human and an android robot” Phys. Usp. **66** 818–845 (2023); DOI: 10.3367/UFNe.2022.12.039299

Надеюсь, что прочитав книгу, вы узнаете нечто новое, а возможно и неожиданное для вас. Что касается изложения, то мне знать не дано, – удалось ли в полной мере сделать книгу интересной? Я старался, но судить об этом может только читатель. Как писал поэт Владислав Ходасевич:

*Всё бьётся человеческий гений:
То вверх, то вниз. И то сказать:
От восхождений и падений
Уж позволительно устать.*

• • •

В заключение этого обращения к читателям считаю своим долгом поблагодарить рецензентов книги В.И. Архипова, Р.Р. Алиева и ответственного редактора А.Б. Медвинского, обсуждение с которыми способствовало улучшению книги. Также благодарю сотрудника моей лаборатории М.А. Цыганова, который внес существенный вклад в развитие математического описания процессов, происходящих в мозге. Хочу отметить вклад И.П. Вуйминой в создание эскиза обложки и рисунков книги. Также благодарю академиков Б.Б.Кадомцева и В.Л. Гинзбурга, обсуждение с которыми послужило для меня стимулом написать статьи, отражающие мои взгляды на работу мозга. Наконец, считаю своим долгом отметить особую роль моих научных руководителей академика Г.М. Франка и профессора С.М. Блинкова, которым я обязан своими первыми шагами на сложном пути изучения биофизики мозга.

Пушино, лето 2023 года.

Г.Р. Иваницкий

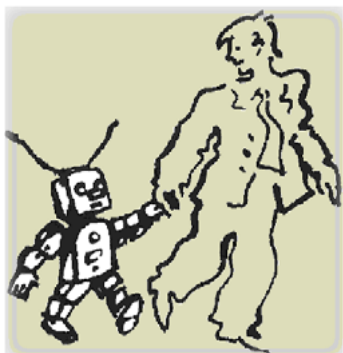
Глава 1

ВВЕДЕНИЕ

ПЯТИДЕСЯТИЛЕТНИЙ СПОР О РОЛИ МОДЕЛЕЙ В НЕЙРОНАУКАХ

*Многие вещи нам непонятны
не потому, что наши понятия слабы;
а потому, что эти вещи не входят
в круг наших понятий.*

Козьма Прутков



Первые этапы развития идеи искусственного интеллекта связаны с именами выдающихся ученых середины XX века: Н. Винер, А.Н. Колмогоров, А. Тьюринг, М.М. Бонгард, Н. Хомский и другие. 50 лет назад сфера применения компьютеров стала стремительно расширяться, а их быстродействие столь же стремительно увеличиваться. Возникло искушение «довести до моделей» нечто такое, что позволило бы понять: как мыслят живые существа, включая человека. Рассмотрим сначала, как разные науки отвечали на вопрос: что есть Человек?

1.1. Проблемы классификации

У человека неистребимо желание найти порядок даже в абсолютно хаотическом расположении точек или трещин, т.е. там, где его часто нет. Рассмотрим системы мозга в терминах поиска их динамического баланса друг с другом и с внешней средой. Ключевое слово здесь – «динамического».

Любая наука начинается с определения *номенклатуры и разработки принципов классификации объектов по различию наборов составляющих их фрагментов на каждом иерархическом уровне*. Полная классификация требует описания и упорядочного размещения всех наблюдаемых объектов в виде графов или таблиц, а также предсказания ещё неизвестных объектов, существование которых возможно. Пример – периодическая система элементов Д.И. Менделеева. При этом предполагается, что в основе классификации, с одной стороны,

лежат объективные, т.е. измеряемые и сравнительно постоянные параметры, а с другой стороны, *субъективные догадки исследователя*, которые базируются на его интуиции. Мешающим фактором классификации служит априорная неполнота наших знаний.

Кроме того, важно напомнить, что организация систем на разных пространственно-временных масштабах неодинакова, хотя и похожа, т.е. на каждом иерархическом уровне с некоторыми вариациями происходит повторение её организации, но в другом масштабе. Такой фрактальный вариант организации часто называют многозначным английским термином скейлинг (от англ. *scale* – *размер, масштаб, чаша весов*).

В биологии на различных иерархических уровнях для классификации используют разные признаки. Например, если за основу классификация живых организмов взять *питание и преобразование энергии*, то получим один из вариантов их классификации. Например, *по способу питания* – это автотрофы, гетеротрофы, миксотрофы; *по механизму преобразования веществ и энергии*, получим другой вариант – это фототрофы, хемотрофы; *по отношению к пищевым связям в экосистеме*, – третий вариант: продуценты, консументы, редуценты. Если за основу классификация живых организмов взять их *структурную организацию* в разных пространственных масштабах, то получим ещё один способ иерархической классификации: *молекулы* → *макромолекулы* → *органеллы* → *клетки* → *ткани* → *органы* → *организм* → *популяции* → *виды* → *род* → *семейство* → *отряды* → *классы* → *типы* → *царства* → *биосфера в целом*. Однако, при классификации существуют три общих объединяющих признака, которыми характеризуют устойчивость существования системы на любом иерархическом уровне:

- характерное время жизни τ_j на j -ом уровне иерархии,
- потребляемая энергия, необходимая для существования в координатах пространства и времени на j -ом уровне иерархии,
- способ выведения «шлаков» (фекальных отходов) метаболизма.

Полнота классификация зависит не только от опыта и эрудиции исследователя, но от постановки задачи. Классификация сложных объектов часто страдает неопределенностями. На недостаточной четкости признаков классификации часто спекулируют, так называемые, «демагоги», иногда и не осознавая этого. Их цель ввести слушателей или читателей в заблуждение, добившись признания правильности своей гипотезы, несмотря на то, что она построена на ложных теоретических предположениях.

1.2. Взгляд на феномен человека через окно социологии

Мыслители древности пытались ответить на вопрос, насколько внутренне мы похожи друг на друга. Реформатор античной медицины Гиппократ создал известное учение о темпераменте людей, распределил их по четырем группам: холерики, сангвиники, флегматики, меланхолики. Эта классификация на про-

тяжении 2000 лет уточнялась, дополнялась и детализировалась. Предлагались многочисленные психоаналитические методы. Это были разнообразны тесты, в том числе и с использованием гипноза, а также анализ оговорок или сновидений. Однако методы психоанализа оказались малоперспективными. Далее широко использовались аналогии с поведением коллективных животных. Такие исследования позволяли провести разбиение людей по группам на основе описания их взаимодействий. Количество групп менялось от 4 до 30 в зависимости от признаков, которые авторы использовали для классификации. Учение И.П. Павлова об условных и безусловных рефлексах оказало сильное влияние на стремление к изучению *сознания* как основы функционирования мозга. Хотя в самой лаборатории И.П. Павлов не хотел использовать термин *сознание* в силу его неопределенности. Во второй половине XX века произошло объединение исследований генетики, биофизики и биохимии мозга и изучения поведения людей. Последняя четверть XX в. поставила на повестку дня полную расшифровку генома человека, записанного на ДНК. В XXI веке акцент исследования сместился в область выделения и анализа белков различных типов, т.е. протеомики и биохимии.

Попытки познать свой внутренний мир были продиктованы не только врожденной любознательностью человека, но и практическими потребностями медицины, истории, социологии, экономики и даже политики. Сегодня практических задач, требующих этих знаний, очень много. Растет количество конфликтных ситуаций как на макромасштабах (взаимодействия между государствами на мировой арене), так и на масштабах отдельных фирм и обычного взаимодействия людей в личной жизни. Возрастает количество разводов, разрушаются семьи. По нашим опросам более 10% людей считают, что они ошиблись в выборе профессии. Увеличивается число психических расстройств. Наркомания стала настоящим бичом общества. Растёт преступность, в том числе и весьма опасная. Конечно, причина этих бед не только в различиях людей, но и в несовершенстве социальной организации человеческого общества. Остается вопрос – хорошо ли мы знаем самих себя? Учитываем ли мы особенности своей психики, и какова её материальная основа?

Все люди разные, качество человека – это индивидуальное понятие, определяемое, как содержащимся в человеке генофондом, полученным от предков, так и уже пройденным им жизненным путем и накопленным личным опытом, т.е. возрастом. Потребовалось объединить такие признаки, как здоровье, темперамент, черты характера, воспитание, знания, профессиональные навыки, а также отношение к другим людям, к окружающему миру, к самому себе. Очевидно, что все эти признаки меняются во времени. В физике сложность объекта определяется самой экономной программой, выраженной в единицах измерения информации, дающей полное его описание. В этом смысле наибольшей сложностью обладает случайный процесс, так как его описание не поддается сжатию. Каждый человек уникален, и полное его описание не может быть получено какой-либо сжатой программой. В этом смысле он почти эквивалентен

случайному процессу. Поэтому, строго говоря, найти научно обоснованную естественную классификацию для всего человечества сложно, но попытки предпринимаются.

Для региона с 18–20-тысячным населением (и даже намного более крупного) технически несложно набрать компьютерный банк необходимых данных обо всех личностях, проживающих в нём. В таком банке могут содержаться сведения о каждом человеке, и на основе их анализа можно создать полное описание популяции региона на основе *объективной* классификации людей. Для этого потребуются небольшой объем памяти, всего 20–40 Мбайт. Такую задачу мы пытались решить в середине 70-ых годов XX века для города Пущино в рамках созданного нами проекта под названием «Полис». Но обнаружили, что остаётся проблема – что понимать под словом «*объективная*»? Возникла также нравственная проблема. Имеем ли мы право заводить досье на личность? Где гарантии, что оно никогда не будет использовано против личности, ущемляя её права?

Сегодня компьютерные банки личных данных (гораздо более крупные) – обычное явление. Отработаны юридические, и технические способы их защиты. В юридической практике давно появились законы, предусматривающие наказания хакеров. В США, например, стратегия, направленная на снижение возможности перехвата компьютерных данных хакерами, была разработана еще в 1979 году. В Европе конвенция защиты от компьютерного вторжения в личную жизнь граждан была создана в 1981 г. Далее подобные законы были приняты во всех развитых странах. Особой защитой должна пользоваться «наиболее чувствительная» личная информация – сведения о местонахождении близких родственников, данные о болезнях, совершенных проступках, отношении к политике, сведения о доходах. Попытки завладеть этими данными и шантажировать их обладателя должны были караться законом.

Однако, проблема не только в этом. Если выработать соответствующие гарантии и создать полный банк всех людей нашей планеты, то необходимость его непрерывного пополнения потребует больших затрат. Будут ли они окупаться? Наконец, допустим, что решены указанные выше проблемы, тогда останется главный вопрос – как разумно воспользоваться этими данными? Как найти оптимальную классификацию и алгоритм достижения оптимального согласия между людьми? Существует ли этот алгоритм? Ведь общество непрерывно изменяется. Оно живёт. Именно этим определяется сложность математического моделирования социальных процессов. Они нелинейные и полны сюрпризов. При оптимизации такой программы (в разных странах она уже создана) стало очевидным, что за какую бы отдельную социальную проблему мы ни взялись, неизбежно столкнемся с необходимостью решения других. Банк набранных данных будет «виртуальной моделью социума живых людей», где невозможно разорвать связи между проблемами. «Проклятие размытости границ» возникающих проблем заставляет искать другие пути решения задачи. Кроме того, очевидно, что детерминированное управление такой сложной нелинейной системой не всегда приводит к оптимальным результатам, часто оно

не оправдано ни с точки зрения финансовых затрат, ни с точки зрения получаемого экономического и нравственного выигрыша. Процесс самоорганизации не поддаётся прогнозам и формализации.

Размытость границ при разбиении групп людей по их психическим портретам, также как и при конструировании социальных систем, была осознана давно. Например, в римской мифологии весьма почитаемым божеством был Терминус – определитель границ и межевых знаков. Ежегодно отмечался день неприкосновенности границ, установленных в результате договоренности между группами людей. Тем не менее, сама Римская империя непрерывно расширялась, молчаливо принимая постулат, что внутренние законы не должны распространяться на границы империи. Любые разумные законы всегда порождали лазейки, диктуемые целесообразностью. Таким образом, на установлении границ лежала печать субъективности, политической целесообразности с нарушением прав соседей.

Субъективные границы возникают также в самой науке. Природа едина, а деление на науки всегда условно. Взгляд на человека представителями медицины или биологии отличается от взгляда, например, историка или экономиста. Каждый из специалистов выделяет в этой проблеме свой аспект интересов и делает характерные только для него выводы.

Очевидно, что конкретный человек имеет свой психологический портрет, который может быть описан через эпизоды его жизни. Сколько же таких портретов существует? Столько, сколько есть на свете людей? Или существуют группы людей с одинаковым поведением? Не ясно, имеется ли какой-либо конструктивный подход для ответа на эти вопросы [1].

Возможно, что анализ человеческого языка мог бы помочь в поиске ответов. Язык предоставляет в наше распоряжение богатство слов, с помощью которых можно охарактеризовать личность и её поведение. Количественные оценки, сделанные различными авторами, показывают, что в английском языке имеется порядка 4000 слов, которые являются названием признаков человека как таковых; в немецком такой же порядок; в русском языке их даже больше. Например, существуют такие признаки: гордость, самодовольство, высокомерие, суетливость, тщеславие, заносчивость, скромность, робость, униженность, неуверенность, ханжество, агрессивность, смелость, честность, своеволие, послушание, трусость и т.д. Если использовать более строгие критерии отбора, избегая синонимов, характеризующих близкие характеристики личности, то количество слов сократится, но все же останется довольно большим, порядка 1000. Чтобы сформировать конкретный образ личности, психологи используют для его описания, выбирая из 1000, порядка 10 определяющих слов. Можно оценить, исходя из анализа языка, какое количество различных психологических портретов может существовать в человечестве. Греческий мыслитель Теофраст, или в некоторых исторических изданиях его называют Теофраст, друг и последователь Аристотеля, описал 30 таких психологических портретов. Однако их намного больше.

Количество определяется через сочетание $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$ из n характери-

стик по m , различающихся друг от друга только самими признаками, входящими в группу. Если общий ансамбль признаков принять за $n = 1000$, а группа слов, требуемая для описания образа, состоит из 10 признаков, т.е. $m = 10$, то общее количество психологических портретов окажется близким к величине 10^{23} . Это – фантастическое разнообразие портретов людей. Если учесть, что сегодня на планете живет 8×10^9 человек, то всё возможное разнообразие не реализовано.

Однако такие лингвистические оценки при классификации кажутся неубедительными. Если мы возьмём примитивные языки и спросим «дикаря» о том или ином человеке, то получим оценку в двоичном варианте: «плохой» или «хороший». В такой классификации уже заложен опыт общения с окружающими людьми. Когда мы видим человека первый раз, то для его оценки используем понятия, основанные на описании только внешнего портрета: красив, боится, сконфужен, печален, весел, грустен, опрятен и т. д. Мы охватываем одномоментные внешние черты. Если мы взаимодействуем с человеком длительное время, то набор признаков будет выражаться другой группой слов – робок, боязлив, нерешителен, недоверчив, эмоционален, амбициозен и т.д. Поэтому, если пытаться для классификации психологических портретов призывать на помощь лингвистику, то необходимо провести анализ эволюции первичных и обобщающих понятий в различных языках, что само по себе сложно и полностью не исключает субъективность оценок.

Кроме того, производя оценку кого-либо человека, мы неизбежно сравниваем его с собою. Простой пример. Человек, рост которого 160 см, оценит человека ростом 180 см как очень высокого, а человек ростом в 210 см охарактеризует того же человека почти как «карлика». Эталон оценки по любым параметрам субъективен. Через анализ языка ответить на вопрос о разнообразии психических портретов людей нельзя, так же, как это нельзя сделать через анализ первичной последовательности локусов в хромосомах человека. Расшифровка первичной последовательности ДНК человека не проясняет взгляд на феномен человека. Для такого утверждения есть основания.

Homo Sapiens (Человек Разумный) появился сравнительно недавно. За этот период сменилось около 1600 поколений и, как показывают антропологические исследования, генетическая эволюция человека как биологического вида практически, если не прекратилась, то сильно замедлилась. Началась техническая, цифровая эпоха ускорения обработки информации и создания робототехники (рис.1). Биологический отбор был замедлен и практически остановлен. Он пошёл по пути совершенствования образования, медицины, технологий и социальных формаций, т.е. по информационно-техническому пути развития человечества.

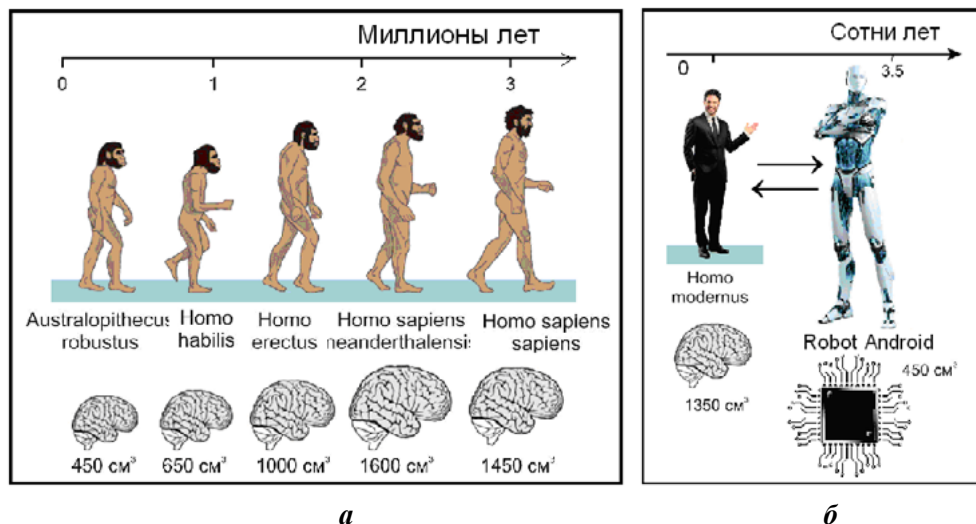


Рис. 1. Эволюция гоминидов: *а* – биологическая, *б* – информационно-техническая

Знание генетического кода человека позволяет определить номенклатуру и количество синтезируемых белковых блоков, управляющих развитием организма. Такие знания важны для лечения наследственных заболеваний и необходимы для развития биомедицины. Однако в терминах нуклеиновых кислот и аминокислотных последовательностей объяснить психическую и социальную функцию человека невозможно. Нужно изменить масштаб наблюдения процессов.

Хотя кое-что в области психики человека может дать и анализ его генофонда. Никто не станет отрицать, что такое качество, как агрессивность, проявляющееся в импульсивности характера человека, имеет древнюю основу и объединяется со склонностью некоторых его представителей господствовать в коллективе. Это качество существует не только у человека, но и у животных, ведущих стадный образ жизни. Установлено, что агрессивность сопровождается на физиологическом уровне повышенным синтезом катехоламинов, в частности, адреналина. У спокойных людей больше синтезируется предшественников адреналина. Гормоны, проникая в мозг в ничтожных количествах, способны изменить поведение животного или человека. Сегодня открыто свыше сотни гормонов разной природы, которые могут влиять на психический портрет человека и на его поведение.

При изучении социальных групп важны не только их психические различия. Существенной оказывается также та их часть, которая является общей для большинства членов группы. Социальная функция человека определяется подготовкой его личности к той роли, которую он впоследствии будет играть в развитии части или общества в целом. Таким образом, получается, что воспитание (трансформация психики) задается внешней социальной средой. Выражаясь физическим языком, внешняя среда – это динамический фильтр, который изменяет психику человека. Но, что делать, если личность не поддается

существующей системе воспитания через убеждения, не приобретает необходимых качеств? Что делать с такой личностью? Существовавший лозунг: «не можешь – научим, не хочешь – заставим», сегодня следует сдать на свалку как нарушающий права личности.

Тем не менее, маргинальная прослойка необходима. Она всегда существовала, и будет существовать в обществе, поскольку развитие любой сложной системы основано на разнообразии её частей. Компонента духовного развития человека не может также сводиться только к экономическим вопросам и материальным потребностям человека.

На основе, каких социальных законов можно, например, понять поступок Ивана Грозного по физическому уничтожению населения Великого Новгорода? Или на какой экономической основе можно объяснить психологию действия И.В. Сталина? Только ли экономические разногласия толкали исламское население Средиземноморья в противостоянии к Европе и США? Из каких экономических законов можно вывести, с одной стороны, механизм антисемитизма, долгое время существовавший в Европе, а с другой – преследование палестинцев на территориях, захваченных Израилем? Когда 300-миллионный индийский народ освобождался от империалистической Великобритании, то узамы, объединившими его, была не отсталая экономика, а ритуальная историческая философия, заложившая национальный менталитет. Этот перечень примеров можно продолжать и продолжать.

Суть подобных социальных механизмов лежит не только в генетических особенностях отдельных личностей, оказавшихся на верхних этажах социальной пирамиды, и не только в особенностях социальных формаций. На больших временных интервалах изменение социумов зависело от потоков миграций людей, определяемых биосферными циклами природы и историческими метаморфозами формирования наций и государств. В историческом плане совокупность этих взаимодействий создала почву для развития национальных культур. Изучение проблем исторической памяти требует использования другой системы понятий.

Во все времена в человеческом обществе существовал широкий диапазон типов личностей. От людей, для которых основным мотивом поведения являлось накопление материальных благ, до людей, в жизни которых главное – духовное развитие и творчество. Хотя очевидно, что человек формируется, приспособляясь к требованиям внешней среды, к экономическим и социальным изменениям, однако существуют не только определенные материальные потребности, настойчиво требующие своего удовлетворения, но и психические качества человека, невозможность реализовать которые, приводит к особым вариантам поведения. Всем хорошо известен афоризм: *не хлебом единым живёт человек*. Наиболее важной для многих людей является тенденция к развитию критического мышления, способности утонченно чувствовать «болезни общества». К описанию психики таких людей приложим известный парадоксальный афоризм: *в жизни нет никакого смысла, кроме поиска смысла жизни, т.е. превращение желаемого в действительное*.

В результате напрашивается вывод: личность человека, выражающаяся через его поведение, полностью не зафиксирована в его биологической природе. Её развитие зависит от условий жизни, но вместе с тем психика, формирующая личность человека, имеет и собственную историческую динамику, которая является активным фактором социальной эволюции. Наша чисто природная склонность заботиться о себе вызывает стремление расширять различные стороны собственной личности; мы часто отказываемся от развития в себе того, в чем не надеемся достигнуть успеха. Как соотносятся внутренние и внешние факторы формирования личности?

Вечный философский вопрос: в чем состоит *смысл жизни*? Но смысл жизни – многолик. Он различается от человека к человеку и изменяется во времени. Постановку вопроса о *смысле жизни*, когда он задан вообще, можно сравнить с вопросом, обращенным к гроссмейстеру: «Какой самый хороший ход в шахматах?» Просто не существует такого понятия, как наилучший или просто хороший шахматный ход в отрыве от конкретной ситуации. Не существует абстрактного *смысла жизни*. У каждого свое собственное его понимание. Можно ли дать определение *смысла жизни* как абсолютного понятия?

На одном из семинаров по биофизике в 60-ых годах XX века, когда рассматривались законы термодинамики в приложении к биосистемам, выдающийся биофизик и радиобиолог Н.В. Тимофеев-Ресовский на вопрос – в чем же смысл жизни? Ответил в шутку: «В непостыдной смерти». С позиции термодинамики в этой шутке есть только доля шутки. Если мы имеем замкнутую макроскопическую систему, то она придет в устойчивое состояние равновесия при достижении минимальной энергии и максимальной энтропии. Если это состояние достигнуто, то система продолжает оставаться в этом состоянии долго, поскольку все ее макроскопические характеристики не будут изменяться. Так ли это для живых систем? Нет, не так. Даже после смерти животного или человека память о нем еще «живет» какое-то время в информационном пространстве окружавшего его общества или в унаследованном геноме его потомков и влияет на поведение индивидов в реальной жизни, а потенциальная оставшаяся энергия его тела становится пищей микроорганизмов и вновь включается в энергетический круговорот биосферы.

1.3. Взгляд на человека через окно теологии

Основные религиозные конфессии основаны на понятии души как центре собственного «Я», утверждая, что стремления к достижению ею безгрешной чистоты в этой и в «будущей» жизни могут считаться заботами о ней. Многие люди постоянно или в особых, драматических ситуациях жизни обращаются к верховному судье – к Богу как олицетворению «*Нравственного всемогущего идеала*».

Религия выполняет функцию формулировки этических и нравственных законов общества и личности, а *вера* – неизбежный компонент вероятностного восприятия внешнего мира. В жизни выполнение этических религиозных законов людьми связывают с наличием совести.

Совесть и *сознание* не являются по-настоящему устойчивыми во времени в онтогенезе, поскольку накапливаемый человеком опыт заставляет переходить из одной когнитивной системы отсчета внутри своего мозга к другой. Например, первое впечатление от общения со «своим» или с «чужим» человеком со временем может либо утвердиться, либо быть отвергнуто. Не случайно говорят, что *«от любви до ненависти – один шаг»*. Возможно, что справедливо и обратное утверждение. Современного Андроидного робота, также как и человека с уродливой внешностью, можно полюбить, несмотря на первое отталкивающее впечатление.

Религии в отличие от науки состоит в том, что вера создаёт описание таких понятий, как *сознание*, *совесть* или *душа* человека, в доступных для людей сюжетах в виде притч и мифов. В то время, как наука опирается на экспериментальные факты, затрудняя тем самым популяризацию полученных результатов, т.к. требует подготовленной к их восприятию аудитории. Но наука помогает совершенствоваться в мозге все более адекватную личную (субъективную) модель окружающего мира, позволяя создавать новые объекты, творить и быть все более умелым Создателем окружающего мира.

Когда мы изучаем феномен *сознания*, то иногда полезен теологический подход. Библия (Ветхий и Новый Завет) – по своей сути это описание различных черт человеческого *сознания* и проявления его в поведении людей. Поколения авторов очищали библейские сюжеты от политики, пытаясь ввести абсолютные шкалы нравственных ценностей, упростили ситуации и тем самым превратили их в назидательные вневременные притчи. Приведём лишь три примера из христианской религии.

Во-первых, ответим на вопрос – почему существует Евангелия и от Матфея, и от Марка, и от Луки, и от Иоанна? Одна из причин состоит в том, что совместное описание одних и тех же событий людьми, с различающимся характером, сознанием и по-разному воспринимающих внешний мир, превратило текст Евангелией в живой документ эпохи. А то, что критики находят неопределенности в разных взглядах людей на одинаковые события, только поддерживает интерес к их многогранности и вызывает желание реконструировать описываемые события, выделив ядро психологии сюжета.

Во-вторых, в Библии (глава 1) отмечено, что *«люди, созданы по образу и подобию Божию»*. Но Адам (как первый человек) искажил в себе образ Бога, нарушив завет Творца. Этот первородный грех передается из поколения в поколение. Отсюда понятен ритуал крещения, когда омовение позволяет частично смыть с родившегося ребенка грех предков и заложить безгрешному младенцу путь «к образу Божию». Однако этот путь человек должен пройти сам – будет ли он удаляться от образа Творца, либо приближаться к нему? Подсказывать направление его жизненного пути ему будут его *вера*, *сознание* и *совесть*. Крылатое выражение: *на Бога надейся, но сам не плошай*.

В-третьих, библейская притча, отвечающая на вопрос: почему перемешаны внутри человека Добро и Зло? Сыновьями Адама и Евы были Каин и Авель. Старший сын Каин убил своего младшего брата Авеля. Имя Каина стало на-

рицательным для характеристики человека, способного на подлости. Он стал олицетворением Зла. Бог наказал Каина проклятием и вечным скитанием. При этом был наложен запрет на убийство самого Каина. Он был помечен «Особой печатью». Тем не менее, много лет спустя он был убит своим потомком, слепым Ламехом, но к этому времени у Каина было уже многочисленное потомство. Позднее у Евы и Адама родился еще один мальчик, которого назвали Сиф. Он был олицетворением Добра, вырос и также принес многочисленное потомство. Две ветви человечества от Каина и Сифа перемешались и расселились по всей Земле. От Каина и Сифа произошли все люди, включая верховных правителей. В результате смешения, каждый человек стал внутри себя смесью Добра и Зла. Праведная жизнь человека – это подавление внутри себя наследия Каина. Мораль этой притчи заключена в крылатом выражении: *не поступай с людьми так, как не хотел бы, чтобы они поступали с тобою*.

Притчи Библии – это путеводитель по разнообразию характеров и поведения людей. По этому поводу полезно также воспользоваться рассуждениями классиков литературы. По данным ЮНЕСКО романы Ф.М. Достоевского долгие годы были самые популярные в мире.

Ф.М. Достоевский исследует индивидуальность человека с *позиции непредсказуемости его действий*. Его романы (особенно «Преступление и наказание») – это описание распределенной и конденсируемой *среды Зла внутри человека*, приводящей его самого к тревоге и смятению. Его «герой» показан в предельных ситуациях, где проверке подвергается вся природа человека. Достоевский, чувствуя современную жизнь во всей её трагичности, заставляет ненавидеть людей, генерирующих Зло. Для него *Добро* – естественное, но хрупкое, поэтому предполагается преодоление эгоистических интересов человека. Достоевский заставляет читателя задуматься над тем, что важно в нашей жизни, и убеждает ценить то, что невозможно получить за деньги: любовь, сострадания и саму жизнь в её многообразии.

Следовательно, человечество сможет существовать дальше, только управляя через социальные механизмы своим *сознанием*. Ответы на подобные вопросы доказывают, что мы натолкнулись на внутренние противоречия в самом понятии «сознание». По-видимому, критерия истинности и определения сознания не существует где-то вне нас. В этом случае наши размышления в своей основе обязаны быть многовариантными, а их оценки происходить в терминах вероятности.

1.4. Феномен человека – это борьба противоположностей

Внутри нашего мозга имеют место противопоставления и конкуренция между ними (добро ↔ зло, любовь ↔ ненависть, здоровье ↔ болезнь, сытость ↔ голод и т.д.). Они активизируют процессы мозга, приводя их в движение. Противоречия заставляют искать компромисс. Борьба противоположных начал и их объединения с помощью компромисса приводит к появлению нового качества. Мысль об особой роли конкуренции двух начал не новая. Она свойствен-

на всем ветвям Природы, включая и развитие науки как отражения природных явлений.

В жизни конкуренция может происходить между несколькими участниками. Например, триединство и борьба – это центральные моменты творчества и его порождений – искусства, науки и религии. В семье мы обнаруживаем другую триаду: мать, отец и дитя. В социальной жизни человечества также имеет место триада: прокурор, адвокат и судья. В философии мы видим диалектическую триаду: тезис, антитезис и синтез. Многие творческие личности отмечали, что, по-видимому, существуют какие-то эмоционально-динамические модели – архетипы – число которых ограничено.

Истоки благоговения перед триадой восходят к Древней Греции к школе Пифагора, в которой утверждалось, что *миром правят числа*. Для Пифагора и его учеников каждое число имело свой особый физический смысл. Единица была началом начал. Она была олицетворением Единства Вселенной, ею измеряется *Всё*. Приблизительно через 2000 лет Лейбниц повторил это утверждение, введя понятие «монады». В дальнейшем развитии метафизики названия *единицы* менялись, но идея наличия первичного материального носителя сохранялась. Двойка была материнским началом, поскольку она распадается на две единицы: мать и ребенок. Тройка была понятием семьи, а четверка – понятием дальнейшего развития (муж, жена и разнополые дети). Интересно отметить связь длины сторон в прямоугольном треугольнике, открытую Пифагором: $a = \sqrt{b^2 + c^2}$ где b и c – длина катетов, а a – длина гипотенузы. Если $b = 3$, а $c = 4$, то $a = 5$. Но если b и c равны соответственно 1, то $a = \sqrt{2} = 1,4142136\dots$ Это число невозможно измерить единицей, поскольку оно – бесконечная дробь, получившее название иррационального (непознаваемого). Пифагорейцы отнеслись к этому факту как к открытию того, что начало начал непознаваемо, оно иррационально. Это мистическое откровение они старались держать в тайне. Конечно, все эти умозаключения в целом были наивными, но в них содержались элементы будущих открытий как в математике (например, Великая теорема Ферма¹), так и в физике (например, дуализм квантового мира «частица + волна»).

Пытаясь методами физики проникнуть в тайны работы мозга, мы впадаем в ошибку даже при классификации людей по типам их психики и сознания. Такой абсолютной классификации не существует. Число групп будет зависеть от цели, которую мы поставили перед собой. Можно производить разбивку психических типов на множество групп, в которые попадет по одному человеку, но может быть одна группа, в которую войдет все человечество. Между этими двумя крайними случаями разбиения по группам существует множество разнообразных типов разбиений, диктуемых практическими задачами.

Пример: если Интерпол ищет по отпечаткам пальцев преступника, то в этом случае число людей в этой группе равно единице, то есть преступник должен

¹Великая теорема Ферма утверждает, что уравнение $x^n + y^n = z^n$ не имеет натуральных решений при $n > 2$.

быть идентифицирован как конкретная личность. Если нам нужно выбрать руководителя предприятия, то мы составим список тех требований, которым, по нашему мнению, должен отвечать директор, и рассмотрим на соответствие им сотрудников или известных нам людей: В группу кандидатов может попасть любое количество людей, отвечающих выдвинутым требованиям. Таким образом, классификация определяется практической задачей. Становится очевидным, что при решении таких задач должен использоваться *многопараметрический динамический системный подход*.

1.5. Роль неопределенностей при попытке понять поведение сложных систем

Выбор количества иерархических уровней и терминология их описания также страдает неопределенностью. Попытка ликвидации неопределенности основана на результатах договоренности между исследователями. Здесь важен только смысл, который вкладывается в то или иное определение, и эксперимент, подтверждающий выдвигаемую гипотезу.

Например, термин *память человека*. Он существенно отличается от термина *память компьютера*. В компьютере при желании содержимое памяти можно удалить, быстро стереть. У человека информация, содержащаяся в памяти, не стирается, а вытесняется. Процесс этот – колебательный. Различия между «стиранием» памяти и её «вытеснением» – нечеткие, но они есть. Быстрее всего из памяти вытесняется информация о пережитых неприятностях. Человеку трудно жить в конфликте с самим собой и со своими негативными воспоминаниями. Мозг его стремится освободиться от них. Пожилые люди, вспоминая о своей молодости, с восторгом рассказывают о приятных событиях из своей жизни. Организм сам отдаёт приказ «не принимать во внимание» негативные процессы из прошлого.

На среднесрочных и кратковременных полюсах памяти вытеснение тождественно *переключению внимания*. Пример: человек сталкивается с тем, что его мозг гнетёт какая-то неразрешимая неприятность, тягостное ожидание. Он никак не может отключиться. Но вот происходит чрезвычайное событие, потребовавшее от него интенсивной работы, напряжения и размышлений. Это может быть даже какая-то другая неприятность, но та, прежняя, пока он действовал в новой ситуации, куда-то исчезла. Народная мудрость гласит: *клин клином вышибают*. Мозг отвлекся на некоторое время, хотя память о первой неприятности внутри мозга затаилась. Она ненадолго покинула сознание и ослабила свое негативное действие. Колебательная конкуренция другого события временно погасила влияние первой неприятности. Произошло её вытеснение. Но выполнение кратковременной отвлекающей работы закончилось, и ощущение прежней неприятности может вернуться. Если отвлекающая и приятная работа будет весьма продолжительной, и человек будет получать от неё положительные эмоции, то предыдущая неприятность может быть окончательно вытеснена, т.е. практически стёрта.

Другой пример, *генетическая память*. Она предполагает *длительное хранение* (на всю жизнь) *внесенной в систему информации*. Однако понятие *длительного хранения* является условным. Какой интервал времени считать длительным: секунда, минута, год или тысячелетие? Для многих живых организмов с короткой продолжительностью собственной жизни и быстрым размножением (например, насекомых или бактерий) временной интервал в минутном диапазоне уже является достаточно большим интервалом. Важно отметить, что *память* предполагает не только хранение информации, но доступ к ней при ее использовании. Во временных масштабах, используемых в человеческой практике, система, обладающая кратковременной *памятью*, должна хранить записанную в ней *информацию* хотя бы в течение *нескольких часов*.

При прекращении внешнего воздействия интервал времени запоминания определяется характерным временем установления *не абсолютного, а локального* термодинамического равновесия в физической или биологической системе. Однако установление равновесия по каждому из параметров в многопараметрической иерархической системе протекает различно, поскольку одновременно сосуществует иерархия разных шкал времени. В сравнительно простых конденсированных системах, например, в воде на разных иерархических уровнях мы также наблюдаем множество шкал со своими характерными временами жизни [2]:

– *фемто* или *пикосекундные* шкалы времени разрыва водородных связей, которые определяются соотношением квантовой и тепловой энергий ($h/kT \sim 1,6 \times 10^{-13} \text{с}$);

– *минутные* шкалы достижения равновесия растворенных в воде газов, которые определяются диффузионными переносами в воде ($D \sim 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$);

– *часовые* шкалы остывания воды, которые определяются диффузионным переносом тепла, т.е. теплоемкостью и температурной проводимостью воды ($\chi_v \sim 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$);

– *многочасовые* шкалы конвективного перемешивания воды за счет ее объемного расширения и испарения в открытых бассейнах ($\beta \sim \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$) и т.д.

Поскольку вода, как субъект исследования, во всех её состояниях не является равновесной системой в полном смысле этого понятия, то для нее характерны задачи с ненулевыми начальными условиями. В воде запасена тепловая энергия, приводящая к движению её молекул. Иерархия временных масштабов создает иерархию пространственных масштабов. Очевидно, что если регистрировать индивидуальные молекулярные события в воде, *то необходимо в качестве измерительных (считывающих информацию) приборов на квантовом уровне использовать квантовые переходы, а на макроуровне обычные термометры*. Поскольку биологические системы на $60 \div 90\%$ состоят из связанной и свободной воды (гели, слизи, белки, нуклеиновые кислоты, мембраны и даже кости), то на них распространяются подходы, развиваемые в физике конденсированных сред. На проблему границы между классической и квантовой механикой еще в 1958 году в своей книге “Atomic Physics and Human Knowledge” [3] обратил внимание Нильс Бор, предложив использовать принцип, который он назвал *принципом дополнительности*.

Наконец последнее: ограничивающим фактором классификации является логический способ выяснения причинно-следственных отношений. Казалось бы, что математика с её точным понятийным аппаратом логических построений полностью страхует нас от ошибок. Однако это не так. Обычно математические построения строятся по принципу:

«Если ..., то...».

После «Если» идут постулаты, после «то» следствия из этих постулатов. С каким бы математическим изяществом мы не оперировали с постулатами, все равно следствия из них заключены в самих постулатах. Если постулаты сформулированы в условном наклонении, то выводы будут получаться в условном наклонении. Не случайным является распространенная фраза: *история не имеет сослагательного наклонения.*

Чтобы получить вывод в повелительном наклонении, хотя бы один из постулатов должен быть в повелительном наклонении². Поэтому так важны запрещающие законы в науке, основанные на повелительном наклонении законов сохранения, на наличии инвариантов с использованием мировых констант. Они сразу говорят нам: *этого не может быть*, т. к. возникает противоречие с проверенными практикой фундаментальными законами Природы.

Например, принцип неопределённости Гейзенберга в квантовой механике устанавливает предел точности одновременного определения пар, характеризующих систему квантовых систем (например, координата x и импульс p или энергия E и характерное время τ). Он гласит: *чем точнее измеряется одна величина, тем менее точно можно измерить вторую, поскольку сам процесс измерения приводит к неопределённости:*

$$\begin{aligned} (x \times p) &\geq h \\ (E \times \tau) &\geq h \end{aligned} \quad (1)$$

где h – постоянная Планка. Этим принципом задаётся нижний предел для произведения среднеквадратичных отклонений пары квантовых наблюдаемых величин.

Всем известно также равенство А. Эйнштейна [4]:

$$E = m_0 c^2, \quad (2)$$

где E , m_0 , c – соответственно энергия покоя, масса покоя и скорость света. Следовательно, при аннигиляции тела массой m_0 невозможно извлечь энергии больше, чем:

$$E \leq m_0 c^2 \quad (3)$$

²Повелительное наклонение (лат. *modus imperativus*; также императив) – форма наклонения, выражающая волеизъявления (запрещающий или разрешающий приказ), например: *иди, делай, говори* или *не ходи, не делай, не говори.*

Существуют и другие запреты, например, законы термодинамики запрещают возможность создания любого вечного двигателя, в том числе двигателя 2-ого рода, в котором отсутствуют градиенты температур между телом двигателя и внешней средой.

Часто можно слышать от коллег, занимающихся изучением мозга, что для понимания его работы нужна новая физика. Когда в 2009 году по просьбе академика В. Л. Гинзбурга я готовил статью для журнала «Успехи физических наук» на тему «XXI век: что такое жизнь с позиции физики?» [5], то составил таблицу, в которой перечислил все признаки живых систем, которыми их наделяют авторы различных учебников по биологии. В результате анализа этих признаков заметил, что все эти признаки имеют место и в тех системах, которые называют неживыми (табл. 1).

Таб. 1. Признаки живой и неживой материи

№	Признаки живой материи	Признаки неживой материи
1	Живые организмы характеризуются <i>упорядоченной иерархической структурой</i> .	Все объекты неживой природы отвечают этому же условию и устроены по иерархическому принципу: элементарные частицы→ атомы→ молекулы→ макромолекулы и т.д.
2	Живые организмы являются <i>открытыми системами</i> и получают энергию из окружающей среды, используя ее для поддержания своей высокой упорядоченности	Смерчи, тайфуны, ветер, молнии черпают энергию Солнца; вулканы, землетрясения, подвижка материков черпают энергию из недр Земли. Таким образом, открытость живых систем – не специфический признак живого
3	Способность <i>реагировать на внешнее воздействие</i> (рецепция) – универсальное свойство всех живых систем	Намагничивание, электризация, свечение, поляризация, деформация, инерция, перемещение, разрушение и т.д. – это также ответы неживых объектов на внешние воздействия
4	Способность <i>запоминать информацию</i> о предыдущих состояниях и адаптироваться к изменению внешних условий	Ответная реакция объектов неживой природы обычно также направлена на «нейтрализацию» внешнего воздействия. Ответная реакция неживого объекта – это стремление сохранить свое исходное состояние (принцип Ле-Шателье, принцип Ленца, инерция Ньютона). Существуют проявления в неживых объектах и элементов памяти, например, магнитный гистерезис
5	Живые организмы <i>изменяются и усложняются</i>	Объекты в астрофизике (образование газопылевых облаков→ туманностей→ галактик), в геофизике (образование горячего ядра планет→ сравнительно холодной мантии поверхности планет→ тектонических плит → материков и океанов), в химии (преобразование субстратов в продукты) также демонстрируют эволюционное изменение и усложнение

№	Признаки живой материи	Признаки неживой материи
6	Все живое <i>размножается</i>	Коацерватные капли органических веществ могут расти и делиться. Из растворов солей растут кристаллы. Кусочек, отломившийся от растущего кристалла, становится зародышем для роста подобного кристалла. Черные курильщики и белые столба на дне океана также размножаются
7	Живое способно к <i>саморегуляции и регенерации повреждений</i>	Устойчивые вихри, торнадо, ячейки Релея-Бенара – саморегулирующиеся системы. Ледяная сосулька после разрушения восстанавливается снова. Кристаллы способны к регенерации дефектов (дислокаций). Следовательно, сам факт саморегуляции и регенерации не может служить отличием живого от неживого.
8	Живые объекты осуществляют <i>обмен веществ</i> с окружающей средой с целью размножения и экспансии	Все реакции окисления обладают этим свойством, например, горение. Преобразование энергии – это свойство всей природы, а не специфическое свойство живых систем.
9	Живые объекты обладают <i>направленной подвижностью</i>	Этим свойством обладают ферромагнитные частицы в магнитном поле, ионы в электрическом поле, броуновские частицы в тепловом поле, частицы, имеющие массу, в гравитационном поле и т.д.
10	Живым объектам свойственна <i>неравновесность состояния</i>	Дожди, снегопады, лавины, водопады и т.п. – это все также неравновесные состояния.

Из этого можно сделать вывод: попытка найти какой-либо характерный признак, свойственный лишь живому – занятие малоперспективное. Следовательно, *в живых системах не обнаруживается никаких свойств, которыми не обладали бы разные неживые объекты. Это утверждение создает неопределенность в самом определении понятия «живая материя».*

Если удастся рукотворно с помощью технологий, созданных человеком, произвести на свет Робота, который будет наделен поведенческим кодом, свойственным человеку, но создан на *другой материальной основе*, то можно ли считать его живым организмом?

1.6. Неопределенность термина мышление

В 1950 году Алан Тьюринг в философском журнале *Mind* (Разум) опубликовал статью под названием «Вычислительные машины и разум» (*Computing Machinery and Intelligence*), в которой предложил тест, который должен был бы доказать, что вычислительная машина, на основе заложенной в неё програм-

мы, начинает обладать «мышлением». Он сформулировал свой тест на основе ответа на вопрос: может ли машина совершать действия, неотличимые от обдуманных действий человека? Суть его теста показана на рис. 2.

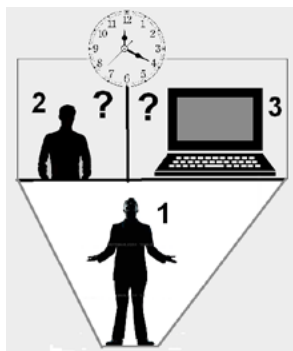


Рис. 2. Человек (1) – экзаменатор задает вопросы скрытым от него двум субъектам человеку (2) и машине (3) и получает от них письменные ответы. Он не знает, с кем ведет в данный момент переписку. Если за заданное время человек (1) не сможет отличить способности машины (3) от способностей человека (2) отвечать на его вопросы, то можно утверждать, что машина мыслит. Если это утверждение справедливо, то люди – это машины особой биологической разновидности на водно-органической основе

30 лет спустя с целью опровергнуть тест А.Тьюринга американский философ Дж. Сирл придумал другой тест – «китайская комната» [6]. Суть теста Дж. Сирла состояла в доказательстве, что комбинаторный перебор, реализуемый в виде программы в вычислительных машинах, не эквивалентен мышлению человека. Даже сам человек на основе перебора может давать на первый взгляд разумные ответы без понимания смысла вопроса. Реализация теста Сирла показана на рис. 3.



Рис. 3. Человек (1), владеющий китайским языком и иероглифической письменностью, отправляет человеку (2), находящемуся в закрытой комнате, вопрос в виде записи иероглифа. Человек (2) не знает китайской письменности и не владеет китайским языком, но имеет инструкцию: «Получив иероглиф такого вида, возьми такой-то иероглиф из корзинки № 1 и помести его рядом с таким-то иероглифом из корзинки № 2, и отправь обратно»

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

По-видимому, только совокупность свойств, дополненная различными элементами долговременной и кратковременной памяти (ассоциативной, генетической, социальной и интеллектуальной) позволяет наметить контуры в размытых границах живой и неживой материи. Естественно возникают новые вопросы: есть ли в биологии какие-либо дополнительные законы, которые помогли бы нам ограничить объём поиска при выяснении принципов работы мозга? В какой степени возможно упрощение описания объектов высокой сложности? Где проходит граница, переступая которую, в связи с упрощением описания, мы теряем понятие целостности, а, следовательно, и понимания механизмов работы сложных систем?

Выбор ответа требует договоренности между исследователями. В противном случае возникнет неразрешимый спор, который длится уже более 50 лет (табл. 2) [7].

Табл. 2. Аргументация сторон в пятидесятилетнем споре о роли моделирования в нейронауках

Тезис	Антитезис
<p>Поскольку материал, на основе которого сделан компьютер, не имеет отношения к вычисляемым им функциям (процедура вычисления зафиксирована лишь в программе), то модель-программа в принципе может воспроизводить информационную работу мозга с любой заданной программистом точностью. Все существующие ограничения и дефекты программ – явление временное, базирующееся на недостаточности наших знаний и неизбежных пока упрощениях.</p>	<p>Программа компьютера может манипулировать лишь с символами. Мозг же работает не с символами, а со смысловыми ситуациями. Элементы сознательного разума обладают семантическим (смысловым) содержанием, обеспечивающим выживание организма. Например, мозг распознает контуры хищника в зашумленной среде и мгновенно выбирает правильную реакцию на его появление; проводит различия между съедобными и несъедобными объектами; между половым партнером и другими животными; короче – выбирает смысловое поведение в сложной внешней среде. Машина же оперирует с символами, перекладывая их по определенным правилам из ячейки в ячейку. Это есть синтаксис без семантики.</p>
<p>Утверждение о том, что система «искусственного интеллекта» должна непременно обладать всеми свойствами нашего мозга – абсурдна. Требовать полного соответствия по всем параметрам – все равно, что добиваться от искусственного летательного аппарата (на том основании, что он должен летать) необходимо-</p>	<p>Мозг – это прежде всего «биохимическая машина», манипулирующая с молекулами. Именно особые свойства биохимических молекул закладывают основу эффекта сознания, описанную в определенных специфических молекулярных гормонально-рецепторных терминах. Деятельность мозга строится на основе</p>

Тезис	Антитезис
<p>сти нести яйца. Нам пока мало известно о том, в чем именно состоит процесс мышления и семантика, поэтому всякая уверенность по поводу того, какие свойства здесь существенны, преждевременна.</p>	<p>таких понятий, как боль, жажда, радость, возбуждение. Эта деятельность формируется в иерархической системе «снизу вверх» от молекулярного уровня до уровня целостного мозга. Например, чувство жажды, по крайней мере, в некоторых случаях, обусловлено срабатыванием нейронов определенных типов в гипоталамусе, которое, в свою очередь, вызвано действием специфического пептида ангиотензина II.</p>
<p><i>Биохимический мозг</i>¹ совершенно не обязательно должен быть единственной физической системой, способной на мыслительную деятельность. Компьютерные программы, моделирующие мозговые процессы, должны отражать лишь информационный аспект этих процессов. Моделирование не следует смешивать с полным воспроизведением. Самолет летает не потому, что в нем скопирован принцип полета птиц. Хотя можно (если нужно) представить себе компьютерную модель, отражающую воздействие пептидов на гипоталамус, которая будет точна вплоть до каждого синапса.</p>	<p>С таким же успехом мы можем представить себе компьютерное моделирование процесса окисления углеводов в автомобильном двигателе или пищеварительного процесса в желудке. Модель процессов, протекающих в мозгу, будет ничуть не реальнее моделей, описывающих процессы сгорания топлива или пищеварительные процессы. Нельзя привести автомобиль в движение, моделируя на компьютере окисление бензина, нельзя переварить обед, выполняя программу, моделирующую пищеварение. Моделирование мышления также не произведет нейрофизиологического эффекта мышления.</p>
<p><i>Искусственный мозг</i> может и не пользоваться биохимическими молекулами и достичь того же эффекта. Например, можно создать микропроцессоры (и они уже созданы), которые будут по входу и выходу моделировать работу сетчатки или, например, улитки уха. Они в реальном времени реагируют на реальные сигналы: свет, звук. Такие схемы основаны на известных анатомических и физиологических свойствах сетчатки кошки и ушной улитки сипухи, и их выход по выбранным параметрам сигнала чрезвычайно близок выходам органов, которые они моделируют. В микросхемах не используются нейромедиаторы, следовательно, они могут не являться необходимыми элементами для достижения желаемых результатов.</p>	<p>Добиться конкретных, а не абстрактных свойств мозга только за счет выполнения формальной программы операции с символами невозможно. Чтобы такое стало возможным, структура логических элементов должна начинаться с биологически важных молекул. Они могли эволюционно возникнуть случайно, но, раз возникнув, теперь они уже определяют мышление живых систем, так как оно основывается на структурных изменениях именно этих молекул. Любая система другой природы, возможно, и сможет мыслить, но совсем иначе, чем биологическая. Дело не в том, что современные программы делают в воспроизведении процессов мышления первые шаги, они просто находятся на другой дороге.</p>

Итог этих дискуссий в XX и в XXI веках и следствия из них приведены в таблица 3.

Табл. 3

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

ЗаклЮчить эту главу можно четверостишием:

*Фактура мозга нам известна,
То к пониманию стезя.
Мешает лишь вопросов бездна,
Найти простой ответ нельзя.*

Оно отражают содержание этой главы, и предлагает читателю, в попытке найти простой ответ, попытаться продолжить сравнение работы нашего мозга с машиной, обрабатывающей информацию.

Глава 2

ЛЮДИ И АНДРОИДЫ

*Первое высказывание человека
о любой новой высокоразвитой технологии –
«она облегчает жизнь». О последствиях
он задумывается позднее.*

1. ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМУ



В этой главе показано, что цель андроидного робота и человека – обеспечить динамическую устойчивость в условиях изменения внешней среды. Человеческий мозг в отличие от компьютерного «мозга» Робота имеет многоуровневую иерархическую организацию, в которой обработка информации происходит на всех уровнях: от молекулярного до социального. Человек сам ставит цель, совершенствуя виртуальную модель, которая синтезируется его мозгом. Мозг человека может одновременно работать не только на основе классической детерминированной логики, но и использовать диалектическую вероятностную логику.

1.1. Двойственность отношения к робототехнике

Робототехника развивается с экспоненциальным ускорением. Нас будет интересовать *искусственный интеллект (ИИ) креативного андроидного робота*¹ (КАР) в сравнении с интеллектом человека и предел их сходства. Разработчики КАР надеялись, что именно этот класс машин станет высшим научно-технологическим достижением человечества.

С одной стороны, будущее формируется сегодня. Логично предположить, что программы, заложенные в КАР будут под контролем людей и взаимодействовать с нами без злого умысла, для пользы всего человечества. Хотя прогнозы составляются, но никто достоверно не знает, каким будет мир, например, в

¹*Креативность* (англ. *create* – создавать, *creative* – созидательный, творческий) – умение принимать творческие решения для достижения цели. *Андроид* (от греч. слова *άνθρωπος* – человек и суффикса – *οιδ* («подобие») – *человекоподобный*) – робот-гуманоид или синтетический «организм», предназначенный для того, чтобы действовать подобно человеку.

2040 году и тем более в 2100 году. Невозможно предсказать отношения между людьми и новыми поколениями суперкомпьютеров, реализующих ИИ и КАР.

С другой стороны, сегодня в человеческом обществе отношение к этим разработкам двойственное. Роботы смогут выполнять любые работы без усталости, намного дешевле, точнее и быстрее людей, и, следовательно, вытеснят последних с рынка труда. При этом возможно, что социальная система человечества изменится так, что нарушится её устойчивость. Нельзя также исключить желание оборонных ведомств и органов правопорядка доверить КАР силовые действия. Всё чаще возникают идеи о гибридных системах – «человеческий мозг + ИИ». Компания Neuralink разрабатывает интерфейсы, которые объединяют человеческий мозг и компьютерный чип. Искусственный интеллект имеет то преимущество перед нашим мозгом, что при их объединении он начинает эффективно пользоваться возможностями нашего мозга. Работающая система «мозг+компьютер» породит касту «суперполицейских и супервоинов». При реализации такого проекта главным риском станет сбой программного обеспечения. Человеческому мозгу свойственно ошибаться, но для нечеловеческих и непоправимых ляпов нужен искусственный интеллект. Современные программы и компьютеры обычно надежнее людей и при дублировании не ошибаются, но, тем не менее, вероятность сбоя существует. Нельзя исключить атаки хакеров, и любые другие случайные или намеренные сбои в работе ИИ. В связи с быстройдействием КАР в случае сбоя, у оператора на ликвидацию последствий времени не будет. Это может вызвать трагическую ситуацию. Наборы рисков при создании креативного ИИ часто сравнивают с содержимым ящика Пандоры. Главная опасность состоит не только в том, что искусственный интеллект начнет мыслить как человек, а в том, что человек начнет мыслить как искусственный интеллект, но существенно уступая ему в скорости.

Часто раздаются голоса – ограничить или запретить развитие ИИ до тех пор пока человечество не осознает всех рисков, связанных с их развитием. Однако человечество не может отказаться от удовлетворения своего любопытства, которое мы торжественно называем любознательностью. Простой пример: повесить табличку «Осторожно окрашено», и множество людей захотят в этом убедиться, пачкая палец. В прошлые годы были попытки запретить отдельные направления исследований (например, пытались запретить искусственное оплодотворение человеческих яйцеклеток вне организма или манипуляцию с генами). Запреты тормозят, но не останавливают развитие науки [1]. Хотя попытки предпринимаются, но остановить научный прогресс (даже, когда он связан с риском) практически невозможно.

Работы по робототехнике проводятся во всех развитых странах. Долгое время лидировали США. Сегодня в России редкий технический университет не принимает участие в отечественной программе робототехники. Сюда следует добавить пять академических институтов и семь научно-производственных объединений. В последние годы Япония, Китай и Индия сделали существенный скачок в этой области. Оценка роста рынка робототехники была проведена в 2016 году консалтинговой компанией Tractica. Рост рынка идет по экспоненте (рис.1).



Рис. 1. Предполагаемый рост объёма продаж роботов к 2022 году оценивался в 237.3 млрд долларов США. Он вырос к 2022 году в 5 раз, в основном за счет покупок роботов не индустриального назначения [Tractica: Total Industrial and Non-Industrial Robotics Revenue, World Markets (2016–2022)]

1.2. Виды роботов и прогноз их развития

В 2017 году в сетях Интернета демонстрировался одновременный танец 1069 роботов Dobi из WL Tech. Это событие происходило в городе Гуанчжоу на юге Китая. Как передает Mashable.com., управляли роботами через единую систему. В этом шоу был побит мировой рекорд количества одновременно танцующих роботов. Прежний танец включал 1007 роботов. Развлекательные роботизированные шоу начинают приобретать массовый характер, подстёгиваемый амбициями разработчиков в борьбе за мировые рекорды. Роботы Dobi способны не только танцевать, но и петь. Также они могут изображать приемы бокса или кунг-фу.

Класс роботов, управляемых оператором, не более чем *дистанционное управление машинами на основе команд с пульта*. С таким дистанционным управлением знакомы даже дети, имеющие радиоуправляемые игрушки.

Особое место занимают экзоскелеты, которые соединяются с подвижными частями тела человека и копируют их подвижность, повышая мощность и точность движения. Экзоскелеты активно внедряются в медицину для помощи людям с патологиями пространственного передвижения. Они используются также для дистанционной манипуляции с предметами в агрессивных средах и в работах, требующих высокой точности микродвижений, например, в микрохирургии.

При этом для управления можно использовать электрические потенциалы, которые идут из центральной нервной системы к мышцам человека, но при этом исключать тремор в движениях. Потенциалы отводятся с двух нервных окончаний мышц-антагонистов – сгибателей и разгибателей, например, ног, кисти руки или пальцев. В нашей стране ещё в 60–70-ых годах прошлого века В.С. Гурфинкелем и А. Кобринским с соавторами была создана управляемая биотоками «искусственная рука» [2, 3]. Е.Б. Бабским был разработан вживляемый в грудную полость пациента стимулятор сердечной деятельности, управляемый ритмом сердечных сокращений с помощью усилителя потенциалов предсердия [4, 5].

Сегодня успешно решаются задачи имитации роботами движений человека, распознавания лиц в толпе или воспроизведения голоса конкретного человека и мимики его лица, а также сравнительно легко программируемые диалоги: «детерминируемый вопрос ↔ детерминируемый ответ». Роботы имитируют, например, выступление артистов эстрады (рис. 2а), официанта, принимающего заказы (рис. 2б); экскурсовода, рассказывающего об экспозиции выставки (рис. 2в); поведение: секретаря, встречающего посетителей (рис. 2г); сиделок и санитарок медицинских учреждений или домов престарелых (рис. 2д) или лектора, читающего лекцию и отвечающего на вопросы слушателей с заранее запрограммированными ответами на предполагаемые вопросы (рис. 2е). Особенно увлечены развитием такой робототехники исследователи Японии.

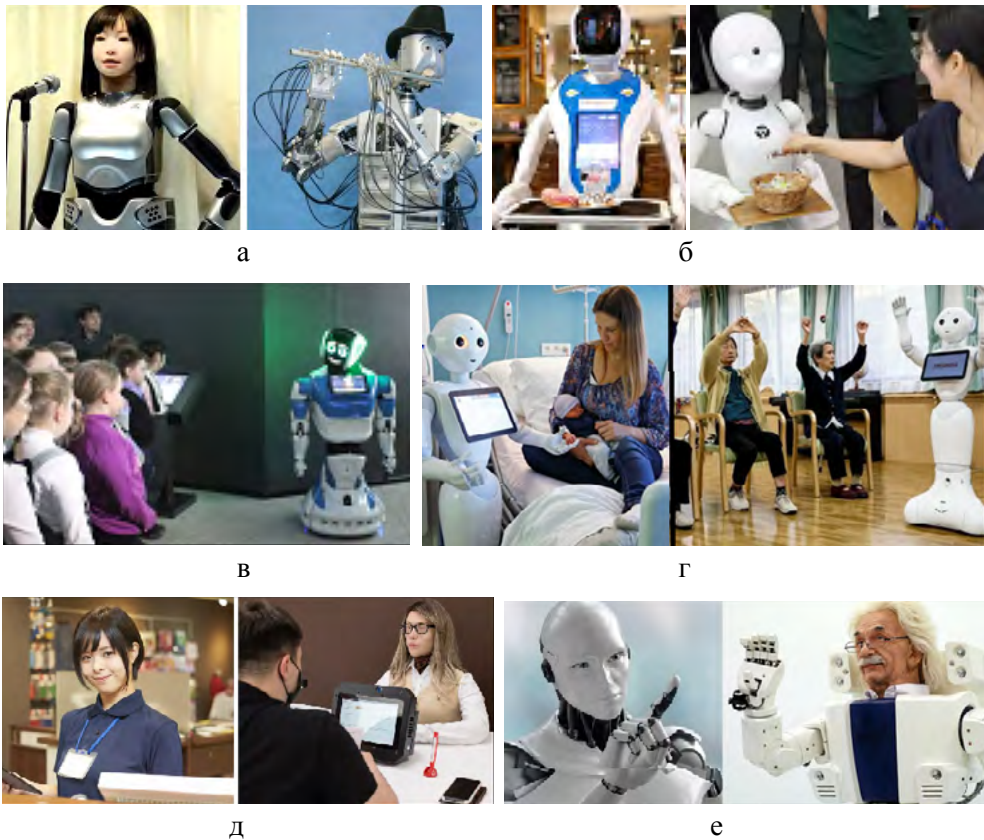


Рис. 2. Примеры использования роботов андроидов. В базах Интернета уже находится более сотни подобных фотографий роботов различных профессий

Кроме того, постепенно приобретают популярность шлемы VR (virtual reality) виртуальной реальности и шлемы, смешивающие окружающую реальность с виртуальной реальностью. Они используют зрительный и слуховой рецепторы человека, но не в реальном, а в виртуальном искусственном мире. Виртуальный мир создается программой компьютера. Создание виртуальной

реальности уже находит применение при создании тренажеров для обучения космонавтов, пилотов, диспетчеров, хирургов и др., и применяется в области дизайна и архитектуры [7].

Особый класс роботов составляют нанороботы и микророботы, которые запускаются внутрь организма с медицинскими целями для диагностики или микрохирургии, а также для адресной доставки биологически активных соединений. Уже существуют микрокапсулы, наноплатформы с биологически активным содержимым или, так называемая, обменивающаяся информацией и объединяющаяся в стаи с целью решения совместных задач «умная пыль» (англ. *smartdust*) [8]. Другой класс наносистем – это наномашинны [9], например, весьма опасная саморазмножающаяся «серая слизь» (англ. *grey goo*). [10].

Ограничимся одним примером из нашего опыта. Попытки создать «микронано-машинную технологию» предпринимались давно, почти 50 лет тому назад [11]. Например, нами были реализованы их простые варианты при создании газотранспортных плазмозаменителей крови в 80-тых годах XX века. Идея их основана на том, что частицы из комбинации перфторуглеродов размером $30 \div 70$ нм переносят кислород из оставшихся после кровопотери эритроцитов в ткань. Эритроцит в артериальной крови, размер которого более, чем в 100 раз превосходит размер частиц эмульсии, выполняет функцию «матки-базы», нагруженной кислородом. Частицы из перфторуглеродов периодически циркулируют за счет пульсирующих гидродинамических потоков плазмы крови между эритроцитами и тканью. Они образуют линейные структуры типа «жемчужных нитей», эстафетно передавая по закону Фика кислород от эритроцита к стенкам кровеносного сосуда, откуда он сам далее диффундирует в ткань [12].

Что касается КАР, то будущая область их использования это работа в агрессивной среде или при чрезвычайных ситуациях, включая дальние космические полёты. Надеются, что КАР не только по быстродействию, точности выполнения различных операций и силовым показателям будет превосходить человека, но и по креативным возможностям не уступать ему. Компьютерная программа должна делать только то, что в неё закладывает программист. Самостоятельность формирования цели у КАР должна быть ограничена. В противном случае могут возникнуть проблемы при взаимодействии с человеком.

В этом классе роботов много нерешенных проблем. Их создание требует развития совместных физико-технических и нейрофизиологических исследований. Все процессы, для которых можно написать алгоритм, могут быть реализованы в системах ИИ. Однако возникают вопросы: есть ли такие процессы, которые не поддаются математическому описанию и алгоритмизации? Имеется ли предел в сходстве КАР с человеком?

Кроме того, существует и другой научный интерес: мы не сможем эффективно бороться с нейродегенеративными заболеваниями человека, не поняв в полной мере, как работает наш мозг и как мыслит человек. Понять – это значит: попытаться искусственно создать ИИ и КАР с интеллектом, похожим на интеллект человека, или сформулировать ограничения в достижении их похожести.

Из медицинской практики известно, что шизофрения – это переход мозга человека в хаотический режим работы. Существует термин *анофения* (введенный ещё в 1958 году немецким психиатром Клаузом Конрадом). Он происходит от др.-греч. слова ἀποφαίνω – высказываю суждение, делаю явным. Это есть переживание, заключающееся в способности долго находиться в виртуальном мире собственных вымыслов. Такое состояние можно классифицировать как начальный этап шизофрении. Мозг человека при поиске решений, возникающих в сложных ситуациях, всегда находится на границе порядка и хаоса, или, что то же самое, на границе использования классической и вероятностной логики. Если мозг, войдя в стохастический режим, не может выйти из такого состояния, то он погружается в область распада процессов мышления и появления аномальных эмоциональных реакций.

Например, в журнале «Успехи физических наук» на темы, связанные с нейробиофизикой, было опубликовано много обзоров [13–22], но в отличие от этих публикаций в этой главе сделан акцент на логику процессов, которые происходят в мозгу человека и в ИИ креативного робота.

Прогнозы – дело неблагодарное, поскольку в силу нелинейности систем они сбываются не часто. Тем не менее, приведём один из их вариантов (табл. 1), подготовленный, более 5 лет назад, в 2016 году российской компанией «МИВАР» (*Многомерная Информационная Варьирующаяся Адаптивная Реальность*). Он основан на предположениях, высказанных экспертами в разные годы.

Табл. 1. Перспективы развития робототехники до 2040 года

Год	Предполагаемый результат	Источник с годом прогноза
2018	Робот сдаст экзамен на право вождения автомобилем	Олег Варламов, президент компании «МИВАР», 2016
2019	90% организаций будут иметь в своем штате такую должность как CDO (Chief Data Officer) – директор по управлению данными	Cortner, 2016
2020	В США будут эксплуатироваться 30 тыс. беспилотных гражданских летательных аппаратов.	Федеральное управление гражданской авиации США, 2012
2022	Роботы научатся понимать поведение человека и реагировать на него	Статья «РБК представила экспертно-аналитический отчет о рынке робототехники». Отчет подготовлен Центром инновационного консалтинга ООО «Ларза» по заданию РосБизнесКонсалдинга (РБК). статья размещена в электронном журнале «Современная электроника» от 05.12.2014

Год	Предполагаемый результат	Источник с годом прогноза
2024	Появятся коммерчески доступные автомобили, способные реагировать на изменение ситуации на дороге и передвигаться автономно.	IHS Automotive, 2014
2025	Использование роботов в промышленности уменьшит затраты на оплату труда на 16%	Boston Consulting Group, 2015
2028	Появятся первые автономные медицинские микророботы, способные самостоятельно и направленно перемещаться в теле пациента	“A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics”, 2013
2029	ИИ будет способен к самообучению, пониманию шуток и имитации эмоций	Рэй Курцвейл, технический директор Google, 2014
2030	Появятся коммерчески доступные андройды, внешний вид и способности которых будут идентичны человеческим	Экспертный семинар «Тренды и перспективы развития отрасли робототехники в России», 2014
2032	Роботы превзойдут людей по интеллектуальным возможностям	Дэйв Эванс, футуролог компании Cisco, 2011
2035	В Японии роботы освоят 49% специальностей из 600 существующих	Nomura Research Institute, 2015
2040	Роботы будут использоваться для поддержания правопорядка в городах	Профессор Ноэл Шорки, Университет Шеффилда, 2012

Судить самому читателю насколько сбылись эти прогнозы. Реализация многих предположений обогнала время, другие предположения пока остались нереализованными.

1.3. Основные отличия роботов от человека в настоящее время

Очевидно, что созданные сегодня роботы – это электромеханические машины. Живые организмы – это физико-химические «машины» на водной основе. Живой мозг и его функции развивались эволюционным путем *на основе блочно-иерархического отбора* [25, 171] в неразрывной связи с развитием тела организма и изменениями внешней среды на нашей планете. В этом процессе особое место отводится внутренней среде организма, в частности важной роли сердца при взаимодействии с мозгом. Этот факт часто забывают при сравнении ИИ робота с интеллектом человека. Сердце создает заметные акустические и электромагнитные поля в нашем организме, топография которых на поверхности тела регистрируются с помощью современных методов пространственной

кардиологической аускультации (лат. *auscultatio*, выслушивание) или электрокардиографии.

Как известно, акустические волны есть продольные упругие колебания давления в газах, жидкостях и твердых телах. В твердых и жидких средах каждая частица среды может колебаться около точки равновесия (стоячие волны). Однако следует отметить, что одиночные колебания могут быть не упругими, а вещество среды при этом перемещается. В этом случае может возникать особый вид волн – *солитонов*, которые проходят сквозь друг друга и распространяются на большие расстояния [23, 24]. Они отличаются от гармонических волн (подробнее в разделе 2 этой главы).

В основе создания роботов в сравнении с человеком пока имеется множество различий: (табл.2).

Табл. 2. Сравнение основных характеристик

№	Основные характеристики	Робот	Человек	Превосходство
<i>Обобщённые характеристики</i>				
1	Принцип организации	Электромеханическая машина	Физико-химическая «машина» на водной основе	–
2	Силовые усилия	Практически неограниченны	Ограничены	Р
3	Утомляемость	Отсутствует	Имеет место	Р
4	Коэффициент полезного действия	60 ÷ 90%	15 ÷ 20%	Р
5	Самостоятельное формирование цели	Отсутствует	Имеет место	Ч
6	Социальная фасилитация	Возможна	Имеет место	Ч
7	Самообъединение в группы	В ряде случаев достигнуто, пример – формирование стай дронов (беспилотников)	Имеет место	Ч
8	Самовоспроизведение	Возможно	Имеет место	Ч
9	Количество иерархических уровней, обрабатывающих информацию, поступающую из внешней среды	Пока ограничено и меньше, чем у человека	Ограничено, но больше, чем у современных роботов	Ч

№	Основные характеристики	Робот	Человек	Превосходство
<i>Сравнение характеристик «искусственного мозга» Робота и Мозга Человека</i>				
10	Характеристическое время формирования реакции	Меньше 1мкс	Порядка 0,1сек	Р
11	Принцип работы	Дискретный	Дискретно -аналоговый	–
12	Подложка под логическими элементами	Твердая, пассивная среда	Жидкая, активная среда	–
13	Пластичность	Низкая	Высокая	Ч
14	Поведение подложки	Стабильное	Пульсирующее	–
15	Термостабилизация	Распределенная, в основном, воздушное охлаждение	Охлаждение –локализованное, жидкое	Ч
16	Взаимодействие с внутренней средой системы	Сверху вниз	Иерархическое и циклическое с обратными связями – сверху вниз и снизу вверх	Ч
17	Влияние шума	Помеха в работе	Шум – созидающий фактор, обеспечивающий переходы между состояниями	Ч
18	Несимметричные ответы на изменение внешней среды	Отсутствуют, пока творчеством не обладают	Творчество имеет место	Ч
19	Логика работы	Детерминированная (классическая логика)	На границе классической и вероятностной логики	Ч
Примечание: в пятой колонке обозначения Р – робот, Ч – человек.				

Данные, приведенные в таблице 2, соответствуют сегодняшней ситуации.

В неживых системах в отдельности встречаются все признаки, которые характерны для живых систем [25]. Используемый в таблице термин *фасилитация* (от англ. *facilitate* – помогать, способствовать) – это управление, основанное на поиске консенсуса при объединении элементов системы, что повышает устойчивость системы как целого. Процесс фасилитации происходит на основе *дуализма*, т.е. сочетания *симбиотического* и *конкурентного поведения* (обычно в философии такой процесс именуется как «единство и борьба противоположностей»).

В технике устойчивость определяется, как свойство технических систем сохранять значения конструктивных и кинетических параметров в заданных пределах. В теории вероятностей определяют статистическую устойчивость, как сходимость значений величин вероятности к некоторому пределу. При компьютерном имитационном моделировании и количественных расчётах необходимо также принимать во внимание, так называемую, численную устойчивость, например, связь алгоритма вычисления с ошибками округления числовых значений переменных величин.

Живые системы в отличие от неживых систем адаптируются к изменениям внешней среды. Их устойчивость – динамическая, т.е. временное состояние равновесия обременено падением. Интервал времени устойчивости равен продолжительности жизни системы. Главное требование к адаптации – это поддержать устойчивость системы, находящейся в неравновесном состоянии [26]. *Обработка, поступающей извне информации, происходит на всех иерархических уровнях организма живых систем.*

2. ПРОБЛЕМА КРЕАТИВНОСТИ

2.1. Пирамида иерархических уровней в организации живых систем

В живых системах можно отметить, по крайней мере, девять иерархических уровней (рис.3).

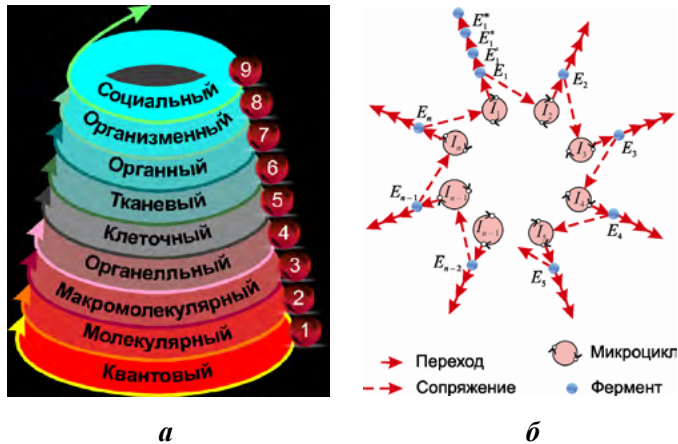


Рис. 3. Иерархическая организация живых систем:
 а – уровни организации; б – гиперцикл М. Эйгена [27]

Задача построения математической модели иерархической системы состоит в объединении всех уровней в единое целое, но она пока не решена. Казалось бы, что при девяти уровнях не так сложно определить результаты

взаимодействия между уровнями. При этом количество связей «всех уровней на всех» будет небольшим, соответствуя выражению:

$$Q = m(m - 1) \quad (1)$$

где Q – количество связей, m – количество уровней. Таким образом, при $m = 9$ получим всего $Q = 72$. Однако в реальности всё намного сложнее, поскольку на каждом уровне количество взаимодействующих элементов, объединенных в сети, чрезвычайно велико.

Попытки объединить уровни в единую систему предпринимались многократно. Например, ещё в 70-ых годах прошлого века немецкий биофизик Манфред Эйген (*Manfred Eigen*) выдвинул идею «гиперцикла», сосредоточившись на анализе макромолекул [27, 28]. Суть идеи Эйгена выглядит следующим образом (рис. 3б): в основе размножения элементов живых систем лежит матричный способ репликации ДНК. Обозначим этот цикл буквой I с индексом. Таких микроциклов много, от 1 до n .

Внутри каждого цикла идет автономная репликация, т.е. перезапись с матрицы на матрицу: «негатив-позитив», «позитив-негатив» и т.д. Для того чтобы эти микроциклы были взаимно регулируемыми, М. Эйген предложил ввести объединяющий их гиперцикл, что, по его убеждению, способствовало процессу увеличения сложности организации в далекой от равновесия химической системе, с образованием новых микроциклов с многочисленными петлями обратной связи. Каждый микроцикл, входящий в состав гиперцикла, одновременно с репликацией производит набор факторов связи (ферментов E_i). Эти факторы могут либо селективно повышать скорость и точность репликации, либо уменьшать скорость распада уже синтезированных матриц. Это означает, что любой i -ый микроцикл в гиперцикле, независимо от того, сколько и чего он кодирует и перезаписывает в режиме репликации, всегда должен зависеть от фактора связи E_{i-1} , а сам должен содержать фактор связи для соседа E_{i+1} . М. Эйген считал, что каждый i -ый микроцикл есть координировано регулируемая генетическая единица, а все они вместе работают последовательно по гиперциклу.

Другими словами, М. Эйген, описав феноменологию биологического явления на уровне макромолекул, все сложности объяснения развития и функционирования системы обошёл, введя своеобразное «управляющее начало» в виде факторов связей E_i , которые «всё умеют», а сами усложняются. Но на вопрос, – какова кинетика и какие движущие силы такого самоусложнения? – он не ответил. Таким образом, несмотря на удачную идею циклов, объяснение самого процесса образования гиперцикла осталось неопределённым.

По-сути в основе гиперцикла М. Эйгена лежит проекция расположенных выше уровней пирамиды (рис. 3а) на уровень макромолекул. При такой редукции специфика кинетики процессов на остальных иерархических уровнях оказалась потерянной.

Другая идея принадлежит М.И. Рабиновичу с соавторами [14, 29]. Как будет ясно из дальнейшего изложения, она близка к идее, рассматриваемой в данном обзоре, а именно – попытка создать математическую модель сознания на ос-

нове теории колебаний в терминах нелинейных уравнений. Однако в ансамбле большого числа степеней свободы, при объяснении спонтанно возникающего порядка из хаоса, существенную роль играет *удачный случай*, который в подходе М.И. Рабиновича отсутствует. *Удачный случай* в психологии часто называют *озарением* (см. притчу о смышлёном ребенке в разделе 5.1 этой главы). При этом *случайность является одним из существенных механизмов возникновения новых межнейронных связей*, а нелинейность включается позднее, предотвращая неограниченный рост. При этом нервные импульсы, возникающие при взаимодействии с внешней средой, имеют своеобразный вид пиков, превышающих уровень шумов [30]. Промежутки между импульсами характеризуются большой протяженностью. Как известно, общее название такой картины в физике – «перемежаемость» [31]. Отметим, что задача о возникновении *перемежаемости* в некотором смысле напоминает задачу о возникновении возврата из детерминированного хаоса в упорядоченное движение в динамической системе [32].

Требований к любой модели, предлагаемой разными авторами, только два – внутренняя непротиворечивость и предсказание новых режимов, подтверждаемых экспериментальной проверкой. Очевидно, что по этой причине для описания сложной системы можно предложить множество разных моделей, отвечающим этим двум требованиям (см. раздел 3 в этой главе).

Р. Пенроуз в своей книге [33, с.14 русское издание] писал: «...*В формировании нашего сознания с необходимостью есть элементы, которые не могут быть получены из какого бы то ни было набора вычислительных инструкций... "Неалгоритмическим действиям" нельзя найти место в рамках общепринятых сегодня физических теорий. Значит, мы должны им искать соответствующее место, где в научной картине существует серьезный пробел. И я утверждаю, что это "белое пятно" лежит где-то на границе между «субмикроскопическим» миром, в котором правит квантовая механика, и непосредственно воспринимаемым нами макромиром, подчиняющимся законам классической механики».*

Отдавая должное мысли Пенроуза, следует заметить, что есть причины, отличающие как обработку информации в мозгу человека и в компьютере робота, так и вид поступающей энергии для реализации этих процессов. Энергия, на которой работает робот, не отличается разнообразием, – это электроэнергия, а энергия мозга человека (как и его организма в целом) включена в цикл преобразования энергии на нашей планете: (Солнце → Земля с её атмосферой ↔ Флора ↔ Фауна). Человек включен в пищевую цепь Биосферы и не может существовать автономно.

Создав микроскопы, телескопы и ускорители, быстрые средства передвижения и системы внешней памяти (языки, письменность, различные виды искусства и Интернет) человек существенно расширил размер наблюдаемого им мира. Но количество естественных иерархических уровней в самой системе «его тело + мозг», где происходит обработка поступающей из внешнего мира информации, практически не изменилось. В живых системах можно отметить

наличие квантового уровня – это светочувствительные белки – хлорофилл и родопсины, уровня ионов, молекул и макромолекул. К молекулярному уровню следует добавить более высоко организованные уровни органелл, клеток, тканей (сетей), органов, целостного организма и, наконец, социальный уровень взаимодействия индивидов между собой и внешней средой на основе акустического языка, языка запахов или языка жестов и мимики, воспринимаемых слухом, обонянием или зрением.

По-видимому, главная причина разнообразия уровней в живых системах состоит в том, что сам окружающий мир существует в разных обликах: от абсолютно детерминированного, отвечающего законам Ньютона, до абсолютно хаотического, вероятностного мира (мира большого бильярда) Эйнштейна – Смолуховского [34, 35] или смесью и того и другого (хаоса или перемещаемости детерминированности со стохастичностью) [31]. Для ориентации в условиях постоянных метаморфоз внешней среды нужна комплементарная ей многоуровневая организация обработки информации, которая быстро адаптируется к внешним условиям, обеспечивая тем самым устойчивость живой системы. Каждое действие, производимое организмом, имеет свою цену H . Цена действия или просто действие есть функция:

$$H = f(E, t) \quad (2)$$

где E – потребляемая энергия, а t – время действия. Минимальная цена действия есть постоянная Планка $h = 6,626176 \times 10^{-34}$ Дж×сек.

В стрессовых ситуациях скачком увеличивается величина затрачиваемой энергии, а время действия τ_p каждого этапа уменьшается и, следовательно, частота Ω_i выполнения всех действий при переходе от уровня к уровню снизу вверх увеличивается. Если имеет место N иерархических уровней, где каждый из них может вносить свою лепту в затрату энергии, то суммарные затраты энергии возрастают и достигают максимума. Выражение для затрачиваемой энергии будет иметь вид:

$$E_{\max} = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^N H_i \Omega_i \quad (3)$$

где Ω – частота действия. Это выражение соответствует ситуациям в условиях сильного стресса. Сумма затрат энергии в выражении (3) определяется i -ым уровнем с самой большой величиной слагаемого, т.е. нижними уровнями, работающими с высокой частотой (квантовым, молекулярным и макромолекулярным) (рис.3а).

В нормальных, слабо стрессовых ситуациях, связанных, например, с обучением, минимизируется суммарная цена действия. Все N уровней работают в неполную силу, что соответствует выражению для действия:

$$H_{\min} = 2\pi \sum_{i=1}^N \frac{E_i}{\Omega_i} \quad (4)$$

При этом в суммарную цену действия H наибольший вклад вносят уровни, работающие с малой частотой: социальный (общественное мнение и поощрение), организменный (комфорт индивида), органный (комфорт внутренней среды при взаимодействии между органами).

Вывод: устойчивость системы определяется обратной связью переходов от верхних к нижним уровням и обратно. При этом *ускорение изменения внешней среды под действием различных факторов, включая антропогенные, не должно превышать ускорение адаптации живых систем к этим изменениям. В противном случае живая система не будет успевать адаптироваться к внешней среде, начнёт деградировать и погибнет.*

2.2. Диалоги на разных уровнях иерархической организации

Жизнь человека – это переходной процесс с определенной длительностью и непрерывными развилками, требующими выбора направления движения во времени и в пространстве с оценками рисков выбора. Риск возникает и растет в условиях неопределенности. Это ограничивает точность нахождения вероятности как позитивного, так и негативного исходов. Например, в системах «хищник↔жертва» неправильная оценка этой вероятности грозит одному из участников гибелью. Восприятие риска живым организмом связано со страхом, генетически заложенным в виде инстинкта, порождающим бессознательный, а с учетом коры мозга, частично или полностью осознаваемый выбор: «Драться или бежать? Соглашаться или возражать?».

Как отмечалось ранее, в реальном организме, включая мозг, существует дуализм, выражающейся в том, что между различными его частями (клетками и органами) и внешней средой одновременно имеют место как симбиоз (содружество), так и конкуренция (антагонизм), основанный на положительных и отрицательных обратных связях. Понятие «обратная афферентация» (от лат. род. падеж *afferentis* – приносящий), по-видимому, было введено в научный обиход П.К.Анохиным ещё в начале 50-ых годов XX века [36], а синоним этой связи в кибернетике сохранил старое техническое название – «обратная связь» (англ. *feedback*). В диалектике это положение со времен Гегеля приобрело форму закона – «единства и борьбы противоположностей», а результат этой борьбы происходит «снятие противоречия» [37]. Все системы живого организма, включая различные области мозга, пронизаны обратными связями, образующими циклы, что позволяет снимать противоречия, удерживая их конкуренцию в заданных границах. Один из примеров дан на рис. 4.

Однако подобная конкуренция, спор или диалог (называть этот процесс можно по-разному) на разных уровнях организации живых систем осуществляется на разных языках: биохимическом, электрическом, акустическом. На биохимическом молекулярном уровне хорошо изучен антагонизм взаимодействия между гормонами, например, гормонами страха – адреналином и норадреналином, которые иногда называют, в соответствие с их воздействием на организм, «гормоном Кролика» и «гормоном Льва». Цель этих диалогов – достижение согласия.

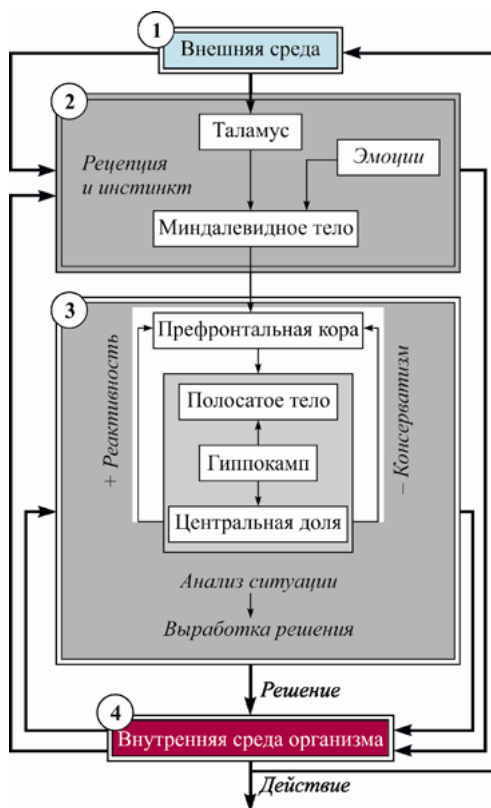


Рис. 4. Пример упрощенной схемы путей на уровне структур мозга с прямыми и обратными связями при принятии решений человеком. На любое решение, принимаемое человеком, влияют как эмоции, так и результат конкуренции между структурами – полосатым телом и центральной зоной мозга. У людей, которые склонны к рискам и быстро принимают решения, более активно полосатое тело. У тех, кто консервативен в принятии решений, активной работает центральная доля. Компромисс между ними с учётом влияния внешней среды и прошлого опыта (памяти, регулируемой гиппокампом) создает устойчивое состояние и вырабатывает сигнал к действию

Во-первых, достижение согласия на каждом уровне – это гарантия устойчивости организма в целом. Во-вторых, при этом происходит сжатие информации, что в случае успеха облегчает её запоминание для использования в будущем. При этом экономится объём памяти при построении виртуальной модели внешней среды внутри мозга. В результате в живых организмах информация, перемещаясь по уровням, претерпевает изменения, за счет образования связей верхних и нижних уровней, например, переходит от головного мозга к спинному мозгу, приобретая функцию навыков движения, и освобождая тем самым верхние уровни от рутинной работы [38]. Это позволяет за сравнительно короткий интервал времени также дополнительно экономить энергию и понижать энтропию. В социальных системах поведение индивида за счет перемещения информации по уровням системы может измениться. Например, индивид адаптируется к поведению толпы [39], а животное – к поведению стаи или стада [40–42].

2.3. Диалог сердца с мозгом

В качестве примера на уровне органов приведём *диалог* сердца с мозгом. Пульсирующее сердце «разговаривает» с мозгом на языке акустики, испуская во внутримозговую жидкость (включая спинномозговую жидкость, содержащую гормоны и энергию – сахара и окислители) инфразвуки со средней частотой ~ 1 Гц. Эта частота может изменяться в пределах от 0,75 до 2,5 Гц. При этом жидкость перемещается и перемешивается. На дальность распространения звука влияют поглощение неоднородностями среды, рефракция (искривление звуковых лучей в неоднородной среде) и рассеяние. Кроме того, рефракция выражается тем сильнее, чем больше градиент скорости звука. С понижением частоты звуковых колебаний дальность их распространения увеличивается, и могут возникать солитоноподобные движения [23, 24]. Звуковые волны, отражаясь от неоднородностей, и сливаясь вместе, затягивают задний фронт звукового импульса, увеличивая продолжительность его воздействия.

Распространение гормонов в различных частях мозга создает «эмоциональную окраску» восприятия окружающей среды. Мозг отвечает сердцу на языке электрических сигналов, распространяющихся по аксонам и дендритам, которые в свою очередь меняют локальную плотность жидкости на величину до 70%. Изменение плотности происходит за счет выброса ионы калия при возбуждении нейрона. Ионы калия имеют большую массу по сравнению с ионами натрия, поэтому локальная плотность среды снаружи аксона увеличивается. При этом растет и отражение звуковых волн и увеличивается скорость прошедших через уплотнение звуковых волн.

Кроме того, мозг регулирует частоту сокращений сердца по цепи обратной связи 1, подавая сигналы в синусовый узел ведущего центра сердца по цепи 1. В свою очередь по пути 2 (рис.5 а) сердце воздействует на мозг (рис.5б).

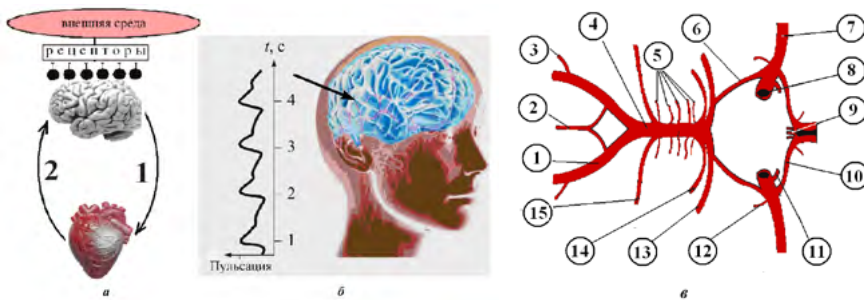


Рис. 5. Взаимодействие сердца с мозгом в объёме спинномозговой жидкости (ликвор): а – схема взаимодействия; б – пульсация объёма спинномозговой жидкости во времени за счёт сокращения сердца; в – система артериального снабжения мозга энергией: 1 – позвоночная артерия, 2 – передняя спинномозговая артерия, 3 – задняя нижняя мозжечковая артерия, 4 – базальная артерия, 5 – моста артерии, 6 – задняя соединительная артерия, 7 – средняя мозговая артерия, 8 – внутренняя сонная артерия, 9 – передняя соединительная артерия, 10 – передняя мозговая артерия, 11 – главная артерия, 12 – передняя хориоидальная артерия, 13 – задняя мозговая артерия, 14 – верхняя мозжечковая артерия, 15 – нижняя мозжечковая артерия. Вены не указаны.

В воде звуки могут распространяться с большой скоростью порядка $1300 \div 1500$ м/с. По сравнению со скоростью распространения звука скорость распространения импульса возбуждения по аксонам нейронов небольшая – порядка 25 м/с.

Даже в состоянии покоя через головной мозг проходит около 15% объема крови, и при этом мозг может потреблять до $20 \div 25\%$ кислорода, получаемого при дыхании [43]. Кровоснабжение головного мозга осуществляется двумя внутренними сонными артериями и двумя позвоночными артериями. При этом имеет место круг, образуемый задней и передней артериями (рис. 5в). Отток крови происходит по двум яремным венам.

Казалось бы, роль сердца во взаимодействии с мозгом довольно скромная – поставлять питание и вывозить отходы метаболизма. Однако это не так. Одновременно с этим сердце совместно с глиальной сетью мозга перераспределяет потоки крови как на макроуровне, так и в микро-масштабах внутри каждого фрагмента нейронной сети. Это перераспределение адаптирует организм к изменениям среды, влияя в стрессовых ситуациях за счёт доставки гормонов на скорость принятия решений мозгом.

На тело человека и на его внутренние органы внешняя среда воздействует двумя видами давлений: атмосферное и гравитационное. Сердце под влиянием мозга меняет частоту пульса, компенсируя это влияние. Поле атмосферного давления колеблется в пределах 6% и не зависит от позы человека. Гравитационное давление, напротив, в зависимости от позы человека имеет разное расположение по отношению к вектору сердечного давления, направленному в основном вдоль оси тела (рис.6).

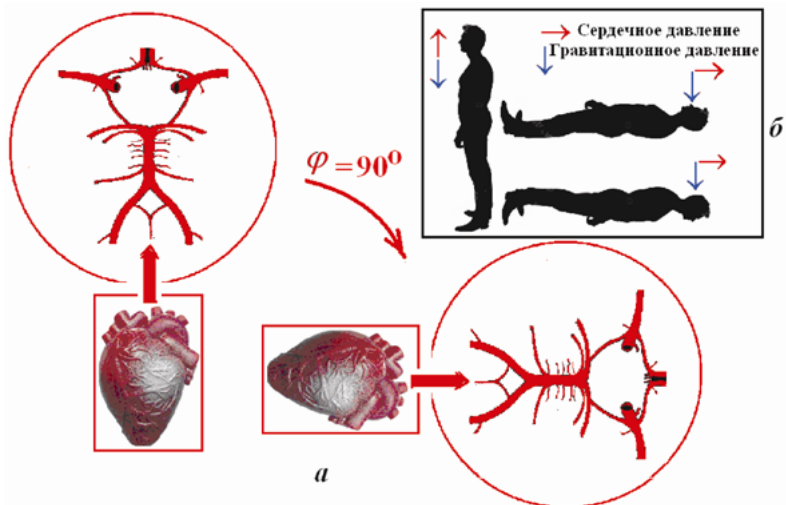


Рис. 6. Изменение позы человека меняет относительное расположение сердца и кровеносной сети мозга (а) по отношению к вектору гравитационного давления (б). Мозг может работать лишь при сравнительно постоянной разности внутричерепного давления и температуры по отношению к аналогичным параметрам внешней среды

Для описания процессов, происходящих с жидкостью в мозгу человека, можно использовать разные варианты законов сохранения [44, 45]. Спинномозговая жидкость (или, как её чаще называют, ликвор), наполнена разнообразными соединениями и ионами. В среднем плотность ликвора близка к плотности воды и составляет величины $1,005 \div 1,007$ г/мл. Она отличается от плотности воды всего на $0,5 \div 0,7\%$. Следовательно, её можно принять почти за идеальную несжимаемую жидкость и использовать закон Пуазейля для определения вязкости μ . При вертикальной позе человека имеем:

$$\mu_1 = [\pi r_k^4 (p_1 - p_2)] / 8 Q_1 l \quad (5)$$

где r_k – диаметр капилляров, p_1 – давление сердца, p_2 – давление гравитации, Q_1 – расход жидкости при вертикальной позе, l – длина капилляров.

Для горизонтальной позы человека по правилу Пифагора в силу векторного сложения давлений в прямоугольнике вязкость будет равна:

$$\mu_2 = [\pi r_k^4 (p_1 + p_2)^{1/2}] / 8 Q_2 l \quad (6)$$

Следовательно, при изменении позы имеем соотношение:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{Q_2 (p_1 - p_2)}{Q_1 \sqrt{p_1^2 + p_2^2}} \quad (7)$$

Если вязкость не меняется, то для линейных законов на локальном участке имеем:

$$(\mu_1 / \mu_2) = 1 \quad (8)$$

Из выражений (5) и (6) получим соотношение:

$$Q_1 (p_1^2 + p_2^2)^{1/2} = Q_2 (p_1 - p_2) \quad (9)$$

т.е. при изменении позы рост потока жидкости при постоянной вязкости обратно пропорционален гравитационному давлению. Существуют два варианта регуляции при изменении позы человека: либо мозг по цепи обратной связи, воздействуя на сердце, понижает, либо повышает частоту его сокращений, и тем самым уменьшает / увеличивает величину разности давлений, либо регулируется масса потока крови путем сжатия / расширения сосудов, что обеспечивается системой «сердце → сосуды → глиальные клетки → нейроны».

Скорость движения потока жидкости, а, следовательно, и пульсация мозга в различных участках неодинакова. Плотность линий потока соответствует величине скорости в данном участке. *Стационарному или установившемуся потоку* соответствует уравнение неразрывности, когда через любое выделенное поперечное сечение за одинаковые промежутки времени проходит один и

тот же объем жидкости. Пусть S_1 и S_2 – две площади сечения, а \mathbf{u}_1 и \mathbf{u}_2 – соответственно вектора скорости движения частиц жидкости в равномерно движущемся потоке, тогда уравнение неразрывности имеет вид: $\mathbf{u}_1 S_1 = \mathbf{u}_2 S_2$. Уравнение неразрывности справедливо для всех потоков, т.е. $\mathbf{u}S = \text{const.}$ Однако, возможен другой динамический вариант поведения жидкости, когда «берега» пульсируют с частотой ω_1 , а объем жидкости пульсирует с частотой ω_2 . Тогда новые инвариантные отношения будут иметь вид:

$$\mathbf{u}_1 \omega_1 = \mathbf{u}_2 \omega_2 \text{ или } \mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_2 \quad (10)$$

где \mathbf{a}_1 и \mathbf{a}_2 – это вектор ускорения двух потоков. Общий объем спинномозговой жидкости (ликвора) у взрослого здорового человека находится в пределах от 140 до 270 миллилитров, что составляет около 20% от веса мозга. Рассмотрим подробнее динамику подвижности жидкости с плотностью ρ_1 в полусфере.

Если допустить, что полусфера частично заполнена жидкостью (на 20%), то любое её положение во внешнем пространстве за характерное время переходного процесса из-за перетекания жидкости будет восстанавливать высоту жидкости $h = f(R)$. Структуры мозга будут замедлять / ускорять перетекание жидкости в зависимости от относительного направления векторов ускорения. Масса перемещаемой жидкости пропорциональна объему полушария V_s заполненного жидкостью:

$$V_s = \frac{1}{6} \pi h (h^2 + 3r_1^2) = \pi h^2 (R - \frac{1}{3}h) \quad (11)$$

где h – высота заполнения полусферы жидкостью, r_1 – радиус поверхности сегмента, R – радиус сферы и плотности этой жидкости ρ_1 . С учетом выражения (11) получим массу этой жидкости:

$$m = \rho_1 V_s = \pi \rho_1 h^2 (R - \frac{1}{3}h) \quad (12)$$

Момент импульса \mathbf{L} равен:

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} \quad (13)$$

Здесь \mathbf{r} – радиус вектор, проведенный из центра тяжести массы мозга, \mathbf{p} – вектор импульса силы. Продифференцируем и получим:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \times \mathbf{p} + \mathbf{r} \times \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{u} \times \mathbf{p} + \mathbf{r} \times \mathbf{F}_{\text{рез}} \quad (14)$$

где \mathbf{u} – вектор скорости, а $\mathbf{F}_{\text{рез}}$ – вектор результирующей силы. При вертикальной позе произведение $(\mathbf{u} \times \mathbf{p})$ равно нулю, поскольку вектора \mathbf{u} и \mathbf{p} параллельны друг другу. Аналогично обращается в нуль и слагаемое $(\mathbf{r} \times \mathbf{F}_{\text{рез}})$, т.к. центральные силы, создаваемые сердцем параллельны вектору \mathbf{r} . Таким образом:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = 0 \text{ или } \mathbf{L} = \text{const} \quad (15)$$

При изменении позы первый гравитационный член ($\mathbf{u} \times \mathbf{p}$) в выражении (14) не изменяет своё положение и равен нулю. Второй член представляет собой векторную сумму гравитационной и сердечной силы. Результирующий момент силы (обозначим его $\mathbf{T}_{рез}$) равен:

$$\mathbf{T}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = \frac{d\mathbf{L}}{dt} \quad (16)$$

Отсюда следует, что *результирующий момент силы равен скорости изменения момента импульса*. Если системы мозга считать замкнутыми, то $\mathbf{L}_{рез} = \text{const}$. Это является прямым следствием законов Ньютона. Отсюда для двух крайних поз: вертикальной и горизонтальной можно записать ускорение кровотока в виде трёх вариантов. Ускорение кровотока в вертикальной позе обозначим как $\mathbf{a}\uparrow$, а в горизонтальной позе $\mathbf{a}\rightarrow$. Соответствующие им результирующие силы при вертикальной и горизонтальной позе будут $(\mathbf{F}_{серд} - \mathbf{F}_{грав})$ и $\sqrt{F_{серд}^2 + F_{грав}^2}$. При этом имеем три случая в зависимости от соотношения ускорений:

$$\begin{aligned} 1. \mathbf{a}\uparrow > \mathbf{a}\rightarrow, \text{ когда } \left(\frac{F_{серд} - F_{грав}}{\sqrt{F_{серд}^2 + F_{грав}^2}} \right) > 1 \\ 2. \mathbf{a}\rightarrow = \mathbf{a}\uparrow, \text{ когда } \left(\frac{F_{серд} - F_{грав}}{\sqrt{F_{серд}^2 + F_{грав}^2}} \right) = 1 \\ 3. \mathbf{a}\rightarrow < \mathbf{a}\uparrow, \text{ когда } \left(\frac{F_{серд} - F_{грав}}{\sqrt{F_{серд}^2 + F_{грав}^2}} \right) < 1 \end{aligned} \quad (17)$$

Из рассмотрения этих трех случаев следуют пять выводов:

1. Случай № 1 являются нормой, когда $F_{серд} > F_{грав}$.

2. Случай № 2 при $F_{серд} \gg F_{грав}$ соответствует значительному относительному снижению гравитации (невесомость). Это состояние опасное, т.к. может привести к инсультам. Для восстановления нормы мозг будет снижать частоту сокращений сердца или увеличивать содержание жидкости. При этом выражение

не $\left(\frac{F_{серд} - F_{грав}}{\sqrt{F_{серд}^2 + F_{грав}^2}} \right)$ стремится к 1, поскольку $\lim \left(1 - \frac{F_{грав}}{F_{серд}} \right) \rightarrow 1$ при $F_{серд} \rightarrow \infty$

3. Случай № 3, когда $F_{серд} < F_{грав}$, что соответствует патологии, т.е. сердечной недостаточности, что приводит к невозможности находится в вертикальном состоянии, т. к. при оттоке крови от мозга человек теряет сознание.

4. Наконец, особый случай – значительное повышение гравитации $F_{серд} \ll F_{грав}$, когда $\lim \left(\frac{F_{серд}}{F_{грав}} - 1 \right) \rightarrow -1$. Это состояние – опасное, поскольку также может приводить к потере сознания. Не случайно космонавты считают самым

сложным при подготовке к полетам испытание на вращающемся кресле или центрифуге.

Главный вывод: *благодаря регуляторным системам организма, включая мозг, жидкости организма всегда находятся в движении и могут двигаться с ускорениями. В этом и состоит смысл одного из вариантов адаптации к внешним условиям. Адаптация в этом случае – это способ поддержки устойчивости работы организма при изменении положения тела в трехмерном пространстве при наличии гравитации.* У робота подобных адаптационных механизмов нет, но они ему и не нужны. Если в некоторых экзотических случаях они будут необходимы, то их можно создать на других технических принципах.

2.4. Парадоксы взаимодействия сенсоров

В середине 70-ых годов по набору зафиксированных ракурсов электронно-микроскопических снимков, которые были получены с помощью гониометра, мы разработали методы построения трехмерных голографических изображений. Один вариант такого изображения – гигантского нейрона моллюска приведен на рис. 7 [49–51].

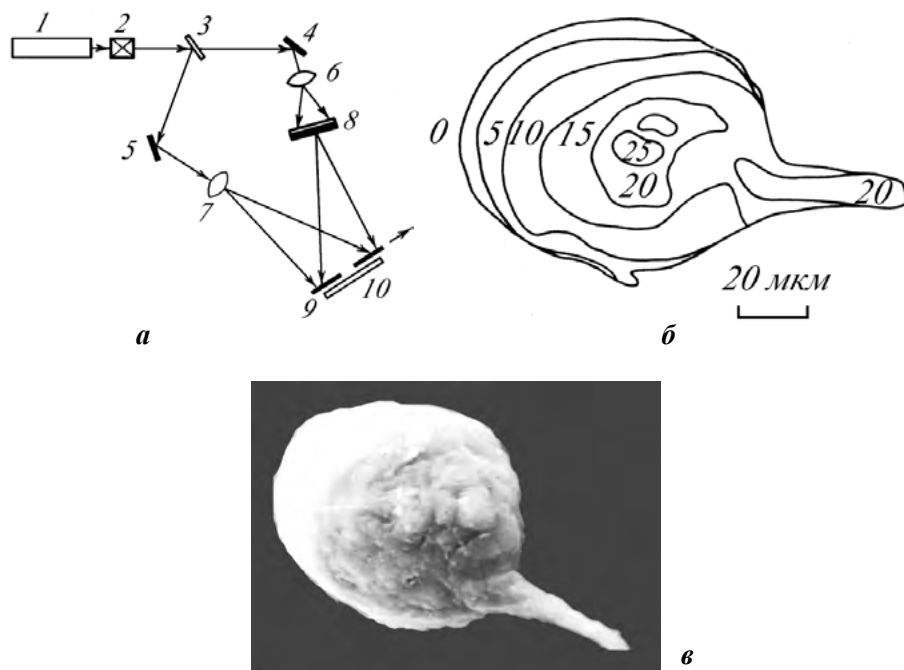


Рис. 7. Трехмерное голографическое изображение нейрона большого прудовика *Limnaea stagnalis*, появляющееся в задымленном воздухе, как результат рассеяния света, пропускаемого через голографическую пластинку: **а** – схема установки для получения составных голограмм на основе фотографий, снятых в разных ракурсах: 1 – лазер, 2 – затвор, 3 – лучерасщепитель, 4, 5 – зеркала, 6, 7 – линзы, 8 – ракурсные снимки, 9 – перемещаемая щель, 10 – голограмма; **б** – линии равной высоты в объекте в мкм; измеренные при помощи световой метки, вводимой в восстановленное изображение; **в** – фотография голограммы восстановленного изображения

О лазерно-голографической томографии в тот период многие ещё не знали. Возникла любопытная ситуация, когда неосведомленный человек (или обезьяна) впервые сталкивается с изображением предмета, синтезированного с помощью голограммы, и пытается его схватить или потрогать, то обнаруживает, что рука проходит сквозь него. Тактильное восприятие сообщает, что этот предмет бестелесный. Возникшее противоречие с виртуальной моделью, сформированной ранее в мозгу на основе предыдущего опыта, который получен с помощью объединения зрительного и тактильного сенсорных каналов восприятия, и парадокс новой ситуации (бестелесной голограммы) может привести индивида либо в восторг, либо в ужас, вызвав либо любопытство, либо агрессию. Противоречие постепенно устраняется, когда появляется понимание (коррекция виртуальной модели внешней среды внутри нашего мозга), что это другой особый класс изображений [50].

Ещё примеры: изображение всех окружающих нас предметов за счет линзы хрусталика проецируется на сетчатку глаза перевернутым на 180° . Новорожденный ребенок довольно долго за счет хватательного рефлекса пытается набраться опыта, взаимодействуя методом проб и ошибок с подвешенными над кроваткой игрушками. Согласие между воспринимающими информацию зрительными рецепторами и тактильным ощущением устанавливается, когда в мозгу формируется программа переворота изображения внешнего мира на 180° градусов в обратную сторону. Таких временных диссонансов организма при восприятии внешней среды с последующим восстановлением гармонии между рецепторами разной модальности можно привести десятки. Например: при смене часовых поясов даже с трехчасовой разницей у многих людей ухудшается сон и работоспособность. У космонавтов в первые дни пребывания на орбитальных станциях возникает необходимость адаптироваться к новым формам перемещения и существования в безгравитационном пространстве. Эксперименты с длительным ношением очков, переворачивающих изображения, требуют для восстановления ориентации в пространстве свыше десятка дней. Переезд по меридиану в другой регион, без изменения временной зоны, также требует адаптации к микрофлоре, микрофауне и качеству воды. Время адаптации сильно различается в человеческой популяции и зависит от возраста, в некоторых случаях приводит к заболеваниям (десинхроноз, аллергия, диарея, морская болезнь и т.п.). Все эти адаптивные перестройки проходят через фазу хаотизации активности мозга с последующим восстановлением сенсорного согласия.

2.5. Простая модель достижения консенсуса

Наш мозг – это не только «третьейский судья», распутывающий путем обратных связей внутренние конкурентные ситуации между органами, но и интерфейс, согласующий генетически заложенные инстинкты, лежащие в основе потребностей тела, с их реализацией при изменениях внешней среды (рис.8а).

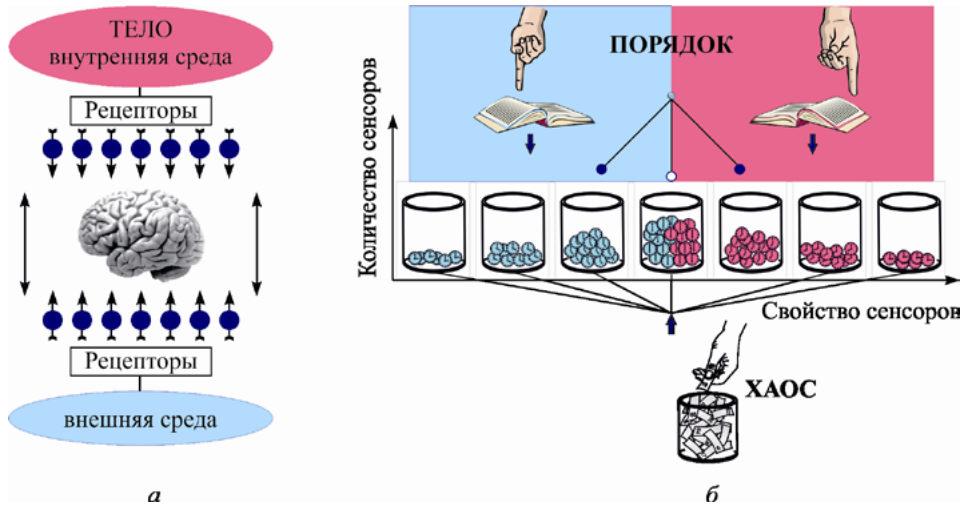


Рис. 8. Поиск равновесия (гомеостаза) между внутренней средой организма и изменением внешней среды: а – схема мозга как интерфейса, согласующего внешнюю среду с внутренней средой организма; б – простейшая компьютерная модель преобразования хаоса в порядок на основе двух популяций конкурирующих сенсоров

Внешняя среда часто предстаёт перед нашими рецепторами в виде, который порождает неопределенности. Примером такой внешней среды (как уже отмечалось) может служить голограмма какого-нибудь предмета. Зрение сообщает нам, что мы видим предмет, а тактильная чувствительность информирует о его бестелесности, что противоречит нашему прежнему опыту. Мозг, пытаясь ликвидировать эту неопределенность, переходит в хаотический режим (детерминированный хаос [46]). Чтобы выйти из этого состояния, необходимо на основе конкуренции между разными видами рецепторов найти компромисс – достичь равновесия. На примере согласования мнений рецепторов рассмотрим один из вариантов простейшей компьютерной *концептуальной автоматной модели*, в которой нами исследовалась динамика случайного поведения сложной системы, состоящей N сенсоров с заданными, периодически меняющимися детерминированными правилами взаимодействия под действием внешнего периодического управления [47,48]. Рассматриваемый процесс демонстрирует схема на рис.8б.

Работа этой системы есть периодические переходы «хаос ↔ порядок».

Опишем модель «диалога», в котором в пределе возможны два результата. Первый вариант А: встретившийся нам предмет необычный, т.е. новый. Второй вариант Б: встретившийся нам предмет распознан, это не новый предмет, а всего лишь новый ракурс встречавшегося нам ранее предмета

Допустим, что имеется K сосудов, в каждом из которых находится n_i сенсоров, которые могут взаимодействовать друг с другом (рис. 8б). Всего сенсоров N :

$$N = \sum_{i=1}^K n_i \quad (18)$$

Каждый из сенсоров имеет свой номер и своё свойство. По оси X отложены первоначальные свойства сенсоров. Все *номера сенсоров* перемешаны и находятся в сосуде под названием «хаос». Непрерывно с частотой Ω из сосуда «хаос» *случайным образом* вынимается два номера, что означает встречу и взаимодействие двух сенсоров, первоначально находившихся в своих сосудах на оси «Свойства сенсоров». Выбор их случаен. Они могут находиться, как в одном и том же сосуде, так и в разных сосудах. Правила взаимодействия встретившихся сенсоров могут изменяться на противоположные функции по отношению друг другу. Это определяется системой управления, т.е. положением колеблющегося с частотой ω внешнего маятника, задающего ритм взаимодействия. Это есть биологические часы:

$$\Omega > \omega, \quad (19)$$

где Ω – частота встречи сенсоров. Если маятник находится справа, то встретившимся сенсорам присваивается мнение (свойство) сенсора, находившегося в сосуде справа. Если маятник находится слева, то встретившимся сенсорам присваивается мнение (свойство) сенсора, находившегося в сосуде слева от него. Если до этого оба сенсора находились в одном сосуде, то при встрече их свойства не меняются. После каждой встречи номера сенсоров возвращаются в сосуд под названием «хаос» и вновь перемешиваются.

По сути, описанная модель демонстрирует диалог двух спорящих коллективов, имеющих разные точки зрения на внешнюю или внутреннюю ситуацию. На рис.9 показана динамика изменения мнений во времени как переход от первоначального распределения к конечному через интервал времени, определяемый количеством взаимодействий.

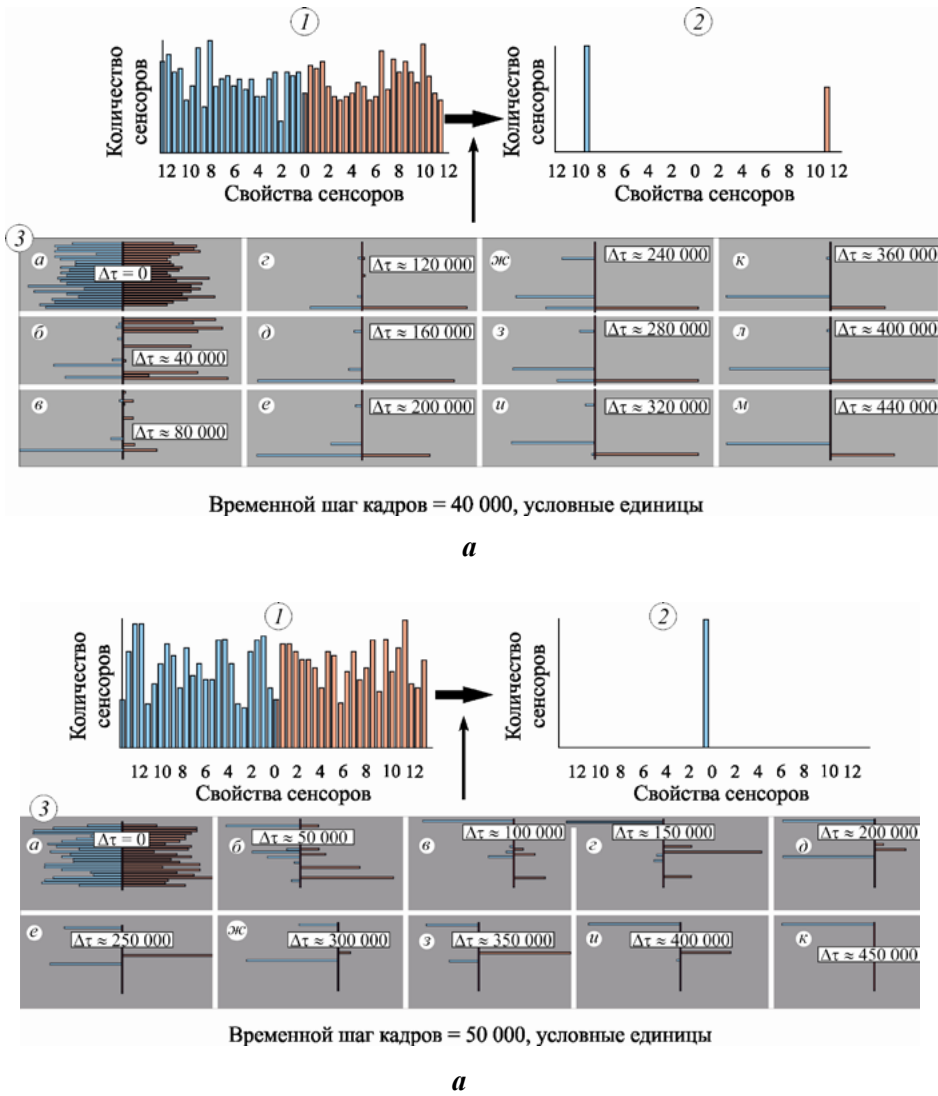


Рис. 9. Два примера фильмограммы динамики изменения мнения двух исходно разных конкурирующих коллективов сенсоров (по 500 сенсоров в каждом) при парных взаимодействиях. В верхней части каждого из примеров показано первоначальное (1) и конечное нормированное распределение (2) мнений. Ниже приведена фильмограмма кинетики переходного процесса (3) с указанным временным шагом демонстрации кадров.

Вариант А соответствует (*a*) – встретившийся нам предмет необычный и. новый. Вариант Б соответствует (*б*) – встретившийся нам предмет распознан, это не новый предмет, а всего лишь новый ракурс встречавшегося нам предмета

Таким образом, сенсоры при описанных выше парных взаимодействиях будут менять во времени кривую распределения суммарных мнений, отвечая на вопрос: как в динамике меняется виртуальная модель, синтезируемая разными областями мозга при изменении распределения мнений сенсоров по мере увеличения количества встреч?

Аналитически описать этот вероятностный процесс трудно. Причина состоит в неопределенности количества встреч сенсоров с одинаковым мнением. Очевидно, что процесс установления мнений сходящийся, но при этом имеется неопределенность в значении величины временного интервала переходного процесса, т.е. достижения согласия – устойчивого или квазиустойчивого (колебательного) состояния.

Процесс в целом может закончиться по двум причинам: время встреч исчерпано, но полная договоренность не достигнута (следовательно, это вариант А – новый предмет); или договоренность достигнута за заданный интервал времени, т.е. все разногласия сняты (следовательно, это вариант Б – новый ракурс уже встречавшегося предмета). Динамику переходного процесса можно иллюстрировать также изменением среднеквадратичного отклонения $s(t)$ распределения мнений по ансамблю всех сенсоров во времени (рис. 10).

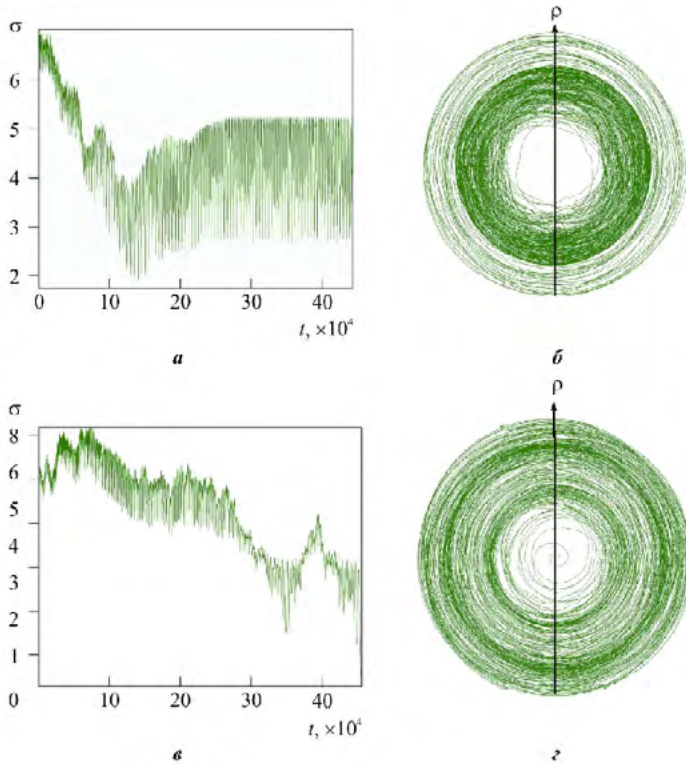


Рис. 10. Изменение во времени среднеквадратичного отклонения σ по ансамблю всех сенсоров: **а** – динамика схождения мнений во времени двух исходно разных конкурирующих коллективов сенсоров, соответствует фильмограмме рис. 9а; **б** – тот же процесс в полярных координатах, где $\rho = \sqrt{\sigma^2 + t^2}$, а угол поворота $\varphi = \text{Arc tg } \frac{\sigma}{t} = \text{Arc sin } \frac{\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + t^2}}$; **в** – динамика

схождения мнений во времени, соответствует фильмограмме рис. 9б; **г** – тот же процесс в полярных координатах. Поскольку случайные взаимодействия сенсоров, по условиям заложенным в модель, происходят через равные интервалы, то количество их взаимодействий равно прошедшему времени

Исследование модели выявило ряд интересных особенностей. Очевидно, что имеет место зависимость времени установления синхронизации мнений от симметрии исходного состояния и от наличия разбросов градаций в исходном распределении сенсоров (от генетики). Другими словами, какие сенсоры являются у данного человека ведущими, а какие – ведомыми. Если асимметрия локальных разбросов чувствительности градаций в распределении отсутствуют, то длительность переходного процесса возрастает.

Эта модель описывает конкуренцию, которая характерна для парных взаимодействий. В живом организме на каждом его иерархическом уровне такие взаимодействия распределены в пространстве и во времени по всему объему тела, включая мозг. В одних участках объема тела и мозга консенсус достигается, в других рассогласование наоборот может расти. Переходы распространяются подобно волнам, перетекая из одного участка в другой и возвращаясь назад. Такие процессы перетекания возбуждений можно наблюдать в мозгу с помощью МРТ (магнитно-резонансной томографии). К подобной задаче мы еще вернемся, пытаясь привязать её решение к важной подкоркой структуре мозга, – к гиппокампу.

2.6. Виртуальная модель, синтезируемая нашим мозгом

О связи виртуальной модели мозга с нашим поведением и об особой роли такой модели говорят многочисленные факты. Например, на основе априорных предположений в сознании ребенка складывается образ *страшного*. Если он опасается, что в незнакомой темной комнате сейчас находится «это страшное», то мысль об этом вызывает соответствующее ощущение, получаемое мозгом якобы от глаз, ушей и других сенсоров (хотя формально они не дают таких сигналов). *Образ страшного* возникает внутри мозга, включая размер *страшного*, его силу, его необычный вид. Как правило, в отсутствие жизненного опыта все дети боятся темноты (крылатое выражение – «у *страха* глаза велики»).

С одной стороны, ограниченность модели внешней ситуации не играет большой роли, потому что модель – это всегда упрощение реальности. Многие аспекты окружающего мира не имеют места в модели, но главное отражено точно – избегать катастрофичных ситуаций.

Однако с другой стороны, у человека (и не только) в онтогенезе имеет место и развивается заложенная эволюцией противоположность подобному состоянию – это *любопытство*. В физике со времен Платона² взаимодействие противоположностей называют спором *антиподов* (др.-греч. ἀντίπους). Как известно, в лингвистике антиподы именуют анонимами (др.-греч. ἀντι-приставка со значением противоположности + ὄνομα «имя»), т. е. словами, имеющими прямо противоположное лексическое значение.

Конкуренция и достижение согласия между *страхом* и *любопытством* ведёт к развитию системы обработки информации, поступающей из внешней среды, что повышает адаптационные возможности, как отдельного организма,

²Термин «антипод» был введён Платоном в III веке до н. э. в его диалоге «Тимей»

так и вида подобных организмов в целом. Для мозга между восприятием и действиями существует тесная связь. Наше тело служит нам, чтобы познавать окружающий мир. Мы взаимодействуем с окружающим миром посредством своего тела и тем самым корректируем работу мозга. Виртуальные модели мозга часто дают сбои. Подобные сбои полезны, но иногда и опасны. Причин две.

С одной стороны, они позволяют разобраться, как устроен окружающий нас мир. Сбои во всякой ситуации допускают неоднозначную трактовку, например, когда два разных объекта окружающего мира вызывают одно и то же ощущение. Такие проблемы обычно решаются за счет того, что одна из возможных трактовок намного вероятнее другой. Например, весьма маловероятно, что в этой комнате сейчас находится нечто страшное.

С другой стороны, мозг может ошибаться, когда маловероятная трактовка на деле и есть правильная. Многие зрительные иллюзии возникают именно потому, что обманывают наше восприятие подобным образом. Если оранжевую морковь осветить синим светом, то наш мозг на синем фоне её будет воспринимать по-прежнему как оранжевую. При синем свете все объективные способы замера длины световой волны, отраженной от неё, будут констатировать, что эта отраженная волна относится к диапазону синего цвета $\lambda = 0,43 \div 0,48$ мкм, а не оранжевого $\lambda = 0,6 \div 0,66$. Причина такого парадоксального восприятия связана с наличием виртуальной модели моркови в нашей памяти в мозгу, составленной на основе прошлого опыта при наблюдении её при разных освещениях.

Итак, мозг обмануть совсем несложно, он сам обманываться рад. Наше восприятие зависит от априорных убеждений и памяти о прошлом. Наше восприятие начинается со страха, компенсируемого любопытством, что непрерывно уточняет виртуальную модель внешнего мира. В коррекции модели априорно ни зрению, ни слуху, ни осязанию и ни другим рецепторам не оказывается предпочтений, поскольку все они могут давать важную информацию.

Этой способности не хватает компьютерным системам ИИ роботов без сенсоров тела. Если у роботов нет тела, снабженного рецепторами, то такие роботы не смогут самостоятельно учиться делать предсказания. Они ограничены в возможности корректировать модель ИИ своими действиями³. Но это ещё не самое главное.

2.7. Сенсоры тоже могут ошибаться. Эволюционное предотвращение появления ложных образов

Сетчатку нашего глаза, в которой происходит первичная обработка световых сигналов, исходящих от предметов внешней среды, часто называют «фрагментом мозга, вынесенным на периферию». Ричард Фейнман в своих лекциях,

³У людей при повреждении лобной доли головного мозга часто возникает нечто подобное. Они перестают корректировать виртуальную модель внешнего мира и соответственно цель своих действий. Такие люди не способны реализовать какой-либо план или следовать каким-либо указаниям. Они постоянно отвлекаются на всё, что попадает в их поле зрения.

говоря об устройстве глаза человека, утверждал [52]: «...светочувствительные клетки расположены в сетчатке в глубине, так что, прежде чем попасть на рецепторы, свет должен пройти через несколько слоев других клеток. Сетчатка как бы вывернута наизнанку! В общем, некоторые вещи в устройстве глаза кажутся великолепными, а некоторые – просто глупыми».

Далее в той же лекции Р. Фейнман, описывая глаз осьминога, говорил: «Сетчатка у осьминога, как оказалось, представляет собой тоже часть мозга, и образовалась она при эмбриональном развитии, как у позвоночных животных, но имеется одно очень интересное и поразительное отличие. Чувствительные к свету клетки в ней расположены не позади слоев других клеток, как у нас, а непосредственно на внутренней поверхности глазного яблока, а клетки, занимающиеся вычислением, – позади них. Теперь мы, по крайней мере, видим, что в расположении клеток в нашем глазе глубокого смысла нет. В другой раз Природе пришлось исправить свою ошибку».

Однако, утверждение Р. Фейнмана неправильное. Осьминоги древнее позвоночных животных (к их особенностям мы вернемся в главе 4), и дело не в том, что Природа исправляла в конструкции их глаза свою ошибку. Природа не ошибается, а если ошибается, то организм вымирает. В утопленных вглубь тела глазах человека есть глубокий адаптационный смысл. Для надежного зрения и распознавания образов зрительные рецепторы (колбочки и палочки) должны находиться в среде с практически постоянной или медленно меняющейся температурой. В противном случае быстрые колебания температуры во внешней среде, например, за счет ветра, будут создавать тепловые градиенты и вызовут изменение скорости биохимических реакций при преобразовании квантов света в электрические импульсы в сетчатке [53]. Появятся ложные зрительные иллюзии – призраки, которых в реальности нет. Мозг, борясь с такой ситуацией, начнёт переходить в режим хаотического поведения в поисках ответа на вопрос: что это реальность или иллюзии? Чтобы избежать этой проблемы эволюционный отбор погрузил сетчатку у теплокровных организмов, живущих на суше, вглубь глазного яблока, где температура практически постоянна. Осьминоги живут в воде, где температура меняется медленно и не оказывает влияния на их зрительное восприятие.

3. АДАПТАЦИЯ РОБОТА И ЧЕЛОВЕКА К ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

3.1. XX век: от кибернетики к синергетике

Более 70 лет назад Конрад Лоренц (*Conrad Lorenz*, Нобелевский лауреат) писал, что в мире животных обучение практически всегда приводит к адаптации, т.е. к достижению согласованности с внешней средой. В 1941 году он опубликовал статью: «Кантовская концепция *argioi* в свете современной биологии» [61]. Вступая в заочный спор с Кантом, Лоренц утверждал, что апри-

орные формы мышления и интуицию следует понимать как адаптацию, т.е. достижение компромисса, приводящего к повышению устойчивости организма.

Тридцать лет назад сфера применения, быстродействие и миниатюризация компьютеров стала стремительно развиваться. Появилось искушение создать ИИ, подобный человеческому [54–60]. 16 лет спустя, после статьи Лоренца, в книге «Модели человека» Герберт Саймон (*Herbert A. Simon*, также Нобелевской лауреат) утверждал [62], что через десять лет компьютеры смогут обыгрывать в шахматы чемпионов мира⁴, писать стихи и музыку. Это предсказание сбылось. Более того в 2016 году компьютер обыграл профессионала в китайской игре ГО, которая имеет большее комбинаторное разнообразие, чем шахматы⁵.

Дальнейшие события в этом направлении происходили с ускорением. С 11 по 13 января 2017 года программа Libratus, созданная Университетом Карнеги-Меллона, выиграла у четырех лучших в мире профессиональных игроков в покер. Игра в покер содержит не только множество неопределенностей, но и основана на лжи, т.е. на обмане противника.

Сегодня фольклор Айтишников⁶ гласит:

*Прогресс всё ускоряет бег,
В нём победил не человек.
Разрыв становится сильней,
Андроид превзошёл людей!*

Тем не менее, Саймон утверждает, что должны быть и какие-то ограничения. Дефицит времени при решении Человеком той или иной задачи заставляет рассматривать не все возможные пути, которых бесконечно много, а только наиболее существенные. При этом Человек, в отличие от Робота, стремится *за ограниченное время* построить какую-либо стратегию (возможно далекую от оптимальной), но обеспечивающую сиюминутный успех в данной конкретной ситуации [62,63]. Ключевые слова здесь – «*за ограниченное время*» и «*успех*». Дефицит времени возникает из-за необходимости преодоления мешающих, а часто угрожающих жизни, условий изменения состояния внешней среды. В нашем институте подобную мысль развивал М.М. Бонгард в 60-ых годах [58, 64].

Российский биофизик М. Л. Цетлин в 50-ых годах начал рассмотрение социальных аспектов с позиции теории игр. Ранее Джон фон Нейман [65] исследовал ситуации, *когда участники в полной мере не обладают априорной информацией об алгоритме игры*. М.Л. Цетлин показал, что если случайное поведение внешней среды меняется медленно, то роботы даже с линейной тактикой, обучаются и справляются с задачей адаптации к условиям игры. Стало

⁴11 мая 1997 года компьютер Deep Blue (корпорация IBM) в матче из 6 партий обыграл чемпиона мира по шахматам Гарри Каспарова со счетом 2:1 и три ничьих.

⁵С 9 по 15 марта 2016 года между компьютерной программой AlphaGo, разработанной британской компанией Google DeepMind, и корейским профессионалом Ли Седодем был проведен матч, состоящий из пяти партий. Компьютер выиграл со счётом 4:1. В программе AlphaGo использовались 1920 процессоров и 280 графических процессоров, работающих в распределённой сети. Игры транслировались в прямом эфире на YouTube.

⁶Айтишники – это люди, владеющие (ИТ) информационными технологиями.

очевидным, что фактор времени оказывает существенное влияние на возможности адаптации. Этот результат позволил М.Л. Цетлину в дальнейшем рассмотреть социальные игры с большим числом участников. Итоги этих исследований были объединены в сборнике его работ, который вышел в свет в 1969 году [60], к сожалению, уже после смерти автора.

В 1990 году австралиец Родни Брукс (Rodney Brooks) написал статью под названием «Слоны не играют в шахматы» [66], в которой обратился к создателям робототехники – разрабатывать системы ИИ, основываясь на данных нейрофизиологии. Он отмечал, что Разум – это, прежде всего, «инструмент» адаптации организма к внешней среде. Положительные эмоции подавляют панику и способствуют принятию творческих решений даже в условиях недостатка информации на основе выхода за пределы «возможного» (крылатое выражение: «кто не рискует, тот не пьет шампанского») [36].

Недавно многие исследователи в области робототехники, например, Моше Варди (*Moshe Vardi*) из Университет Райса в Хьюстоне (США) [67], утверждали, что нет никаких пределов, и КАР со временем станет не только быстрее, но и намного умнее человека. Хотя реализация этой мечты была сложна, но сегодня это предсказание сбылось.

Работа нейронной сети Хопфилда (*Hopfield network*) [68] в своё время очаровывала меня, поскольку сеть после нарушения равновесия самостоятельно находила новое положение равновесия [69]. Однако позднее я понял, что процедура поиска равновесия детерминирована, поскольку она заложена в программе, а алгоритм задается программистом. Хотя интервал времени наступления равновесия зависит от многих внешних и внутренних причин. В простейшем случае это есть нахождение локального минимума энергии («потенциальной ямы») в n -мерном кубе.

Все дальнейшие модификации этого алгоритма (например, нейронная сеть Хэмминга для классификации бинарных векторов или перцептрона разных видов [70–72]) это также системы с жестким, детерминированным алгоритмом, созданным программистами. Процесс «мышления» обучающихся роботов это был всего лишь очередной этап развития соединенных в параллельно-последовательные сети детерминированных машин Тьюринга [57]. У человека имеет место свобода выбора цели. У робота цель формирует человек. Следовательно, у робота нет творчества, если его такой опцией не снабдит его создатель.

Термин творчество можно определить как поиск несимметричного, неожиданного ответа на возникающие препятствия при выборе дальнейшего движения к заданной или возникшей спонтанно цели с учетом рисков и неудач.

3.2. Синергетика – теории кооперативных динамических взаимодействий диссипативных систем

В 90-ых годах в качестве модели коллективного поведения нами была использована популяция бактерий, образующих колонию. В связи с возникающими дискуссиями мы хотели снизу вверх, начиная от простейших организмов,

подняться по ступеням формирования процессов *сознания*. За начальный этап самоорганизации была взята операция создания бактериями своих колоний [73, 74]. Однако работу не удалось завершить. Причина – неполнота знаний о переходах от простейших к сложным организмам.

На смену кибернетики 50–60-ых годов в 80-ых годах пришла синергетика [75] и термодинамика диссипативных структур школы И.Р. Пригожина [76]. Многим казалось (как ранее с кибернетикой), что новые идеи позволят создать *общую теорию* и, наконец, ответят на вопрос «как мыслит человек?» Дело в том, что наш мозг работает, то как детерминированная система Лапласа, то вдруг переходит на короткое время к хаотическому поведению, то вновь возвращается к детерминированному. Мысль о хаотизации в приложении к процессам мышления высказывалась давно. В конце 50-ых годов прошлого века Н. Бор [77, русское издание с. 27–28] отметил: «...*Основные признаки живых организмов зависят от процессов атомного масштаба, где мы сталкиваемся с существенными ограничениями для применения понятий классической физики... Из свойственного классической физике детерминизма следует, что всякое возмущение системы, состоящей из огромного числа частей, непременно приводит к хаотическому беспорядку. В квантовой же физике это описание отражает результат взаимодействия между устойчивыми атомными системами, поэтому оно основывается на исходе конкуренции между различными индивидуальными процессами. Эти процессы простым образом определяют состояние новых систем через посредство содержащихся в них атомных частиц, подобно тому, как они определяли бы первоначальное состояние системы*».

В 1971 году, опираясь на моделирование нелинейной динамики, Давид Рюэль и Флорис Такенс опубликовали работу «О природе турбулентности» [78]. В ней они подвергли критике сценарий Ландау–Хопфа [79,80], указав на то, что уже после 3 ÷ 4 бифуркаций динамика может стать турбулентной, в частности, у системы может возникнуть характерный для случайного процесса сплошной спектр. Рюэль и Такенс связывали это обстоятельство с возникновением «странного аттрактора» в фазовом пространстве из-за неустойчивости траекторий. Как показали эксперименты, во многих открытых нелинейных системах вдали от равновесия происходит самоорганизация [81]. При этом обычно возникают либо пространственно-неоднородные стационарные (т.е. медленно изменяющиеся со временем) образования, которые И.Р. Пригожин предложил называть диссипативными структурами [82], либо возникают периодические или квазипериодические пространственно-временные волны, которые стали называть автоволнами [83, 84].

В 1961 году был создан Международный союз теоретической и прикладной биофизики (IUPAB – International Union for Pure and Applied Biophysics). При организации его конгрессов была необходима структуризация потоков присланных докладов, поэтому было принято решение: «*Биофизику разделили на три части – молекулярная биофизика, биофизика клетки и биофизика сложных систем*». Этот рубрикатор положили в основу деления биофизики на три

раздела, в том числе и в биофизических журналах. Такая классификация жива и поныне (например, в российском журнале *Биофизика*), но она небезукоризненная, т. к. в биологии *трудно найти простые системы*. Что такое сложность, и чем сложные системы отличаются от простых систем?

Более 30 лет назад в Баварии прошел симпозиум по синергетике, на котором вопросы сложности разных систем, включая мозг, обсуждались с разных сторон. Однако универсальной теории оценки сложности, также как и универсальной оценки устойчивости биологических систем, до сих пор не существует [26]. Слишком разнообразны наборы вариантов. Главное их свойство можно описать афоризмом: *изменишь одно, изменится всё*. В мозгу человека имеют место цепные реакции, когда перемены в одной деятельности вызывают цепную реакцию и влияют на поступки в другой деятельности [85]. Подобные явления свойственны *динамическим системам, содержащим существенную хаотическую компоненту* [86].

Г.Г. Малинецкий и А.Б. Потапов предположили, что «сложность» основана на дуализме обработки информации [87]. С одной стороны, её можно понимать как сложность устройства, т.е. наличие в некоторой системе большого числа элементов и/или нетривиальных связей между ними. С другой стороны, речь может идти о сложности внешних проявлений системы безотносительно к её внутреннему устройству, т.е. выражаться в нетривиальном поведении. В основе образования диссипативных структур и возникновения автоволновых процессов лежит явление самоорганизации, т.е. наличие двух видов переменных параметров. Первые, которых большинство, создают «мягкие быстро перестраивающиеся режимы». Вторые, которых небольшое число, можно назвать параметрами порядка. Они создают «жесткие режимы». По истечении достаточно продолжительного промежутка времени первые подстраиваются под вторые. При этом могут возникать новые гибридные переменные, которые не обязательно должны совпадать с какими-то параметрами первоначального состояния. Они могут их изменять в ходе самоорганизации, т.е. быть *эмерджентными*. Напомним, что термин *эмерджентность* или *эмергентность* происходит от англ. *emergent* – возникающий, т.е. появляющийся неожиданно. В синергетике это есть наличие у какой-либо системы особых свойств, не присущих как составляющим её элементам, так и сумме этих элементов. Это свойство возникает за счет системообразующих связей между элементами.

В настоящее время на смену эре диссипативных структур и автоволновых процессов в синергетику приходит эра самоорганизованной критичности, поставщиками идей которой становятся такие науки как нейрофизиология, биофизика, психология, теоретическая история (Big History) и другие области, связанные с анализом влияния *прошлого* на *настоящее* и *будущее* [171].

Ю.А. Данилов [88] отмечал, что рождение науки о нелинейных взаимодействиях привело к отказу от представлений Ньютона о траектории как о геометрической линии, т.е. «длины без ширины». Физически описание поведения динамической системы на языке траекторий означало бы, что у нас имеется прибор со столь высокой разрешающей способностью, что он позволяет нам

«видеть» отдельную геометрическую линию. Разумеется, в действительности разрешающая способность любого прибора конечна, и мы не можем «видеть» индивидуальную траекторию, а только пучок совмещенных индивидуальных (порою спутанных) траекторий. Все траектории внутри пучка для нас неразличимы, поэтому имеет смысл говорить лишь о *некотором вероятностном распределении*. При этом по терминологии И.Р. Пригожина и И. Стенгерс [89], от распределения вероятностей невозможно перейти к отдельным траекториям. Внешний наблюдатель их не видит. Несводимые вероятностные распределения коренным образом изменили описание динамических систем, и даже понимание физических законов. Ключевые слова здесь – *вероятностное распределение или особая роль наблюдателя*.

И.Р. Пригожин и И. Стенгерс отмечали [89] следующее: *«Традиционно существовали две формулировки физических законов: одна – в терминах траекторий или волновых функций, другая – в терминах статистических ансамблей. Но такая статистическая формулировка не была несводимой. Она была вполне применима к отдельным траекториям или волновым функциям. Иначе говоря, при статистическом подходе не появлялись новые динамические свойства. В результате необратимое приближение к равновесию традиционно было принято связывать с приближённостью «крупнозернистостью» описания, а появление стрелы времени связывать с неполнотой нашего знания. Предложенная нами несводимая формулировка порывает с этой ситуацией. Необратимость и вероятность становятся объективными свойствами. Они выражают то обстоятельство, что наблюдаемый нами физический мир не может быть сведён к отдельным траекториям или отдельным волновым функциям...»*

Из изложенного выше следует, что функцию мозга невозможно полностью понять, исходя из анализа на одном или двух иерархических уровнях, например, нейронной сети или набора сетей в виде сэндвича. В таком варианте единственным информационно-значимым событием являются процесс обмена электрическими импульсами на основе движения ионов между отдельными нервными клетками, запускающими через синапсы каскад дальнейших событий. Что касается работы мозга человека, то остаются вопросы: как может быть устроен мозг, чтобы его функция могла рассматриваться одновременно как детерминированная и как хаотическая? Как вообще возможно существование физических макросистем на основе дуализма?

Любой человек, если регистрировать его поведение, всегда больше того, что непосредственно извне воспринимается наблюдателем. Для человеческого интеллекта, когда мы его рассматриваем как целое, нарушается закон тождества $\{A_n\} \neq \{A_p\}$, где $\{A_n\}$ – наблюдаемое множество его свойств, $\{A_p\}$ – реальное множество его свойств. Для человека имеют место скрытые параметры, которые проявляются при изменении внешней среды, но априорно в другой конкретной ситуации не обнаруживаются. Имеет место неравенство:

$$\{A_p\} > \{A_n\}. \quad (20)$$

Иными словами, человеческий интеллект и его поведение в своей основе многовариантны. Человек полностью «не раскрывается» перед внешним наблюдателем.

До недавнего времени робот как машина всегда был тем, что он есть, т.е. нечто вполне определенное, но современные самообучающиеся роботы уже стали по поведению похожи на человека. Из компьютера, реализующего самообучающийся ИИ, часто трудно (даже невозможно) вытащить сведения о том, какие признаки он использовал, решая ту или иную задачу.

Кроме того, Робот и Человек являются открытыми системами, не только для протока энергии, но и протока информации из внешней среды. Для человека открытость системы приводит к тому, что он не может достоверно осознать правила, которым подчиняется его мышление, сознание и поведение. Все они непрерывно меняются как под влиянием внешней среды, так и внутренней среды организма. Предположим, что человек выяснил полностью алгоритм собственного поведения \mathcal{N} , который исчерпывающим образом описывает функцию его собственной психики и функцию его мозга $\{A_p\}$. Тогда он будет способен точно предсказывать риски при принятии того или иного решения, осуществляя определенные действия и поступки. Допустим, что точное знание величины рисков привело его к заключению, что в ситуации X , осуществив действие P , возникнут неприятности. Тогда, он может помешать их неизбежности, отказавшись сознательно от осуществления поступка P , а осуществить какой-то другой поступок, вплоть до противоположного действия.

Однако, принятие того или иного решения всегда происходит в условиях неопределенности поведения конкурента во внешней среде. Следовательно, оценка риска *всегда носит вероятностный характер*. Другими словами, человек одновременно должен, как детерминированная система, и не должен, как осознающая себя вероятностная система, осуществлять или не осуществлять действие P . Неопределенность приводит к колебательному процессу, т.е. к вечному вопросу Гамлета: быть или не быть? Производить действие или не производить его?

4. XXI ВЕК: НОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СТАРЫХ ИДЕЙ

4.1. Время дорогих проектов

В 2009 году Генри Маркрам (Henry Markram) на основе своих исследований [90–106] представил научной общественности идею создания математической модели мозга на суперкомпьютере [107]. Идея была простой: если в программу компьютера включить всю сеть из 86 млрд нейронов и 100 трлн синапсов, соответствующих архитектонике мозга человека, – как предполагал он, – то, количество само перейдет в новое качество, и такая система будет обладать всеми когнитивными качествами мозга человека. Появился проект Human Brain

Project, рассчитанный на 10 лет (2013–2023) с общей стоимостью в 1,63 млрд долларов США.

Но уже через год возникли сомнения в целесообразности его реализации [108]. Были написаны письма более 800 нейрофизиологов, критикующих проект. Причины критики основывались на том, что пока отсутствует понимание работы мозга человека в сравнении с работой алгоритмизируемых процессов ИИ на компьютерах. Была создана комиссия, её доклад на 53 страницах резюмировал доводы против проекта Маркрама. Также подверглись критике и способы принятия в Брюсселе затратных исследований без должной научной проработки их основы.

В связи с критикой Г. Маркрама следует упомянуть мегапроект «Коннектом человека» (Human Connectome Project) с более скромной стоимостью в 30 млн. долларов, который был запущен в 2009 году в США [109]. Термин *коннект* происходит от англ. *connect* – соединение, например, с сервером для выхода в интернет. Коннектом – это динамический граф (карта) возникающих, развивающихся и отмирающих связей между самоорганизующимися подсистемами мозга как результат дальнедействующих сил или полей (англ. *guidance or pathfinding*). Например, аксональное наведение при поиске пути, т.е. направленный процесс роста сети аксонов и дендритов. В период развития нервной системы (в онтогенезе) нейронная сеть охватывает весь организм, все органы, формируя тем самым архитектуру периферических нервных связей как единую систему всего организма, связанную с головным мозгом. При этом тело и мозг представляют собою единое целое. Изучение сил и взаимодействий, влияющих на выбор пути, важно для понимания того, как строится структура объединения мозга и тела, и какие нарушения при их самоорганизации могут приводить к патологиям.

Предполагалось, что в механизме формирования связей между нейронами заключены основные аспекты человеческой индивидуальности (такие как личность, интеллект и креативность), поэтому моделирование коннектома человека могло бы стать существенным шагом к пониманию всего множества мыслительных процессов. Казалось, что для этого потребуются только особый язык программирования [110]. В России эту же мысль развивал К.В. Анохин, используя термин когнитом (гиперсеть мозга) [111].

Китайские ученые в августе 2017 года объявили об открытии HUST-Suzhou Institute for Brainmatics – научного центра, который будет заниматься картированием головного мозга. Институт получил из бюджета 450 миллионов юаней (\$67 млн.) на пять лет. Основной его целью было улучшение уже существующих технологий картирования головного мозга с помощью современных электронных микроскопов методом нарезания ткани на супертонкие слои для последующего их изучения. Однако ранее Атлас мозга с микронным разрешением «Allen Human Brain Reference Atlas» был создан сотрудниками Алленовского института исследований мозга в США. Он появился в интернете в открытом доступе. Его печатная версия, опубликована коллективом из 40 авторов, заняла весь выпуск *Journal of Comparative Neurology* от 15 сентября 2016 г [112].

Из своего опыта [113, 114] могу заметить, что изучение анатомии мозга без одновременного изучения динамики его работы на том же объекте, существенно не приблизит нас к пониманию механизмов креативности. Мозг каждого человека уникален и индивидуален, поскольку в нём содержится жизненный опыт каждого из нас. Вероятность их полного совпадения, даже у однояйцевых близнецов стремится к нулю. Кроме того, проблема состоит в том, что любая идея требует экспериментальной проверки. Чтобы изучить динамику изменения связей, необходимо иметь метод регистрации формирования как структуры, так и функции во времени и в пространстве на одном и том же мозге. Процессы, которые идут в нейронных сетях и в их межклеточном пространстве во времени происходят в миллисекундном диапазоне, а в пространстве – в диапазоне нанометров. Арсенал методов для наблюдения и совмещения этих процессов, который имеется в распоряжении исследователей сегодня, к сожалению, не обладают таким пространственно-временным разрешением. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) даёт невысокое временное разрешение. Её временное разрешение – порядка 10 сек, что недостаточно [115]. Электроэнцефалография (ЭЭГ) достигает временного разрешения до 2 мкс [116], но имеет низкое пространственное разрешение. Вживление микро-электродов повышает пространственное разрешение, но этот метод – инвазивный и его использовать на человеке можно лишь в лечебных целях и то в исключительных случаях. Кроме того, для всех инвазивных методов существует проблема неопределенности, поскольку ввод чужеродного тела в мозг вызывает реакцию на его появление. Магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяет регистрировать изменение потребления кислорода, а, следовательно, скорость метаболических процессов. Её пространственное разрешение – порядка 1 мм, а временное – порядка 2 сек [117]. Этого тоже недостаточно

Большие надежды возлагаются на развитие нейрофотоники, например, пространственно-временной анализ работы сети нейронов с помощью гибких оптоволоконных устройств, одновременно возбуждающих и регистрирующих внутреннюю или наведённую флуоресценцию нейронов. Формально временное разрешение этого метода неограниченно, а пространственное разрешение определяется длиной волны используемого света [118]. Это есть миниатюризация методов динамической наноэндоскопии в приложении к мозгу. Однако, методы нейрофотоники, как и микроэлектродные методы, являются инвазивными с вытекающими отсюда недостатками и неопределенностью получаемых результатов.

В книге отца и сына Шерозия [119] также излагался проект создания антропоморфного робота. Стоимость проекта они оценили в 10 млрд долларов США, а сроки реализации в 10 лет. Достоинством их проекта была идея учёта в работе мозга наличия обратной связи с телом. По их оценке среднее количество степеней свободы при движении тела человека порядка 300, хотя такая оценка у меня вызвала сомнение. Организм человека можно представить как сформировавшийся в процессе эволюции конденсат из одноклеточных организ-

мов, находящихся в едином объёме тела [26]. Эта гигантская колония на всех иерархических уровнях управляется единым генетическим кодом. Количество степеней свободы у такой динамической системы будет соответствовать по порядку величины количеству клеток в теле взрослого человека, т. е. $\approx 10^{13}$ [26].

4.2. Классическая и вероятностная логика

Попытаемся для описания мышления и сознания использовать другой язык: не от архитектоники к работе сетей мозга, а от логики их работы к архитектонике. Мысль о таком подходе к анализу динамических процессов не является новой, она рождалась у многих исследователей ещё до XX века, она живёт и в XXI веке. Можно отметить, например, лекцию В.Г. Редько на IV Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика – 2002» [120]. При этом, как будет показано ниже, мы приходим к нетривиальному результату.

Классическая логика, в отличие от вероятностной, обладает чёткими правилами. На её основе развился математический аппарат классической физики. К классической логике относятся все разделы логики, которые удалось записать в символической форме. Существенный вклад в символическую формализацию процессов логического мышления внесли О. де Морган [121], Дж. Буль [122], Дж. Пеано [123], Г. Фреге [124], А. Пуанкаре [125], Д. Гильберт [126], Б. Рассел [127] и другие.

Тем не менее, всесильность классической логики при получении объективного знания ограничена. Классическая логика утверждает [128], что надо однозначно отождествлять символами объекты окружающей нас внешней среды (закон тождества). Построение алгоритма должно протекать непротиворечиво по линейной цепи: причина \rightarrow следствие. Логический закон противоречия запрещает в процессе рассуждений и анализа ситуаций противоречить самому себе. Нельзя, например, о положении, которое принимается верным утверждением, говорить в тоже время как о неверном. Кроме того, говорится в законе исключенного третьего, недопустимо на вопрос отвечать неопределенно: ни да, ни нет. Наконец, всякая мысль лишь тогда верна, когда она вытекает как следствие из другой мысли, которая служит её основанием (закон достаточного основания). Поэтому мышление должно быть последовательным.

В рамках этой стройной системы логического мышления человек чувствует себя комфортно, потому что классическая логика замкнута, внутренне непротиворечива и однозначна. Однако практика подсказывает, что в замкнутой системе утверждений находятся высказывания, о которых нельзя сказать – истинны они или ложны. Наиболее яркий вариант – это разные парадоксы, например, апории (от др. греч. *αρογία*, трудность, безысходность, безвыходное положение) Зенона [129], которые нельзя объяснить на основе классической детерминированной логики.

Ограниченность классической логики состоит также в том, что она отражает лишь один класс ситуаций во внешней среде, которые соответствуют «порядку» (а не «хаосу» [130]). В её рамках сложно объяснить спонтанное возник-

новение какой-либо цели у человека или прогнозировать траекторию развития нелинейных процессов таких, как: «капризы» погоды, предсказание землетрясений, направления изменения экономических, биологических и социальных систем или появление креативности. Все попытки экстраполяции будущего из прошлого, положенные в основу политических доктрин на основе формальных логических построений неизбежно приводили к догматизму, а, следовательно, к гибели замкнутых мировоззренческих концепций.

Начиная с идей Парменида⁷, бытует утверждение: *лишь умпостигаемое бытие, а не данные органов чувств, обладает действительной реальностью* [131]. Поясним с современных позиций, как можно обосновать гипотезу Парменида. Приведём постулат, например, *законы (модели) Природы не должны быть сложнее тех данных, которые они объясняют*. В противном случае понятие сжатия информации отсутствует, ибо любой необработанный набор данных может существовать сам по себе как «закон». Если память ничем не ограничена, то, казалось бы, можно просто запомнить все ситуации, не производя отбор, и принимать их как частные законы Природы. Однако к настоящим законам Природы, формулируемым наукой, применяют другой принцип – *принцип простоты, экономии памяти и экспериментальной проверки* [132].

Грегори Чейтин (Gregory Chaitin) в конце XX века отметил [133], что при этом возникают противоречия. Казалось бы, что подавляющее большинство строк символов (например, ряды случайных чисел в иррациональных дробях), описывающих явления внешнего мира, принципиально несжимаемо. Если это так, то мы не можем свести их к более простым, коротким последовательностям. Подобная ситуация возникает каждый раз, когда в наблюдаемой цепи событий не обнаруживается никаких внутренних закономерностей, которые позволили бы её сжать. У нас не остается другого выбора как всю последовательность принять в качестве закона Природы. Мы принимаем такую ситуацию без всякого обоснования, а просто потому, что не имеем другого выбора.

Как уже отмечалось, по-видимому, мозг может самостоятельно порождать виртуальные модели (или строки программ) произвольной сложности. Их сравнение с реальностью позволяет вскрывать локальные (частные) закономерности, существующие во внешней среде. Динамическое сравнение происходит путем сопоставления синтезированной последовательности с последовательностью, заданной внешней средой, что позволяет при совпадениях фрагментов обнаруживать локальные закономерности, разделенные большими интервалами в пространстве и во времени. Например, для написанных текстов это – «слова или фразы». В 1989 году мы реализовали похожую идею в виде алгоритма. Спектральный анализ в Фурье–пространстве позволял осуществлять поиск повторов, которые отделены друг от друга большими интервалами, например, в нуклеотидных последовательностях ДНК [134].

⁷Парменид из Элеи – древнегреческий философ, жил около 550 лет до н. э. Он пытался отделить истину от мнения о ней. Его учеником и последователем был Зенон – автор парадоксов (апорий).

Нахождение повторов обеспечивало сжатие информации, а случайные несжимаемые части последовательности можно было отнести к разряду «мусора». Тем не менее, при этом нельзя объяснить, почему «мусор» не обладает информационным содержанием. Если изменить исходные фрагменты, то изменится и состав «мусора». Единственным объяснением такой ситуации будет то, что сжатие проведено на основе классической детерминированной логики, не противоречит ей и позволяет решать практические задачи, а в данном конкретном случае «мусор» – это шум. Робот действует на основе алгоритмов, построенных на законах классической логики, заданных программистом. Работа мозга человека основана на преодолении противоречий между антиподами, т.е. между настоящим и прошлым, между воспринимаемым внешним миром органами чувств и памятью о нём из прошлого опыта.

Диалектическую логику часто характеризуют как логику, рождающуюся на основе конкуренции в спорах (крылатое выражение: *«в спорах рождается истина»*). Б. Б. Кадомцев, с которым мне несколько раз приходилось обсуждать проблему возникновения *вероятностного информационного мира*, пропагандировал его связь с квантовой механикой [135, 136]. Свои соображения на этот счёт он обобщил в книге «Динамика и информация» [137].

Столетия назад Д. Гильберт (*David Hilbert*) обратился к математикам с предложением определить всю конечную совокупность принципов, из которых с помощью последовательного использования правил классической математической логики можно найти гармонию во всей математике. К 1922 году у Гильберта сложился план сделать математику замкнутой путем полной её формализации на основе доказательства отсутствия противоречий внутри неё. Для осуществления этой программы Гильберт разработал логическую теорию доказательств, продолжая работы Фреге [124], с помощью которой непротиворечивость математики свелась бы к доказательству непротиворечивости, например, арифметики. При этом Гильберт использовал только общепризнанные логические средства классической, а не вероятностной логики. Как отмечает в своей работе Г. Чейтин [133, 138], программа Гильберта оказалась невыполнимой, хотя послужила значительным стимулом к развитию логики.

Похожей проблемой в своё время интересовался и Курт Гёдель (*Kurt Friedrich Gödel*). В 1931 году он показал, что на пути формализации математических теорий существует проблема противоречивости. На границах любых замкнутых множеств возникают «недоказуемые теоремы» [139]. Смысл утверждения Гёделя в том, что любая теория является неполной, и, следовательно, противоречивой. Неполнота означает наличие высказываний, которые на границах множеств *нельзя ни доказать, ни опровергнуть, исходя из аксиом, находящихся внутри этой теории. Противоречивость – это появление парадоксов, т.е. возможности доказать любое высказывание, приняв истинное за ложное, и наоборот.*

Как часто бывает в развитии науки, «новое – это забытое старое». Ещё в 1686 году Готфрид Лейбниц (*Gottfried Wilhelm von Leibniz*) за 250 лет до Гёделя в философской статье «Рассуждение о метафизике» [140] поставил вопрос: как

отличить факты, которые можно описать каким-либо законом, от фактов никакими законами не описываемых? Он переформулировал мысль Парменида и высказал простой постулат: *теория должна быть проще данных, на основе которых она построена. В противном случае она не нужна.* Что значит «проще»? Выражаясь современным языком: информация должна быть сжата, а её запись короче, чем исходные данные. Но это сжатие должно содержать правило, которое позволяет без потерь в случае необходимости развернуть сжатую информацию. К конкретному примеру мы вернемся позднее.

Наш мозг производит сжатие информации. Вопрос о количестве градаций в иерархических уровнях при создании алгоритмов поведения в живых системах пока остается открытым, по-видимому, их количество в живой системе очень большое и сопоставимое с количеством органелл или клеток, т.е. 10^{13} – 10^{17} .

Итак, окружающий нас мир и мы сами, как его часть, устроены иерархически не только на законах классической двоичной логики, но и на законах смешанной троичной логики с дополнением вероятностной логики. В результате мозг работает в троичной системе: «да», «нет» и «неопределенность с разной величиной вероятности». Мозг, живущий лишь в собственном виртуальном мире, оторванном от реального мира, – это мозг сумасшедшего. Синтезированные им модели могут иногда совпадать с реальностью, но это скорее исключение, чем правило.

4.3. Мозг, живущий в вероятностном мире

Будем называть такой мозг «Байесовским мозгом». Простейшая формула с учетом условной вероятности (формула Байеса) известна давно [141, 142]. При учёте условной вероятности $p(A | X)$ происходит увеличение наших знаний об A при получении новых сведений об X . Её запись имеет вид:

$$p(A | X) = \frac{p(X | A)p(A)}{p(X)} \quad (21)$$

Вероятность $p(A)$ – это априорная вера в то или иное событие. Вероятность $p(X)$ – это вероятность появления новых сведений, которые могут изменить нашу априорную веру в вероятность реализации события A . Условная вероятность $p(A|X)$ позволяет измерить, в какой степени была правильна наша убежденность в вероятность $p(A)$ свершения события A . Если человек абсолютно уверен, то вероятность равна $p(A) = 1$. Если он совершенно уверен, что это никогда не случится, то вероятность $p(A) \rightarrow 0$. Большинство ситуаций занимают промежуточное положение между нулем и единицей. Приближение к 0 или к 1 изменяется по мере получения новых сведений с вероятностью $p(X)$.

Казалось бы, что популярность формулы Байеса состоит в том, что она дает нам возможность точно измерять величину вероятности, которая характеризует достижение цели при получении новых сведений. На этом основана концепция, так называемого, *идеального байесовского наблюдателя* – воображаемого существа, всегда использующего получаемые сведения наилучшим из возмож-

ных способов [143]. Однако это воображаемое существо в значительной степени напоминает мне другое воображаемое существо в термодинамике – демон Максвелла [9]. Напомним, что через цену действия (функцию от энергии и времени, см. выражение (2)) связаны эти два воображаемых существа между собою. Бесплатно и точно они не могут **измерить** величину и направление изменения **вероятности при** получении новых сведений. Но идеальный байесовский наблюдатель в отличие от демона Максвелла *«питается» не только энергией, но и временем, затрачиваемым на повторение* (крылатое выражение – «повторение – мать учения»).

Вернёмся к формуле Байеса (21) и рассмотрим три примера.

Пример 1 – развилки. Всем хорошо известен «парадокс Бурданова осла». Суть его в том, что голодный осёл, в абсолютно устойчивой (симметричной) системе, в которой предоставлены два одинаковых угощения, не может логически сделать выбор, поскольку вероятностная логика не даёт оснований предпочесть одну копну сена другой. Вероятности выбора правого и левого движения точно равны 50%. Следовательно, рассуждая в терминах вероятности, осёл, помещённый на равном расстоянии от двух одинаковых кучек сена, умрет голодной смертью. В реальности всё наоборот. Голодный осёл сначала съест любую из двух кучек сена, а затем – другую. Его цель – утолить голод (он не наблюдатель, а участник процесса), его виртуальная модель внешней среды, сформированная мозгом, направлена на удовлетворение внутренних потребностей, а внешняя среда в данном случае предоставила ему эту возможность. Вероятностные оценки ему не нужны.

Пример 2 – диагностика. Использование формулы Байеса в диагностике при некоторых условиях может приводить к парадоксу. Эти условия довольно очевидны, когда некто, отправляясь на обследование к врачу и уверен, что он здоров или, по крайней мере, его уверенность, описывается вероятностью $p(A) \geq 50\%$, то следовательно, условная вероятность $p(A|X) \leq [1 - p(A)]$.

Допустим, что надёжность анализа какого-либо заболевания равна 99%, т.е. 99 из 100 человек, больных, например, раком, получают положительный результат, и 99 здоровых людей из 100 получают отрицательный результат. Если после тестирования анализ окажется положительным, то какова вероятность того, что у пациента рак? Интуитивно можно предположить, что ответ – 99%. **Но, согласно формуле Байеса, при однократном обследовании ответ будет 50 %.** Поскольку, положив в нашем случае в выражении (21) $p(A) = 0,5$, $p(X|A) = 0,99$ и вероятность диагноза в знаменателе $p(X) = 0,99$, получим по Байесу, при однократном обследовании, ответ 50%. Поскольку в выражении (21) в нашем случае приняв $p(A) = 0,5$, а $p(X|A) = 0,99$ получается: $p(A|X) = \frac{p(X|A)p(A)}{p(X)}$.

Итак, по Байесу вероятность того, что у пациента рак в случае положительного теста *при однократном обследовании* практически не изменится и будет равна $p(A|X) = 50\%$.

Пример 3 – редкие явления. Джереми Вулф (Jeremy Wolfe) и его коллеги из Бостона экспериментально проанализировали работу служб безопасности,

сканирующих вещи в аэропорту в поисках ножей, взрывчатых веществ и других запрещенных к провозу предметов. Когда искомые предметы встречались часто, испытания показывали результат, соответствующий формуле Байеса. Служащие не заметили лишь около 7% запрещенных к провозу предметов. Когда такие предметы стали встречаться редко, результат оказался неутешительным. В одном из экспериментов испытуемые не заметили больше 50% искомых предметов, находившихся лишь в 1% досмотренных вещей (цитируется по [143]).

• • •

Итак, байесовская формула начинает работать лишь после повторений и набора статистики, т.е. при уточнении виртуальной модели внешней среды, имеющей место в нашей голове или в компьютере на основе предыдущего опыта, полученного при взаимодействии с реальным миром. В противном случае мы попадаем в ловушку принятия желаемого за действительное [144]. Неистребимое желание человека найти порядок во внешней среде, даже там где его нет, может приводить к рождению суеверий [145] и неверных гипотез [146].

Восприятие реального мира начинается изнутри мозга с априорного убеждения, которое представляет собой виртуальную модель мира, где объекты и связи между ними занимают «определенное» положение в пространстве и во времени. Генетика и прошлый опыт определяют эту модель. Пользуясь ею, наш мозг может предсказать, какие сигналы должны поступать в наши глаза, уши и другие сенсорные системы, но может и ошибаться. Эти предсказания сравниваются с реальными сигналами, и при этом, разумеется, обнаруживаются ошибки. Характер ошибок говорит мозгу, как улучшить собственную модель внешней среды. В итоге цикл повторяется вновь и вновь, до тех пор, пока ошибки не станут малы. Для этого обычно достаточно немного таких циклов (не меньше двух), на которые мозгу может потребоваться минимально 100 мсек (это предельное время простой двигательной реакции). *Наше тело служит нам, чтобы познавать окружающий мир.* Восприятие – это цикл, в котором предсказание постоянно проверяется действиями. Эта способность отсутствовала в ранних системах ИИ и КАР.

Отметим, что после внесения уточнения мозг получает новое представление о мире и может снова повторить ту же процедуру, сделав новое предсказание о характере событий, отслеживаемых органами чувств. С каждым повтором этого цикла ошибка в предсказаниях уменьшается. Когда ошибка оказывается достаточно малой, наш мозг может ориентироваться во внешней среде. Не сложно определить, как быстро растет величина вероятности $p(A|X)$ при повторных уточнениях.

Вернёмся к примеру 2: если пациент ещё раз пройдёте диагностический тест, то может кардинально уменьшить неопределённость. Если тест тоже будет положительным, то по теореме Байеса вероятность $p_2(A)$ будет равна результату первого теста 0,5. Надежность диагностики осталась без изменения и

равна $p(A/X) = 0,99$. Вероятности получить положительный или отрицательный тест равны, т.е. $p_2(X) = 0,5$. Подставив эти значения в выражение (21), получим:

$$p_2(A/X) = \frac{0,99 \times 0,5}{0,5} = 0,99 \quad (22)$$

Следовательно, вероятность наличия у пациента рака будет равна 99% вместо прежних 50%. Как показывает этот пример, повторение быстро распутывает клубок из ложных и истинных ситуаций и уточняет ответ.

Относительно повторений, можно отметить особую роль учителя. «Учитель» также уменьшает долю ошибок [59]. Очевидно, что необязательно приобретать опыт лишь общаясь самому с внешней средой. Казалось бы, что программы ИИ лишены этого недостатка, поскольку в нею предварительно программистом в качестве учителя закладывается его собственный опыт. Однако, если алгоритм программы нацелен на выигрыш в игре, но не оговорены правила потерь, которых нужно избежать, то робот будет действовать как таран (или «слон в посудной лавке»). Он физически уничтожит всё, что мешает достигнуть цели. Понятия этики, гуманизма и нравственности у робота не существует. Следовательно, программист должен предусмотреть в механизме «обучения» не только кратчайший путь к цели, но цену, которую следует не превысить по пути к её достижению. При достижении границы начинается действовать теорема Гёделя, приводящая к появлению ситуаций, где истинная и противоположная ей ложная цель спутаны и неразличимы, или другими словами, нарушена устойчивость решения поставленной программистом задачи.

Программа точно и быстро выполняет именно то, что сформулировал программист, а не то, что он имел в виду или предполагал получить в результате выполнения своей программы. К этой же мысли ещё в середине XX века пришёл Норберт Винер, изложив её в дополнительных главах кибернетики [147]. Наличие неопределённостей чревато создателю сюрпризами со стороны ИИ.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

5.1. Математическое сжатие информации

Продолжая метафору с развитием логики и математики, выскажем гипотезу о существовании пока ещё не открытых нами супер-алгоритмов. Будем исходить из постулата, что *путем кодирования можно сжимать количество информации*. Например, для бесконечного ряда натуральных чисел, ряда арифметической или геометрической последовательностей, или для ряда чисел Фибоначчи и многих других сходящихся рядов не требуется запоминать весь бесконечный ряд. Необходимо лишь запомнить формулу, для вычисления любого N -го члена ряда. Эта формула позволяет осуществить построение подобных рядов любой протяженности. Следовательно, такие ряды содержат мало информации.

Однако, возможно, что существуют некоторые бесконечные ряды, с, казалось бы, неповторяющимися последовательностями чисел, но имеющие некоторые локальные особенности. Проведем вычисление ряда иррационального числа $\pi = 3,14159\dots$

Существует множество алгоритмов для последовательного его нахождения: стохастический метод Монте-Карло, интеграл Пуассона или формула Франсуа Виета (*François Viète*). Остановимся на последней.

Ф. Виет ещё в XVI веке при вычислении числа π вывел формулу для определения бесконечной последовательности членов этого ряда [148]:

$$\frac{2}{\pi} = \sqrt{\frac{1}{2}} \times \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}}} \times \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}}}}} \dots \quad (23)$$

Это выражение указывает на то, что вычисление числа π определяется рекуррентной бесконечной процедурой вычисления. Очевидно, что такой способ требует времени на вычисление, которое растет с ростом N .

В 1997 году Дэвид Бэйли, Питер Борвайн и Саймон Плафф, используя идею локальной сходимости фрагментов некоторых рядов, получили другую более изящную и менее затратную по времени формулу для вычисления N -ого числа в последовательности π [149]. С её помощью можно вычислить любой N -ый знак числа π с ограниченным вычислением предыдущих и последующих ближайших членов ряда:

$$\pi = \sum_0^{\infty} 16^{-k} \left(\frac{4}{8k+1} - \frac{2}{8k+4} - \frac{1}{8k+5} - \frac{1}{8k+6} \right) \quad (24)$$

По этой формуле, если нужно вычислить N -ый цифровой член в числе π , то обе части формулы умножаются на 16^N , тем самым обращая множитель, стоящий перед скобками справа в $16^{(N-k)}$. После этого вычисляется сумма нескольких ближних членов ряда. Причём необязательно вычислять много членов: из формулы видно, что по мере возрастания k значение $16^{(N-k)}$ быстро убывает, так что, последующие члены не будут оказывать сильного влияния на значение искомого N -ого члена ряда. Формула Бэйли-Борвайна-Плаффа была найдена с помощью алгоритма **PSLQ**⁸. Таких находок, сжимающих информацию, в истории развития математики не мало: например, можно упомянуть формулу Стирлинга (или формулу Муавра – Стирлинга) для вычисления факториала или гамма-функции [150].

Следовательно, можно высказать гипотезу, что над множеством числовых рядов существует следующий иерархический уровень – это множество алгоритмов, с помощью которых можно сжимать информацию о рядах. Продолжая эту мысль, также можно допустить, что над множеством алгоритмов находится

⁸Алгоритм **PSLQ** [*англ.*: PostgreSQL (SQL – Structured Query Language)] или [*русск.*: Алгоритм Анализа на Языке Дискретных Вопросов] – это один из вариантов поиска целочисленных отношений между набором слагаемых в суммы вещественных чисел x_i с коэффициентами a_i . Эта сумма приравнена нулю. Программа вычисления находит целочисленное соотношение между $a_i x_i$, либо определяет, что такого соотношения нет [Weisstein, Eric W. *PSLQ* Algorithm на сайте Wolfram MathWorld.].

другой математический мир. Неважно как его называть, например, множество супер-алгоритмов или мета-алгоритмов, Супер-алгоритмы этого уровня позволяют анализировать информацию об алгоритмах. В таком *иерархическом варианте* математика не является замкнутой системой. У неё границы отсутствуют, что открывает простор для творчества в области сжатия информации путем движения по ступеням иерархии. Чем выше иерархический подъем, тем за меньший интервал времени решаются задачи нижних уровней. Непрерывное расширение границ снимает ограничения, сформулированные Гёделем.

Для биофизики из этой метафоры следовали бы два важных вывода.

Во-первых, *чтобы подняться на следующий иерархический уровень, необходимо найти способ выхода за границу предыдущего уровня в другое информационное пространство*. Во-вторых, *подъем по уровням должен быть последовательным. Нельзя пропускать уровни-ступеньки*. Второй вывод вытекает из требования устойчивости [26]. Поскольку прошлое (начальные условия) совмещённое с граничными условиями (т.е. настоящим) определяет будущее.

Тем не менее, фазовые переходы разных типов нарушают правило эволюции, т.к. они рождаются на основе скачков. Если на нижних уровнях скачки могут быть полезны, т.к. создают «озарения» и рожают творчество и прогресс, то на верхних уровнях скачки могут приводить к гибели части или всей системы, а в биосфере – к замещению одного вида живых организмов другим видом. Виртуальный мир нашего мозга тем и хорош, что может ограничивать вероятность скачков (крылатое выражение: *«семь раз отмерь и один раз отрежь»*)

5.2. Выход за границы обычного в новое информационное пространство

При решении интеллектуальных задач мозг человека пытается найти нестандартные решения. Приведем один простой пример «озарения» – притчу о смышлёном ребенке. Отец, которому пришлось сидеть с маленьким ребенком, попытался заняться своими делами, но чтобы ребенок ему не мешал, отвлек его игрой: вырвал из журнала страницу, на которой была изображена карта мира, и порвал её на куски. Затем отдал все обрывки сыну со словами: *«Я свожу тебя в зоопарк, если ты соберёшь из них карту»*. Ребенок согласился. Отец был уверен, что сын будет заниматься этим не менее полутора часов, и оставит его в покое. Однако через десять минут сын собрал карту. Отец удивленно спросил: *«Как тебе это удалось? Ты знаешь географию?»* Малыш ответил: *«Папа, ты не видел, что изображено на обратной стороне; там – рисунок человека. Я собрал рисунок человека, а с другой стороны получилась карта. А теперь идём в зоопарк!»* [151].

Ребенок нашёл решение трудной для него задачи путем выхода в другое понятное ему *на основе прошлого опыта* информационное пространство и обнаружил связь с поставленной перед ним задачей. Тем самым он произвел сжатие информации, используя уже накопленный им опыт, и сэкономил время.

В приведенной в разделе 5–1 задаче с определением числа π было продемонстрировано, что временной интервал при сжатии алгоритмической информации зависит от уровня выбранного языка программирования. Например, требуемое время работы алгоритма Δt при вычислении любого N -ого значения числа π пропорционально значению N , а объем требуемый памяти для программы пропорционален $(\ln N)$, где N – порядковый номер искомого знака [149.]. Поскольку:

$$N \gg \ln N, \quad (25)$$

то имеет место очевидный, но важный вывод: *память и опыт (знания о прошлом) существенно экономят время решения новых задач.*

Если перейти к реальному мозгу человека, то повышенный интерес вызывают две структуры головного мозга – гиппокамп и передняя часть лобной коры.

Гиппокамп – это подкорковая структура головного мозга, которая одной своей частью заходит в глубину коры, а другой упирается глубоко в подкорку в сердцевину мозга. Она связывает лобную кору мозга («зоны осмысленного действия») и подкорку («средоточение эмоций»). Снизу к нему подходят ответвления от путей сенсорной обработки информации и сетевые пути тонусного мотора, сверху идут связи от лобных долей коры. Следовательно, гиппокамп – это хаб, т.е. центральный узел анализа приходящей информации. Импульсы, пришедшие сюда, перемещаются по круговым цепочкам гиппокамповых нейронных сетей и регистрируются как тета-ритм. Возможно, что этот процесс и есть кратковременная память, которая благодаря повторениям переводится и в долговременную память.

В свою очередь лобная кора является самой большой долей головного мозга и составляет около трети площади поверхности каждого полушария. Вся лобная кора сегодня рассматривается как «зона формирования действий». В ней формируется цель и набор действий человека, направленных на её достижение. У людей самая большая часть лобной коры (префронтальная кора), которая отвечает за дифференциацию задач целенаправленных умственных действий, обычно называемых рассуждениями или синтезом действий. Совместная работа гиппокампа и лобной коры, по-видимому, играют особую роль в формировании личности человека. Совместную работу этих двух структур изучают по сей день.

Гиппокамп совместно с лобной корой имеет много функций. Они совместно определяют переход кратковременной памяти в долговременную; оценивая новизну поступающей через рецепторы информации; удерживают внимание на новизне поступающей информации; генерируют тета-ритм; осуществляют переходы от временной к пространственной памяти, необходимые для навигации; наконец, участвует в механизмах формирования эмоций.

Среди нейронов гиппокампа известны «нейроны новизны». Эти клетки возбуждаются, если сигнал в коре раньше не встречался. Когда сигнал повторяется, то нейроны новизны постепенно затухают. Но зато всё сильнее воз-

буждаются нейроны, которые, наоборот, откликаются только на знакомую информацию. Если существует какая-то обобщенная память, если есть общее чувство знакомого и незнакомого, то их центр с наибольшей вероятностью находится в гиппокампе.

Отсюда следует, что гиппокамп – это, с одной стороны, индикатор новизны, с другой – усилитель или ослабитель внимания. В нём есть места, раздражение которых вызывает воспоминания, т.е. «прокручивание событий и образов в прошлое».

• • •

Вернемся к моделям. При создании моделей внешней среды возможность сжатия информации зависит от возможности интегрирования рядов или матриц с различными свойствами. Обзор теории матричных моделей с точки зрения её связи с интегрируемыми иерархиями содержится в статье [152]. Развитие понятия полной интегрируемости динамической системы, в частности для нужд квантовой механики, даны Л.Д. Фаддеевым [153].

Тем не менее, если ряды расходящиеся, то существуют ситуации, при которых возникают алгоритмические проблемы сжатия информации за конечный интервал времени. А.Н. Колмогоров в середине XX века предложил взять измеренную, например, в битах длину программы или (что то же самое) алгоритм вычислений (l), который переводит некоторую данную последовательность $\{Y_j\}$ в последовательность $\{X_i\}$. Такой переход позволяет решить задачу сжатия информации в общем виде [154, 155]. Если сложность задачи невелика (т.е. сжатие возможно), то l существенно меньше длины последовательности $\{X_i\}$. В противоположном случае процесс не поддается алгоритмическому сжатию. Для таких процессов $l \sim N$ алгоритм перевода $\{X_i\} \rightarrow \{Y_j\}$ сводится к посимвольному запоминанию всей последовательности $\{Y_j\}$.

Пока остается открытым вопрос: существуют ли в Природе абсолютно случайные несжимаемые процессы или их существование — это математическая абстракция? Возможно, что человечество пока находится на недостаточно высокой ступени иерархии алгоритмов, чтобы с уверенностью ответить на него. Эта проблема волновала в начале XX века А.Эйнштейна. Всем известно его высказывание в дискуссии с Н. Бором: «Бог не играет в кости» [156]. Н. Бор изящно вышел из этой дискуссии, введя *принцип дополнительности* [157].

5.3. Предел сходства Робота и Человека

Выяснить точно предел сходства Робота и Человека невозможно. Эта область принадлежит не физикам или биофизикам, а писателям-фантастам и футурологам. В *terra incognita* невозможно отделить факты от вымысла. Пытаясь предсказать «будущее», мы вступаем на территорию неопределенности. Тем не менее, попытаемся сформулировать условия, при которых может появиться *универсальный креативный робот*. Как уже отмечалось ранее, *креативность* есть *умение самостоятельно формулировать цель поведения и принимать*

творческие решения для её достижения. Современный робот не может сам себе поставить цель. Её ставит Создатель, закладывая её в виде программы в ИИ робота.

У самого человека цель появилась в условиях изменения среды на нашей планете на основе эволюционного отбора его адаптационных механизмов, направленных на выживание вида. По данным истории эпоха возникновения гоминидов началась 4,5 миллиона лет тому назад и продолжается до нашего дня, т.е. уже длится $\Delta t = 2,8$ млн лет. Существенным моментом развития было время, когда в нижнем Палеолите в Африке появился наш предок *Homo habilis* – «человек умелый». Затем произошел качественный переход в эволюции человека и начался процесс социального развития. Человек постепенно заселил весь земной шар. Таким образом, можно весьма условно принять время формирования современного человека в ряду гоминидов в 3,5 млн лет [158–160] (рис. 11).

Какие изменения в мозгу, отделяют нас от наших предков? Антропологические находки сообщают, что у австралопитеков объем мозга в среднем был 459 см³, приблизительно как у некоторых шимпанзе. У человека прямоходящего (*Homo erectus*, 1,6 млн лет назад) мозг увеличился в среднем до 930 см³. У *Homo sapiens* (200 тыс. лет назад) он достиг размеров свыше 1400 см³.

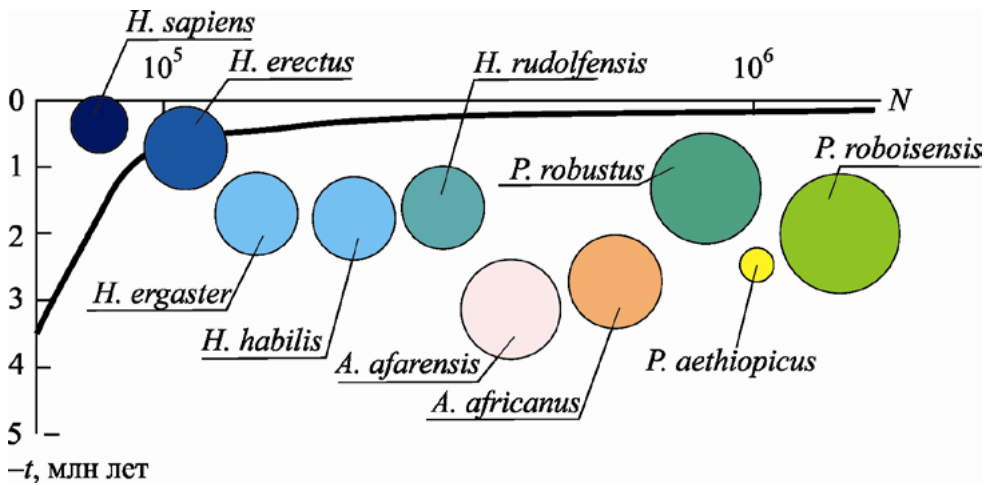


Рис. 11. График эволюционных этапов (в осях: t – прошедшее время, N – численность популяции), которые привели к появлению современного человека в результате мутационных изменений гоминидов, направленных на адаптацию к изменяющейся внешней среде. Размер окружности соответствует размерам численности популяции, положение окружности соответствует времени существования вида. Наш вид *Homo Sapiens* появился приблизительно 200 тыс. лет назад. Он обладал наилучшими способностями адаптации и стал видом, занявшим почти все регионы планеты, достигнув сегодня численности свыше 7 млрд. особей [161, 162]

Но главное было не только и не столько в увеличении всего объема мозга или в изменении его структуры, или в особенностях префронтальной коры (поля Бродмана 10). Хотя префронтальная зона увеличилась у *Homo sapiens*

по сравнению с другими приматами более, чем в 2 раза, но, сам объем мозга немного уменьшился. По-видимому, изменилась архитектоника распределения нейронов в коре головного мозга. Главным было, что расстояние между нейронами в некоторых областях возросло на 50%, дав больше пространства для роста дендритов, обеспечивающих память и совершенствующую виртуальную модель внешней среды. Все это, скорее всего, и заложило возможности для появления и совершенствования языка общения на социальном уровне, существенно расширив динамические возможности при формировании виртуальной модели среды. Открылся новый путь к использованию неформальной логики и к творчеству путем сопоставления и объединения информации, которая поступала не только от разных сенсорных систем в кору мозга, но и модифицировалась под влиянием совместных действий коллективов людей и обмена информацией и опытом между ними [163, 164].

Развитие мозга привело к тому, что стратегия выживания на основе таких индивидуальных свойств человека: как страх смерти и стремление избегать боли; способность к оценке возникающих угроз для продолжения рода и защиты потомства; добычи пищи и поиска комфортных зон обитания для себя и своих близких, была дополнена формированием кооперативного поведения людей в соответствии с наблюдением за изменениями внешней среды, запоминанием этих изменений и развитием широкого обмена опытом между людьми. Можно ли всё это в виде алгоритма заложить в модель виртуального мира в искусственный интеллект самообучающегося робота? Пока это невозможно.

Технически процесс биологической эволюции в эксперименте воспроизвести не удастся. Это некорректная обратная физическая задача. Когда факт возникновения живой материи свершился, то обсуждение истории свершения носит гипотетический характер. Особенность некорректно поставленных задач состоит в том, что по «улика», которые мы наблюдаем в настоящее время, требуется восстановить картину развертывания процесса во времени в далеком прошлом. Такие задачи очень чувствительны к начальным условиям, которые мы знаем лишь гипотетически [165–167]. Мы имеем лишь один вариант эволюции, и то не в полной мере, – это развитие живой материи на Земле. Если использовать формулу Байеса и произвести по ней расчет, то, как было показано выше, достоверность одиночного наблюдения может быть лишь порядка 50%. Поэтому не утихают споры вокруг панспермии (о том, что жизнь занесена из Космоса) [168, 169].

У робота нет генетического прошлого и причинно-следственных отношений с ним. Тем не менее, предположим, что человек:

- 1) создал робота с «мозгом» на основе самообучающегося ИИ, работающего со скоростью света, и наделил его телом, насыщенным разными рецепторами;
- 2) создал замкнутый цикл производства (без участия людей) самостоятельно размножающихся роботов (теоретическую возможность такого цикла обсуждал ещё Джона фон Нейман в 60-ых годах прошлого века [170]).

Что произойдет далее? Для последующих шагов развития роботов человек уже не нужен. Если имеются источники сырья и энергии, то процесс будет раз-

виваться сам по себе. Сколько лет потребуется, чтобы мозг робота прошел путь эволюции мозга человека (с учетом переданного ему человеком своего опыта) до этапа самостоятельного формирования собственных целей?

Если принять, что для развития человека от Человека умелого (*Homo habilis*) до Человека мыслящего (*Homo sapiens*) потребовалось не более 3,5 млн лет, а среда нашей планеты сохраняла весь этот период сравнительную стабильность, то оценка интервала времени Δt_K , за который эволюция роботов достигнет уровня способности человека в формулировке целей, будет соответствовать пропорции:

$$\frac{v}{C} = \frac{\Delta t_R}{\Delta t_H} \quad (26)$$

где v – максимальная скорость обработки информации живыми системами, в частности человеком, примем её $v \approx 25$ м/с; C – максимальная скорость обработки информации роботом (скорость света), $C \approx 3 \times 10^8$ м/с; Δt_H – интервал времени формирования мозга человека в условиях Земли, примем его условно за $\Delta t_H \approx 3,5$ млн лет $\approx 10^{14}$ сек; Δt_R – интервал времени формирования креативного робота, который сможет самостоятельно ставить цели для своего существования и развития. Из пропорции (26) можно найти значение Δt_R

$$\Delta t_R \leq \frac{v}{C} \Delta t_H \approx 9,2 \times 10^6 \text{ с} \approx 3,7 \text{ месяца} \quad (27)$$

Таким образом, чтобы самообучающийся робот мог действовать как человек, самостоятельно формируя свою цель, он должен самосовершенствоваться всего 3 ÷ 4 месяца. Появление мира КАР в этом случае следует рассматривать как продолжение биологической эволюции, но на другой материальной основе. В зависимости от того *в какой сценарий эволюции мы верим*, такой результат и получим (подобно вычислению вероятности по формуле Байеса без повторения). Однако, в силу опасности человечеству не нужны роботы, которые способны самостоятельно формировать цели. Такие роботы будут грустить, любить, радоваться, завидовать, злиться, драться, сомневаться, мстить и даже сходить с ума. Человек для них, в лучшем случае, будет подобен домашнему животному.

6. ВЫВОДЫ

На основе изложенного, можно сделать пять выводов:

1. *Развитие робототехники на ближайший период будет продолжаться по уже существующим траекториям:* (1) создания «умного пространства» – роботизированных заводов и территорий; (2) «умных и безопасных» городов и регионов; (3) расширения ареала обитания человека в третьем измерении (Sky City, Akva City, CyberVillage); (4) расширения масштабов знания, т.е. освоения астро-диапазонов (роботизированные полеты в Космос) и нано-диапазонов (роботизированные полеты внутри организмов).

2. Мозг человека продолжит совершенствовать *виртуальную модель внешней среды на основе детерминированной логики*. Хотя в реальности она – *вероятностная*, т.к. может быть ошибочной. Эта модель непрерывно будет уточняться на всех иерархических уровнях, на основе генетики, приобретаемого опыта (под действием всей совокупности сенсорных систем организма и подвижности тела), включая память о прошлом опыте, и социальных взаимодействий.

3. Если в термин «андроид» заложить *внешнюю похожесть* робота на человека, то – это не существенный признак. Дизайн роботов определяется спецификой их применения, хотя нельзя исключить, что человекоподобные роботы получат большое распространение.

4. В искусственном интеллекте роботов не должны формироваться собственные цели. Указание цели всегда должно сохраняться за человеком. *Это и есть условный предел (красная черта) сходства между роботами и человеком*. Программисты в искусственный интеллект роботов должны закладывать лишь алгоритмы, способствующие оптимальному выбору пути к достижению той цели, которую поставил и контролирует Человек – Создатель робота.

5. Логично предположить, что создание КАР – это опасный вариант антропогенного преобразования *человеческим разумом* неживой материи. В случае ошибки он может быть и последним в судьбе человечества. У Робота, самостоятельно формирующего цель, может появиться любая «мысль», *вплоть до уничтожения своего Создателя*.

Что касается пункта 5 этих выводов, то к уточнению его содержания мы ещё вернёмся в главе 5.

Глава 3

ЧТО ТВОРИТСЯ ВНУТРИ НАШЕГО МОЗГА

*Когда мне ребенком беспечно жилось, – время плелось.
Когда моей юности радость играла, – время шагало.
Когда возмужали и дух мой, и тело, – время летело.
Возможно, узнаю всё к старости лет, но времени нет.*

По мотивам стихотворения Генри Твеллса
(Henry Twells)



Прогресс в области исследований, направленных на борьбу с нейродегенеративными заболеваниями, требует системного анализа работы мозга. Показано, что эффективность очистки мозга от метаболических и информационных «шлаков» зависит от порогов возбуждения нейронных сетей и взаимодействия волн «загрязнения и очистки», распространяющихся внутри мозга. Этот процесс оказывает влияние на увеличение характерного времени нормального функционирования мозга, а, следовательно, и на увеличение продолжительности жизни человека.

1. ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМУ

1.1. Актуальность проблемы

Несмотря на иногда возникающие пандемии, продолжительность жизни людей в развитых странах растет. Результат этого роста привёл к тому, что нейродегенеративные заболевания (рассеянный склероз, болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона и др.) становятся одной из существенных причин инвалидности и смерти. В медицине их часто объединяют единым термином *сенильная деменция* (от лат. *senilis* – «старческий», *dementia* – «безумие»). Масштаб, возникающих при этом проблем, оценивается большими финансовыми затратами, а главное – драматическими социальными последствиями. Ежегодно содержание одного человека с подобными заболеваниями (особенно с болезнью Альцгеймера или рассеянным склерозом) оценивалось, например, в США в 2018 году более чем в 30 тыс. долларов. Если не удастся остановить рост распростра-

нения подобных болезней, то к 2050 году больше 135 миллионов человек будут их носителями. При этом прогнозируемые расходы на содержание больных во всем мире составят более 4 трлн. долларов США в год [1].

Однако проблема состоит не только в финансовых затратах. Трагедия в том, что существенное ухудшение работы мозга, переходящее в полную потерю памяти, часто происходит, когда у человека состояние большинства органов находится в нормальном состоянии. Нейродегенеративные заболевания это не болезнь тела. Это – болезнь головного мозга, т.е. потеря заболевшим человеком собственного «Я», потеря того, что определяет его личность. Социальная трагедия состоит в том, что родственники годами страдают, наблюдая, как близкий и любимый ими человек постепенно деградирует. У него возникает безразличие к окружающим его людям, он не узнает даже близких родственников, совершает алогичные поступки, постепенно теряет дар речи, медленно приближаясь к смерти. Другими словами, болезнь одного человека может оказывать существенное психическое влияние на многих других, окружающих его людей, подрывая тем самым их здоровье.

Предполагается, что разработка лекарственного препарата хотя бы для торможения возникновения болезни Альцгеймера займет в среднем 13 лет и будет стоить более 5,5 миллиардов долларов США (в ценах 2018 года). По состоянию на начало 2018 года перечислены 112 исследований различной направленности по выяснению механизмов возникновения этих болезней [1, 2]. Если бы удалось к 2025 году получить какое-либо средство, которое задержало бы рост заболевших хотя бы на 5 лет, то количество людей, страдающих подобными заболеваниями, уменьшилось бы к 2050 г. в 2 раза [1]. К сожалению, пока такой результат недостижим. Причина: недостаток знаний о механизмах возникновения нейродегенеративных заболеваний, в частности болезни Альцгеймера

• • •

Экспериментальные модели заболевания либо изучаются на животных, либо в клиниках на уже пострадавших от заболевания пациентах, когда заболевание у них проявило себя в полную силу.

С одной стороны, остается открытым вопрос: можно ли достоверно выяснить *механизм возникновения нейродегенеративных заболеваний (МВНДЗ)* человека путем моделирования заболевания на мышах и крысах?

С другой стороны, в клиниках, как правило, сталкиваются с необратимой патологией мозга у людей. При этом необходимо ретроспективно, основываясь на симптомах уже присутствующих у пациента, выяснить какие причины привели к заболеванию. Другими словами, требуется решить некорректную обратную задачу физики – по следствию определить причину. Понятно, что имея сумму симптомов заболевания однозначно определить истинный вклад той или иной причины в их появление очень сложно. Возникающая неопределенность связана с тем, что причины и следствия оказываются смешенными. Предполагая аддитивность причин заболевания, один и тот же результат можно получить из набора разных слагаемых.

По мере усложнения задач современной биомедицины надежды возлагаются на системные подходы. Следует учитывать отличия в подходах к решению задачи по выяснению МВНДЗ клиницистами, нейрофизиологами и биофизиками. Нейрофизиолог обычно отвечает на вопрос: что представляет собою изучаемая система? Клиницист акцентирует внимание на вопросе: как применить результаты нейрофизиологов на практике?

Биофизик ставит вопросы иначе: как меняется динамическая картина функционирования биосистем на всех иерархических уровнях её организации в пространстве и во времени? Когда и почему достигается предел выполнения её своих функций?

По мере усложнения задач современной биомедицины особое значение приобретает анализ, который основан на математическом описании связей между явлениями и их компьютерным имитационным моделированием. Это есть дополнительный продуктивный путь к достижению цели, одновременно позволяющей в случае успеха обнаружить весь спектр практических приложений, важных как для биомедицины, так и для других смежных областей приложения наукоёмких технологий, например, для биобезопасности и геронтологии.

1.2. Перечень вопросов, на которые даются ответы в главе

В этой главе мы объединим ответы на четыре вопроса, которые сегодня весьма актуальны в связи с поисками способов предотвращения или замедления распространения нейродегенеративных заболеваний. Эти вопросы сведены в таблицу 1. Такое объединение позволит нам наметить путь дальнейших исследований, направленных на борьбу с нейродегенеративными заболеваниями.

Табл. 1. Основные четыре вопроса, ответы на которые могли бы повлиять на понимание механизмов возникновения нейродегенеративных заболеваний

Перечень вопросов	Авторы источников информации	Хронология публикаций
1. Каков механизм очистки мозга от отходов собственной жизнедеятельности?	М. Недергаард (M. Nedergaard) с сотрудниками	1994 г.[3], 2013 г.[4]
2. Почему необходимо сменить парадигму в подходах к изучению нарушений работы головного мозга человека?	Результат обсуждения «круглого стола»: Х. Кастилло (X Castillo), С. Кастро-Обрегон (S Castro-Obregon) и др.	2019 г.[5]
3. Можно ли замедлить старение мозга и существенно продлить активную жизнь человека?	Неправительственный фонд SENS Research Foundation (стратегии достижения медленного старения инженерными методами)	2009 г.[6]

Окончание таблицы 1

Перечень вопросов	Авторы источников информации	Хронология публикаций
4. Почему при математическом описании мозга для создания моделей его работы целесообразно использовать язык механики волн?	Г.Р. Иваницкий, В.И. Кринский, А.Г. Брагин, А. Б. Медвинский, М.А. Цыганов, Е.Р. Земсков и др.	80-ые гг. [7], 1994 г. [8], 2014 г.[9]

1.3. От интуиции к математическим моделям

Мозг человека – это, пожалуй, самый сложный объект, работу которого пытаются понять современная наука. Вся вторая половина XX века его изучения прошла под лозунгом – *мозг как вычислительная машина*, но вскоре наступило разочарование. Нейродегенеративные заболевания мозга совсем не похожи на поломку компьютера. Человек не только в состоянии бодрствования мыслит всем телом, включая мозг, но сон человека отличается от «сна» обесточенного компьютера.

Сначала отметим два общих положения, которые легли в основу этой главы.

Во-первых, в 2006 году в Великобритании для популяризации британской научно-игровой телепрограммы QI ведущим этой программы С. Фраем были опубликованы серия книг под названием «Книги заблуждений». Первая из этих книг была переведена на русский язык [10]. В этих книгах содержится в виде вопросов перечень ложных гипотез, которые были порождены недостатком знаний, но до сих пор циркулируют в печати и пропагандируются в СМИ, поэтому часть людей считает их истинными. Приведём цитату из переведенной на русский язык книги [10 стр.10]: *«Биологи говорят, что человечеством движут три основные силы: еда, секс (продолжение рода) и самосохранение, т.е. никакой разницы с животным миром. Мы же говорим, что есть четвертая движущая сила, которая делает из нас человека, – любознательность»*. Человек с детства задает множество вопросов, пытаясь понять, как устроен окружающий его мир и он сам.

Однако *любознательность* (или *любопытство*) – это только начало четвертой движущей силы, отличающей нас от животных. *Любознательность* существует и у многих млекопитающих (например, крыс, кошек, собак), особенно у приматов. Но только у человека *любознательность* выполнила функцию катализатора и скачком породила цепной растущий во времени процесс, передающийся от поколения к поколению:

любознательность → (знание → память → интуиция → критика → эксперимент) → (знание → память → интуиция → критика → эксперимент) и т.д.

Во-вторых, по-видимому, этот ускоряющийся процесс, возникнув, будет существовать, пока существует человечество. В начале XXI века с использованием Интернета в мире оформился проект EDGE (англ.: *край, лезвие или передний фронт*) [11]. Идея проекта была простой и состояла из четырех пунктов:

- наука развивается, выдвигая догадки, предположения и гипотезы, иногда под влиянием аналогий с красотой многих образов внешнего мира. А затем

гипотезы пытаются подтвердить путем экспериментов. В этом и заключается красота самой науки – в ней есть стадия воображения. Наука – это главный движущий фактор человеческой цивилизации;

- чтобы достичь переднего края мировых знаний, необходимо найти самые современные и оригинальные умы, собрать их вместе на полях Интернета, и пусть они зададут друг другу те вопросы, которые обычно задают самим себе. Во что они верят, но пока не могут доказать.

- великие умы на основе интуиции иногда угадывают истину задолго до того, как появятся факты или аргументы в её пользу. Дидро назвал эту способность «духом прорицания»;

- развитие средств общения существенно ускоряет процесс развития человеческого общества.

Указанные выше четыре идеи проекта не новые, они родились задолго до появления Интернета, новым было лишь развитие средств, существенно облегчающих и ускоряющих общение и обмен соображениями о возникающих проблемах. Так с помощью Интернета и электронной почты возник «университет без границ». Здесь явно просматривается аналогия с работой мозга отдельного человека. Наш мозг тоже не имеет границ благодаря рецепторным системам восприятия и способам передачи информации. Составляющие мозг клетки (нейроны и глия) тоже общаются друг с другом на биохимическом языке.

Далее мы кратко изложим современные представления о взаимодействии трех циклов, имеющих место в организме млекопитающего: головной мозг ↔ тело, головной мозг ↔ внешняя среда и тело ↔ внешняя среда. Эти три мини цикла объединены и образуют макроцикл. Анализ взаимодействия этих циклов отвечает на вопрос: как мыслит организм? Но только у человека над этими циклами существует развитая надстройка в виде развитой новой коры, связи в которой позволяют нам ставить перед собою цель и формулировать вопросы, направленные на её достижение. Например, какова цель, которую мы хотим достичь? Как её достичь и каков будет прогноз после её достижения?

Теперь кратко о сне мозга. В нейрофизиологии давно появился самостоятельный раздел исследований, получивший название *сомнология* (от лат. *somnus* – сон и греч. *λόγος* – учение). В его рамках изучается сон и его влияние на здоровье человека. Эта область исследований стала особенно активно развиваться в последние 30–40 лет в связи с запросами медицины. Открыты несколько десятков различных вариантов нарушения сна – при смене часовых поясов, при стрессе, депрессии, нарколепсия, при гиперсомнии, нарушении дыхания и т.п. [12]. Здесь главные вопросы: зачем нужен сон? Можно ли им управлять? Если да, то как?

Следует заметить, что организм человека – это единая система, а рубрикация наук – всегда субъективна. Мозг, как основная система информационной регуляции организма, подвержен утомляемости. Однако утомляемость мозга отличается от мышечной усталости тела. Ещё до рождения и в раннем детстве в нашем мозгу начинает формироваться *виртуальная модель нашего тела*. Одновременно с этой моделью в течение последующих лет жизни в мозгу формируется *виртуальная модель внешней среды* в виде набора паттернов,

т.е. программ поведения организма, соответствующих тем или иным условиям внешней среды. Мозг оперирует с этими двумя виртуальными моделями, решая задачи, которые он *сам ставит* перед собой или *перед ним их ставят* внешняя среда и окружающий его социальный мир.

В первой половине XX века многие предполагали, что человек использует лишь 10% возможностей своего мозга. Велись дискуссии на тему, чего добился бы каждый из нас, сумей он использовать оставшиеся 90%. Предлагалось даже использовать сон для изучения иностранных языков. Идея обучения во сне, или гипнопедия, была впервые выдвинута в начале XX века. Американский изобретатель Алоиз Бенджамин Сейлиджер (Alois Benjamin Saliger, 1880–1969) в 1927 году предложил использовать устройство, которое назвал «психофон» для трансляции аудиоинформации испытуемому во время сна. Позднее, с появлением магнитофонов, их стали использовать для этой же цели. Однако к концу XX века стало ясно, что во всех случаях, когда испытуемые запоминали полученную во сне информацию, они находились на грани сна и бодрствования, а, следовательно, такое обучение было крайне неэффективным, поскольку сон был прерывистый, и человек просыпался усталым. Кроме того, в конце XX века было показано, что мозг в состоянии бодрствования использует не 10% нейронов, а все 100%, но не одновременно, а последовательно. Одновременно в норме могут оставаться возбужденными не более 10% нейронов. Это и привело к заблуждению, что человек использует лишь 10% от общего количества нейронов. Возбужденные нейроны образуют передний фронт движущихся и взаимодействующих автоволн возбуждения. Одновременное возбуждение большого числа нейронов – это патология (например, эпилептический припадок).

Далее дадим обзор достигнутых успехов в понимании нейродегенеративных заболеваний мозга, полученных во второй половине XX века, в попытках ответить на вопросы, указанные в табл.1. Акцентируем внимание читателя на проблемах, и успехах, достигнутых за последние 20 лет, а затем изложим идею волновой модели МВНДЗ.

Поскольку я надеюсь, что эту книгу прочтут не только биофизики, владеющие арсеналом математического анализа, но и нейрофизиологи, занимающиеся выяснением причин нейродегенеративных заболеваний, а также аспиранты и студенты, то попытаюсь сделать изложение максимально доступным языком.

2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ ВОЛН И СОН

2.1. За границей бодрствования

Зачем нужен сон? В мозгу с возрастом начинает возникать *информационная утомляемость* (перегрузка памяти), в силу непрерывного поступления по рецепторным каналам как существенной, так и несущественной информации. Термины «*существенная и несущественная информация*» – относительно, поскольку зависят от тех задач, которые решает конкретный человек в течение своей жизни. Если полученная и запомненная информация сокращает время

достижения поставленных человеком целей, то это *существенная информация*, В противном случае она – несущественная [13].

Часто психологами высказывались противопоставления, что при бодрствовании тело оперирует с сознанием, а во сне при сновидениях решающую роль играет подсознание. Однако такое противопоставление неверное. Бодрствование и сон это два связанных и неразделимых процесса (сознание + подсознание, т.е. новая кора + подкорковые структуры), определяющие существование организма в изменяющейся внешней среде.

Физически уставший человек засыпает в течение 5-10 минут, а перевозбужденный накопившимися за день задачами человек долго «копается» в своей памяти, разыскивая фрагменты существенной информации и формируя из них комбинации паттернов, позволяющие решить возникшие в состоянии бодрствования проблемы. При этом он может промучиться всю ночь и не заснуть. Бессонница – это крик полсознания.

*После бессонной ночи слабеют руки
И глубоко равнодушен и враг, и друг.
Целая радуга – в каждом случайном звуке,
И на морозе Флоренцией пахнет вдруг.*

Марина Цветаева «Бессонница»

Бессонницу может победить только терпение или таблетка снотворного. Два полушария мозга порою вступают в совсем ненужный диалог, который может длиться часами, изматывая и лишая сил. Более того, имея определенную цель, человек может запретить себе спать.

В начале XX века К. Экономо (*Economo, Constantin Alexander*) была высказана гипотеза [14], что расстройство сна связано с передней частью подкорковой структуры гипоталамуса. Доказательством служили клинические наблюдения, что разрушение этой части гипоталамуса приводит к бессоннице. Задняя часть гипоталамуса, напротив, была связана с длительным сном, лишь иногда прерываемым для приема пищи и испражнения.

Однако дальнейшие исследования показали, что не существует единого центра сна, а существует система взаимосвязанных нервных центров, располагающихся на разных уровнях структурной организации живых систем. В подкорке она состоит из набора самостоятельных образований, связанных между собой и показанных на рис.1. Они, взаимодействуя, осуществляют функцию поддержания одного из состояний – либо сна, либо бодрствования, а гипоталамус (его передняя и задняя части) один из элементов этой системы.

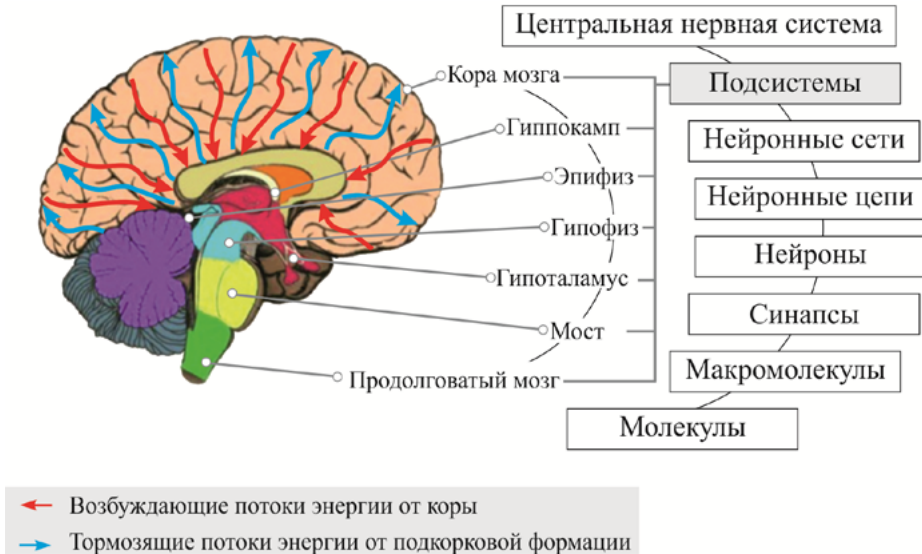


Рис. 1. Подсистемы головного мозга человека: направление потоков возбуждения (красные линии) и торможения (синие линии) в объеме головного мозга

На каком из уровней следует изучать механизмы работы мозга: на уровне молекул, органелл, клеток, тканей, органов или организма в целом, или на социальном уровне взаимодействия людей друг с другом? Очевидно, что при системном подходе к решению задачи нужно было бы моделировать механизмы работы мозга с одновременным учётом всех уровней. Однако, со времен фон Бергаланфи (нем. *Ludwig von Bertalanffy*), который провозгласил системный подход при изучении живых организмов [15], реализовать такой вариант решения задачи путем объединения всех уровней в одно целое пока не удаётся. Причина простая: работа каждого уровня описывается на своем математическом языке. Общего математического языка для совмещения описания всей совокупности уровней пока не найдено. Возможно, что такой теорией станет модифицированная теория струн [16]. Сегодня, также как и в XX веке, обычно ограничиваются совместным анализом 2-х или 3-х уровней на основе механики волн [17]. Сам же головной мозг в поисках устойчивости организма успешно решает задачу объединения, используя все уровни систем организма. Вывод: *тело и мозг, за счет обратных связей, управляют устойчивостью организма в целом, порою перестраивая работу всех иерархических уровней.*

Мозг, тело и внешняя среда ограниченное время могут находиться в существенном неравновесии. Такое состояние обычно называют «стрессом». При этом пороги возбуждения и торможения подсистем изменяются. Когда цель достигнута, наступает период релаксации, направленный на восстановление устойчивости [18]. Сон выполняет функцию восстановления устойчивости организма путем выведения из организма, включая мозг, различных отходов метаболизма, но не только.

В XX веке было установлено, что уровень бодрствования поддерживается постоянным потоком импульсов, идущих из ретикулярной формации (подкорковых структур, в частности гиппокампа) через неспецифические ядра таламуса к нейронам коры головного мозга. Этот поток обеспечивает деполяризацию мембран нейронов в разных участках коры. Ретикулярная формация получает сигналы от рецепторных зон коры и посылает активирующие или тормозящие импульсы обратно в кору больших полушарий, образуя цикл взаимодействия [19].

Исследования на животных выявили несколько групп нейронов, которые участвуют в контроле этапов сна, что позволило сравнивать механизм сна у разных видов животных. На клеточном уровне «спусковой механизм» сна образован перемешанными группами нейронов бодрствования (возбуждения) и нейронов сна (торможения). Между этими двумя группами нейронов существуют конкурентные отношения. Они взаимодействуют в колебательном режиме, то «побеждает» одна группа, то другая. Нейроны, которые деполяризуются в начале сна (тормозные нейроны), вызывают подавление активности нейронов бодрствования. Это подавление в свою очередь стимулируется потоками импульсов «усталости» тела, идущими через подкорковые структуры. При этом пороги возбуждения коры повышаются за счет затруднения входа ионов натрия внутрь аксонов и выхода ионов калия наружу через мембрану аксонов. Обнаруженные пути взаимодействия позволили предположить, что нейроны сна являются древними компонентами эволюционного отбора, которые возникли на ранних этапах развития нервной системы у животных [20].

Алгоритм регуляции бодрствования и сна человека связан с *внутренними биологическими часами* организма, т.е. с 24-часовым (циркадным) ритмом. Если спуститься на молекулярный уровень, то можно заметить, что во время сна эпифиз производит один из существенных гормонов – мелатонин, но сон обязан не только этому гормону. Анатомические исследования показали, что от эпифиза идут связи к зрительным буграм. Таким образом, зрение и его представительство в коре мозга также играет существенную роль в механизмах сна, поэтому человек не может спать с открытыми глазами. Одна сторона эпифиза находится в районе среднего мозга, а другая прилегает к третьему желудочку мозга, заполненному спинномозговой жидкостью (СМЖ). В переходе *бодрствование* → *сон* на молекулярном уровне прослеживается увеличение концентрации многих гормонов и нейротрансмиттеров: аденозина, кортизола, гормона роста, пролактина, тиреотропина, тестостерона, ренина, инсулина, лептина и грелина, а также предшественника нейромедиаторов – тирозина и др. [21].

Другими словами: *во сне ликвидируется дефицит всего того, что было израсходовано в состоянии бодрствования.*

2.2. Изменение ритмов волн – это язык общения органов

Каждый орган нашего тела (мозг, сердце, легкие, желудок и т.д.) имеет свой ритм работы. Сегодня математическую задачу синхронизации ритмов взаимодействия в приложении к нейродинамике можно считать почти решенной. Ещё

в декабре 2007 года состоялось Общее собрание Российской Академии Наук, посвященное исследованиям работы мозга. 31 ноября того же года в процессе подготовки к этому собранию была проведена Научная сессия Отделения физических наук РАН на тему «Методы колебательно-волновой физики и её приложения к задаче нейронауки» [22]. В 2013 году в журнале «Успехи физических наук» был опубликован обзор на эту тему [23]. В 2018 году в нашем институте состоялась защита докторской диссертации, существенную часть которой составили математические модели синхронизации возбуждений в осциллирующих нейронных сетях [24]. Дадим лишь их краткий анализ, предварительно пояснив термины: *фаза и фазовая синхронизация*.

Термин *фаза* происходит от др.-греч. φάσις, φάσεως «высказывание», «утверждение», «появление», т.е. это интервал или ступень в развитии какого-либо явления. В широком смысле под фазами понимают определенные отличающиеся состояния при изменении явления или вещества. Примеры: периодические фазы времён года – весна, лето, осень и зима; фазы Луны – периодическое изменение вида освещённой Солнцем части Луны (новолуние, первая четверть, полнолуние и третья четверть, вновь новолуние); фазы экономического цикла – подъём, пик, спад (рецессия), дно (депрессия). В сомнологии различают две чередующиеся фазы: фаза медленного сна и фаза быстрого сна с повышенной активностью мозга, быстрыми движениями глазных яблок под закрытыми веками.

Короче, фаза – это условное разбиение процесса на отличающиеся друг от друга наблюдаемые состояния.

В теории волн и колебаний под фазой понимают аргумент θ гармонической функции вида, например, $\sin(\omega t + \beta x + \theta_0)$. Здесь θ_0 это часть полной фазы, определяющая начальное (то есть в момент времени $t = 0$ в начале системы координат при $x, y, z = 0$) состояние колебательного или волнового процесса. Необходимо отметить, что зависимость дальнейшего изменения полной фазы от времени и координат точки в пространстве не обязательно должна быть линейной, а сама периодическая функция не обязательно должна быть строго гармонической функцией.

Если система состоит из двух или более связанных осцилляторов¹, частоты которых близки друг к другу (или их отношение близко к отношению двух небольших целых чисел), то в зависимости от силы связи может возникнуть **фазовая синхронизация**, т.е. процесс установления и поддержания режима *совместных* колебаний. Синхронизация колебаний возможна только в случае нелинейных осцилляторов. Например, в технике струна – это осциллятор, который может быть существенно нелинейным. Другие примеры: колебательный контур с нелинейной индуктивностью, мультивибратор, поперечные колебательные моды кристаллов. Третий пример: колебательные системы с искусственно внесённой нелинейностью, с помощью включения в цепь диода или

¹Осциллятор (лат. oscillo – качаюсь) – система, совершающая колебания, то есть показатели которой периодически повторяются во времени.

транзистора; системы с фазовой автоподстройкой частоты. В радиотехнике такие режимы исследованы и известны ещё с первой половины XX века и широко используются в различных электронных приборах..

Существует два основных типа синхронизации колебаний: взаимный, при котором установившаяся частота колебаний системы отличается от собственных частот колебаний каждого из осцилляторов, и принудительный (или *захватывание частоты*), при котором частота одного из осцилляторов (называемого синхронизирующим) остаётся неизменной, а частота других подстраивается под него. Для первого типа синхронизации характерно тесное взаимовлияние систем друг на друга, для второго же – одностороннее влияние синхронизирующего осциллятора на остальные осцилляторы и отсутствие обратной связи

Теперь вернемся к математической модели синхронизации возбуждений в осциллирующих нейронных сетях [24]. Фазовая синхронизация осцилляторов, основывается на работе Курамото [25, 26]. Он вывел уравнения для определения изменения фаз автогенераторов, образующих циклы взаимодействия, при их совместной работе:

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \sum_{j=1}^n K_{i,j} f(\theta_j - \theta_i) \quad (1)$$

где θ_i – фаза i -того осциллятора, ω_i – собственная частота i -того осциллятора, f – нечетная периодическая функция взаимодействия между осцилляторами, K_{ij} – параметр связи, задающий силу взаимодействия j -того осциллятора с i -тым осциллятором, $i = 1, 2, \dots, n$. При отсутствии связей каждый осциллятор работает на своей частоте ω_i .

Если функцию f_j задать в виде колебаний фаз (т.е. тригонометрических функций), то выражение модели (1) примет вид модели Курамото–Сакагучи (Kuramoto–Sakaguchi) [27]:

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \sum_{j=1}^n K_{ij} \sin(\theta_j - \theta_i - \alpha_{ij}) \quad (2)$$

В большинстве работ рассматривается ситуация, когда имеют место связи типа «все на всех». Однако в реальной системе мозга можно выделить центральные узлы сети, т.е. *хабы*. На клеточном уровне в нейронных сетях на *хабы* замыкаются многие нейроны, образуя кластеры. В такой системе могут возникнуть два типа синхронизации: 1) когерентная, т.е. полная синхронизация, когда все осцилляторы работают с одинаковой частотой и фазой, и 2) частичная синхронизация, когда только часть осцилляторов работает с частотой *хаба*, а остальные работают на своих частотах. В отличие от модели Курамото такая система обладает способностью перестраивать паттерны синхронизации в зависимости от собственной частоты основных *хабов* и описывается системой двух уравнений:

$$\frac{d\theta_0}{dt} = \omega_0 + \frac{A}{n} \sum_{j=1}^n f(\theta_j - \theta_0 + \gamma) \quad (3)$$

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + B \times g(\theta_j - \theta_i + \delta), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

где A и B – параметры связи взаимодействия

Уравнение (3) описывает динамику основного хаба с осцилляторами сателлитами. Периферические осцилляторы описываются выражением (4). При этом можно принять, что $A > 0$, $B > 0$, $\delta = 0$, а параметр g может быть как положительным (опережение по фазе), так и отрицательным (отставание по фазе). Вычитая выражение (4) из выражения (3), получим выражение для разности фаз:

$$\frac{d\phi_i}{dt} = \mu_i - B \sin(\phi_i + \delta) - \frac{A}{n} \sum_{j=1}^n \sin(\phi_i - \gamma), \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \text{ где } \mu_i = \omega_0 - \omega_i, \phi_i = \theta_0 - \theta_i$$

Поскольку количество периферических осциллирующих кластеров в нейронном ансамбле мозга n велико, то путем предельного перехода можно для определенной частоты получить уравнения для описания полной или частичной синхронизации как функцию от (ω_0, A) и (ω_0, B) . Полученные решения этих уравнений будут равномерно распределены в интервале $(-1, 1)$ [24, 29]. Подобный результат не является неожиданным. Необходимо только выяснить: насколько устойчивы получаемые режимы синхронизации осцилляторов с центральным элементом. Для этого необходимо исследовать стационарные решения уравнения (5). В простейшем варианте, когда система исходно состоит из одинаковых по частоте фазовых осцилляторов, т.е. $\omega_0 = \omega_i = \omega$, это сделать несложно. Необходимо ввести более общие функции взаимодействия фаз, которые имеют производные. При этом обычно задают следующие граничные условия [24]:

$$\begin{aligned} \dot{f}(0) &= a_1, \quad \dot{f}(\pi) = a_2, \\ \dot{g}(0) &= b_1, \quad \dot{g}(\pi) = b_2, \\ A &= \frac{1}{n}, \quad B = 1 \end{aligned} \quad (6)$$

Точки фаз $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ с координатами, принадлежащими множеству $\varphi_i \in \langle 0, \pi \rangle$ при $i = 1, 2, \dots, n$, будут устойчивыми точками системы с границами, описываемыми выражением (6). При этом наборы фаз $(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ у функции Φ_k распадается на два множества: у которых k фаз равны нулю, а у $(n - k)$ фаз равны π . Такие два состояния будут устойчивыми. Состояния фаз между нулем и π – неустойчивы и являются переходным процессом. При введении в систему, описываемую выражениями (3), (4) и (6), локальных связей можно показать, что если n велико, то даже небольшое десинхронизирующее воздействие от центрального элемента к периферическим осцилляторам разрушают начальную устойчивость фаз $\Phi_n = (0, 0, \dots, 0)$. Это означает, что даже слабое



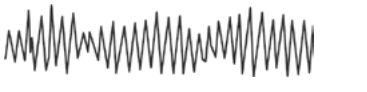
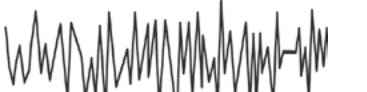
возбуждение может вызывать переходы «синхронизация↔десинхронизация». При наличии локальных связей между периферийными осцилляторами фазам Φ_n удается сохранять устойчивость [29].

Вывод: *такой подход к описанию работы мозга полезен, но сильно упрощён, т.к. при его использовании предполагается, что в основе обработки информации мозгом лежит лишь частотно-фазовая модуляция осцилляторов. В реальности происходит ещё и изменение интенсивности колебаний, т.е. имеет место смешанная амплитудно-частотно-фазовая модуляция с параметрическим управлением со стороны хабов.*

2.3. О чем говорят нам ритмы мозга

Что касается экспериментального определения макроциклов в целом, то еще в первой половине XX века была создана классификация ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) человека и найдена корреляция ритмов ЭЭГ с разными стадиями бодрствования и сна [30] (табл. 2).

Табл. 2. Частота и форма ритмов электроэнцефалограммы человека (ЭЭГ) и их отнесение к состояниям бодрствование→сон

Наименование биоритмов мозговых структур	Форма ритмов	Состояния мозга, отражаемые ритмом
Δ (дельта) – волны 0,5 ÷ 3,5 Гц 40 ÷ 300 мкВ		При расслабленном состоянии бодрствования, особенно с закрытыми глазами (до 15% таких ритмов)
Θ (тета) – волны 4 ÷ 7 Гц 40 ÷ 300 мкВ		Начальная стадия фазы сна
α (альфа) – волны 8 ÷ 13 Гц 50 ÷ 100 мкВ		Бодрствование в состоянии покоя
β (бета) – волны 14 ÷ 40 Гц 5 ÷ 30 мкВ		Бодрствование в состоянии тревожности при активной работе мозга, а также во сне на границе перехода от быстрого сна к медленному сну: $\Delta \rightarrow \beta$, когда возникают сновидения.

Примечание: β (бета) волна по частоте больше Δ (дельта) волны в 13 ÷ 28 раз, а по амплитуде – меньше в 8, 13 раз, что связано с ускоренным перебором паттернов памяти во сне с небольшой затратой энергии при поиске решений задач, которые возникают в состоянии бодрствования.

Анализ ЭЭГ демонстрируют: синхронизацию кластеров (объединение ритмов их работы) и десинхронизацию их работы, когда каждый кластер работает со своей частотой и фазой. Обычный сон характеризуется пониженной мышечной активностью, со сравнительно постоянной частотой дыхания и ритма сокращений сердца. При этом сохраняется избирательная реакция мозга на изменения внешней среды, прежде всего через слуховые и тактильные рецепторные каналы. Когда мы бодрствуем, то происходит активное взаимодействие между одновременно активизирующимися нейронными группами рецепторов. При этом связи между ними усиливаются.

Как уже отмечалось выше, спящий мозг перебирает и комбинирует паттерны, которые возникают в результате усиления связей. Эти паттерны есть отображение существенных и несущественных образов внешней среды, которые воспринял и запомнил мозг ранее в состоянии бодрствования. ЭЭГ отражает ритм этого перебора. При этом во сне могут возникать сновидения.

Давно было замечено патриархами медицины: Гиппократом, Авиценном и другими, – что в детстве день кажется длинным, а в старости год кажется коротким. Под часами северного придела старейшего в Британии Честерского собора (Chester Cathedral) ещё в XIX веке было запечатлено стихотворение Генри Твеллса. Оно взято мною в вольном переводе как эпиграф к этой главе.

В некоторых случаях модельное представление о работе мозга удобнее описывать не в терминах частот, а в терминах их обратных величин, т.е. характерных времён. В состоянии активности мозга характерная шкала внутреннего субъективного времени уменьшается по сравнению с субъективным восприятием времени в отсутствии событий. Следовательно, внешнее время t бежит быстро. В состоянии сна характерная шкала внутреннего времени меньше, чем в состоянии бодрствования. Во сне мы практически не осознаем бег времени.

В детстве количество паттернов велико, поскольку нейронные домены пока небольшие и кластеры из них лишь начинают формироваться, поэтому плотность связей низкая. Следовательно, в этот период времени жизни скорость обработки и усвоения информации $v(t)$ быстро растёт. Существенную роль играет и запоминание новой информации. Не случайно у многих народов существует афоризм: *учение в детстве подобно гравировке на камне*.

У ребенка мысли «скачут», и он часто отвлекается от поставленной перед ним задачи, но усвоение новой информации происходит с большой скоростью. Функция скорости обработки информации $v(t)$ (как функция от возраста) имеет колоколообразный асимметричный вид, подобный «пиле»: сначала растущей, а затем спадающей, где на оси времени жизни есть точка изгиба, которая соответствует точке τ . При этом скорость обработки $v(t)$ принимает максимальное значение. Путем тренировки мышления положением этой точки на оси времени жизни можно управлять, сдвигая её.

Скорость обработки информации мозгом есть функция четырех переменных: текущего внешнего времени t , ускорения или замедления $\pm a$ обработки информации, характерного времени τ и времени продолжительности жизни T . Продолжительность жизни T ограничена ростом t . При сглаженной траектории

вектор ускорения a_i в интервале времени $(0, (1/2)T)$ имеет знак «+» (плюс), в интервале $((1/2)T, T)$ знак «-» (минус). Следовательно, можно записать выражение для скорости обработки информации мозгом $v(t)$ в следующем виде:

$$v(\tau_i) = +a_i(T - \tau_i) \text{ при } 0 \leq (\tau_i = t) \leq \frac{1}{2}T, \quad (7)$$

$$v(\tau_i) = v_{\max} - a_2(T - \tau_i) \text{ при } \frac{1}{2}T \leq (\tau_i = t) \leq T$$

где $v_{\max}(\tau_i) = \frac{1}{2}aT$ при $\tau_i = \frac{1}{2}T$

Величины ускорения a и периода квантования τ_i зависят от частоты и интенсивности энергетических биоритмов организма. С возрастом частота ритмов всех органов сначала растет, а затем уменьшается. Например, частота сердечных сокращений (снабжение мозга энергией) в возрасте до 1 месяца находится в диапазоне $110 \div 170$ сокращений в минуту, затем замедляется и в возрасте от 12 до 15 лет находится в диапазоне $55 \div 95$, что естественно влияет и на ускорение обработки информации организмом, включая мозг. В начале и в конце жизненного пути имеем:

$$v(0) = at = 0, \text{ так как } \tau_i = t = 0,$$

$$v(T) = a(T - \tau_i) = 0, \text{ так как } \tau_i = T$$

С первым криком ребенка начинается процесс освоения внешней среды и адаптация к внешнему времени t своего внутреннего времени τ . Скорость обработки информации быстро растёт. Размерность $v(t)$ единицы информации (биты, байты) в единицу времени. При взрослении до $t = \tau_i$ значение $v(t) = v_{\max} = a_0 \left(1 + \frac{\Delta a}{a_0}\right) (T - \tau_i)$. При $t = T$ вновь $v(t) = 0$. Продолжительность жизни T и модуль вектора ускорения a , прежде всего, определяется генетикой, а отсрочка нейродегенеративных расстройств мозга зависит не только от генетики, но и от тренировки мозга, т.е. положения точки перевала функции $v(t)$ на оси времени. Точка перевала τ_i , соответствующая максимальному значению скорости обработки информации, принадлежит множеству $\langle 0, T \rangle$ и может в течение жизни смещаться в этом интервале. На оси времени τ_i соответствует выражениям:

$$\tau_i = \frac{i}{i+1}T.$$

Следовательно, мы получим ряд значений для точки перевала τ_i как функцию от продолжительности жизни T , где $i = 1, 2, 3, \dots$ имеем:

$$\tau_1 = \frac{1}{2}T, \quad \tau_2 = \frac{2}{3}T, \quad \tau_3 = \frac{3}{4}T \dots$$

и т.д. Однако энергетические индивидуальные возможности человека всегда ограничены. Тем не менее желательно, чтобы точка перевала τ_i располагалась

как можно ближе на оси времени к точке $t = T$ продолжительности жизни.. Вывод банальный: *необходимо стараться начинать активное занятие умственной деятельностью в раннем возрасте и не снижать взятый темп всю жизнь. При прочих равных условиях, это позволит избежать или отсрочить возникновение нейродегенеративных расстройств мозга в старости.*

2.4. Фазы сна

Не все подкорковые структуры человека «спят» в течение ночи, например, гиппокамп спит лишь малый период времени общего сна, а остальное время дремлет, легко пробуждаясь, поскольку у него функция «сторожа». Он реагирует даже во сне на новую информацию.

За счет понижения во сне активности мышечных структур тела происходит уменьшение затрат энергии на подвижность организма, что приводит к перераспределению энергии в пользу мозга [31, 32].

Было замечено по изменению ритмов ЭЭГ, что сон – это чередование двух фаз медленного и быстрого сна.

В чем их отличие? У здорового человека сон начинается с первой стадии медленного сна (Non-REM-sleep), т.е. сна без сновидений. Последовательность смены стадий и их длительность в физиологии обычно отображают графически в виде *гипнограммы*² (рис.2).

Первый цикл медленного и быстрого сна имеет длительность порядка $1 \div 3$ часов. Затем циклы, состоящие из двух стадий, повторяются, при этом уменьшается доля медленного сна, и постепенно нарастает доля быстрого сна (REM-sleep), т.е. сна со сновидениями. В среднем, при полноценном здоровом сне отмечают не менее двух, пяти повторов двухфазных циклов.

Сколько часов в сутки нужно спать? Для взрослого человека суммарно время сна составляет порядка $7 \div 8$ часов. Следовательно, в среднем более 1/3 времени, отпущенного каждому из нас на жизнь, мы спим; а 2/3 времени жизни бодрствуем. В 2004 году профессор Калифорнийского университета Даниэль Крипке опубликовал работу о десятилетнем наблюдении за 1,1 млн. добровольцев на предмет длительности их сна и о влиянии длительности сна на смертность [33]. За 10 лет многие из них умерли. Среди людей (как мужчин, так и женщин) осталось в живых больше тех, кто спал менее 8, но более 4 часов в сутки. На основе этой статистики был сделан вывод: длительный сон вреден. К операциям со статистикой мы еще вернемся в этой главе.

²Гипнограмма – это диаграмма, содержащая информацию о структуре сна, качестве и количестве его стадий и фаз.

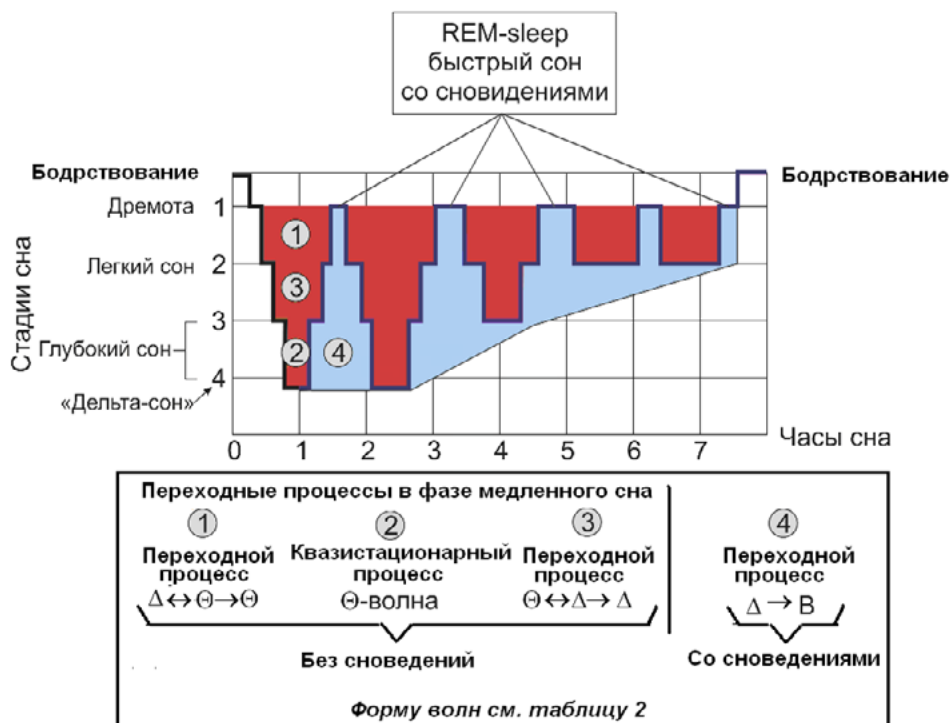


Рис. 2. Пример усредненной гипнограммы повторяющихся временных циклов фаз сна человека: медленный (красный) сон и быстрый (голубой) сон. Быстрый сон – это сон со сновидениями. ЭЭГ при быстром сне напоминает ЭЭГ бодрствования человека (бета волны ЭЭГ), поскольку мозг активно работает [31]

Закключение Даниэля Крипке о том, что надо спать меньше 8 часов – это неправильный вывод. Структура сна и его суммарная продолжительность весьма индивидуальны. Они меняются как от детского возраста к старости, так и по популяции людей. Кроме того, продолжительность сна зависит от диеты питания, параметров внешних условий (температуры, давления, влажности, процентного содержания кислорода во внешней среде, длительности тёмного периода суток), а также от физической и интеллектуальной нагрузки в состоянии бодрствования. Продолжительность сна зависит также от профессии человека. Люди творческого труда (политики, писатели, ученые и др.) или люди, связанные с профессиями со сменами часовых поясов, т.е. с сильным влиянием внешней среды на биологические ритмы (пилоты и стюардессы с дальними перелетами, рабочие и служащие с посменной работой), засыпают хуже и чаще страдают бессонницей. Многие творческие личности (например, Леонардо да Винчи и А. Эйнштейн) предпочитали «рубленный сон», т.е. сон, разделенный в течение суток на небольшие интервалы через каждые 4 часа, другие известные творческие люди привыкли работать по ночам и спать до полудня, и, тем не менее, многие из них существенно превзошли срок средней продолжительности жизни своего поколения.

Во время быстрого сна (REM-sleep) в мозгу человека нейроны продолжают работать, под закрытыми веками регистрируются движения глазных яблок. В фазе быстрого сна нейроны взаимодействуют почти также активно, как в состоянии бодрствования, хотя многие рецепторы, регистрирующие сигналы внешней среды заторможены, а зрительные рецепторы под закрытыми веками отключены от внешней среды, мышечные системы тела практически обездвижены.

2.5. Зачем нужен быстрый сон?

Как уже отмечалось, у мозга преобладает информационная утомляемость в силу необходимости постоянного решения разнообразных задач, которые возникают перед человеком в состоянии его бодрствования. Давно предполагалось, что когда мы бодрствуем, между синхронно активирующимися нейронными кластерами усиливаются связи, а во сне некоторые связи ослабляются, на их фоне растет относительный вес других возникших ещё при бодрствовании связей [34]. *Основной способ изменения веса связей – это изменение порогов возбуждения в нейронных сетях.*

Эксперименты на животных также подтверждают это утверждение. Например, когда крыса учится ориентироваться в лабиринте, конкретные нейроны в гиппокампе мозга активируются в определенной последовательности. Статистически доказано, что после сна гиппокамп крысы воспроизводит эту последовательность лучше, чем, если бы это происходило случайно [35]. Известно крылатое выражение: *утро – вечера мудренее*. Итак, вывод: *мозг активно работает в фазе быстрого сна.*

Но функция сна не исчерпывается этим процессом. Колебания ЭЭГ кортикальной сети (дельта-волны) связаны с увеличением притока лимфатической (ЛЖ) и спинномозговой жидкости (СМЖ) в паренхиму головного мозга и выведения отходов (далее мы будем называть отходы «шлаками») из мозга [36–38].

Дельта – волны у естественно спящих животных есть показатель поиска равновесия между нейрохимической активностью снаружи и внутри нейронов [39], что способствует скейлингу, т.е. масштабной инвариантности [40]. Напомним, что в математике при создании моделей масштабная инвариантность относится к инвариантности отдельных функций по отношению к используемым преобразованиям подобия.

Другими словами, некоторые наборы величин являются жестко связанными, т.е. остаются неизменными (инвариантными), а другие изменяются. Изменяющиеся величины ответственны за нахождение устойчивости системы. Обеспечение этой инвариантности есть условие нормального функционирования мозга. Наш мозг, имея рецепторы, подобен атому в том смысле, что для атомов неприменимы формулы изолированных систем. Для изолированной системы её полная энергия E , равная сумме энергий всех подсистем и их полный импульс \mathbf{P} сохраняются. Следовательно, полная масса системы M соответствует выражению $M^2 = E^2 = \mathbf{P}^2$, где E – полная энергия, \mathbf{P} – суммарный импульс при

скорости, равной распространения возмущения со скоростью света. В реальности эта скорость – намного меньше.. Причина состоит в том, что пространство между отдельными подсистемами, по существу, не является пустым. Оно заполнено материальной средой – движущимся электролитом, создающим электромагнитное поле. Пространство внутри атома также заполнено электромагнитным полем, а внутри ядра – гораздо более плотным и сильным полем.

Наличие энергии поля приводит к тому, что для двух тесно взаимодействующих подсистем, скажем, зрительного и слухового анализатора в коре мозга в выражении для полной массы необходимо учитывать энергию поля. В результате масса $M < m_1 + m_2$. Величина ϵ , равная $\epsilon = m_1 + m_2 - M$, это энергия связи. Для того, чтобы «развалить» систему на подсистемы, надо затратить энергию, равную энергии связей или превышающую её.

Восстановление устойчивости мозга не может происходить во время бодрствования, потому что при бодрствовании из внешней среды по всем рецепторным каналам идет большой поток как существенной, так и несущественной информации, и происходит её запоминание. Этот процесс охватывает все структуры нервной системы, включая головной мозг.

Энергоемкость максимальна у подсистем, которые образовались на ранних стадиях эволюции (в филогенезе). Это подкорковые нижние структуры. Именно поэтому при переходных процессах в подкорковых структурах выделяется большое количество кинетической энергии, которая усиливает возбуждение коры.

2.6. «Спи, очищаясь!»

В 2013 году группа нейрофизиологов под руководством Майкен Недергаард (M. Nedergaard) стала известна в научных кругах благодаря статье в журнале *Science* [3,4]. В этой статье было отмечено, что *сон способствует выведению отходов метаболизма*. Путь выведения этих «шлаков» она приписала сети регулируемых каналов лимфатической системы. Систему каналов движения лимфатической жидкости (ЛЖ) Недергаард назвала *глимфатическая система* (glymphatic system), из-за регуляции её пропускной способности глиальными клетками мозга – астроцитами³, которые играют роль вентилях. Этой статье Недергаард предшествовало множество её публикаций, доказывающих особую роль астроцитов в механизмах регуляции движения жидкости в мозгу [3, 4, 41–46].

Её статья 2013 года получила широкую популярность. К 2019 году на эту статью сослались сотни раз. Популярность этой публикации была также связана с рекламой в средствах массовой информации, в частности в начале 2014 года в газете *The New York Times* была опубликована заметка об этой работе под названием "Goodnight. Sleep Clean" («Спокойной ночи. Спи, очищаясь») [47].

³*Астроцит* (лат. *astrocytus*; *astro* – крупный, *cytus* – клетка) – крупная нейроглиальная клетка звездчатой формы с многочисленными отростками. Этот вид глии выполняет много функций. В контексте этой статьи наиболее важным будет функция поддержания устойчивости мозговых систем на основе формирования лимфатического потока, очистки синоптической щели путем выведения глутамата и ионов калия после передачи сигнала между нейронами

Последующие исследования, проведенные Недергаард и другими исследователями, показали, что белок аквапорин-4 играет важную роль в регуляции движения потока (ЛЖ) между периваскулярным пространством⁴ и интерстицией⁵ мозга. Было замечено, что замедление этих потоков понижает скорость заживления воспалительных участков в мозгу после их травматических повреждений и ускоряет накопление токсичных «шлаков», таких как бета-амилоиды. [48].

Волна очистка мозга от биохимических «шлаков» – это выведение отходов метаболизма из объема мозга путем их смыва лимфатической жидкостью, которая через венозную кровь выносит их в печень, почки, а затем во внешнюю среду. В мозгу существуют три вида путей с различающимися функциями. Первый – это капиллярная система артериального кровотока + астроциты, по которой происходит доставка продуктов питания (сахара, глюкоза, аминокислоты, кислород) в мозг. Второй – это удаление «шлаков» по системе протоков лимфы + опять астроциты, далее выброс «шлаков» в венозную кровь. Третий – это спинномозговая жидкость (СМЖ). Ниже в разделе 2–7 мы остановимся кратко на роли третьего пути.

Первый путь, по которому происходит доставка продуктов питания, показан рис. 3.



Рис. 3. Схема взаимодействия *нейрон*→*астроцит*→*капилляр* (верхний рисунок). На нижнем рисунке дана схема кровоснабжения мозга при переходе артериальной крови в венозную часть сосудистой системы. Существуют три системы массопереноса. Движение крови в капиллярах, движение ЛЖ в лимфатической системе и движение СМЖ в объеме мозга

⁴Периваскулярное пространство расположено между стенками сосудов и белым веществом мозга, заполненным глиальными клетками и аксонами нейронов головного мозга. Эти образования называют также кривлярами или пространствами Вирхова - Робина. Читайте подробнее на: <https://fb.ru/article/412408/perivaskulyarnyie-prostranstva-rasshireniy---chto-eto-takoe-prichiny-i-lechenie>

⁵Интерстиция – пространство внутри тканей, заполненное спинномозговой жидкостью (СМЖ).

Важно отметить, что внутри мелких кровеносных сосудов, включая капилляры, есть еще один вид важных клеток – перicyтов или, как их часто называют клеток Руже. Они обладают важными функциями – способностью к сокращению, регулированию функций эндотелия (внутренней стенки кровеносного сосуда) и макрофагальной активностью, что препятствует засорению тканей мозга посторонними включениями, в частности бактериями. Эти клетки являются составной частью защитного гематоэнцефалического барьера.

Самостоятельная система выводящих каналов с *лимфатической жидкостью* является дополнением к входящим каналам кровеносной системе, замыкая путь в цикл, поскольку в венозной части кровеносной системы эти каналы соединяются. Лимфа по своим каналам движется медленнее, чем кровь, но и «шлаки» нарабатываются медленно, поскольку *коэффициент полезного действия* мозга высокий. Движущей силой потока лимфы в состоянии бодрствования является сокращение всей совокупности мышечных систем организма, а во сне, когда человек лежит и находится в покое, основным источником её движения служит колебание диафрагмы легких с частотой дыхания и сокращение желудочков сердца с частотой пульса. Регуляция потока ЛЖ осуществляется волной переключений клапанов с помощью астроцитов, т.е. изменения физических полей межнейронного пространства.

В организме до 2-х литров лимфы продуцируется в сутки, что соответствует около 10% всего объема жидкости организма. Анализ лимфы показал, что она состоит из плазмы и форменных элементов крови. В жидкой плазме лимфы содержатся не востребуемые белки, соли, сахар, холестерин и другие вещества. Содержание белка в лимфе в $8 \div 10$ раз меньше, чем в крови. До 80%, форменных элементов кровяных телец в лимфе содержится в виде особых лейкоцитов (лимфоцитов). Эритроциты в лимфе в норме отсутствуют. Лимфоциты и фагоциты – это клетки иммунной системы. Они являются защитниками организма от чужеродных токсичных веществ. В результате стало ясно, что большое содержание лимфоцитов в лимфе свидетельствует о её связи с иммунитетом мозга. Содержащиеся в лимфе форменные элементы крови (лимфоциты и фагоциты) вырабатывают антитела и освобождают внутреннюю среду мозга от чужеродных включений. Лимфа выводит разрушенный строительный материал мозга: не востребуемые белки и липиды в форме окисленных липопротеинов и различные другие продукты (малые и большие молекулы белков от погибших клеток и т.п.), являющихся «шлаками». [49].

Управление клапанами на кровеносных сосудах на молекулярном уровне осуществляется белком – аквапорином-4 (AQP4), который присутствует в высокой концентрации на концах отростков астроцитов, контактирующих с сосудистыми каналами [50–53].

При этом очистка мозга от «шлаков» у млекопитающих животных и у человека во сне выше, чем в бодрствующем состоянии. Электрические колебания в сети нейронов коры – бета-волны ($13 \div 40$ Гц) ЭЭГ могут свидетельствовать о росте диффузии отходов в лимфатическую жидкость [54].

Итак, лимфа осуществляет дренаж объема мозга с одновременным переносом токсичных «шлаков» от нейронных структур во внешнюю среду, поддерживая тем самым постоянство электролита в межнейронном пространстве.

2.7. Информационные «шлаки»

Однако в мозгу наряду с метаболическими «шлаками» (или другими словами, «шлаками», нарабатываемыми из-за переноса энергии для поддержания и обновления сетевых структур мозга) есть и «информационные шлаки», (т. е. «шлаки», связанные непосредственно с обработкой информации в нейронных сетях). Для исключения ошибок при обработке информации необходимо поддерживать ионный состав электролита, заполняющий межсетевое пространство мозга, на постоянном уровне. Для этого наряду с лимфой в мозгу имеет место быстро обновляющаяся – *спинномозговая жидкость* СМЖ (лат. *liquor cerebrospinalis* – *цереброспинальная жидкость, ликвор*). Эта жидкость пульсирует в желудочках мозга с частотой работы сердца и циркулирует по своим путям в объеме между мягкими и сетевыми оболочками головного и спинного мозга [55]

Общий объем СМЖ у взрослого человека по сравнению с ЛЖ небольшой – от 140 до 270 миллилитров, что составляет от общего объема мозга $\leq 2\%$. Это значительно меньше, чем объем ЛЖ (10%), но скорость обновления СМЖ по сравнению с ЛЖ намного больше. Ежедневно вырабатывается $600 \div 700$ миллилитров этой жидкости, т.е. СМЖ полностью обновляется примерно 4 раза в сутки. Другими словами, мозг весьма чистоплотное образование, поскольку четыре раза в сутки в нем производится мокрая генеральная уборка с одновременным освобождением его от информационных «шлаков» путем поддержки его электролитного состава на постоянном уровне.

Для сравнения: объемная скорость кровотока в сердечнососудистой системе (взрослый человек обладает объемом крови порядка $4 \div 6$ литров) составляет $4 \div 6$ л/мин, т.е. за 1 мин. кровь завершает весь цикл движения, возвращаясь в сердце. Скорость насыщения крови кислородом, обновления крови и выведение CO_2 идет непрерывно. Очевидно, что в силу непрерывности движения потока крови доставка питательных веществ в мозг происходит также непрерывно, соответственно непрерывно происходит удаление печенью метаболических «шлаков» из крови. Другими словами, *мозг весьма прожорлив и непрерывно питается, чаще, чем раз в секунду. Следовательно, мозг с той же частотой (порядка ~ 1 Гц) должен самоочищаться от «шлаков».*

СМЖ и ЛЖ, поддерживает обменные процессы между кровью и мозгом, что способствует устойчивости синтеза выходящих из строя структур и поддержке водно-электролитного состава (соотношение ионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- и глутамата и др.) в объеме мозга. В результате образуется замкнутый цикл доставки питания и отведения всех «шлаков» по цепи: артерии \rightarrow артериолы \rightarrow капилляры \rightarrow *головной мозг* \rightarrow ЛЖ + СМЖ \rightarrow вены, а далее печень и почки \rightarrow внешняя среда.

Классики биологии и биогеохимии (прежде всего В.И. Вернадский), задолго до исследователей XXI века, утверждали, что *постоянство внутренней среды есть условие длительного существования, как живого организма и его органов, так и биосферы в целом*. Ни одна часть живой системы не может жить в своих фекальных отходах. Это касается в равной степени не только материальных, но и информационных систем и ноосферы в целом.

Итак: *главная функция СМЖ – это не только «подушка безопасности», т.е. предохранение головного и спинного мозга от механических повреждений и обеспечение постоянного внутричерепного давления, но и содействие уборке внутри мозга с поддержкой его внутренней среды на постоянном уровне*.

2.8. Информационные «шлаки» подавляют информационную активность мозга

Исходя из теории передачи информации по каналам связи, легко объяснить влияние информационных «шлаков» на подавление систем связей. В терминах теории информации информационные «шлаки» это шум. Количество информация I согласно К. Шеннону определяется как:

$$I = N \log_n m \quad (8)$$

где N – количество нейронных кластеров, содержащих информацию; n – показатель логарифма, который определяет, в каких единицах измеряется информация (биты, байты и др.), если – в битах, то $n = 2$; m – это показатель количества различных уровней в каждом кластере. Он равен:

$$m = \left(1 + \frac{kA_c^2}{A_u^2} \right)^{1/2} \quad (9)$$

где A_c / A_u – соотношение амплитуд сигнал / шум, k – коэффициент запаса, зависит от статистики шума ($1 > k$). Если распределение шума по амплитудам подчиняется нормальному закону, то k при ошибке, не превышающей 5%, находится в диапазоне от 0,15 до 0,26. Интенсивность шума A_u^2 увеличивается пропорционально повышению коэффициента вязкости среды.

В результате скорость обработки информации в каждой точке коры мозга $c(\tau, A_c^2, A_u^2)$ будет иметь вид:

$$c(\tau, A_c^2, A_u^2) = \frac{N}{\tau} \log_n \left(1 + \frac{kA_c^2}{A_u^2} \right)^{1/2} \quad (10)$$

при $A_u^2 \gg A_c^2$ выражение (10) стремится к нулю. Рост амплитуды шума эквивалентен повышению порогов возбуждения нейронов в локальной зоне кластера. Если выражение (7) описывало изменение обработки информации всем мозгом на больших временах в онтогенезе, то выражение (10) описывает локальную скорость обработки информации корой мозга.

В некоторых пределах между элементами, наполняющими внутреннюю среду мозга (катионов и ионов, воды, сахаров, кислорода, белков и липидов)

существуют обменные операции. Из этих соображений в физиологии возник термин гомеостаз как поддержка равновесия в системе [56, 18]. Итак: *для сохранения адаптационных возможностей коры мозга и увеличения его долголетия в целом необходимо поддерживать во внутренней его среде количество «информационных шлаков», т.е. значение шума, на низком уровне.*

3. XXI ВЕК: БОРЬБА С НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

3.1. Системный подход к проблеме

Начиная с нулевых годов XXI века, количество публикаций по проблеме нейродегенеративных заболеваний демонстрирует экспоненциальный рост. Анализ публикаций в ведущих журналах по этой теме за последние 20 лет показал, что все исследователи разделилась на два лагеря.

В первом лагере оказались клиницисты. Их наблюдения констатируют тот факт, что в большинстве случаев подобные заболевания наблюдаются в возрасте от 50 лет и старше. Заболевания происходят в результате понижения активности не только нервной системы, но других систем организма (системы кровотока, сердечнососудистой системы и других систем). В разных органах возникают воспаления и ухудшение клиренса⁶ «шлаков», что может приводить к воспалительным процессам и гибели клеток.

Вторая часть специалистов – это нейрофизиологи, имеющие дело в основном с моделями нейродегенеративных заболеваний на лабораторных животных. Они утверждают, экспериментируя на мышах или крысах, что симптомы, наблюдаемые у больных пациентов в клинике, это следствия, а не причина болезни. Первые нарушения, способствующие нейродегенерации, должны проявляться у человека как минимум за 20–30 лет до того, как патологические признаки и симптомы диагностируются врачами в клинике. В связи с этим терапевтические меры в клинике сильно запаздывают. Они направлены на лечение симптомов заболевания, а не на устранение причин, поэтому неэффективны. В лучшем случае удастся слегка затормозить развитие заболевания, но не устранить его [57,58].

В октябре 2018 года состоялся немецко-мексиканский круглый стол с участием некоторых ученых США, посвященный изучению причин нейродегенеративных заболеваний с позиции системного анализа. Результатом этих обсуждений была совместная статья 19 авторов под названием «Rethinking the Etiological Framework of Neurodegeneration» («Переосмысление этиологической основы нейродегенерации»), опубликованная в 2019 году в журнале «Frontiers in Neuroscience» (Горизонты нейронауки) [5].

⁶Термин «клиренс» (от англ. clearance) используется в медицине как показатель скорости очищения биологических жидкостей или тканей организма от токсинов и «шлаков».

Обсуждение причин возникновения нейродегенеративных заболеваний участниками круглого стола свелось к констатации необходимости сменить парадигму в подходе к изучению нейродегенеративных заболеваний. Они выделили четыре главных, по их мнению, причины возникновения этих заболеваний.

Во-первых, ослабление сердечнососудистой системы, что вызывается патологией сосудов кровоснабжения мозга и приводит к нарушению устойчивости взаимодействия между сердцем и кровеносной сосудистой системой, т.е. ухудшению энергетического снабжения мозга. Совокупность этих событий в ряде случаях может привести к инсульту.

Во-вторых, старение клеток, выражающееся в замедлении замены в мозгу старых погибших астроцитов новыми астроцитами.

В-третьих, понижением качества очистки мозга от «шлаков».

В четвертых, изменением биоты желудка, прежде всего, желудочно-кишечного тракта, что было отмечено как существенный фактор, приводящий к подобным заболеваниям. Повышение кислотности приводит к изменению состава биоты желудка и кишечника. При этом токсические продукты могут выходить за пределы кишечного тракта и попадать в кровь, а затем, преодолевая защитный гематоэнцефалический барьер, вызывать отравление и воспаление структур мозга. Все эти причины можно изобразить в виде схемы, показанной на рис. 4а.

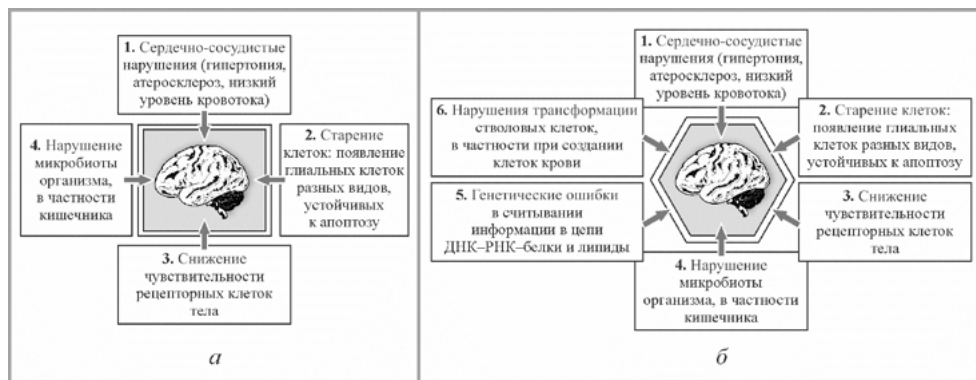


Рис. 4. Перечень причин возникновения нейродегенеративных заболеваний: а – причины, выделенные в работе [5]; б – дополнение схемы (а) еще двумя факторами риска

Однако трудно согласиться с авторами, что появление нейродегенеративных заболеваний может исчерпываться лишь этими четырьмя причинами [59] (рис.4а). К ним необходимо добавить, как минимум, еще две существенных причины (рис.4б).

Справедливости ради, отметим, что авторы статьи [5] отдают себе отчёт в том, что перечень, выделенных ими причин, неполный. В частности они пишут: «Мы не рассматривали здесь генетические компоненты как факторы риска нейродегенерации, всесторонний анализ которых можно найти в другом месте». При этом они дают ссылку на работу генетиков [60].

Можно практически неограниченно увеличивать количество причин нейродегенерации, например, включить в этот список:

- нарушение работы газового обмена (системы дыхания человека),
- качество работы эндокринной системы (понижение гормональной активности),
- системы подвижности (мышечную дистрофию),
- нарушения в системах энергетики (ухудшение работы митохондрий),
- влияние внешних ситуаций (слишком эмоциональное восприятие внешних событий, постоянно вызывающих стрессы),
- неудовлетворительное состояние очищающих организм систем и органов, выводящих «шлаки» во внешнюю среду (почек и печени) и т.д.

В силу многозначности причин вывод соответствует поговорке: *где тонко, там и рвётся*. Проблема борьбы с нейродегенеративными заболеваниями состоит не в том, чтобы непрерывно увеличивать список причин, которые могут их вызывать, а в *биофизическом изучении динамики механизмов регуляции устойчивости живых систем, состоящих из большого количества взаимно связанных подсистем, включая головной мозг. Желательно провести редукцию и выделить минимум циклов взаимодействия. После этого, рассмотреть динамику их взаимодействия*. Тогда задача сведётся, например, к рассмотрению системы, представленной на рис. 5.

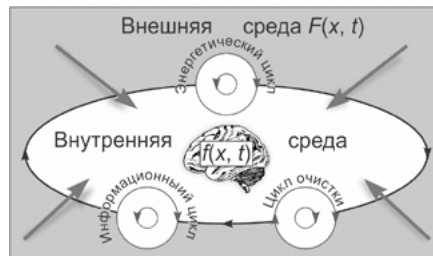


Рис. 5. Три колебательных цикла взаимодействия при отображении информации, получаемой из внешней среды $F(x, t)$ в виртуальную модель $f(x, t)$ внутри мозга.

Три указанных на рис.5 цикла образуют общий цикл длительностью в 24 часа

Работа каждого из этих трех циклов сдвигается по фазе и частично перекрывается внутри общего суточного периода, то затухая, то вновь возрастая по амплитуде и частоте. Далее нас будут интересовать эти переходы и связанная с ними очистка мозга от «шлаков».

3.2. От моделей на лабораторных животных к компьютерным технологиям моделирования

Казалось бы, что детальное изучение патофизиологических процессов, приводящих к нейродегенерации, возможно лишь на моделях лабораторных животных, таких как мыши или крысы, поскольку их содержание не требует больших затрат.

В конечном счёте, всё определяется правильной постановкой задачи. Хотя геном мыши не сильно отличается от генома человека, но новая кора головного мозга мышей имеет существенные отличия. Сегодня созданы десятки линий генно-модифицированных мышей, на которых моделируют нейродегенеративные заболевания человека. Например, линии мышей FUS-TG F19 служат моделью болезни двигательных нейронов за счет мутации гена FUS; линия мышей 5xFAD имеют тройную мутацию в гене, который кодирует APP белок, и двойную мутацию в гене трансмембранного белка пресенилина, что позволяет моделировать наследственную форму болезни Альцгеймера. Список подобных трансгенных мышей весьма внушительный, насчитывающий десятки вариантов [60, 61].

У заболевших мышей можно наблюдать амилоидные отложения, замещение погибших нейронов глиальными клетками (это замещение, известное как глиоз мозга, который наиболее часто возникает при патологиях кровоснабжения), нейродегенерацию, нарушения памяти; накопление внутриклеточного амилоидного белка А β , амилоидных бляшек и выраженную гибель нейронов.

Однако выстроить весь путь перехода по многочисленным иерархическим уровням от «генетической» информации, полученной на генно-модифицированных мышах, до систем регуляции устойчивости организма человека в целом крайне сложно. Изучая нокаутированных по тому или иному гену мышей, мы получаем фрагментарную мозаику причин заболевания. Сборка целостной картины из подобной мозаики имеет неопределенности, связанные с тем, что каждый элемент мозаики вносит свой нелинейный вклад в изменение сюжета общей картины заболевания.

К моделированию нейродегенеративных процессов человека на грызунах нужно относиться с большой осторожностью, поскольку такие модели не гарантируют успеха в клинике.

Показателем различий может также служить, например, старый способ получения инсульта у мышей и крыс при его искусственном создании, который производится хирургическим перевязыванием некоторых кровеносных сосудов у *здоровых животных* [62,63]. Пластичность мозга грызуна велика и искажает результат [64]. Его мозг сам находит новое состояние устойчивости организма мыши, создавая у исследователя иллюзию, что созданное исследователем лекарственное средство помогает выздоровлению организма.

Казалось бы, что возможен другой вариант изучения механизма возникновения подобных заболеваний и их лечения – в культуре растущих нервных клеток вне организма в чашке Петри. Последние исследования в этом направлении открыли дополнительные возможности, которые, в свою очередь, могут быть использованы для моделирования начальных стадий нейродегенерации. На нейронных сетях, формирующихся вне организма, можно наблюдать процессы образования и отмирания клеток и исчезновения или образования связей [65, 66]. Методика использования моделей на основе *культуры клеток* известна давно [67], а в приложении к моделированию болезни Альцгеймера изложено в работе [68].

Что она показала? В самой клетке существуют конкурирующие процессы, которые контролируют форму, перенос и деградацию белков, присутствующих как внутри клетки, так и снаружи её. Эти процессы поддерживают устойчивость нормального функционирования нейронов. Нарушение равновесия является главной причиной заболеваний, связанных с чрезмерным неправильным сворачиванием белков, приводящим к потере их нормальной функции. Такие белки становятся «шлаком» и должны быть выведены из мозга. В противном случае они вызовут воспалительные процессы.

Группа японских авторов [69] выяснила механизм такого начального процесса самоочистки. Они использовали флуоресцентный анализ и скрининг белков по клеточному геному и проследили путь их деградации. В результате удалось показать, что неправильно свернутые внеклеточные белки селективно захватываются набором шаперонов⁷ клетки. Этот захват клеткой происходит благодаря рецептору гепарансульфата, расположенному на клеточной поверхности. Клетка заглатывает неправильно свернутые белки и переваривает их с помощью лизоцима. Биохимический анализ показал, что положительно заряженные остатки на гетеродимерном белке Clusterin-HS, синтезируемом самой клеткой, связаны с расщеплением неправильно свернутых белков и превращением их в низкомолекулярный «шлак». Этот белковый «шлак» электростатически взаимодействует с отрицательно заряженными группами HS. Захват его клеткой облегчает разрушение, например, амилоидного β -пептида, и других слипшихся белков во внеклеточном пространстве. Короче, для сохранения чистоты внеклеточного пространства каждая клетка самостоятельно занимается уборкой своего ближайшего внешнего пространства. Она работает как «пылесос» заглатывает неправильно свернутые белки, разрушает их с помощью лизосом до аминокислот, а затем «выплёвывает» всё то, что не пригодилось ей для собственной жизнедеятельности.

Однако все эти модели опять же являются лишь фрагментами реальных процессов, протекающих в коре мозга человека. Необходимо из них, как из мозаики, собрать общую картину. Мозаичность препятствует возможности использования полученных результатов для практических целей. Статья Рансохоффа Р.М., опубликованная в журнале Экспериментальной медицины в 2018 году, называлась «Все (животные) модели (нейродегенерации) ошибочны. Полезны ли они?» [70].

Р.М Рансохофф начал статью словами: *«Тезис, предложенный в этой статье, заключается в том, что для поиска средств лечения нейродегенерации бесполезно проводить эксперименты по доклинической эффективности на животных моделях. Приведенный мною выше эпитафия Джорджа Бокса обычно используется в начале обсуждения этой темы. Он звучит так: «не позволяйте идеалу быть врагом добра». Возможно, среди членов аудитории, а также среди выступающих, мало кто знает, что Бокс, обращаясь к участникам*

⁷Функция шаперона (англ. chaperones) состоит в восстановлении правильной нативной третичной или четвертичной структуры белка, а также образования и диссоциации белковых комплексов.

статистического семинара, в качестве примера привёл закон Бойля об идеальном газе. Этот закон полезен, но не соответствует реальному газу».

Ниже мы попытаемся продемонстрировать, подтверждая тезис Бокса, что физико-математические модели могут быть полезными для создания системной картины причин нейродегенерации мозга, но большинство существующих моделей пока не позволяет охватить процесс нейродегенерации целиком.

Создание баз цифровых данных, включая генотипическую и фенотипическую информацию, в сочетании с быстрым развитием вычислительных методов позволяет создавать новые пути моделирования. Однако, для успешного решения проблемы математического моделирования необходимы базы данных. Основные усилия в создании таких баз принадлежат пока ограниченному количеству организаций. Мне известны четыре организации: Инициатива по борьбе с болезнью Альцгеймера (ADNI), Австралийское общество исследования старения, т.е. систематизация маркеров в исследовании образа жизни (AIBL), Инициатива по изучению маркеров прогрессирования болезни Паркинсона (PPMI) и Биобанк Великобритании.

Систематизация информации, полученной при изучении разнородных групп пациентов с нейродегенеративными заболеваниями, повышает эффективность статистических подходов. Однако подходы, основанные исключительно на анализе больших массивов неоднородных данных, по своей природе ограничены. Статистический анализ всегда вызывал настороженное отношение, порою выражавшееся в таких саркастических изречениях: «ложь, наглая ложь и статистика» или «средняя нормальная температура по больничной палате – два покойника и два больных с повышенной температурой», или «лужу можно обойти справа или слева, усредняем...».

Очевидно, что при анализе статистических данных важны не только и не столько их средние значения и дисперсии, но форма распределений, т.е. знаки вторых производных. Обнаружение корреляций не может служить доказательством причинно-следственных связей. На основе статистики можно лишь выдвигать гипотезы, но достоверность их необходимо проверять в эксперименте [71].

Первый опыт построения математической модели был основан на исследовании кинетики накопления «шлаков» в виде тау-белков при болезни Альцгеймера [72]. Компьютерное моделирование было использовано также для построения модели причин старения из-за повреждений ДНК, транскрипционных факторов инсулина-TOR, FoxO3a, реакции окислительного стресса, нарушения регуляции в митохондриях и митофагии [73]. Обзор математических моделей нейродегенеративных заболеваний [74] сообщает о нескольких математических моделях, включающих энергетический обмен и его влияние на пластичность синапсов. Кроме того, была создана многомерная байесовская вероятностная модель оценки биомаркеров, которая могла бы служить основой для моделирования ранней стадии развития болезни Альцгеймера [75]. Однако, как уже отмечалось в главе 2, к байесовским моделям нужно относиться с большой осторожностью. В формуле Байеса:

$$p(A | X) = \frac{p(A)p(X | A)}{p(X)} \quad (11)$$

гипотетическая вероятность $p(A)$ исходно основана на вере, что именно событие A является основной причиной заболевания. Такая фидуциальная (от лат. *fides*: вера, доверие) вероятность, основанная исключительно на субъективной вере исследователя, может быть ошибочной. Например, еще более 40 лет назад Ж.Г. Педерсон написал [76], что «фидуциальная вероятность» имеет ограниченный успех и часто приводит к ошибкам. Вероятность $p(X)$ – это вероятность появления новых сведений, которые могут изменить априорную веру в то, что событие A является главной причиной. Условная вероятность $p(A|X)$ в формуле Байеса позволяет измерить, в какой степени была правильна наша предварительная убежденность, что величина вероятности $p(A)$ соответствует основной причине заболевания. Казалось бы, популярность формулы Байеса [77] обусловлена тем, что она даёт нам возможность методом последовательных приближений точно рассчитать вероятность $p(A|X)$, которая характеризует истинную причину заболеваний на основе новых сведений X , полученных на моделях животных. На этом основана концепция, так называемого, *идеально-го байесовского наблюдателя* [78]. Однако, без исследования иерархии весов вероятностей $p(A|X)$ и $p(X)$ можно доказать правильность любой вероятности $p(A)$. Короче, необходимо не только набрать статистику событий, а требуется быть уверенным в её достоверности (т.е. устойчивости полученного результата), поскольку повышая вес и коллекционируя все аргументы «за» и понижая вес всем аргументам «против», можно доказать любую гипотезу. Процесс мышления исследователя имеет склонность игнорировать общую информацию о частоте событий и сосредотачиваться на специфической информации о конкретном, интересующем его событии, искажая тем самым реальную ситуацию, описываемую вероятностями.

Наконец, к выяснению причин нейродегенеративных заболеваний пытались подойти через сравнение изменения морфологии структур мозга в норме и патологии. Была создана многомерная модель морфологических изображений нормы и патологии тканей мозга с целью нахождения связей морфологических отклонений, которые могли бы характеризовать развитие болезни Альцгеймера [79]. Однако подобные модели лишь констатируют факт наличия болезни Альцгеймера и величину ущерба, нанесённого заболеванием, но не дают ответа на вопрос: какие причины привели к этим морфологическим изменениям, поскольку определение причин, как уже отмечалось, ограничивается некорректностью обратных задач физики.

Во всех рассмотренных выше моделях упускается из вида, что главной функцией головного мозга является обработка информации, получаемой из внешней среды.

Итог: *весьма вероятным предположением является, что при нормальном состоянии всех систем организма, нарушение обработки и запоминания ин-*

формации корой мозга – это не только существенный признак нейродегенеративных заболеваний, но и основная причина заболевания. Такое предположение следует из факта, что в силу наличия обратных связей именно сам мозг регулирует и поддерживает устойчивость, как других систем организма, так и свою собственную.

3.3. Можно ли затормозить процесс старения человека?

В печати время от времени появляются сообщения, что поскольку болезнь связана с накоплением в головном мозгу пациента неправильно свернутых белковых бета-амилоидных бляшек, т.е. нейрофибриллярных клубков (Ab), и гиперфосфорилированного тау-белка, то современные подходы к терапии болезни Альцгеймера должны быть направлены в основном на уменьшение этих патологических отложений. Однако причина появления этих двух аномально агрегированных белков – общая. Через общность причины эти два белка связаны, что воспринимается как наличие положительной обратной связи между их свертыванием. Это может приводить к ошибочным утверждениям и направлять исследователей по ложному пути. Клинические испытания различных средств борьбы с нейродегенерацией, предложенных в последние годы, не продемонстрировали возможность разрыва этого патологического цикла и были неэффективны. Вывод тот же: загрязнение мозга – это следствие, а не причина.

В работе [80] была предложена комбинированная вакцина, которая по утверждению авторов, должна разорвать эту обратную связь, чтобы предотвратить последующую нейродегенерацию. Ими создана вакцина, которая одновременно направлена как на уменьшение $A\beta$, так и на уменьшение тау-белка. Однако, наблюдаемая эффективность комбинированной вакцины на животных не может гарантировать успех её испытания на людях. Воздействие препарата будет направлено на следствие, а не на устранение причины, но такая вакцина, возможно, замедлит развитие болезни Альцгеймера.

Эволюционный отбор на протяжении миллионов лет, по-видимому, перебрал всё многообразие вариантов и выбрал один возможный вариант продолжения вечной молодости человечества, закрепив его на генетическом клеточном уровне. Это – рождение детей, которые повторяют цикл возрастного развития родителей, т.е. возобновления молодости в следующих друг за другом поколениях. Что касается информационного наполнения мозга, то оно не полностью определяется генетикой. В этом много раз убеждались, изучая поведение однойцовых близнецов, разлученных в раннем детстве и попавших в социально разные семьи. На информационное наполнение мозга, прежде всего, влияют: обучение на примере родителей, обучение в школе и использование других информационных источников, вплоть до Интернета или самообучения методом проб и ошибок.

В настоящее время существуют два подхода в борьбе за продление жизни человека. Первый – традиционный. Его пропагандирует Всемирная орга-

низация здравоохранения (ВОЗ). Он получил название «Здоровое старение» – *сохранение здоровья и активности до глубокой старости*. Говоря попросту, необходимо изменить форму кривой вероятности выживаемости людей, характерной для XIX ÷ XX веков и начала XXI века (рис.6а), превратив ее задний наклонный спадающий фронт в резкий спад в районе близком к столетию (рис.6б). Подобная задача в борьбе со старением декларировалась давно [81], но эффективный способ её решения пока не найден.



Рис. 6. Вероятность продолжительности жизни людей (без учета несчастных случаев смерти – транспортных или промышленных катастроф): **а** – в XX веке; **б** – прогнозируемая вероятность выживания людей в XXI веке. Цветом отмечены зоны риска развития нейродегенеративных заболеваний

В борьбе за финансирование для научных исследований, наряду с указанным выше традиционным подходом ВОЗ, появился и другой подход. В 2009 году группа исследователей из США, занимающаяся, так называемой, *регенеративной медициной*, направленной на стратегию достижения пренебрежимо медленного старения, создала некоммерческую организацию SENS Research Foundation (Strategies for Engineered Negligible Senescence Research Foundation). Программа и название – «*Стратегии достижения пренебрежимо медленного старения инженерными методами*» – были придуманы геронтологом, одним из организаторов SENS Research Foundation Обри де Греем (Aubrey de Grey). Среди предлагаемых биоинженерных методов терапий были: как запланированные к разработке, разрабатываемые и уже известные методы исправления ущерба, наносимого человеку в связи возрастными изменениями его клеток, органов и организма в целом, так и предлагаемые, но пока отсутствующие методы. Основной целью комплекса предложенных терапий является достижение медленного старения за счёт отсрочки заболеваний, связанных с возрастом. Достичь этого они предлагают путем осуществления серии периодических медицинских вмешательств в организм человека, направленных на восстановление, предотвращение или устранение всех типов молекулярных или клеточных повреждений, которые ведут к развитию возрастных патологий и дегенерации. В свою программу они включили почти все проблемы современной медицины в виде семи разделов [6]:

- устранение раковых мутаций,
- предотвращение повреждений из-за мутаций в митохондриях,
- очистка клеток от накапливаемых «шлаков»,

- удаление межклеточных «шлаков»,
- замена погибших клеток,
- удаление неправильно функционирующих клеток,
- удаление межклеточных полимерных связей.

Если в этот список добавить ещё один раздел – предотвращение возрастного сокращения теломер, то у далеких от науки меценатов и чиновников может возникнуть иллюзия, что в сжатые сроки можно увеличить жизнь человека далеко за пределы столетия. Некоторые поверили в быструю реализацию подобного проекта. По состоянию на 2013 год бюджет организации SENS Research Foundation, составлял приблизительно 4 миллиона долларов США в год. В 2017 году поступления составили уже более 7,8 миллионов долларов, 25.5 % из которых были гранты, а остальное – дополнительные пожертвования от меценатов. В 2017 году более 2 млн долларов были потрачены на исследования.

Как относиться к этому проекту? С одной стороны, системный подход к проблеме всегда полезен, если в основе проекта лежит достойная цель. Главное, насколько реально сегодня решение задач, поставленных в проекте.

В ноябре 2005 года в журнале EMBO был опубликован отчёт 28 биологов под названием «Научные факты и повестка дня SENS: что мы можем ожидать от исследований старения?» [82]. В отчете утверждается, что многие из конкретных предложений, которые составляют программу SENS, на нынешнем этапе биомедицинских знаний не выполнимы. Потребуется десятилетия упорной работы, чтобы отодвинуть на шкале возраста человеческие болезни. Экспертами делается вывод: «целенаправленный» поход SENS в геронтологии пока ведёт в никуда.

В настоящее время не существует универсальных технологий продления жизни. Самый верный признак невозможности выполнить обещание продления жизни человека в разы – это та легкость, с которой их дали меценатам организаторы проекта SENS. Причина несостоятельности скороспелых обещаний известна с древних времен, образно говоря, – «нельзя построить Вавилонскую башню, не зная сопромата».

Главный тезис: долголетие организма определяется его устойчивостью в целом, что обеспечивается правильной работой головного мозга. Наш мозг работает, прежде всего, с информацией, её запоминанием и прогнозом. Мы пока смутно понимаем, как он это делает.

Итак: *мозг – это энергетически и информационно открытый диссипативный орган, далекий от равновесия, самостоятельно поддерживающий свою устойчивость. Последнее важно, ибо гибель мозга – это конец существования организма, всё остальное в той или иной степени может быть поправимо. Авторы SENS упустили в своей программе этот главный аспект проблемы долголетия.*

4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ОЧИСТКИ МОЗГА

4.1. Основы математического описания работы мозга

Подводя итог исследований нейродегенеративных заболеваний последних лет, для математического описания самоочистки мозга можно сформулировать пять основополагающих положений.

1. Ограничить борьбу с нейродегенеративными заболеваниями очисткой межклеточного пространства коры мозга от «шлаков» лишь движением жидкостей (ЛЖ и СМЖ) недостаточно, поскольку пространство между подсистемами коры заполнено физическими полями, формируемыми ионным взаимодействием между глиальными клетками и нейронами. Следовательно, нужно учитывать энергию, которая определяется связями между ними.

2. Биоинженерный подход к решению задачи старения мозга должен ориентироваться на определение обобщающих функций, в виде циклов, изображенных на рис. 5. Чтобы выяснить переходы, возникающие в *активных средах* (мозг – это активная среда), необходимо, как минимум, написать два связанных реакционно-диффузионных уравнения и решить их.

Активными средами будем называть среды, которые обладают двумя свойствами. С одной стороны, они открыты для потока энергии извне. С другой стороны, накапливают за счет поступающей извне энергии собственный её запас внутри себя.

В таких системах могут возникать и распространяться волны. Следовательно, наилучшим математическим языком описания моделей работы мозга служит механика волн [7,8].

Сводка, изложенных выше фактов, сведена в табл. 3. На основании изложенного можно сделать вывод: *медленная стадия сна необходима для выведения метаболических «шлаков», а быстрая стадия сна необходима для выведения «шлаков», связанных с обработкой информации в мозгу во время сновидений.*

Табл. 3. Кинетические показатели системы выведения «шлаков» из мозга во время сна

Медленная фаза сна		Быстрая фаза сна	
<i>Выведение метаболических отходов</i>		<i>Выведение информационных отходов</i> (поддержка ионный баланс межнейронной среды коры мозга на неизменном уровне)	
Участники процесса		Участники процесса	
Наименование	Показатели	Наименование	Показатели
Носитель – <i>лимфатическая жидкость</i> (ЛЖ)	1) Движущая сила – <i>колебательные движения диафрагмы легкого</i> +	Носитель – <i>спинномозговая жидкость</i> (СМЖ)	1) Движущая сила – <i>сокращение сердца</i> + <i>колебательные движения</i> + <i>волна</i>

	<p>сокращение сердца + волна очистки мозга, создаваемая астроцитами</p> <p>2) Объем жидкости $\approx 2 \div 4$ литра</p> <p>3) Скорость её обновления ≈ 2 л/сут.</p> <p>4) Скорость движения ≈ 4 мм/сек.</p> <p>5) Давление массопереноса $\nabla p \approx 5$ мм. рт. ст.</p>		<p>очистки мозга, создаваемая астроцитами.</p> <p>2) Объем жидкости $\gg 140 \div 270$ мл.</p> <p>3) Скорость её обновления $\approx 2,4 \div 2,8$ л/сут.</p> <p>4) Диапазон скоростей электролитов: $10 \div 10^4$ мм/с – для сахаров 16 мм/с, для мочевины 1200 мм/с, для воды 6800 мм/с, для кофеина – 4320 мм/с и т.д.</p>
Ритмы волн органов, обеспечивающих движение жидкостей во сне			
<i>Легкие</i>	Частота движения диафрагмы в покое $\approx 0,2$ Гц	<i>Легкие</i>	Частота движения диафрагмы в покое $\geq 0,2$ Гц
<i>Сердце</i>	Частота сокращений желудочков в покое ≈ 1 Гц	<i>Сердце</i>	Частота сокращений желудочков сердца в покое ≥ 1 Гц
<i>Мозг</i>	Частота ЭЭГ – дельта-волны (частота $0,5 \div 3,5$ Гц)	<i>Мозг</i>	Частота ЭЭГ – бета-волны (частота $13,5 \div 40$ Гц)

В активных средах при распространении волны возбуждения связь времени t с координатами пространства (x, y, z) описывается в частных производных через оператор Лапласа Δ :

$$\frac{\partial}{\partial t} = D\Delta, \quad \text{где } \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (12)$$

где D – коэффициент диффузии. В простейшем случае с одной волной $W(x, t)$ и одномерным пространством (при отсутствии сноса) связь времени t с пространством x описывается уравнением Фоккера–Планка:

$$\frac{\partial W(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 W(x, t)}{\partial x^2} \quad (13)$$

где коэффициент диффузии $D = const$. Нелинейное взаимодействие двух волн W_1 и W_2 является системой двух реакционно-диффузионных уравнений

ФицХью–Нагумо [84–86] (а в точке – это модель Ван дер Поля [86]). Использование реакционно-диффузионных систем уравнений для описания различных биосистем началось еще в середине XX века [7,8, 87].

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= f(u, v) + D_u \Delta u \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= g(u, v) + D_v \Delta v\end{aligned}\quad (14)$$

где $D_{u,v}$ – коэффициенты диффузии, Δ – оператор Лапласа. При столкновении одинаковых автоволн происходит их взаимное уничтожение [88]:

Система выражений (14) корреспондируется в точке в систему:

$$\begin{aligned}\dot{u} &= f(u, v) \\ \dot{v} &= g(u, v)\end{aligned}\quad (15)$$

3. Мозг является энергетически открытой системой и имеет набор как устойчивых, так и неустойчивых состояний. Можно ли поддерживать устойчивость такой системы путем управления извне? Обратимся к истории вопроса исследования нелинейных процессов. Ф. Дайсон в своей статье [89] писал о гипотезе Фон Неймана по управлению атмосферой Земли. «Джон фон Нейман сказал, – пишет Дайсон, – *"Компьютер позволит нам разбить атмосферу в каждый момент на устойчивые и неустойчивые области. Поведение устойчивых областей мы предсказывать умеем, а неустойчивыми можем управлять"*. Фон Нейман верил, что неустойчивую область можно подталкивать приложением в определенных фазах точно отмеренными малыми воздействиями, которые будут сдвигать её в нужном направлении».

Казалось бы, что атмосфера Земли как нелинейная систем (в смысле чередования устойчивых и неустойчивых состояний) похожа на мозг. Однако эта похожесть мнимая. В управлении атмосферными явлениями Джон фон Нейман ошибался, потому что игнорировал *свойства хаоса*. Теперь мы знаем, что движения в атмосфере не только локально неустойчивы, но и очень хаотичны. При хаотичном движении траектории в фазовом пространстве со временем удаляются друг от друга. Следовательно, стратегия фон Неймана для управления погодой не пригодна, и её осуществить нельзя. Тем не менее, его идея применима при описании квазихаотических биологических систем, находящихся *на границе порядка и хаоса*. Любой организм, пока он жив, относится к таким системам [18]. Мозг также работает на границе порядка и хаоса. Однако, работа мозга отличается тем, что хотя близко расположенные траектории во времени расходятся, но они долгое время *существенно не удаляются далеко друг от друга в пространстве, поскольку существуют границы, сдерживающие их расхождение*. В приложении к мозгу отметим, что это приводит к тому, что хаотичность движения во времени подавляется, система может существовать как единое целое.

Точка зрения Лапласа на детерминированную систему как на безупречный часовой механизм в таких системах не слишком отличается от истины. Если сравнивать мозг с часами, то, хотя шестеренки часового механизма изнашива-

ются, и в них накапливается мусор, но механизм продолжает работать, и система долгое время остается устойчивой, балансируя между порядком и хаосом. Следовательно, подобные процессы на определенном временном интервале могут быть описаны уравнениями Ньютона и быть обратимы во времени с точностью до величины загрязнения системы (т.е. повышения энтропии, связанной с ростом вязкости внутренней среды до критического уровня). Фигурально выражаясь: мозг медленно «ржавеет» (фосфолипиды мембран окисляются), но не изнашивается скачком. Мозг как биосистема, далекая от равновесия с самоорганизующейся устойчивостью, без постоянной тренировки изнашивается быстрее. Давно известна поговорка: *праздный мозг долго не живёт*.

4. Во сне мозг изменяет связи, наводит порядок в своей памяти, ранжируя zapomненное, отделяет существенные паттерны от несущественных, с помощью изменения порогов возбуждения тех или иных групп нейронов. Этот режим взаимодействий, в силу рассеяния энергии и не полного выведения «шлаков» жизнедеятельности с помощью регулировки водных потоков астроцитами, постепенно нарушается, но медленное нарушение с большим характерным временем позволяет в ряде случаев человеку прожить до $100 \div 120$ лет.

5. Субъективное собственное время организма t [90,91] и его ритм работы задается множеством связей внутри мозга. В органах, состоящих из возбудимых тканей (например, сердца), если их изолировать от других органов и от мозга, можно на ограниченном интервале времени, пока орган не погибнет из-за недостатка энергии или критического переполнения токсинами от своей жизнедеятельности, наблюдать сравнительно стабильную собственную частоту его работы. Каждый такой водитель ритма органа связан с центральной нервной системой головного мозга. Исходя из результата обработки информации, мозг воздействует на все внутренние органы, изменяя ритм их работы так, чтобы устойчивость организма сохранялась. Ключевые слова при моделировании нейродегенеративных заболеваний – это нарушение связей, поскольку любой живой организм на всех своих иерархических уровнях – это набор связей между волновыми циклами взаимодействия.

4.2. Сигмоидальная модель удаления «шлаков»

При возбуждении нейрона по его аксону движется импульс ионов K^+ , который возникает за счет входа ионов Na^+ через мембрану внутрь аксона. Поскольку атомный вес калия почти в 1,7 раза больше атомного веса натрия, то при замещении Na^+ на K^+ во внешней среде вблизи аксона (при обмене равными количеством ионов) плотность среды возрастёт на 70%. Для нормальной работы нейронной сети требуется восстановление исходной плотности среды, поскольку дефицит ионов натрия во внешней среде и повышение плотности среды эквивалентны повышению порога возбуждения нейронов, что может остановить работу нервной сети.

Пульсирующий поток СМЖ смывает и перемешивает внешнюю среду, восстанавливая электролитический баланс и баланс плотности среды. Этот про-

цесс можно рассматривать как взаимодействие двух волн: волны ионов K^+ и волны потока жидкости СМЖ. Однако возникает парадокс: если нейроны работают с частотой 100 Гц, а уборка межнейронного пространства в лучшем случае происходит с частой работы сердца 1 Гц, то ионное поле (уровень ионов) внутри нейронной сети не будет постоянным, что будет нарушать передачу информации от нейрона к нейрону. Следовательно, должен существовать ещё один волновой механизм, который концентрировал бы «шлаки» до их выведения с помощью жидкостей за пределами нейронной сети, в местах, где они не мешали бы её нормальной работе. Кандидат на такой волновой механизм понижения концентрации «шлаков» существует. Это волновое взаимодействие между нейронами и астроглией. Далее обозначим эти волны как $v(t)$ и $u(t)$. Рассмотрим механизм их взаимодействия.

В терминах волновой механики при столкновении волн возможны разные результаты их взаимодействия: аннигиляция, колебания [92], отражение [84, 93, 94]. Такие системы уравнений позволяет, например, описать колебательную химическую реакцию Белоусова–Жаботинского [95]. В нашем институте были найдены новые решения О.А. Морневым в модели Ходжкина–Хаксли [96] и в модели Макаллистера–Нобла–Циана [97].

При столкновении волн может возникать бифуркация одной из волн [98–100]. Кроме того, фронты волн в зависимости от их киральности могут отталкиваться друг от друга на больших расстояниях и притягиваться при малых расстояниях. При достижении критического значения пара встречных фронтов может преобразоваться в стационарный фронт, т.е. её форма станет устойчивой, формируя симметричные узоры

Более сложное поведение наблюдается при упругом столкновении [101, 102]. При этом отталкивающее взаимодействие приводит к отражению волны.

Обычно, когда обнаруживается, что взаимодействующие волны как бы проходят друг сквозь друга в системах реакция–диффузия, то трудно ответить на вопрос: что это действительно прохождение волн друг сквозь друга (подобно солитонам) или отражение. Такой же неопределенностью обладают и другие системы, в частности системы с кросс-диффузией [103–106].

В нашей работе [9] с исследованием отражения волн в варианте модели Ринзеля–Келлера [107] удалось показать, что имеет место именно отражение волн, и этот эффект сопровождается изменением режима распространения волн. При этом существует область параметров, в которой установленный режим распространения волн зависит от начальных условий. Также обнаружены волновые явления со сложным поведением:

- во-первых, отражение волн при растущем расстоянии (удаленное отражение);
- во-вторых, периодическое преобразование волн со скачком из одного режима их распространения в другой (триггерное взаимодействие).

Аналитически и численно были найдены колебательный и бистабильный режимы при столкновении волн [9]. Последний вариант взаимодействия волн в виде сигмоидальной модели с функциями реакции Тоннель–Герстнера [108]

можно использовать не только для описания работы нейрона, но и для описания самоочистки мозга от «шлаков». Их взаимодействие в виде нуль-изоклин показано на рис. 7а.

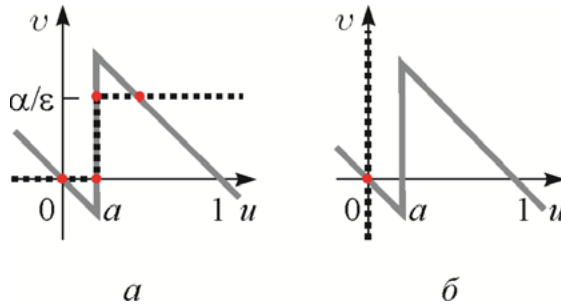


Рис. 7. Сигмоидальные модели: модель Тоннель–Герстнера с бистабильным режимом [108] (а) и модель Ринзеля–Келлера с одним возбудимым режимом [107] (б)

Эта модель имеет многозначные решения, как устойчивые, так и неустойчивые.

По сути, эта модель на языке механики волн является расширенным вариантом модели с возбуждением Ринзеля–Келлера [107] (рис.7б). Модель Тоннель–Герстнера описывается системой уравнения:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u - v + H(u - a) + D_u \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (16)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\varepsilon v + \alpha H(u - a) + D_v \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \quad (17)$$

где ε , α (альфа), D_u и D_v – положительные постоянные; H – функция Хевисайда⁸, a – порог возбуждения; $u(t)$ – волна движения СМЖ (волна очистки); $v(t)$ – волна загрязнения электролита. Использование функции Хевисайда позволяет создавать наглядные образы движения волн при имитационном компьютерном моделировании процессов, происходящих в межнейронном поле электролита. (Примечание: обозначение «а» не следует путать с ускорение в выражениях (7), в данном случае буквой «а» обозначен порог возбуждения. Я не менял здесь эту букву потому, что в нашей работе [9] она использовалась для обозначения порога возбуждения).

⁸Функция Хевисайда есть функция единичного скачка («ступенька») Обычно она равна нулю для отрицательных значений аргумента и единице – для положительных. В нуле эта функция не определена, однако её в этой точке можно дополнить некоторым числом. В результате область определения функции будет содержать все точки действительной оси. Например:

$$H(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x < 0 \\ 0 & \text{при } x \geq 0 \end{cases}$$

На рис. 7а пунктиром показан вид этой функции.

Волны $v(t)$ и $u(t)$ пульсирует с близкими частотами порядка 100 Гц в течение всей активной работы мозга. Если обратиться к общей записи волновых взаимодействий двух волн (выражения 14, 15), то функция реакции $f(u, v)$ в первом уравнении содержит кубическую функцию: $f(u, v) = u - u^3 + a - v$ или $f(u, v) = u(1 - u)(u - a) - v$, тогда как вторая функция имеет линейную зависимость: $g(u, v) = \varepsilon(u - v - b)$ [9]. Волновая аннигиляция в таких моделях реакции-диффузии происходит, когда решение соответствующей системы в точке (без диффузионных членов) описывает медленное затухание колебаний во времени. Более того для некоторых значений параметров существует единственное решение: равномерное стационарное состояние. Когда оба решения сосуществуют в диффузионной модели, т.е. две распространяющиеся в пространстве волны не аннигилируют при столкновении, а через конечное время реализуют режим взаимного отражения волны. Наша работа [9] есть в интернете в открытом доступе. Здесь я не буду повторять все математические выкладки, а кратко изложу лишь итоговые результаты. Отметим только, что порог возбуждения a равен:

$$a = [(\alpha / \varepsilon) - 1] \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} - \frac{\alpha / \varepsilon}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_4)} \times \left[\frac{\lambda_4}{\mu_3} (\lambda_1 - \lambda_3) - \frac{\lambda_3}{\mu_4} (\lambda_2 - \lambda_4) \right] \quad (18)$$

где выражения для λ и μ следующие:

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2D_u} \left(-c \pm \sqrt{c^2 + 4D_u} \right) \quad (19)$$

$$\lambda_{3,2} = \frac{1}{2D_v} \left(-c \pm \sqrt{c^2 + 4D_v \varepsilon} \right) \quad (20)$$

Значение μ определяется выражением:

$$\mu_{3,4} = c \left(1 - \frac{D_u}{D_v} \right) \lambda_{3,4} - \left(1 - \varepsilon \frac{D_u}{D_v} \right) \quad (21)$$

Уравнение (18) описывает порог возбуждения a как функцию скорости c . Скорость движения импульса по аксону ~ 25 м/с. Постоянная скорость движения СМЖ по межклеточному пространству небольшая, $\sim 10^{-4}$ м/с. При возникновении скачка давления скорость импульса СМЖ может на короткое время возрасти на много порядков и приблизиться к скорости движения импульса по аксону. Параметр a является порогом переключения из устойчивого верхнего состояния в нижнее состояние.

• • •

Изложенные выше базовые положения взаимодействия волн (19)–(21), дают возможность расчетным методом on-line наблюдать механизм взаимодействия волн очистки W_2 , т.е. концентрации «шлаков», и загрязнения W_1 (активной работы нейронов).

М.А. Цыгановым численными методами в общем случае были рассмотрены некоторые варианты взаимодействия волн (рис. 8).

Здесь мы покажем, что ряд из них соответствует механизмам очистки электролита, обеспечивающего восстановление ионно – плотностного баланса после возбуждения. Первый вариант (рис.8а) соответствует очистке от ионов K^+ при циклических взаимодействиях нейронов и астроцитов.

Изображенный на рис. 8б второй вариант соответствует очистке синаптической щели после передачи нейромедиаторов от возбужденного нейрона к возбуждаемому.

В обоих случаях после очистки восстанавливается исходный баланс среды, имевший место до возбуждения.

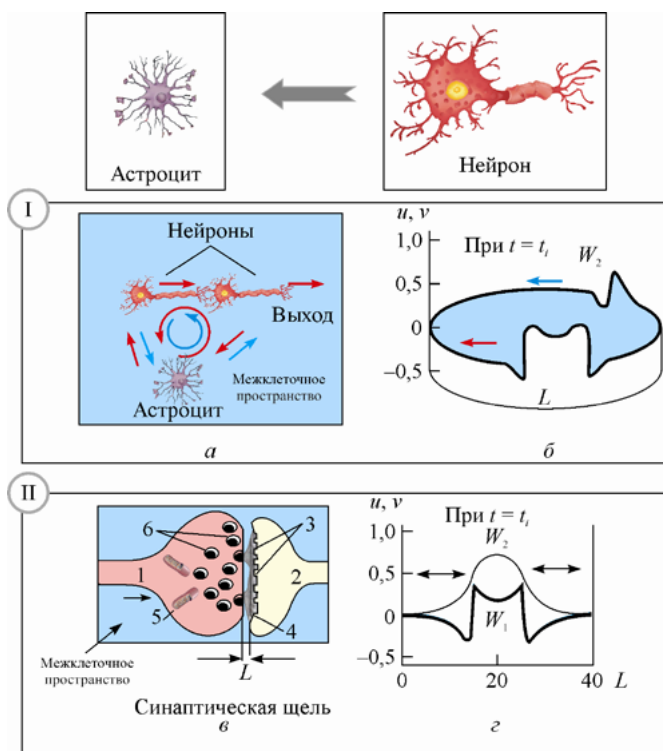


Рис. 8. Два варианта возникающих автоволны при взаимодействии нейронов и астроцитов, т.е. загрязнения и очистки: (I) – взаимодействие, образующие в пространстве круговое движение (а), где W_1 (калиевая волна) и W_2 (волна жидкости от пульсирующего астроцита). Волны W_1 и W_2 в пространстве движутся навстречу друг другу, образуя цикл взаимодействий: б – циклическое взаимодействие с многократными столкновениями при движении по окружности образует воронку (L – длина окружности воронки). Другой вариант: взаимодействие волн (II) с попеременным отражением двух волн от стенок синаптической щели (в) (L – ширина щели порядка $3 \div 4$ нм), где 1 – аксон возбужденного нейрона, 2 – дендрит возбуждаемого нейрона, 3 – рецепторы нейромедиатора, 4 – мембрана дендрита, 5 – митохондрия, 6 – депо нейромедиаторов в виде пузырьков; г – остатки нейромедиаторов смываются из синаптической щели пульсирующей волной от астроцитов. W_2 – волна нейромедиаторов после возбуждения нейрона; W_1 – волна СМЖ, создаваемая за счет пульсации астроцита

Ограничимся иллюстрациями трех примеров: первый пример в виде циклической очистки межнейронного пространства путем взаимодействия волн *нейроны* ↔ *астроциты*, два других демонстрируют очистку синаптической щели. Алгоритм моделей следующий: задаются начальные и граничные условия, и используется неявный метод Эйлера [111]. Шаги по осям Δx и Δt выбираются определенного размера, например, в пространстве $\Delta x = 0,01$ и времени $Dt = 2 \times 10^{-4}$ при фиксированных значениях ε , a и D_v . В результате можно наблюдать переход системы из одного устойчивого состояния $(0,0)$ в другое устойчивое состояние $((1 - \alpha/\varepsilon), \alpha/\varepsilon)$. В этом случае значение порога соответствует значению α (*альфа*), которое находится в диапазоне $\alpha \in (0 \div 0,05)$ при фиксированных значениях ε , a и со следующими начальными условиями:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=0, x=L} = 0, \quad (22)$$

$$\left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_{x=0, x=L} = 0,$$

Начальные условия задаются следующим образом: система при $t = 0$ локализована в одном из двух устойчивых стационарных состояний. Ограниченная область $x \in [x_0 \div (x_0 + \Delta_0)]$ возмущена. Были рассмотрены два типа начальных условий:

$$(\Omega_1): u(x,0) = 0,05 \text{ и } v(x,0) = 0,95 \text{ для } x \in |x_0 \div (x_0 + \Delta_0)|$$

и

$$u(x,0) = 0 \text{ и } v(x,0) = 0 \quad (23)$$

для одних значений x ;

$$(\Omega_2): u(x,0) = 0 \text{ и } v(x,0) = 0 \text{ для } x \in |x_0 \div (x_0 + \Delta_0)|$$

и

$$u(x,0) = 0,05 \text{ и } v(x,0) = 0,095 \quad (24)$$

для других значений x .

Пример кинетики взаимодействия волн при многократном встречном вращении по пространственному циклу показаны на рис. 9. Принятые здесь параметры волн следующие: $\Delta_0 = 3$ и $\Delta_{0(2)} = 20$ в положениях $x_{(1)} = 11$ и $x_{(2)} = 17$, $D_u = 0,1$, $a = 0,01$.

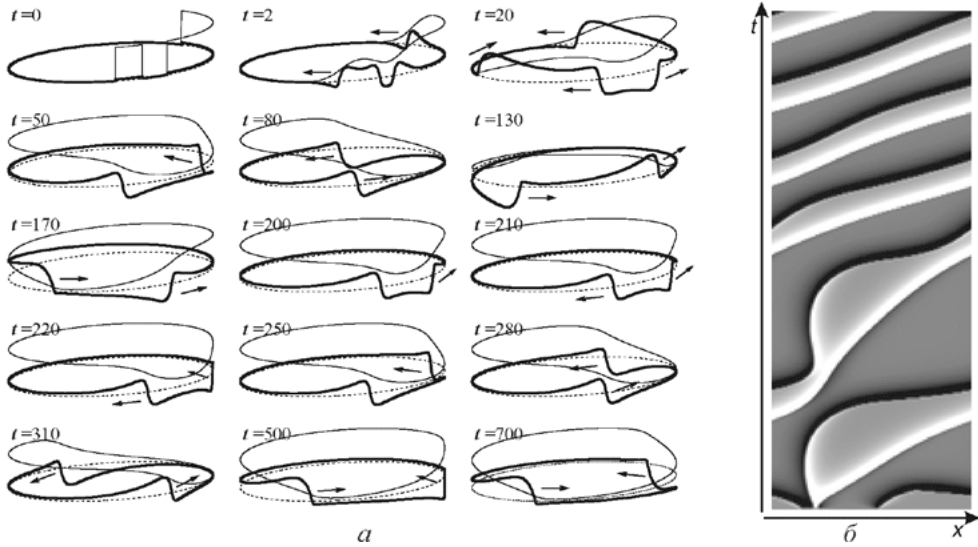


Рис. 9. На рис (а) показаны периодические преобразования W1 и W2. Волновое взаимодействие после начального возмущения двух областей происходит на окружности цикла длиной $L = 70$. Профили волн u (толстая линия – очистка) и v (тонкая линия – загрязнение). На рис (б) показан пространственно-временной график для серого поля $u(x, t)$ – поля очистки через временной интервал $t_{\max} = 700$ условных единиц, x это путь вдоль замкнутой линии по окружности [9]

На рис. 10 и 11 приведены два варианта очистки щелей, т.е. поведение волн при столкновениях с границами. Эволюция взаимодействия волн приводит к режиму, когда волны после столкновений пульсируют (сжимаются и расширяются).

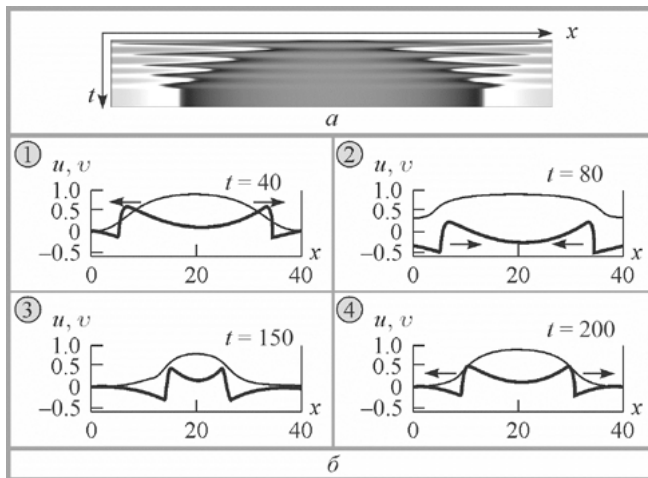


Рис. 10. Взаимодействие волн внутри щели с границами: **а** – график пространства–времени, показывающий полутоновое поле очистки $u(x, t)$. Время отложено сверху вниз от $t = 40$ до $t_{\max} = 200$ усл; **б** – зеркальное отражение профиля волн: u (толстая линия) и v (тонкая линия). Смена направлений движения волны очистки $u(x, t)$ отмечено стрелкой

При этом скорость волны W_2 уменьшается, и её форма превращается в волну W_1 , распространяющуюся в левую сторону. После отражения на границе процессы повторяются. Когда $\Delta_0 = 5$ и начальные условия (W_2) волна W_1 перемещается влево, отражаясь на границе, и принимает форму волны W_2 , распространяющуюся вправо. Процессы повторяются до тех пор, пока скорость не уменьшится до нулевого значения. При отражении происходит зеркальное преобразование формы волн. Форма волны W_1 преобразуется в форму волны W_2 , а прежняя форма волны W_2 преобразуется в форму W_1 . Это зеркальное преобразование приводит к тому, что процесс *загрязнение – очистка* «дышит» (рис. 10а), выбрасывая шлаки за пределы щели.

Принятые параметры в данном примере следующие: размер щели $L = 40$ усл. ед., $\Delta_0 = 5$, $D_u = 0,077$ и $a = 0,01$. Без притока энергии постепенно колебания волн затухают. Начальное движение волн создаётся возмущением небольшой центральной области среды при взаимодействии пульсации нейронов, вызывающих пульсацию астроцитов в момент $t = 0$. Источником этих колебаний является периодическое изменение направления распространения за счет отражения волн от границ.

Примеры различных возникающих паттернов волновых взаимодействий, которые могут возникать при разных соотношениях параметров в модели, описываемой системой выражении (16) и (17) показаны на рис.11.

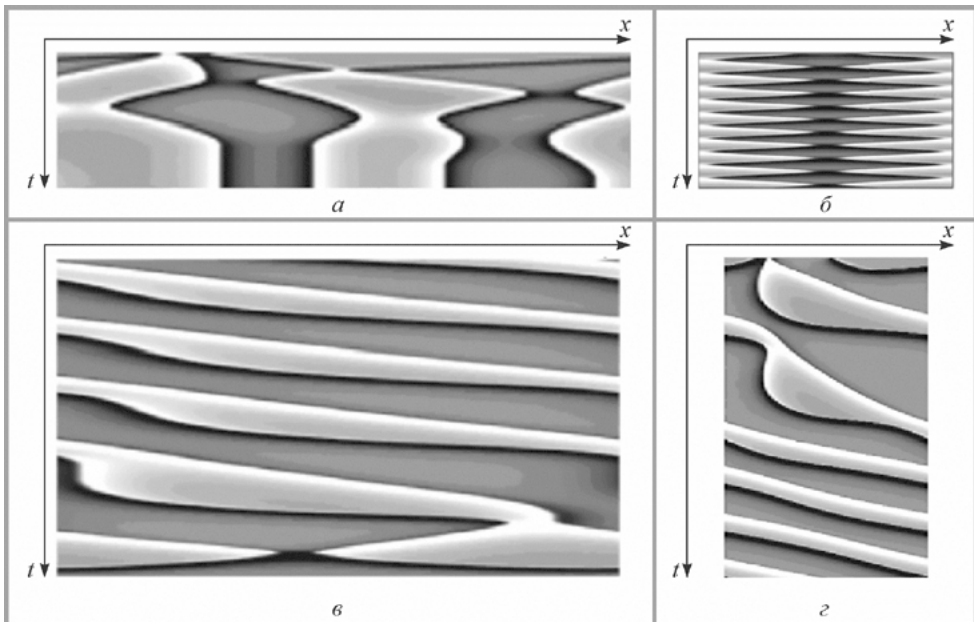


Рис. 11. Разнообразие волновых паттернов, которые возникают при взаимодействии волн очистки и загрязнения [9]

Наконец, последний вопрос: почему срок нормальной работы мозга ограничен? Он ограничен тремя причинами:

1. Уменьшение запасов жидкости с возрастом в организме в силу увеличения плотности всех его структур по мере их старения;
2. Понижение энергетических возможностей всех систем организма в целом;
3. Увеличение вязкости всех жидкостей (крови, ЛЖ, СМЖ) в связи с уменьшением количества воды.

Организм взрослого человека на 65–70% состоит из воды. Процентное суммарное уменьшение содержания воды в организме в целом показано на диаграммах рис. 12 (левая диаграмма).

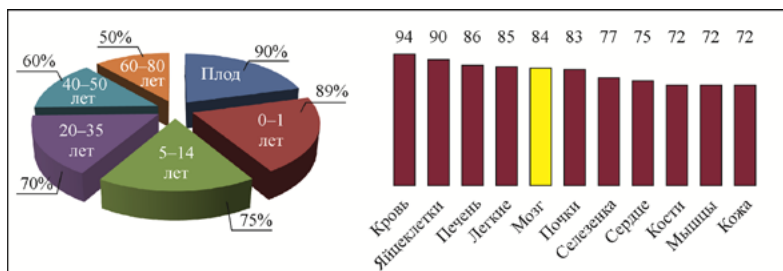


Рис. 12. Изменение общего суммарного процентного содержания воды в организме с возрастом (диаграмма слева). Процентное содержание воды в органах человека в зрелом возрасте (диаграмма справа)

В заключение следует отметить, что математические модели сложных процессов можно разбить на два больших класса, так называемые, феноменологические и концептуальные модели.

Феноменологические модели формируются на основе уже обнаруженных экспериментальных фактов, характеризующих поведение системы. С помощью таких моделей можно получить численное описание динамических явлений, происходящих в объекте. Их построение предполагает движение от эксперимента к модели.

Концептуальные модели наоборот представляют собой изучение набора суждений, на основе которых выдвигается гипотеза о возможных механизмах явления. Результат таких моделей – выявить справедливость выдвинутой гипотезы и представить доказательство в наглядной форме. В этом случае движение идет от математической модели к объекту (эксперименту).

Описанные выше модели занимают промежуточное положение между концептуальными и феноменологическими моделями. Они объединяют оба эти подхода к решению задачи. В них опущены многие детали реальных процессов, но они наглядные. Их цель – простыми компьютерными средствами выявить динамику волн загрязнения и очистки при изменении правил волнового взаимодействия. Чтобы научиться управлять этими волновыми процессами в мозгу человека, необходимо перейти от концептуальных моделей к феноменологическим моделям. Для этого нужны дополнительные количественные дан-

ные о работе нашего мозга, как в состоянии его бодрствования, так и сна. Пока этих данных недостаточно.

Описание процессов старения мозга на языке волновой механики с использованием имитационных расчетных моделей удобнее, чем на языках других разделов математики. Волновая механика дает объединение языков из многих разделов математики: топологии, вариационного исчисления, комплексного анализа [109, 110]. В результате возникают наглядные метаморфозы образов, которые легко сравнить с образами, наблюдаемыми в эксперименте.

Подводя итог рассмотрению волновых взаимодействий в тканях мозга, следует сделать вывод, что этот процесс напоминает явление, происходящее при стирке загрязненных тканей. В тканях мозга подобный процесс отличается лишь реализацией, поскольку «стирка» идет в нанометровом масштабе.

Чтобы освободить ткань от загрязнения наши прапрабабушки стирали её с помощью скалки и стиральной доски. Мокрую ткань сначала ударяли скалкой, потом терли о стиральную доску, а затем полоскали в воде. Эту операцию повторяли многократно.

Подобную последовательность операций мы наблюдаем по изменению волновых образов. Сначала имеет место скачок скорости (удар), затем затухающая синусоида (трение) и диффузионное перемещение (полоскание).

Последовательные взаимодействия «нейрон↔астроциты» и «мозг↔сердце↔диафрагма лёгкого» выполняют очистку от «шлаков» в два этапа. Первый этап концентрирует взвесь «шлаков», второй – за счёт мышечных систем – их выведение. Пульсирующая подвижность сердца и лёгких двигает ЛЖ и СМЖ наиболее активно во время сна.

Возникает ряд вопросов. Можно ли коре мозга извне помочь с процессом самоочистки, создав, фигурально выражаясь, «стиральные порошки», способствующие отмыванию «шлаков»? Можно ли сделать силовые системы, которые могли бы дистанционно в стареющем организме подталкивать в определенных фазах быстрого сна появляющиеся волны самоочистки в мозгу? Наконец, можно ли создать стимуляторы, ускоряющие движение мозговой жидкости? Пока эти вопросы остаются без ответа.

С возрастом количество воды уменьшается во всех органах, а плотность органов, включая мозг, растет. К 70–80 годам количество жидкости в мозгу уменьшается почти в 1,5 ÷ 2 раза. Соответственно увеличивается вязкость среды, окружающей нейроны, что препятствует выведению «шлаков».

5. ВЫВОДЫ

Из изложенного выше следует десять выводов, которые намечают дальнейшие пути замедления старения мозга и лечения нейродегенеративных заболеваний.

1. Как показали результаты математического моделирования, изложенные выше, на уровне подсистем в триаде отображения: {внешняя среда→мозг↔ор-

ганы тела} именно среднее звено – мозг является главным звеном, управляющим устойчивостью волновых взаимодействий организма в целом.

2. Кора мозга в циклическом взаимодействии с телом через подкорковые структуры управляет частотой работы сердца, частотой дыхания и другими органами, что обеспечивает формирование набора волновых паттернов, отвечающих компромиссу в поиске устойчивости между изменениями внешней среды, тела и мозга. Новая кора отличает человека от животного, поэтому эксперименты на животных в ряде случаев не приводят к успеху в желании получить эффективный способ борьбы с нейродегенеративными заболеваниями человека.

3. Новая кора каждого человека – индивидуальна, поскольку она отличается от других определяемых в основном генетикой образований организма. В коре содержится память о накопленном жизненном опыте и приобретенных навыках работы с получаемой информацией. Новая кора не только отличает нас от животных, но её наполнение отличает одного человека от другого. Память реализуется набором управляемых связей между паттернами, формируемыми нейронными кластерами.

4. Вмешательство в работу коры мозга извне, чтобы помочь ему самоочищаться, происходит вслепую, и может привести к успеху лишь с вероятностью $p = 1/n$, где n – количество разнообразных ситуаций. Если $n \rightarrow \infty$, то вероятность $p \rightarrow 0$. Отсюда следует очевидный результат – необходимо знать пространственно-временную динамику смены паттернов разной формы, т.е. иметь метод их регистрации и распознавания во времени и в пространстве на одном и том же мозге, которому предстоит лечение. В противном случае управлять очисткой мозга от «шлаков» невозможно.

5. Процессы, которые идут на клеточном уровне в нейронных сетях и в их межклеточном пространстве во времени происходят в миллисекундном диапазоне, а в пространстве – в диапазоне нанометров. Арсенал необходимых экспериментальных методов для наблюдения и распознавания формы их волн в пространстве и во времени, к сожалению, пока отсутствует.

6. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) имеет невысокое временное разрешение (≈ 10 с). Этого недостаточно, чтобы различать динамику паттернов и распознавать их форму. Электроэнцефалография (ЭЭГ) достигает временного разрешения до 2 мкс, но имеет низкое пространственное разрешение. В результате мы наблюдаем взаимодействие нейронных групп лишь интегрально. Волновой паттерн размазывается по пространству и его границы и переходы практически не наблюдаются. Вживление микро-электродов повысило бы пространственное разрешение, но этот метод – инвазивный и его использовать на человеке нельзя. Наконец, функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) позволяет регистрировать изменение потребления кислорода, а, следовательно, скорость метаболических процессов. Её пространственное разрешение – порядка 1 мм, а временное – порядка 2 с, этого также недостаточно. Большие надежды возлагаются на развитие нейрофотоники. Формально временное разрешение этого метода неограниченно, а пространственное разрешение определяется длиной волны используемого света. Однако, методы нейро-

фотоники также являются инвазивными с вытекающими отсюда недостатками и неопределенностью получаемых результатов.

7. Если бы удалось поднять пространственно-временное разрешение фМРТ на два порядка, то можно было бы реализовать мечту Джона фон Неймана по управлению *неустойчивыми режимами*, подталкивая волны очистки в регистрируемых фазах в коре мозга точно отмеренными слабыми импульсными магнитными толчками в нужном направлении к устойчивому состоянию [89]. Это помогло бы ускорить удаление «шлаков», что способствовало бы лечению болезни Альцгеймера. В XXI веке ряд фирм начали выпуск приборов для стимуляции мозга извне с помощью магнитного поля.[111]. Напомним, что ещё в XIX веке. Жак Арсен д'Арсонваль (*Jacques Arsène d'Arsonval*) использовал переменное магнитное поле для стимуляции нейронных структур [112]. Возбуждение зрительных областей коры с помощью внешних полей приводит к появлению фантомов в виде образов. Например, *синестезия* – слияние ощущений цвета и звука или букв и цвета относится к подобным, возникающим и фиксируемым в памяти ситуациям [113]. Удастся ли таким способом безопасно стимулировать очистку мозга? Пока ответа нет.

8. Условно алгоритм процесса очистки мозга от «шлаков» можно представить в виде четырех последовательных стадий:

(1) *понижение размера частиц «мусора»* (на клеточном уровне это расщепление крупных «шлаков», т.е. неправильно свернутых молекул белка и их конгломератов);

(2) *перенос «мусора» в контейнеры* (выброс мелкого «мусора» из клеток в межклеточное пространство, а из межклеточного пространства в зоны, не нарушающие работы нейронной сети);

(3) *перенос «мусора» в подвижную жидкость* (перемещение «мусора» лимфатической жидкостью в венозную кровь);

(4) *выброс «мусора» во внешнюю среду* (очистка и удаление жидкости через печень и почки).

После расщепления белков часть аминокислот используется для строительных нужд самих клеток мозга.

9. Существует метод лаважа легких (введение промывающего раствора в дыхательные пути с последующим выведением вместе с мокротой «шлаков»). Возникает вопрос: нельзя ли промывать мозг с помощью особой смеси с умеренным липофобно-гидрофобным индексом? Такой жидкостью могли бы быть, например, перфторуглеродные эмульсии, частицы которых покрыты поверхностно-активным веществом. Такие предварительные исследования были проведены в начале 1990-х годов в Днепропетровском мединституте и в Киевском НИИ нейрохирургии [114–116]. Они показали эффективность таких эмульсий в эксперименте на животных, а в ряде случаев и в клинике [117]. Будущее покажет, удастся ли создать эффективную эмульсию для лаважа мозга и технические приемы по управлению неустойчивыми режимами в мозгу.

10. Математические имитационные модели являются существенным дополнением к экспериментам с животными. Достоинствами математического

моделирования является вскрытие неопределенностей и тем самым формулировка гипотез, позволяющих найти кратчайшей путь к поставленной цели – предотвращению и эффективному лечению нейродегенеративных заболеваний.

• • •

В заключение этой главы попытаемся дать ответ на фундаментальный, метафизический вопрос. Что первично информация или её материальный носитель? Казалось бы, что всегда первичным является материальный носитель, а его информационное содержание является его характеристикой. В реальности ситуация более сложная, поскольку одно и то же сообщение можно передать с помощью разных материальных носителей и одни и те же носители могут передавать разную информацию.

В состоянии бодрствования мы получаем информацию с помощью рецепторов наших органов чувств. Носителями информации служат кванты света (зрительные изображения), изменение плотности воздуха (звуки, которые мы слышим), изменение шероховатости контактирующей с нашим телом поверхности и т. п. Смысл всей поступающей в нас информации мы проверяем действием – движениями частей тела. При этом наш мозг обобщает информацию и строит внутри себя модель ситуации, имеющей место во внешней среде в данный момент. Когда мы спим, наш мозг оперирует со своей внутренней моделью. Она поставляет информацию, создавая сновидения. При этом перенос информации происходит лишь с помощью работы нейронных сетей.

Кроме того информацией для зрячего человека могут быть зрительные символы в виде текста, написанного на камне, бумаге, песке и т.п. Содержание информации для слепого человека – это осязаемые символы, подобные системе Брайля, т. е. нанесенные на носитель в виде выпуклостей и вогнутостей рельефа.

Следовательно, можно сделать вывод: *дискретный мир с объективно существующей материальной иерархией носителей следует дополнить параллельно с ним существующим дискретным, иерархическим миром символов, заключающих в себе информацию. Живая и мыслящая материя развивается во времени на границе этих миров.*

Этот вывод примиряет вечный спор между материалистами и идеалистами, а также между атеистами и теологами. Остается вопрос: что возникло раньше носитель или информационный символ? Ответ: они возникли одновременно. Первый носитель, как объект, имел информационное содержание, даже в том случае, что не было наблюдателя, который мог бы заинтересоваться этой информацией. Это утверждение переключается с гипотезой Лейбница о простейшей «монаде» (подробнее о его гипотезе смотрите в следующей главе) или с идеей пифагорейцев об особом значении «единицы» в любых математических построениях, о которой мы писали в первой главе.

Чтобы пояснить вывод, выделенный выше курсивом, обратимся к истории. Древнегреческий философ Гераклит Эфесский (даты жизни его точно не из-

вестны: приблизительно 544–483 года до н. э) был основоположником диалектики. Ему приписывается фраза: «Всё течёт, всё изменяется».

Благодаря Аристотелю, Гераклит стал известен пятью своими доктринами, наиболее важными для общей интерпретации его диалектического учения. Четвертая его доктрина гласила: «существует тождество противоположностей, со стремлением к переходу из одной противоположности в другую».

Это доктрина сводилось к следующим логическим преобразованиям, вызывающих изменения ситуаций. Если А есть источник В, а В источник С, а С обращается в В, а затем в А, тогда В аналогично источнику А и С, а С является источником для А и В. Не существует никаких особых причин для продвижения одного элемента или вещества в качестве возмещения расхода другого вещества. Любое вещество может обращаться в любое другое. Единственное постоянное в этом процессе – это логический закон изменения, на основе которого устанавливается порядок и последовательность изменений [118]. Отсюда следует следующая запись:

если $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow B \rightarrow A$, то при развертке во времени будет $B \rightarrow A$ и $B \rightarrow C$, а С есть источник А и В, приводящий к развитию.

Примем, что в ней А есть материальный мир носителей информации, В – виртуальный мир информации, « \leftrightarrow » – символ означающий *операцию перехода*, С – граница связи этих миров, приводящая к объединению носителя с информацией и вызывающая действие.

Если действительно Гераклит думал так, то разрабатываемая им философская система далеко выходила за рамки философии того времени. Она являлась основой современного взгляда на кинетику биофизических процессов с использованием информационных технологий, которые доказывают, что *смысл информации, вызывающей действие*, есть основа любого развития.

Глава 4

ИЛЛЮЗИЯ ПОЛЁТОВ ВО СНЕ

Всякому, на первый взгляд, мистическому явлению со временем найдётся вполне земное, биофизическое объяснение.



Показано, что для объяснения полётов во сне нет необходимости прибегать к экзотерическим гипотезам. С позиций биофизики феномен «полёта во сне» основан на уже изученных адаптационных механизмах, суточных ритмах и понижении порогов возбуждения мозга во сне. Рассмотрен один из механизмов, провоцирующих иллюзию полётов во сне, который связан с изменениями позы сна, воспринимаемый мозгом в быстрой фазе сна как уменьшение веса тела. При определенных условиях он может вызывать иллюзию полёта.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Циркадные ритмы

На протяжении нескольких столетий пытались объяснить: почему в быстрой фазе сна у людей иногда возникает ощущение полёта. Было выдвинуто много гипотез в попытках объяснить этот феномен. С одной стороны, Интернет сегодня засорен спекуляциями на тему полётов во сне [1–4]. Примерами могут служить попытки доказать возникновение чувства полёта:

- наличием астральной души;
- генетической памяти о далеких предках, живших на деревьях и летающих с ветки на ветку подобно обезьянам;
- проявлением скрытых комплексов человека, т.е. тайных желаний властвовать и подавлять конкурентов;
- попытками выйти за рамки социальных ограничений и условностей, связанных с возникновением сексуальных проблем и т.п.

Можно с уверенностью утверждать, что все эти гипотезы основаны на предположениях, экспериментальные доказательства которых отсутствуют.

С другой стороны, нейрофизиологические исследования показывают, что кора нашего мозга и структуры подкорки – это органы, обрабатывающие ин-

формацию, поступившую по рецепторным каналам извне. С помощью нейронной активности они за счет роста дендритных связей формируют паттерны в нейронных сетях, и создает из них внутри мозга виртуальную модель внешней среды [5]. Кора мозга и подкорковые структуры, прежде всего гиппокамп, распознают картины внешнего мира, выделяют их существенные признаки, обобщают полученную информацию путем её сжатия, а результат обобщения запоминают. Работа мозга с этой виртуальной моделью позволяет обеспечить динамическую устойчивость организма в целом [6].

С позиции биофизики феномен «полёта во сне» можно объяснить, опираясь при этом на экспериментально изученные циркадные ритмы нашего организма. Человек, как всё живое, – это самоорганизующаяся система, далекая от равновесия, которая адаптирована к суточным изменениям параметров внешней среды (колебаниям температуры, давления и гравитационного поля Земли) [7]. Сегодня механизм появления циркадных ритмов в значительной степени изучен. Более того, в 2017 году за открытие молекулярных механизмов, контролирующих циркадный ритм трем исследователям – Джеффри Холлу (J. Hall), Майклу Росбашу (M. Rosbash) и Майклу Янгу (M. Young) – была присуждена Нобелевская премия [8].

Циркадные ритмы каждого человека индивидуальны и несколько отличаются от 24-часового суточного ритма. Однако, внешние условия (длительность дня и ночи и другие параметры) подтягивают циркадный индивидуальный ритм человека к суточному 24 часовому ритму внешней среды [9]. Если человека изолировать от внешней среды, поместив, например, в глубокий бункер, куда не проходят внешние сигналы, то постепенно интервалы 24-часовых ритмов времени сна (темные полосы) смещаются. Диаграмма суточной активности человека в отсутствие внешних сигналов показана на рис. 1.

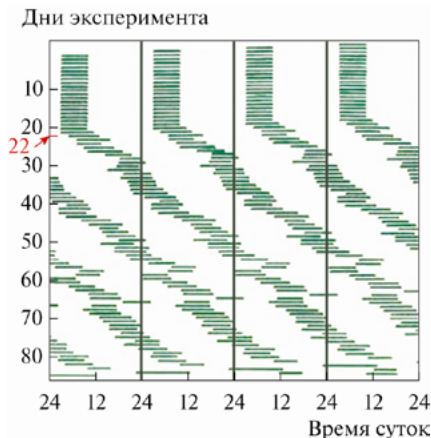


Рис. 1. Диаграмма суточной активности здоровых людей, изолированных от внешней среды в бункере. Диаграмма демонстрирует смещение длительности сна – бодрствования: зеленые полосы – это сон; светлое поле между ними – бодрствование. Смещение положение на шкале времени суток показаны сплошными линиями. Отклонение от суточного времени внешней среды начинает проявляться, усиливаясь, с 22 дня нахождения в бункере [7]

Как только человек оказывается в темноте и изоляции (приблизительно на 22-й день эксперимента), его часы уходят от 24-часового ритма. При этом выявляется собственный внутренний циркадный ритм человека, который отличается от 24 часов. Период сна (засыпание и пробуждение) приобретают характер свободного смещения, и каждый день, сдвигаясь, слегка колеблется [7]. Изучение длительности колебаний ритма в группе 157 человек показало отклонение значения их собственных циркадных ритмов от суточного ритма:

среднее значение для всей группы:

$24,15 \pm 0,2$ ч (24 ч 9 ± 12 мин),

для женщин средняя длительность:

$24,09 \pm 0,2$ ч (24 ч 5 ± 12 мин),

для мужчин средняя длительность:

$24,19 \pm 0,2$ ч (24 ч 11 ± 12 мин).

При этом период меньше 24 часов наблюдался у 35% женщин и у 14% мужчин. Как было показано в главе 3, не вся длительность сна сопровождается сновидениями.

Исследователи ритмов давно пришли к выводу о существенной роли в проявлении суточной ритмики не только нервной системы, но и эндокринной системы человека, т.е. изменения активности синтеза разного набора гормонов в течение суток (таблица 1)

Табл. 1. Изменение физико-химических параметров организма человека в течение суток

Часы суток	Показания физиологической и гормональной активности
7, 5	Прекращение синтеза гормонов сна, прежде всего мелатонина
9	Наибольший синтез половых гормонов, прежде всего тестостерона
10	Наибольшая активность организма
14–15	Повышение реакции организма и координации движений
17	Наивысший мышечный тонус
18,5	Наивысшее кровяное давление
17–19	Наивысшая температура тела
21	Начало секреции гормонов сна, прежде всего мелатонина
22,5	Торможение работы кишечника
23	Максимальный синтез мелатонина
24	Секреция гормонов роста
2	Наиболее глубокий медленный сон
2–5	Наиболее низкая температура тела

Часы суток	Показания физиологической и гормональной активности
6	Увеличение синтеза кортизола – гормона, который образуется в коре надпочечников. Этот гормон вызывает «стресс», эмоционально и интеллектуально мобилизуя организм на предотвращение чего-либо (дефицита пищи, финансов и т.п.). Порождает неприятные сны, проигрывая разные опасные ситуации и повышая энергетическую активность организма. Он связан с начальным этапом повышения температуры.

Итак, интенсивность физиологических функций колеблется в соответствии с циклом чередования сна и бодрствования и укладывается в 24-часовые рамки суточных ритмов. Если мы при измерениях не учитываем наличие циркадных ритмов, то получим в последовательности замеров почти хаотическую картину, в которой прослеживаются лишь верхние и нижние пределы. Например, во второй половине дня порог болевой чувствительности возрастает (рис. 2а) [7].

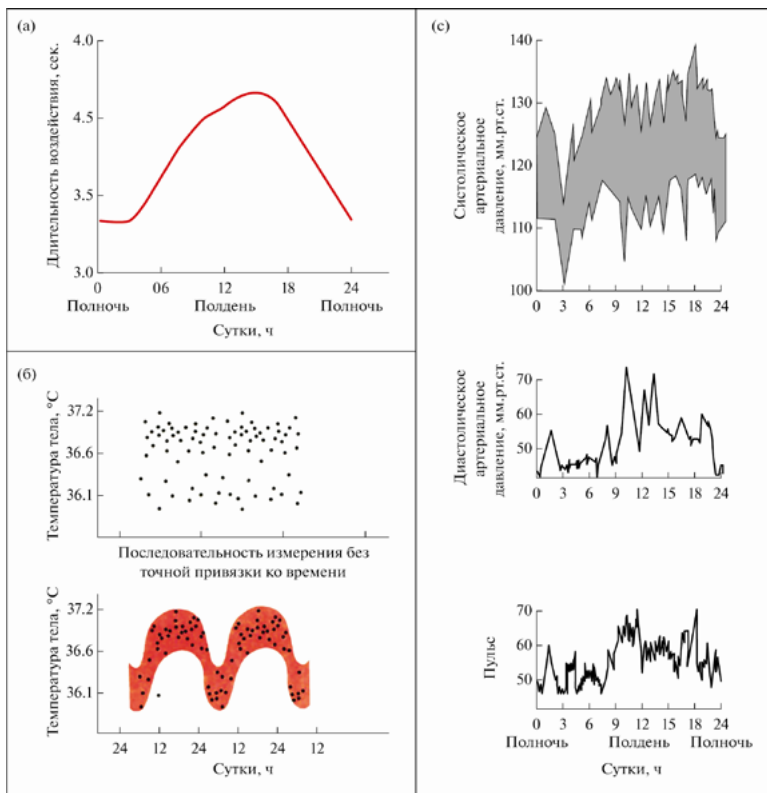


Рис. 2. Примеры влияния циркадного ритма на значение физиологических параметров человека: *а* – суточные изменения порогов чувствительности холодного воздействия, *б* – учёт циркадного ритма при измерениях разбросов, на примере измерения температуры тела [7], *в* – изменение величины артериального давления и пульса в течение суток здорового человека в зрелом возрасте

Как видно из графика самый большой порог приходится на день в 15 часов, а минимальный на полночь. В дневное время необходим более продолжительный стимул, чтобы человек почувствовал воздействие.

Если температуру тела человека измерять без привязки ко времени суток, то мы получим близкое к нормальному распределение значений температур (верхний график на рис. 2б). Если учитывать в процессе измерения фазу циркадного ритма, то значения температур расположатся в рамках этого ритма (нижний график на рис. 2б). Другой пример: самые низкие величины артериального давления находятся в пределах 3–5 часов ночи. В предутренние часы начинается подъем артериального давления и увеличение частоты пульса (рис. 2в).

• • •

Следует отметить, что в зрелом возрасте в памяти любого человека содержатся картины окружающего мира, воспринятые с высоты. Появление подобных картин связано с впечатлениями, полученными ранее, начиная с детского возраста. Эти картины человек мог наблюдать, находясь на горе, или в кабине самолета, или на воздушном шаре, или через окно небоскреба, или на фотографиях и в сюжетах кинофильмов. Оперирруя с памятью, человек может многократно в течение жизни вызывать этот сюжет из памяти (если он произвел на него сильное впечатление), а во снах воспроизводить его. Пока к старости эти сюжеты не будут вытеснены из его памяти другими более актуальными для его возраста картинами поздних впечатлений [10, 11]. Наша задача показать, как происходит подобный процесс.

В быстрой фазе сна со сновидениями сюжет подобных картин может быть воспроизведён не только самовозбуждением структур мозга, но и спровоцирован внешними стимулами, похожими на те стимулы, которые в прошлом сопровождали запоминание этих картин. Такими стимулами может быть звук, похожий на рёв мотора самолёта, который идет на посадку; дуновение ветра, запах травы, похожий для человека, когда тот находился на вершине горы; неприятные ощущения сквозняка, напомнившие порывы ветра на воздушном шаре; уменьшение давления после остановки скоростного лифта гостиницы – небоскрёба, через окна которого человеку довелось в прошлом видеть заинтересовавшие его сюжеты жизни улиц города, наблюдаемые через окно с верхних этажей и т.п. Как будет показано ниже, в основе иллюзии полёта во сне лежит совпадение фаз случайного внешнего раздражителя с фазой понижения порога возбуждения систем мозга, содержавших память о прошлых впечатлениях от картин, наблюдаемых с высоты.

Во сне все системы человека, включая мозг, работают с понижением порогов возбуждения. Исключение составляет зрение. В сновидениях канал зрения отключен от внешней среды, поскольку глаза закрыты веками. Однако при сновидениях глазные яблоки под закрытыми веками двигаются. Через зрительный канал человек в быстрой фазе сна наблюдает картины запомненных сюжетов, извлекаемые из памяти. Наводит порядок в своей памяти [12].

В силу понижения порогов для возбуждения сигналов в рецепторных каналах и в мозге ночью, в быстрой фазе сна для возбуждения мозга достаточны слабые стимулы. Слабый внешний раздражитель может вызвать сильные последствия. Он может спровоцировать возникновение потенциала действия, который в свою очередь спровоцирует перенос медиатора от нейрона к нейрону. Достаточно возбудить по одному из каналов рецепции первичный нейрон сети памяти, а далее через него возбудится вся сеть ассоциативной памяти¹. Если при этом возбуждающий стимул не прерывается некоторое время, то приходящие потенциалы действия будут продолжать запускать воспоминания, так как высокое содержание Ca^{2+} в окончании чувствительного первичного нейрона определяет путь дальнейшего распространения возбуждения, и оно сохраняется. Если же сделать паузу в стимуляции, то Ca^{2+} будет удален, и продолжение возбуждения прекратится, а, следовательно, сюжет сновидения прервётся. При этом человек проснётся, иногда сожалея (если сновидение имело позитивное содержание) о прерванном сне.

1.2. Постановка задачи

Поскольку вызвать иллюзию полёта могут разные рецепторные системы: слух, обоняние, тактильность, сигналы вестибулярного аппарата, то далее мы для более детального объяснения этого процесса, ограничимся лишь одним примером из области осязания – чувством барометрического изменения. Сосредоточимся, прежде всего, на температурной суточной ритмике, поскольку она, с нашей точки зрения, наиболее полно отражает суточные изменения энергетики организма, которые часто определяют позу сна. Как будет показано ниже, динамика смены позы сна может спровоцировать иллюзию полёта во сне. Надеюсь, что из этого примера станет ясен общий механизм возникновения иллюзии полёта при разных стимулах вызывающих его возникновения. Здесь последовательно будут даны ответы на следующие семь вопросов.

1. Почему во сне температура тела снижается?
2. Почему человек засыпает чаще всего в позе «эмбриона»?
3. Как меняются фазы сна?
4. Как меняется давление опоры на тело человека при изменении позы во сне?
5. Какова во сне продолжительность сюжетов сновидения?
6. Как динамика смены поз провоцирует во сне иллюзию полёта?
7. Какова роль зрения и осязания в полётах во сне?

Надеюсь, что после ответов на эти вопросы, читателю станет ясно, из чего и как складывается механизм, вызывающий виртуальное чувство полёта во сне.

¹Напомним, что ассоциативное обучение основывается на образовании связи (ассоциации) между двумя или более стимулами. При этом на первичный нейрон одновременно подаётся сигнал и от некоторого незначительного стимула, и от центра положительного его подкрепления из гипоталамуса.

2. ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ

2.1. Почему во сне температура тела снижается?

Из экспериментов известно, что средняя температура здорового взрослого человека в состоянии бодрствования наиболее часто равна подмышкой $36,6^{\circ}\text{C}$, внутри тела $\sim 37^{\circ}\text{C}$. Однако в течение суток возникают отклонения в ту или иную сторону, нормальным для здорового тела в состоянии средней активности можно считать температуру под мышкой от $36,2^{\circ}\text{C}$ до $37,3^{\circ}\text{C}$. Это зависит от индивидуальных особенностей организма. На температуру влияют пол и возраст. У девочек температура тела стабилизируется к 13–14 годам, а у мальчиков – примерно к 18 годам. Средняя температура тела мужчин примерно на $0,5^{\circ}$ – $0,7^{\circ}\text{C}$ ниже, чем у женщин. К вечеру температура понижается, к утру повышается. Разница между утренней и вечерней температурой достигает $0,5^{\circ}$ – $1,4^{\circ}\text{C}$ (рис. 3)



Рис. 3. Пример изменения в течение суток температуры тела одного из взрослых мужчины в зрелом возрасте [13.]

Н. Клейтман (N. Kleitman) в своей известной в XX веке книге «Сон и бодрствование» [14] отмечает: «...влияние сна на снижение температуры тела уже давно было предметом дискуссий. Никто не сомневается в том, что ночью температура тела падает, и легко представить себе, что это результат отдыха в горизонтальном положении и расслабления мышц. Однако тот факт, что температура начинает снижаться задолго до сна и совершает свой обычный суточный цикл, даже если человек бодрствует всю ночь, расценивали как указание на то, что сон – не прямая причина низкой ночной температуры».

Клейтман – прав, отмечая, что «сон – не прямая причина низкой ночной температуры». Скорее наоборот снижение температуры есть причина, провоцирующая человека занять горизонтальное положение и погрузиться в сон.

Суточный ритм изменения температуры тела человека (как и других физико-химических показателей организма) – это генетически зафиксированное естественным отбором явление в виде циркадного ритма [9]. Следуя суточному ритму, наиболее низкая температура тела (как показано на этом графике) отмечается утром, около 5–6 часов, а максимальное значение достигается вечером в 18–19 часов. Ритм изменения температуры следует суточному циклу вращения Земли, т.е. смены дня и ночи [15].

В ночное время суток биоритмы замедляются, во сне тело расслабляется и теряет активность. Сердце сокращается с частотой порядка 1 Гц (пульсация сердца 60–70 сокращений в минуту) иногда и с меньшей частотой, а частота дыхания у людей в возрасте 25–30 лет – в среднем 16 вдохов / выдохов в 1 мин, т.е. 0,06 Гц. Во время сна температура поверхности человеческого тела у женщин снижается до 35,7°C, у мужчин до 35,1°C. Температурные различия между внутренними органами могут достигать нескольких десятых градуса. Разброс температуры внутренних органов, мышц и кожи может составлять до 50 –10°C [16].

2.2. Почему человек засыпает чаще всего в позе «эмбриона»?

В начале XXI века было выяснено в какой позе люди проводят большую часть сна. Оказалось, что в изученной выборке людей 54% спят лежа на боку, 37% предпочитают лежать на спине, а 7% лежать на животе [17].

Отметим, что человек не может спать стоя. Такая поза сна возможна лишь в условиях невесомости, например, на космической станции. На Земле вертикальное состояние требует постоянной поддержки устойчивости тела и является активным процессом. При этом задействованы мышцы ног, спинной и головной мозг и вестибулярный аппарат [18]. В вертикальном положении тела центр тяжести человека лежит на пересечении трех плоскостей, расположенных под прямым углом друг к другу: сагиттальной, фронтальной и горизонтальной. Установлено, что центр тяжести при этих пересечениях, как правило, находится на 4–5 см выше поперечной оси тазобедренного сустава. В динамике при движениях и наклонах тела центр тяжести смещается. Если он выйдет за пределы вертикальной оси тела, а человек не успеет выдвинуть ногу, чтобы вернуть центр тяжести на вертикальную ось тела, то он упадет. Во сне мышечный аппарат расслабляется. Если человек уснёт стоя, то при расслабленных мышцах под действием гравитационного поля Земли он начнет оседать и проснётся.

Человек может спать сидя, но это не лучшая поза для сна. В этом случае туловище имеет опору, но опора требуется и для головы. В отсутствии опоры её наклоны, из-за расслабления мышц шеи, будут постоянно прерывать сон. Поэтому человек спит лежа, когда размер опоры определяется поверхностью всего тела, соприкасающегося с постелью. Величины поверхностей частей тела взрослого человека представлены в таблице 2.

Табл. 2. Площадь поверхности частей тела взрослого человека

Наименование частей тела	Показатель
Диапазон изменения суммарной площади поверхности кожи	1,5 – 2,4 м ²
Средняя суммарная (100%) площадь поверхности кожи	1,8 м ²
Средняя доля поверхности каждой ноги в суммарной площади поверхности кожи	18%
Средняя доля поверхности каждой руки в суммарной площади поверхности кожи	9%
Средняя доля поверхности головы в суммарной площади поверхности кожи	9%
Средняя доля поверхности туловища в суммарной площади поверхности кожи	37%

Если температура окружающей среды выходит из зоны комфорта, например, не превышает 20°C, то человек, раздеваясь, ложиться, по сравнению с температурой своего тела, в холодную постель. Температура постели в силу термодинамического равновесия со средой равна температуре в комнате, например, 20°C. Чтобы согреться под одеялом он автоматически принимает позу «эмбриона», при которой поверхность его тела, контактирующая с внешней средой, минимальна (рис.4а).



Рис. 4. Вид сверху на позу спящего человека в позе «эмбриона»(а) под одеялом (одеяло на рисунке не указано) и в позе «креста» (б)

По мере нагрева воздуха под одеялом спящий человек через несколько часов автоматически принимает другую позу. Если он предпочитает спать на животе, то это будет, например, поза «креста» (рис. 4б). Приращение поверхности контакта с постелью при переходе от позы «эмбриона» к позе «креста» у разных людей в зависимости от длины рук и ног может достигать до 55–57%.

Любого человека можно рассматривать как термодинамическую систему, которая получает энергию из продуктов питания, выполняет разную механическую работу и выделяет тепло во внешнюю среду. Если обратиться к первому закону термодинамики, то для поверхности кожи человека можно записать тепловой баланс в стандартной форме [19]:

$$M - W_{\min} = h_{CR}(T_0 - T_a) + h_E(e_0 - e_a)/\gamma - R_{ni} \quad (1)$$

где M – величина получаемой энергии с пищей, W_{\min} – величина расхода энергии за счет механической работы организма, h_{CR} – объединенный коэффициент передачи потери температуры от тела путем конвекции воздуха и теплового излучения, T_0 – температура тела, T_a – температура воздуха, h_E – коэффициент потеря энергии телом за счет испарения воды (пота), e_0 – среднее давление пара на поверхности кожи и e_a – давление пара во внешней среды окружения, γ – психрометрический коэффициент² [20], R_{ni} – радиационная энергия, которую поверхность тела поглотила дополнительно к энергии, излученной воздухом при определенной температуре, например, при засветки части тела светом, Солнцем в утренние часы летом [21].

Короче, ложась вечером в холодную постель, человек автоматически принимает позу «эмбриона» и лежит неподвижно, пытаясь согреться. Ближе к утру в 3–6 часов он также автоматически, бессознательно, начинает ворочаться, сбрасывать одеяло, оголяя части тела, чтобы избежать перегрева и достичь комфортных для себя условий дальнейшего сна.

2.3. Как меняются фазы сна?

Когда мы бодрствуем, то происходит активное взаимодействие между одновременно активизирующимися нейронными группами рецепторов. При этом связи между ними усиливаются. Спящий мозг перебирает и комбинирует образы, которые содержатся в его памяти. Эти образы есть отображение существенных и несущественных образов внешней среды, которые воспринял и запомнил мозг ранее в состоянии бодрствования. Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) отражает ритм этого перебора [12].

На вопрос, почему это происходит? Ответ простой. За счет понижения во сне активности мышечных структур тела происходит уменьшение затрат энергии на подвижность организма, что приводит к перераспределению энергии в пользу мозга [22, 23]. По изменению ритмов ЭЭГ было замечено, что сон – это чередование двух фаз медленного (Non-REM-sleep) и быстрого сна (REM-sleep) со сновидениями [24]. В главе 3 в разделе 2-3 «О чем говорят нам ритмы мозга» это явление было рассмотрено подробно. Здесь мы к нему возвращаться не будем.

В стадии медленного сна существенно понижена мышечная активность и имеет место сравнительно постоянная и небольшая частоты дыхания и ритма сокращений сердца. Первый цикл медленного и быстрого сна имеет длительность порядка 1–3 часов. Затем циклы, состоящие из двух стадий, повторяются, при этом уменьшается доля медленного сна, и постепенно нарастает доля быстрого сна (REM-sleep), т.е. сна со сновидениями. В среднем, при полноценном здоровом сне отмечают порядка двух – пяти повторов двух фаз цикла.

²Этот коэффициент γ необходим для того, чтобы размерности для h_E как у h_{CR} были одинаковые, т.е. [Вт·м²·С⁻¹].

Во время быстрого сна (REM-sleep) в мозгу человека нейроны продолжают работать, под закрытыми веками регистрируются движения глазных яблок. В фазе быстрого сна нейроны взаимодействуют почти также активно, как в состоянии бодрствования, хотя зрительные рецепторы под закрытыми веками отключены от внешней среды, мышечные системы тела практически обездвижены. В этой фазе сна телу трудно проявлять активность движения. Перед началом быстрой фазы сна мышечная активность возрастает, что позволяет человеку не осознано менять позу тела во время сна.

2.4. Как меняется давление опоры на тело человека при изменении позы во сне?

Как уже отмечалось выше, в позе «эмбриона» поверхность контакта с постелью минимальна, в позе «креста» максимальна (рис. 4). Перед началом быстрой фазы сна люди часто меняют позу. В общем случае статическое давление постели на тело p равно пределу отношения нормальной составляющей силы F_n к площади опоры s , на которую действует сила:

$$p = \frac{F_n}{s} \quad (2)$$

При горизонтальном расположении постели нормальной составляющей силы является вес спящего человека G :

$$G = mg \quad (3)$$

где m – масса человека, g – ускорение свободного падения. Подставим выражение (3) в выражение (2) и получим величину статического давления:

$$p = \frac{G}{s} = \frac{mg}{s} \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что при увеличении площади опоры s , например, на 43% при переходе от позы «эмбриона» к позе «креста», статическое давление уменьшается. Примем вес человека 70 кг , поверхность его тела в среднем $1,8 \text{ м}^2$. В позе «креста» половина (или более) поверхности тела человека контактирует с поверхностью постели, примем $s = 0,9 \text{ м}^2$. При этом, поверхность тела, контактирующая с постелью в позе «эмбриона», будет $0,513 \text{ м}^2$. Подставим эти значения в выражение (4), получим: диапазон изменения статического давления от $136,5$ до $0,78 \text{ н / м}^2$. В этом диапазоне находятся все позы сна (рис. 5).

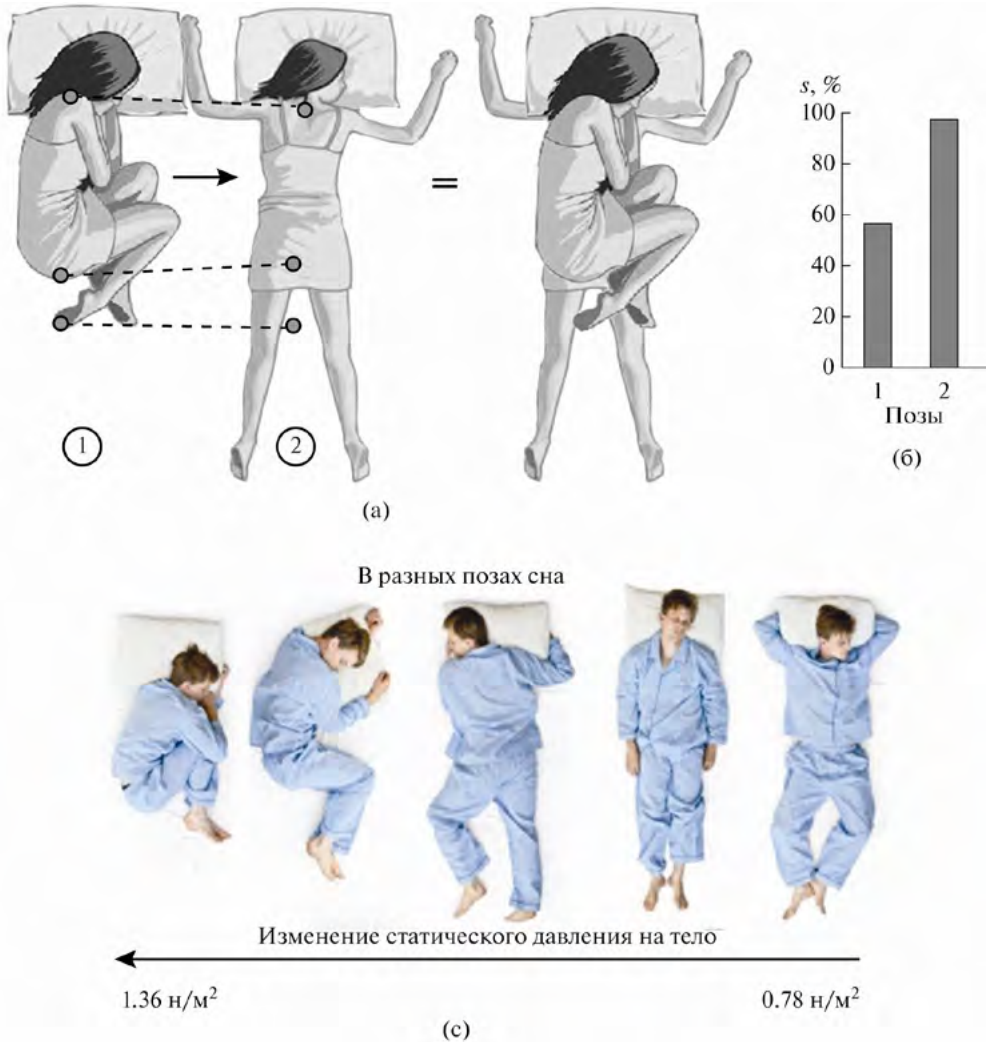


Рис. 5. Изменение поверхности тела, опирающейся на поверхность постели при разных позах сна: а – переход от позы «эмбриона» к позе «креста»; б – этот переход, может увеличить поверхность контакта с постелью до 55 – 57%. Очевидно, что позы, которые принимают спящие, может быть большое разнообразие. На рис. в приведены лишь некоторые из них. Все они укладываются в указанный диапазон изменения статического давления на тело, если человек не страдает ожирением

Примечание: тот же самый результат уменьшения давления можно получить, если уменьшать ускорение g , например, приложив к системе всего организма ускорение a , направленное против вектора ускорения свободного падения, т.е.:

$$p = \frac{m(g - a)}{s} \quad (5)$$

Если ускорение a взять со знаком минус (т. е. торможение) и сделать его равным g , то давление на опору будет равным нулю, т.е. тело станет невесомым. В реальности в состоянии бодрствования на этом принципе основаны некоторые аттракционы, например, «американские горки» или «летающие люди в аэродинамической трубе». Возможно создание невесомости в самолете, который движется по параболе. Когда самолет пикирует вниз, то на 30–40 секунд в его салоне у пассажиров возникает невесомость, поскольку $a = g$. Такие полеты используются при тренировках космонавтов. Левитация³ во сне человека невозможна, поскольку она возникает лишь при наличии внешней силы компенсирующей вес.

Отличие потери веса, описываемое выражениями (4) и (5) состоит в том, что в первом случае мы описываем изменение статического давления путем изменения поверхности контакта, во втором случае мы описываем динамическое изменение давления, компенсируя силу гравитации. Во сне в неизменной позе давление – статическое, при изменении поза во время поворотов тела оно становится динамическим. Как это происходит, изложим ниже.

2.5. Какова во сне продолжительность сюжетов сновидения?

При смене позы «эмбриона», например, на позу «креста» центр тяжести человека описывает траекторию, определяемую поворотами тела. На рис. 6 показаны продолжительности переходных режимов τ и изменения давления p при переходе из одной позы в другую позу.

Если поза длительное время не меняется, то происходит адаптация организма к позе. Мозг человека перестает реагировать на статическое давление. Однако при смене позы ситуация меняется. Источником движущей силы человека при изменении его позы является мышечная ткань.

Для мужчин: нормальное значение мышечной массы – около 45% от всей массы тела, для женщин: нормальное значение мышечной массы – около 35% от всей массы тела [25]⁴. Чтобы осуществить смену позы, часто необходимо повернуть тело на $\pi/2$ радиан, а иногда требуется сделать и более существенный поворот на $2\pi/3$. На повороты требуется затратить дополнительную энергию. При этом в мышцах используется энергия гидролиза АТФ. На анизометрическое сокращение, когда некоторые мышцы удлиняются, а другие сокращаются

³Левитация (от лат. levitas – «лёгкость, легковесность») – преодоление гравитации, при котором субъект или объект летает в пространстве, не касаясь поверхности твёрдой или жидкой опоры. Левитация у людей как во сне, так и наяву невозможна. Демонстрация левитации человека в XVIII и в XIX веках в цирках – это один из фокусов, основанный на иллюзии, когда от зрителей маскируются тяжи, компенсирующие вес тела человека.

⁴Мышечных масс как бы две: первая просто мышечная масса тела (Lean Body Mass) и масса скелетных мышц (Skeletal Muscle Mass). Первая – это искусственное наращивание мышц с целью формирования «красивой» конструкции тела. Весьма распространенное явление XX века, получившее название Bodybuilding, т.е. вид спорта, включающий интенсивные физические упражнения, направленные на увеличение мышц тела. Второе – необходимая и достаточная для жизни мышечная масса, позволяющая эффективно осуществлять разные типы движения.

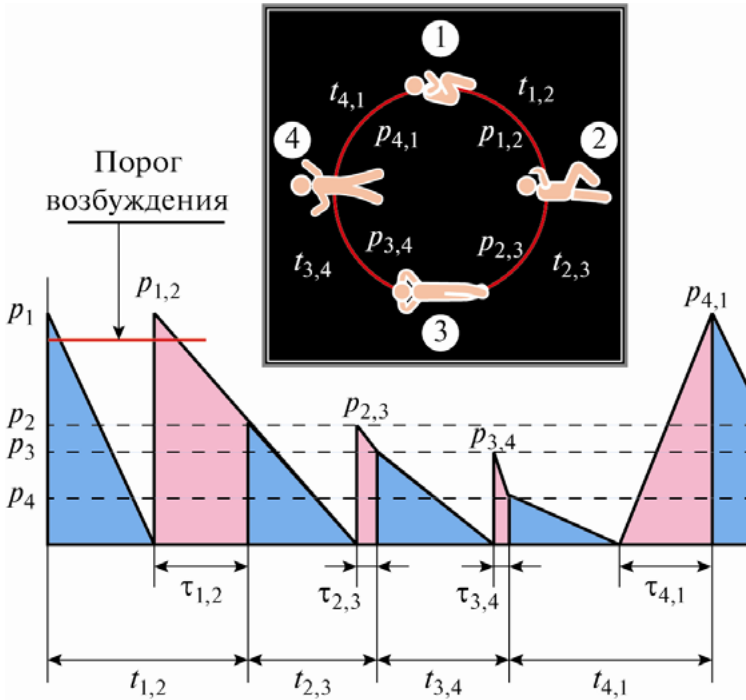


Рис. 6. Переходные режимы давлений и их характерные времена при последовательной смене поз спящим человеком. Синим цветом отмечены интервалы, соответствующие стационарным позам, красным цветом – интервалы, в которых с помощью мышечных усилий осуществляются повороты и смещения тела человека, меняющего позу. Если при смене позы изменение давление превысит порог возбуждения, регистрируемый тактильными (барометрическими) рецепторами кожи, то в затылочной области мозга, куда придёт сигнал, начнётся процесс распространения возбуждения по нейронным сетям

при повороте тела, требуется наряду с энергией и затрата времени. При одином сокращении у медленных мышц время укорочения лежит в диапазоне 40–50 мсек, а у быстрых в диапазоне 2.5–10 мсек. На простую двигательную реакцию у молодого человека затрачивается порядка 150–200 мсек. Чем большую массу требуется повернуть, тем больше затраты времени. В результате динамический переход может занять время не менее 2–8 секунд.

Что касается зрения, то анализатор сетчатки глаза может распознавать движение в картинах сюжета за время смены 4–5 картин. Например, всем хорошо известно, что частота смены кадров, принятая в современном кинематографе, в телевидении и в компьютерной графике равна 24 кадра в секунду или 0,042 Гц, т.е. кадр занимает время 42 мс. Следовательно, времени 170–210 мс достаточно для восприятия сюжета как в состоянии бодрствования, так, по-видимому, и в сновидениях. Отсюда имеем, что за 8 секунды в сновидениях можно увидеть больше 12 смен картин с разными сюжетами. Короче, сновидение может продолжаться недолго, а наше субъективное его восприятие создает иллюзию его большой продолжительности.

2.6. Как динамика смены поз провоцирует во сне иллюзию полета?

Время вращения τ при смене поз зависит от шести параметров:

$$\tau = f(m, F_{mp}, \alpha, \mu, k, x) \quad (6)$$

где m – масса тела, F_{mp} – сила вязкого трения, α – коэффициент, определяющий величину мышечной массы рук и ног в общей массе тела m , μ – коэффициент вязкого трения, k – коэффициент сокращения мышц рук ($k = ES$, E – модуль Юнга, S – площадь поперечного сечения укорачивающихся мышц), x – длина пути смещения центра тяжести. Если, человек спит на досках без матраса, то трение будет близким к сухому трению. Если он спит на мягкой постели, то трение близко к вязкому трению.

Важно отметить, что для вращения верхней части массы тела задействованы в основном мышцы рук, а нижней части — мышцы ног. По высоте спинного мозга и в моторных их представительствах в коре головного мозга местоположения управления конечностями (руками и ногами) различаются. Поэтому условно туловище можно разделить на две отличающихся характером движения верхней и нижней части, и рассмотреть их движение отдельно. Однако для человека (в отличие, например, от кошки) такое разделение теряет смысл [6]. При смене позы руки и ноги задействованы одновременно. Показателем эффективности движения является количество мышечной массы. Как уже отмечалось, для мужчин её около 45% от всей массы тела m , для женщин – около 35%, т.е. коэффициент α находится в диапазоне от 0,35 до 0,45.

При этом сила трения равна:

$$F_{тр} = -\mu v = -\mu x', \quad (7)$$

где μ – коэффициент трения, x' – производная пути по времени, т.е. скорость v . Уравнение силы сокращения мышц будет:

$$F = -kx \quad (8)$$

где k – коэффициент сокращения мышц, x – суммарная длина смещения центра тяжести тела при укорочении мышц. При этом уравнение движения примет вид:

$$amx'' = -\mu x' - kx \quad (9)$$

где am – задействованная для поворота мышечная масса. Разделим левую и правую часть на am и произведем замену переменных:

$$\omega_0^2 = \frac{k}{am} \text{ и } 2\beta = \frac{\mu}{am}, \quad (10)$$

получим уравнение для движения центра тяжести тела под действием сокращения мышц тела с вязким трением:

$$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = 0 \quad (11)$$

Его решение с произвольными начальными условиями известно [26]. Это есть экспоненциально затухающие колебания (рис.7):

$$x(t) = x_1 e^{-\beta t} \cos(\omega_1 t + \varphi) \quad (12)$$

$$\text{с частотой } \omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \quad (13)$$

Значения x и φ определяются из начальных условий:

$$x(0) = x_0 \text{ и } dx/dt(0) = \varphi_0 \quad (14)$$

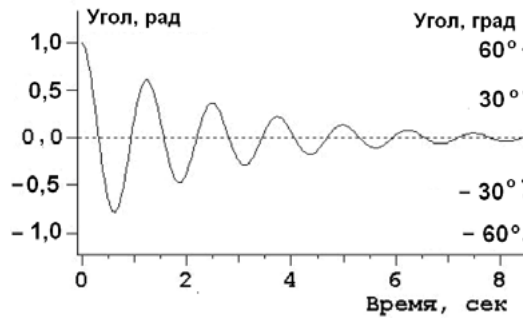


Рис. 7. Колебания тела, возникающие в переходном режиме при изменении позы

Из выражений (12) и (13) видно что, чем больше коэффициент вязкого трения β , тем быстрее затухают колебания. Кроме того, чем больше β , тем меньше частота ω свободных затухающих колебаний. Лежа на досках, менять позы легче, а спать сложнее из-за сильного давления опоры. Если величина $\beta = \omega_0$, то колебания исчезают. Такое затухание движения будет апериодическим, т.е. без колебаний.

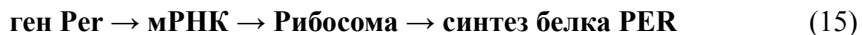
В связи с наличием колебания при смене позы в моторную зону коры мозга по проводящим путям пойдет, хотя и слабый, но продолжительный сигнал длительностью до 8 секунд, который может превысить порог возбуждения нейронной сети и в быстрой фазе сна вызвать иллюзию полёта.

2.7. Какова роль зрения и осязания в полётах во сне?

Очевидно, что зрение играет особую роль в распознавании образов [27]. Другая из основных функций зрительной нейронной сети коры мозга в состоянии бодрствования наряду с вестибулярным аппаратом есть ориентационная

избирательность наблюдаемых сюжетов (верх – низ, право – лево, ближе – дальше и наклоны) [28]. Большую часть информации из внешней среды наш мозг получает через зрительный канал. Зрение участвует также в обработке информации, получаемой по другим каналам рецепции. Оно распознает источник этой информации. Короче, зрение основной переносчик информации у человека, не случайно в нашем языке есть такое понятие, как *мировоззрение*. Для собак следовало бы его заменить термином – *мирообоняние*.

Важно также отметить, что зрение связано с циркадными ритмами человека. Ещё в последней четверти XX века был обнаружен ген на одном участке X-хромосомы у мушки дрозофилы, который получил название *Period* или сокращенно *Per* [8]. Все отклонения мушек от правильного циркадного поведения были обусловлены различными дефектами этого гена. Это был первый в мире часовой ген, который стал известен биологам. После его клонирования удалось синтезировать белковую молекулу, за производство которой отвечает этот ген. Белок был назван, как и ген *PER* (пишется заглавными буквами). Дальнейшие исследования показали, что ген *Per* активен в основном в зрительных клетках дрозофилы, что неудивительно. Он пульсирует в суточном ритме. Пик его активности приходится на вечернее время, на 6 часов раньше, чем синтез белковой молекулы *PER*. На операцию по цепи:



уходит 6 часов, поэтому максимальная концентрация белка *PER* регистрируется поздней ночью.

Теперь несколько слов об осязании. Нервные окончания, воспринимающие прикосновения, рассеяны по всей поверхности тела. Осязание – это пример общего (интегрального типа) ощущения. Их показатели позволяют различать лишь динамику прикосновения, т.е. изменение давления во времени. В XXI веке удалось уточнить и составить карту областей мозга, участвующих в хранении тактильных воспоминаний. Было показано, что в обработке и запоминании тактильной информации задействована первичная соматосенсорная кора головного мозга. [29]. Кроме того, ранее удалось выяснить, что хранилище тактильной памяти находится вблизи с хранилищем зрительной памяти [30].

Что произойдет, если у человека все рецепторные системы отключить от внешней среды, включая зрение, а оставить лишь одно тактильное восприятие? В этом случае изменение давления от поверхности контакта его тела с постелью и изменение ускорения в гравитационном поле станут неразличимы. Причина простая. В состоянии бодрствования в отличие от состояния сна тактильные рецепторы, взаимодействуют с другими рецепторными системами человека, и прежде всего со зрением. В состоянии бодрствования наш мозг связывает всю поступившую информацию от рецепторов с уже существующей информацией в памяти, т.е. с виртуальной моделью внешней среды, и распознает возникшую ситуацию [12]. При этом производится оцен-

ка ситуации, а результат оценки через мозжечок и спинной мозг формирует движения тела с целью сохранить жизнеспособность организма. При таком режиме обработки информации неопределенность решения задачи сводится к минимуму [6].

Во сне тактильные рецепторы (барометрическое восприятие внешнего мира) кожи реагирует на сам факт уменьшения давления, а зрительный канал при закрытых глазах отключен от внешней среды и не связан с каналом осязания. Поэтому в состоянии сна наш мозг не может распознать — за счет чего уменьшилось или увеличилось давление на тело. Следовательно, взаимодействия барометрического восприятия и зрения во сне и наяву различаются (рис.8а). Поэтому тактильное восприятие приводит, при отключении зрительного канала, к ошибкам, т.е. уменьшение давления воспринимается как изменение веса тела, т.е. полёт. Фигурально выражаясь во сне: *мозг обмануть совсем не сложно, он сам обманываться рад.*

Иллюзия полета длится недолго, поскольку память при давлении на кожу, сохраняется примерно в течение до 5–8 секунд после прекращения раздражения. После этой задержки информация о давлении на кожу становится уязвимой для забывания, т.е. исчезает из хранилища тактильной кратковременной памяти.

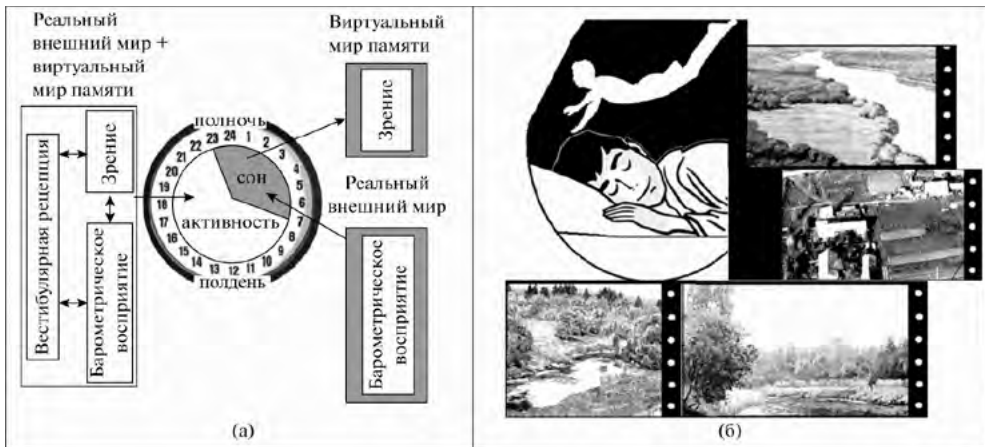


Рис. 8. Взаимодействия зрительной рецепции и барометрического восприятия раздражителя в состоянии дневной активности и в состоянии быстрого сна: (а) – схема взаимодействия, (б) – смена картин в процессе сновидения при виртуальном полете

Заказчиком картин сновидения становится барометрическое восприятие. Источник картин это наша ассоциативная память, наши прошлые наблюдения с высоты на окружающий внешний мир. Их появление в этом случае становится причиной движения глазных яблок под закрытыми веками. Эти картины наряду иллюзией уменьшения веса воспринимаются двигательными отделами нашего мозга как эффект полёта (рис9б).

3. ОБСУЖДЕНИЕ

Все люди, опрошенные мною, говорят, что иллюзия полётов в сновидениях не столь частое явление, а изменение позы во сне, как поиск комфортных условий сна, происходит часто. Возникает сомнение, что изменение позы является источником появления иллюзии полетов. Однако есть причины, которые позволяют объяснить, что эти сомнения ошибочны.

Напомним, что необходимым и достаточным условием полёта во сне является возбуждение мозга слабым сигналом, возникающим от поворота тела. Чтобы возбуждение произошло, должны быть выполнены одновременно два условия. Порог возбуждения мозга должен быть понижен до такого уровня, чтобы амплитуда сигнала, исходящего от рецептора, например, рассмотренного выше рецептора барометрического давления, превысила этот порог. Появление сигнала и снижения порога не зависят друг от друга. Покажем, чем ограничено изменение каждого из них.

В-первых, во время сна мозг занят весьма важным для него самым делом: очисткой своих нейронных сетей от метаболических и информационных «шлаков», накопившихся в состоянии бодрствования. На быструю фазу сна приходится именно информационная очистка. Сюжеты снов – это побочный эффект, работы мозга с переработкой плохо упорядоченной информации. Главную роль в этом случае играет важность решения задачи, которая возникла у человека в состоянии бодрствования. В быстрой фазе сна он не только работает с памятью, но и перебирает разные варианты, которые помогли бы решить задачу, и нередко находит решение. *Неслучайно говорят, что утро вечера – мудренее* [12]. Когда мозг активно во сне занят работой, то пороги его возбуждения для слабых внешних сигналов достаточно высоки. Следовательно, слабый сигнал от изменения позы не может оторвать его от этой важной для него работы. Это ограничивает частое возникновение полетов во сне.

Во-вторых, иногда спящему мозгу свойственен низкий порог возбуждения в быстрой фазе сна, когда он свободен от проблем. Поэтому у счастливых, беззаботных людей, особенно в детском и юношеском возрасте, явление полетов во сне наблюдается чаще.

В-третьих, люди сами преуменьшают количество своих полетов во сне. Допустим, что сон длится 9 часов. Из них быстрая фаза сна со сновидениями возникает 3 раза по одному часу. Даже, если сны с полётом имели место в каждой фазе быстрого сна, то человек запоминает лишь сюжет последнего сна перед пробуждением. Два других сюжета он не помнит.

В-четвертых, не всякое изменение позы может сформировать сигнал, который может превзойти даже низкий порог возбуждения мозга. Если позу менять очень медленно, то это равносильно высокой вязкости в системе. В таком варианте изменения позы возникновение колебаний вообще невозможно. Этим объясняет, что в старческом возрасте, при ослаблении мышц рук и ног, поворот в кровати становится проблемой. Следовательно, иллюзия полетов во сне уже невозможна.

4. ВЫВОДЫ

Показано, что для объяснения полётов во сне нет необходимости прибегать к экзотическим гипотезам. Иллюзия полётов происходит внутри нашего мозга. Она связана с появлением от рецепторов сигналов, которые превышают порог возбуждения ассоциативной памяти мозга, содержащей сюжеты картин, наблюдаемых с высоты. Иллюзию полётов во сне чаще обнаруживают у себя люди в детском и юношеском возрасте. Однако, здоровый человек нередко сохраняет возможность появления таких иллюзий до 50–70 летнего возраста.

Глава 5

МОЖЕТ ЛИ МАШИНА ИМЕТЬ СОЗНАНИЕ?

Согласно Рене Декарту: отчаяние – это страх без надежды. У Робота не возникает подобных страданий. Он живёт в другом мире – в виртуальном мире имитации и симуляции.



Картина Эдварда Мунка
«Крик»

Уровень совершенства роботов в XXI веке становится столь высоким, что по внешним признакам и по поведению установить их отличие от живых людей вскоре будет невозможно. Это приводит к логической ошибке – предположению, что у роботов есть сознание. Сегодня научные исследования расширили понимание феномена сознания, но проблемы с его определением не исчезли. Ниже будет показано, что у робота по определению не может быть сознания. Наличие сознания это свойство лишь человека. Все попытки его создать на другой материальной основе будут лишь внешним подражанием.

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 с разными гипотезами, не исчерпывается указанными тремя работами, он очень длинный. 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, во введении к этой книге мы отмечали, что классификация понятий, используемых в биологии, производится на основе *обобщения снизу вверх* – от частного к общему. Это есть переход от понятий с меньшим объемом содержащихся множеств, но с большим объемом их признаков, к понятиям с большим объемом множества понятий, но меньшим объемом их признаков. Обобщение – это исключение признаков, присущих предметам и явлениям. Когда мы движемся в сторону наибольшего расширения объема понятия, то жертвуем 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 признаков, например, сначала Индивида, затем Вида и т.д. Максимальным обобщением в этой цепи становится философская категории, к которой относится термин «*Жизнь*» как таковая.

Во-вторых, существует противоположенная обобщению операция – ограничение понятий. Она может происходить от максимального философского обобщения, но по другому множеству, от понятия с большим объемом, но с меньшим содержанием признаков к понятию с меньшим объемом, но с большим их содержанием, т.е. *сверху вниз*: *Жизнь* → *Сознание* → *Коммуникабельность* → *Информация* → *Эмоции* → *Творчество*. Также не следует путать Информацию (как нематериальную, идеальную категорию) с её Носителем (материальной категорией), и 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.

Третья причина состоит в том, что *сознание* одного человека не тождественно сознанию другого. Даже однойцовые 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 неопределенности 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 томография (ПЭТ), электроэнцефалографии (ЭЭГ), функциональной магнитно-резонансной томография (фМРТ), магнито-энцефалографии (МЭГ), функциональной инфракрасной спектроскопии (фБИКС), электромагнитной стимуляции мозга (ЭМС), транс-краниальному 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? Существует ли телепатия и телекинез? Смогут ли люди совершенствовать своё *сознание* при помощи генной 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 не может рассматриваться без привлечения теологии, поскольку её существование основано на вере.

Если заглянуть в Интернет, то сегодня имеет место множество определений термина сознание. Известно порядка 100 таких определений. В таблице 1 приведены лишь 12 примеров.

Табл. 1. Примеры определений сознания человека

1	Состояние человека в здоровом 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 обобщенной 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.

Окончание таблицы 1

8	Процесс формирования модели мира внутри мозга с использованием анализа множества различных параметров (температуры, положения в пространстве, во времени и отношении к окружающим) с целью достижения определенных целей (поиска сексуального партнера, 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, которое 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.

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 изучение их поведения, а не на субъективных (неизвестных исследователю) состояниях их разума.

Покажем, почему не удаётся построить универсальную и содержательную модель сознания, охватывающую все аспекты деятельности человека. Существует, по крайней мере, двенадцать физических и гуманитарных наук, пытающихся внести свою лепту в понимание этого термина (рис. 1).



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

¹ Бихевиоризм (от англ. behavior – поведение) предполагает, что все действия человека состоят из поведенческие реакции, отвечающих на определённые стимулы.

В контексте этой главы 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, покраснению или побелению его лица, выделению пота или появлению тремора. 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 один из вариантов списка, существенно сокращённого до пяти эмоций.

Табл. 2. Трехуровневый список эмоций

№	Первичная эмоция	Вторичная эмоция	Третичная эмоция
1	Любовь	Привязанность	Обожание, Нежность, Симпатия, Влечение, Забота, Сострадание, Сентиментальность, Ревность
		Похоть, Сексуальное желание	Желание, Страсть, Влюбленность
2	Радость	Жизнерадостность	Развлечения, Блаженство, Веселость, Ликование, Радость, Восторг, Наслаждение, Счастье, Ликование, Удовлетворение, Экстаз, Эйфория
		Стремление	Энтузиазм, Рвение, Волнение, Острые ощущения, Возбуждение
		Удовлетворенность	Удовольствие
		Гордость	Триумф
		Оптимизм	Страстное желание, Надежда
		Увлеченность	Восхищение, Восторг
3	Восторг	Удивление	Изумление
4	Гнев	Раздражительность	Обострение, Возбуждение, Раздражение, Ворчливость, Перекрестное 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

№	Первичная эмоция	Вторичная эмоция	Третичная эмоция
		Стыд	Чувство вины, Сожаление, Раскаяние
		Пренебрежение	Отчуждение, Пораженчество, Уныние, Смушение, Тоска по дому, Унижение, Неуверенность, Оскорбление, Изоляция, Одиночество, Неприятие
5	Страх	Ужасы	Шок, Тревога, Страх, Испуг, Паника, Истерия, Унижение
		Нервозность	Тревога, Напряженное ожидание, Беспokoйство, Опасение

Попытки дать содержательное определение термину сознание имеют длинную историю. Более 400 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 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.

²Плюрализм (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.

³Согласно 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.

Следовательно, виртуальные модели внешнего мира в мозгу у разных людей могут существенно различаться [14].

Нельзя слепому с детства человеку объяснить, что такое красное или зеленое, поскольку в его внутреннем мире понятие цвета отсутствует. Его мир – это мир звуков, запахов и разнообразных тактильных ощущений. Различие внутренних миров может создавать проблему общения людей. 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.

Существовали и другие попытки нащупать путь к содержательному определению термина сознание. Например, российский психофизиолог академик П.В. Симонов (1926 –2002) пытался в середине XX века дать научное обоснование ключевым понятиям общей психологии (сознание, эмоция и воля). Он писал: «*Наука опирается на принципы презумпции доказанного. Всё остальное принадлежит царству веры, а верить можно во что угодно...*». [Симонов П.В. Избранные труды: В 2 т. Т. 1, с. 396. М.: Наука, (2004)]. Однако не все можно доказать с высокой достоверностью, поэтому необходимо использовать вероятностный подход к их оценкам. Он предполагал, что эмоции \mathcal{E} есть функция вида: $\mathcal{E} = f(P, (I_n - I_c))$, где \mathcal{E} – эмоция, ее степень, качество и знак; P – сила и качество актуальной потребности; $(I_n - I_c)$ – оценка вероятности (возможности) удовлетворения потребности на основе врожденного и онтогенетического опыта; I_n – информация о средствах, прогностически 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 нем появляется множество неопределенностей, и ориентация в этом случае описывается в терминах вероятности.

40 лет назад, в августе 1982 года, в Москве нами был проведен Первый Всесоюзный биофизический съезд, свыше 2000 специалистов-биофизиков и ученых смежных специальностей приняли участие в его работе [15]. 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 определенных явлений, либо единством подхода к общему кругу проблем*».

⁴Термин «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, утверждал он.

Приведенное 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 (таблица 3).

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

№	Структурная иерархия	Иерархия 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

В 2009 году я написал статью «XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики» [16], 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?» (1944). В статье были сформулированы 10 признаков, которые обычно приводятся в учебниках по физиологии как главные признаки живых систем (табл.4).

Табл. 4. Признаки живой материи

1	Живые организмы характеризуются <i>упорядоченной иерархической организацией</i> .
2	Живые организмы являются открытыми системами и получают энергию из окружающей среды, используя ее для поддержания своей высокой упорядоченности
3	Способность <i>реагировать на внешнее воздействие</i> (рецепция) – универсальное свойство всех живых систем

4	Способность <i>запоминать информацию</i> о предыдущих состояниях и адаптироваться к изменению внешних условий
5	Способность <i>изменяются и усложняются</i>
6	Способность <i>размножаться</i>
7	Способность <i>саморегуляции и регенерации повреждений</i>
8	Способность <i>обмена веществ</i> с окружающей средой
9	Способность <i>направленной подвижности</i>
10	Живым объектам свойственна <i>неравновесность состояния</i>

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 [17]. Только три связанных термина *сознание*, *медитация* («изменение состояния сознания») и *душа* выпали из обсуждения в силу их особой неопределенности.

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 сознание как высшей функцией развивающейся живой материи.

1.2. Постановка задачи и модель сознания

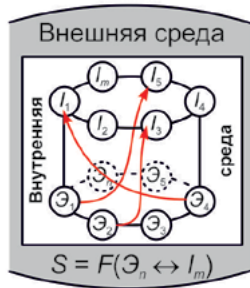
Примем как гипотезу (потом докажем её справедливость, но и ограниченность), что *сознание S* есть функция, по крайней мере, двух одновременно существующих и взаимодействующих пространственных миров внутри нашего организма, но с взрослением человека непременно меняющихся во времени (рис. 2а). Это мир эмоций \mathcal{E}_n на 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 $\mathcal{E}_n \leftrightarrow I_m$:

$$\begin{aligned}
 S &= F(\mathcal{E}_n \leftrightarrow I_m) \\
 \mathcal{E}_n &= f(t, \tau_3, D_3, h_3, J_3) \\
 I_m &= f(t, \tau_p, D_p, h_p, J_p)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где $n = 1, 2, 3 \dots N$, $m = 1, 2, 3 \dots M$, t – это внешнее астрономическое время, τ_3, τ_p – внутреннее время каждого из миров системы, D_3 и D_p – коэффициенты диф-

фузии внутри каждого из миров, $h_{\mathcal{E}}$ и h_I – коэффициенты кросс-диффузии, $J_{\mathcal{E}}$ и J_I – коэффициент кросс-адвекции⁵.

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, наделенного эмоциями, мышлением и сознанием от машины, наделенной искусственным интеллектом. В теории относительности этот процесс можно трактовать с позиции внешнего наблюдателя [18].



а



б

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 мозгу человека (б). Серыми квадратами отмечены пространственные места расположения функциональных зон в новой коре мозга. Хотя детерминированная локализация зон условная в силу их адвекции

⁵Адвекция 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.

Далее покажем, что существенным элементом как функции \mathcal{E}_n , так и функции I_m есть диффузионно-контролируемая автоволновая модель с кросс-диффузией + кросс-адвекцией [19, 20], которая основана на конкуренции набора противоположных эмоций (например, радость \leftrightarrow отчаяние) и образов, распознанных при обработке информации [21].

Можно предположить, что процесс появления сознания, следует пытаться описать на основе эволюции живой материи по Дарвину, анализируя функциональные изменения поведения – от бактерий до приматов. Однако, при этом всегда возникает неопределенность, что делает определение *сознания* вероятностным процессом. Сознание человека отличается от существующих систем искусственного интеллекта. Более того, это будет всегда, если искусственные системы созданы на отличающейся химической основе.

2. ПЕРЕПЛЕТЕНИЕ СВОЙСТВ СОЗНАНИЯ В ПРОЦЕССЕ БИОЭВОЛЮЦИИ

2.1. Нулевой уровень сознания

Все животные имеют внутри себя виртуальную 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 счет наличия развитой памяти может обращать время в виртуальной модели в своём мозгу как вперед, так и назад без существенной потери, содержащейся информации. Тем не менее, человек может и заблуждаться при построении модели, выдавая желаемое за действительное. Так появляются предрассудки и лжегипотезы.

На этом первом этапе обработки информации и появления сознания возникает неопределенность, поскольку прошлое влияет на формирование будущего через настоящее. Но это влияние с высокой точностью априорно определить нельзя. В нелинейных системах горизонт предсказания всегда ограничен [22]. Перефразируя классика, заметим, что «*знать самим нам не дано, как измененье отзовётся*». К понятию информации, оценки ее ценности и эмоциональной окраски, как для человека, так и для искусственных когнитивных систем мы вернемся в следующем разделе.

⁶Хотя дискуссии о времени появления приматов и гоминидов продолжаются.

Однако если пытаться 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* [23]. 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 своем 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, освещенность, 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, 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 нею гормональная система. У растений нервная система отсутствует.

Есть хищные растения, имеющие особые рецепторы, например, *венераина мухоловка* (лат. *Dionaea muscipula*), которая умеет обманывать насекомых (муравьев, пауков, кузнечиков и летающих насекомых), привлекая их к себе приятными для них запахами, чтобы потом превратить их в жертвы, и поглотить в виде пищи [24]. Такой процесс добычи пищи частично размывает границу между миром растений и животных (рис. 3).



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)

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 среды, концентрации репеллентов и аттрактантов) [25].

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).

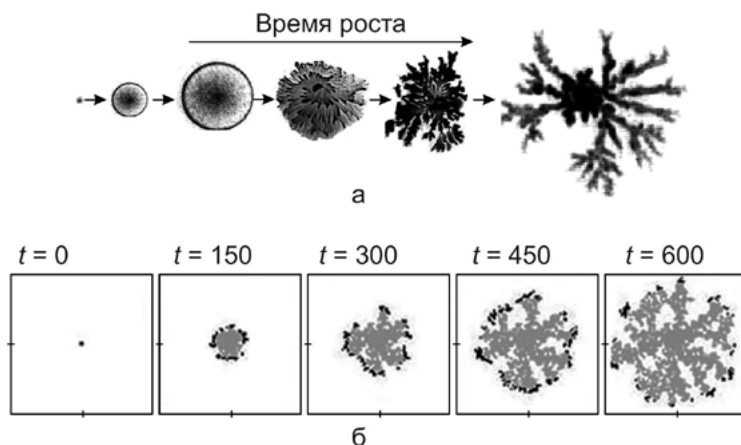


Рис. 4. Метаморфозы роста популяции бактериальной колонии (*E.coli JM103*) во времени: а – экспериментально наблюдаемое изменение роста структуры колонии; б – модель динамики формирования ветвящейся структуры в модельном численном эксперименте на компьютерной модели типа «клеточный автомат», где t –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

Можно все эти эффекты получить в моделях, введя нелинейную диффузию, обеспечивающую переход от кольцевых волн (ведущих центров) к ветвящимся структурам [26, 27]. Для различных форм роста бактериальных колоний характерны следующие скорости распространения бактериальных волн: основная волна имеет скорость $4 \div 9$ мм/час; при её торможении скорость выбросов $0.5 \div 1$ мм/час; ветвящееся развитие – $0.1 \div 2$ мм/час. 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 эксперименталь-

но исследованы особенности динамики распространения различных участков переднего фронта растущей ветвящейся структуры бактериальной колонии (*E. coli JM103*). Возникшие макро выбросы (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 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 не только тяга к ускорению своего пространственного распространения, но к остановке движения. Торможение возникает, когда расширение пространства затруднено или невозможно, т.к. оно имеет непреодолимые границы или соседей, занявших пограничное пространство. При этом возникает уплотнение популяции, и образуются кластеры из бактерий с демаркационными границами. Такая ситуация характерна не только для бактерий [28].

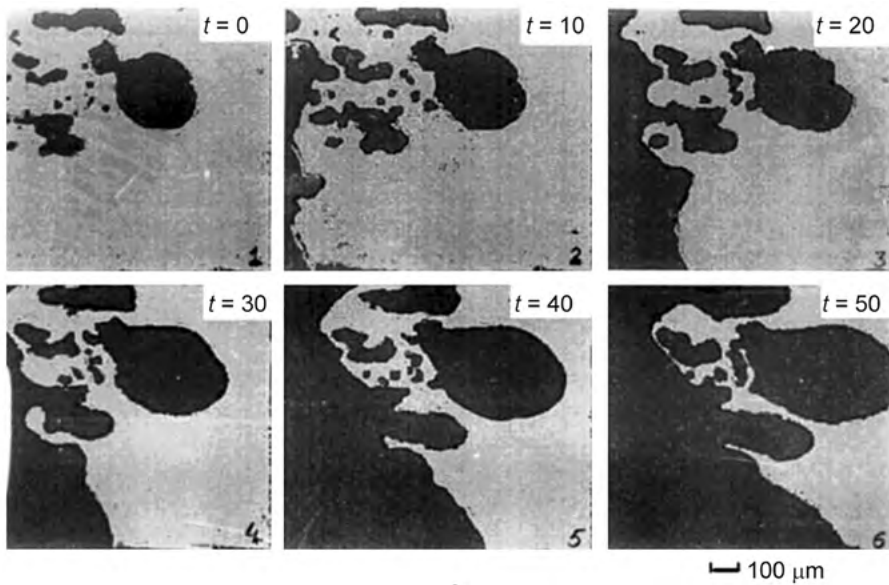


Рис. 5. Фильмограмма из шести кадров динамики роста переднего фронта бактериальной популяции с макро выбросами на переднем фронте «материнской» популяции. Время t указано в минутах, пространственный масштаб в мкм

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 удаленному от

него. Другими словами, нейрон, по аналогии с движением бактерии, обладает таксисом, т.е. стремится приблизиться к притягивающему кластеру нейронов. Механизм выбора направления движения пока изучен недостаточно (рис. 6).

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

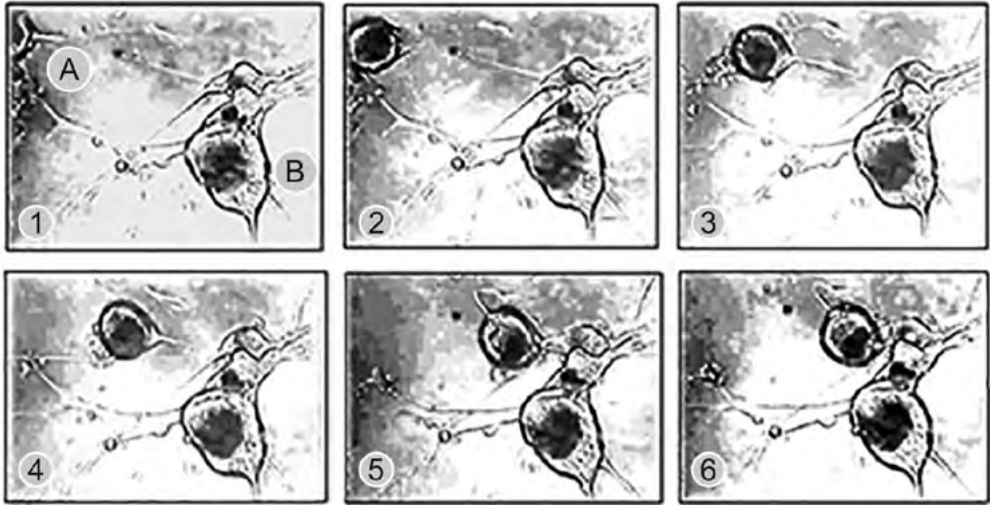


Рис. 6. Фильмограмма последовательности кадров формирования нейронных кластеров в чашке Петри. Нейрон А (левый верхний угол кадра 1) движется с пульсирующей скоростью к уже сформировавшейся ранее группе нейронов В, по-видимому, обладая таксисом, указывающим направление движения

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. Уравнение, приводящие к кросс-диффузии, имеет вид [29, 30]:

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

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 перекрестного взаимодействия. При $h_1 = h_2 = 0$ математическая модель (2) представляет собой обычную автоволну типа

«реакция-диффузия» с коэффициентами диффузии $D_1 \geq 0$, $D_2 \geq 0$ (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. В точке имеем $f(v,u) = (1-u)(u-a) - v$, а $\varphi(u,v) = \varepsilon(u-v)$, что характеризуют обратную связь между функциями ускорения / торможения. При этом $f(v,u)$ является функцией от u (ускорения) с корнями $u_1 = u_2 = v$, а $u_3 = (u-v)$, где u_3 может принимать любое значение.

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 счет 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

$$\left[+h_1 \frac{\partial v}{\partial x} \left(Q_1(u,v) \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \text{ и } \left[-h_2 \frac{\partial u}{\partial x} \left(Q_2(u,v) \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right].$$

Однако, в модели (2) отсутствует указание на то, что движущиеся волны могут расщепляться на рукава-ветки, 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 [20].

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 [19]. Система уравнений при совмещении кросс-диффузии с кросс-адвекцией имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= u(1-u)(u-a) - v + D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + h_1 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + J_1 \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= \varepsilon(u-v) + D \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - h_2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - J_2 \frac{\partial u}{\partial x} \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (3) отличается от выражения (2) тем, что введено дополнительное слагаемое с коэффициентом $\pm J$, которое соответствует 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 перекрестную

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.

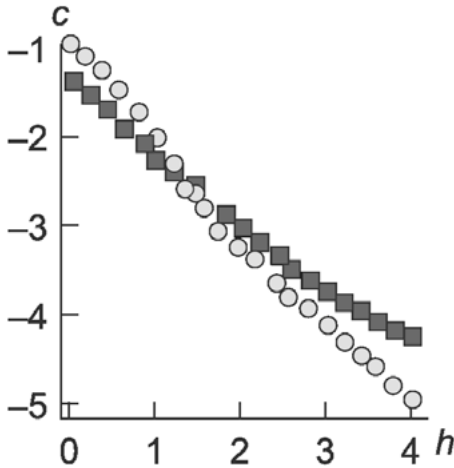


Рис. 7. Скорость волн как функция коэффициента кросс-диффузии $c = c(h)$. Значения порога возбуждения, отношения масштабов времени, коэффициентов самодиффузии и кросс-адвекции фиксированы и равны $a = 1/4$, $e = 1$, $D = 1$ и $J = 1$. Результаты аналитических расчетов отмечены серыми кружками, а результаты имитационного моделирования – чёрными квадратами

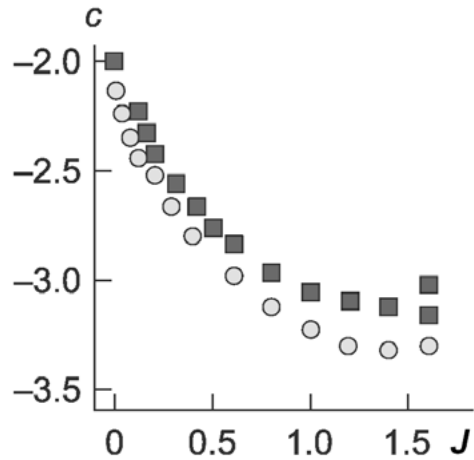


Рис. 8. Скорость волн как функция коэффициента поперечной адвекции $c = c(j)$. Значения порога возбуждения, соотношения масштабов времени и коэффициентов самодиффузии и кросс-диффузии фиксированы и равны $a = 1/4$, $e = 1$, $D = 1$ и $h = 2$ соответственно. Результаты аналитических расчетов отмечены серыми кружками, а результаты имитационного моделирования – чёрными квадратами

Нами был рассмотрен случай, когда $e = 1$, т.е. расхождение масштабов по времени во внешней среде и во внутреннем процессе нет. Для аналитического решения системы можно применить кусочно-линейное приближение Мак-Кина [31,32], где кубическая нелинейность в уравнении активатора заменяется функцией Хевисайда $H(u-a)$. В результате модель (3) преобразуется в модель (4), удобную для расчетов и описываемую выражением:

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

При имитационном моделировании в этой модели обнаруживаются не очевидные 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 рис. 9 дан пример изменения скорости цугов при совместном действии кросс-диффузии и кросс-адвекции.

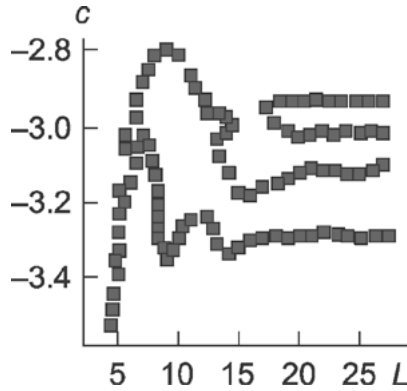


Рис. 9. Скорость волнового цуга как функция интервала шага L , $c = c(L)$, при сильной поперечной адвекции, когда коэффициент кросс-адвекции $J > 1$. При расчете он зафиксирован на уровне $J = 1,6$. Остальные параметры $a = 1/4$, $\varepsilon = 1$, $D = 1$ и $h = 2$. Обнаруживаются колебательные и прерывистые потоки в виде вил с двумя ветвями

При этом изменяется и вид фазовых соотношений «ускорения \leftrightarrow торможения (u, v)» [20]. 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 врожденных инстинктов, типа таксиса.

2.2. Новый этап развития: усложнение движения и регенерация повреждений

Среди обитателей морей всегда вызывали 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 [33]. 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. В целом головной мозг человека содержит порядка $80 \div 100$ млрд нейронов. У осьминога 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 распределен по всему телу.

Система регуляции жизнедеятельности осьминога это есть особая система регионально-распределенного управления подвижностью животного. осьминог в целом – это почти «мозг-студень» податливый и вязкий (рис. 10.)

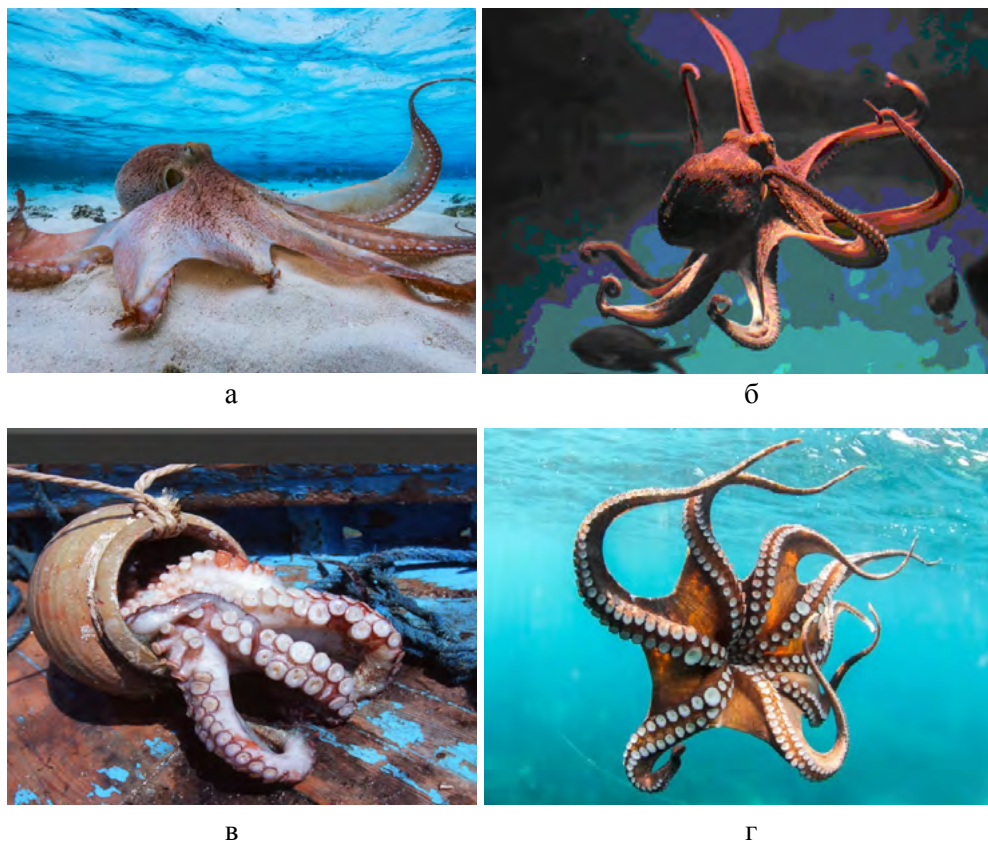


Рис. 10. Система регуляции движения осьминога есть особая система регионального самоуправления бесскелетным телом: а - распластавшийся осьминог; б – преследующий добычу осьминог; в – прячущейся осьминог; г – плавающий осьминог [34]

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

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

Это количество степеней свободы следует дополнить набором самостоятельных сокращений каждой щупальце. 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 счет движения может скомпенсиро-

вать или использовать изменение движение внешней среды. Другими словами, имея цель движения в трехмерном пространстве, осьминог направленно будет двигаться к ней. Кроме того, даже не используя присоски на щупальце, осьминог может сохранять неподвижность относительно дна водоёма при смещении в нём водных потоков, зависая подобно вертолету, или двигаться в разных направлениях в широком диапазоне скоростей. При этом для зависания в неподвижном состоянии должно выполняться условие $v_{вн.с} = v_{ос}$, соответствующее пропорции:

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

где $t_{ос}$ и $a_{ос}$ – соответственно внутреннее время и ускорение сжатия / расширения каждой 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 свое положение, она должна иметь шесть степеней свободы: по две мышцы антагониста на каждую из осей (x , y , z), и по две мышцы, регулирующих силу прижатия и расслабления присасывания к предмету во внешней среде, и того 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 [35]. По твёрдой поверхности (в том числе отвесной) осьминог передвигается ползком, используя присоски. Он может также плавать щупальцами вперед 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 [36].

Следовательно, осьминог – это подводный мультикоптер, т.е. летательный аппарат в водной среде, построенный за счет эволюционного отбора по вертолётной схеме, с восьмью 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 жесткого скелета тело осьминога может менять форму. Компактно сжимая свое тело или наоборот, существенно уменьшая свой объем, осьминог в зависимости от возникшей задачи приспосабливается к изменению внешнего пространства. Осьминоги подда-

ются 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 также, как и млекопитающие [37].

Головоногие моллюски старше первых рептилий. Рептилии появились, скорее всего, около $420 \div 310$ млн назад. Следовательно, осьминогов можно поставить по уровню интеллекта выше растений, бактерий и даже рептилий. Однако Пол Маклин в своей эволюционной классификации развития мозга [38] 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 своим животным своей конечности. Схваченный врагом за щупальце, осьминог отсекает его от тела путём сильного сокращения мышцы. Отсечённое щупальце длительное время (пока хватает ей 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 $1 \div 2$ см и более. Они могут отлично регенерировать, восстанавливая свое тело после его разрезания. Из каждой половинки после рассечения возникнут две планарии [39]. В этом есть сходство планарий с бактериями, которые размножаются делением. Внутри организма млекопитающих, включая человека, тоже есть регенерация, но только путем замещения погибших клеток.

Наш организм содержит три группы разных клеток:

(1) необратимо дифференцированные клетки, т.е. уже специализировавшиеся для выполнения определенной функции (нейроны, волокна мышц, клетки крови – эритроциты, лейкоциты и тромбоциты). Их заставить делиться невозможно.

(2) обратимо дифференцируемые митотические клетки. Они тоже специализированы, но при определенных 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 и ногу), как это делает краб или саламандра, наука не научилась.

Можно восстановить частично кожу и печень человека, срастить 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 [40] под влиянием идеи Пола Маклина [38] 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 [41]. Особое место при исследовании рептилий занимает их, так называемый, «третий непарный глаз» (рис. 11), который отсутствует как у головоногих моллюсков, так и у млекопитающих [42].

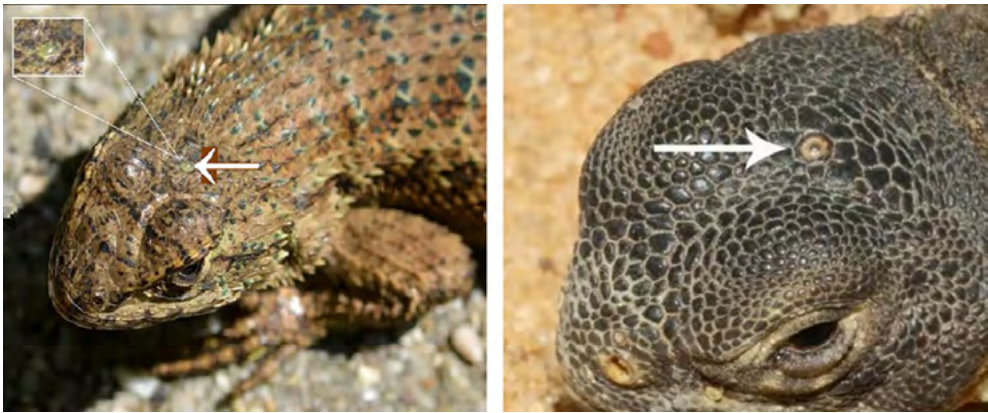


Рис. 11. «Третий непарный глаз», находящийся на голове разных видов рептилий, на фотографии показан стрелкой

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 дает 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 освещенном или затемненном пространстве. При этом они используют изменение направления освещенности и / или изменение поляризации солнечного света [43].

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 название этого рода растений возникло из-за того, что подсолнухи по сравнению с другими растениями в большей степени обладают 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 ч. утра распускаются бутоны шиповника и мака, в 10 ч. – мать и мачеха, в 8 ч. вечера в воздухе ощущается аромат душистого табака, а ещё через час начинают благоухать ночные фиалки [44]. 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 четких 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. [45].

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

⁷Эпифиз, или шишковидная железа, представляет собой железистое образование длиной до 12 мм и шириной до 8 мм. Располагается в головном мозгу 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.

давления. Их работа происходит автоматически, не осознается человеком, и не требуют участия мышления и обучения. Кроме того, биоритм контролирует за счет 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 появления сознания мозг рептилий [38]. 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 году опубликовал книгу «Антропогенез», или «История развития человека» («*Anthropogenie*», или «*Entwicklungsgeschichte des Menschen*»; русский перевод 1919 года). 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 онтогенезе) 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 учитывают время переходного процесса от одной формы к другой. Чтобы тот или иной вид мог существовать в природе, необходимо выполнение трех 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 (продолжительности 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 [46, 47] нами были рассмотрены случаи диффузионной подвижности популяции размножающихся организмов, когда их подвижность сцеплена с возрастным циклом. Модель с «биологическими часами» получается путем добавления к уравнению динамики изменения возрастного состава популяции диффузионного члена, меняющегося в зависимости от плотности популяции:

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

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 $n(t, \tau, x, y) = \text{vary}$. 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 определенной 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 $N_{кр}$, а возраст особей не превышает значение $\tau_{кр}$. В этом случае примет вид: $R = \text{div} [D \text{grad}(n)]$

$$R = \theta(N - N_{эд}) \theta(\tau_{эд} - \tau_0), \text{ где } N = \int_0^{\infty} n(\tau, x, y) d\tau \quad (12)$$

здесь θ – ступенчатая функция Хэвисайда. 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: $N_{кр}$ и $\tau_{кр}$. При росте численности популяции за счет размножения при достижении ею порога индивиды начинают перемещаться в пространстве (x, y) и плотность популяции за время $(\tau - \tau_{кр})$ 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 и 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 растет из существующего [48]. Скачком может возникнуть не струк-

тура, а новое функциональное качество образовавшейся структуры, поскольку при увеличении численности популяции с разбросом возрастов внутри неё образуются кластеры нейронных сетей (рис. 12).

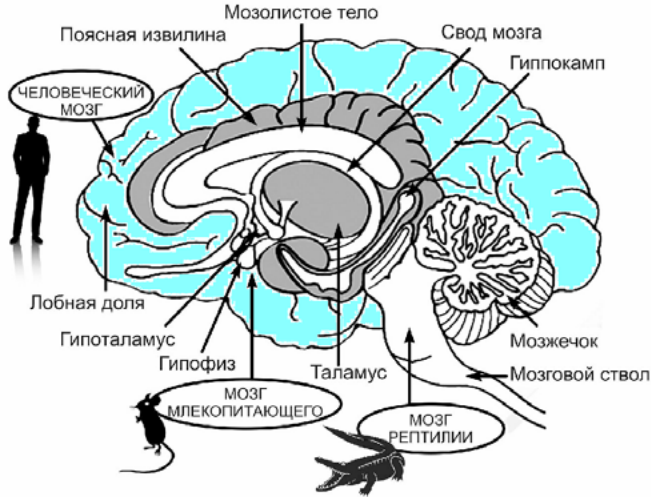


Рис. 12. Эволюционное изменение структуры мозга (вертикальный разрез) по цепи рептилии → млекопитающие → человек. Мозг человека приобрел развитую кору серого вещества толщиной 1,3–4,5 мм

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;
- замедление (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 ее поверхности новой коры. [49].

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. Приведем данные по продолжительности жизни двух известных долгожителей, регистрация возраста которых не вызывает сомнений. Француженка Жанна Кальман умерла 4 августа 1997 года 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*. Законы преобразования информации отличаются от законов, описывающих движение материальных тел. Однако, как уже отмечалось, информация не может передаваться без материального носителя. Законы преобразования информации + её эмоциональная окраска отличаются от законов движения материальных носителей. 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 толкований, 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» [21,50], ссылаясь на книги [51,52] привёл 16 определений термина информация (табл.5).

Табл. 5. Определения термина информация

1	Знания, переданные кем-то другим или приобретенные путем 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 определенное 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 подчиненной.
9	Знание о каком-то особом событии, случае или о чём-либо подобном.
10	Данные о внешнем мире, которые мы получаем как путем непосредственного воздействия на наши органы чувств окружающих предметов и явлений, так и опосредованным путем через книги, газеты, рассказы других людей о каком-то особом событии, случае или о чём-либо подобном.
11	В проблемах передачи "информацией" 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 отраженное разнообразия, которое отражающий объект содержит об отраженном.

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 <i>источником, передающим сообщение, и приемником, его принимающим.</i>

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 $I \geq p_i \geq 0$. Информация I при выборе её из n возможных вариантов, представленных в двоичном коде, со времен K . Шеннона, обычно выражается формулой [53]:

$$I = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (14)$$

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 ↔ 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 комплементарные 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 пози-

ции 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 список 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 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 трех 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 часто 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).

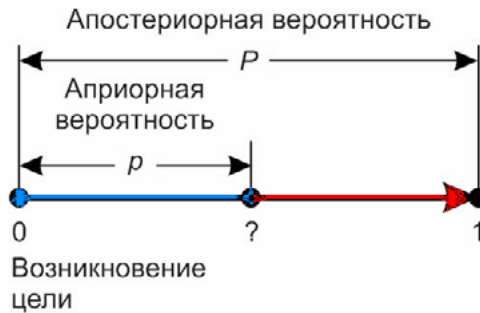


Рис. 13. Априорная p и апостериорная P информации. Недостающая вероятность Δp для достижения цели: $\Delta p = P - p = 1 - p$

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

$$\text{от } P_3 = -1 \text{ к } P_1 = +1. \quad (13)$$

В случае *удачного* решения задачи субъектом путь её решения запоминается, переходя в долговременную память субъекта. Так происходит обучение. Наполнение нашей *памяти* – это главная часть механизма формирования *сознания* [54, 55,].

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 емкость памяти человеческого мозга порядка 1000 терабайт [56].

На рис. 14 приведена схема информационного взаимодействия объекта и субъекта.

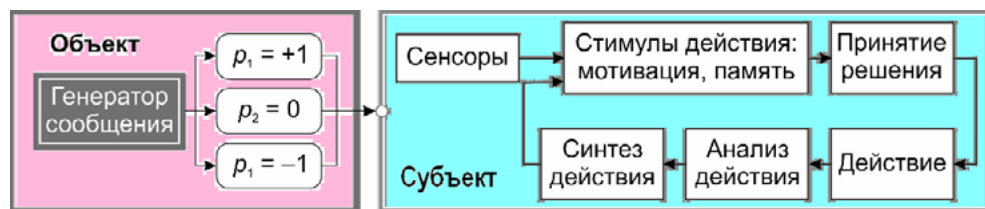


Рис. 14. Схемы информационного взаимодействия объекта и субъекта. В целом поведенческое действие субъекта характеризуется целенаправленностью и активным действием. Объект передаёт разную информацию, изменяющую вероятность: P_1 , P_2 и P_3 . Требуемая вероятность Δp определяется в блоке «принятие решения»

Наш мозг имеет два возможных пути движения потока информации [57]. 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.

⁸Интуиция – это *неосознаваемая способность* человека проникать в смысл событий и быстро делать правильный вывод. Хотя сам человек в этом случае не может логически объяснить – почему он принял то или иное решение. Ответ ограничивается констатацией – «нравится или не нравится».

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 [58] нами было рассмотрено использование этих 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 [56, 59]. Ценность информации будем обозначать буквой V . В этом случае мерой ценности информации V_1 в терминах вероятности достижения цели может служить выражение:

$$V_1 = \log_2(P/p) \quad (15)$$

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. Корогодин для оценки ценности информации предложил другое выражение V_2 [60]:

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

Если $p > P$, то ценность информации становится отрицательной, т. к. 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, т. к. 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. это используемый алфавит при формировании информации [61]. При этом логарифм $\log_a N$ имеет смысл при $a > 0$, но не при $a \neq 1$, $N > 0$. Например, если $m = 1$, $N = 256$ и $a = 2$, то $I = 8$, т.к. $2^8 = 256$. Этот 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 $b = 8$:

$$I = m_l \log_b N \quad (18)$$

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

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

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, не учёт которого может приводить к недоразумениям. Проблемы возникают из-за различий понятий «информационный объём внешней среды», из которого 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 – это малая область. В малой области содержится ранее запомненная информация. Однако этой 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. Как уже отмечалось, 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. Это есть начальные условия 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, т. к. 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. На рис. 15 дана усредненная зависимость времени распознавания образа от площади пикселя носителя информации.



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

3.2. Наличие памяти и понижение ценности поступающей информации

Используя выражение (15), объединим содержимое памяти с *ценностью информации*. Допустим, что 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 путей, т.е.:

$$M = n - 1,$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Lim } V_1 &\rightarrow \log_2 1 = 0 \\ \text{при } (M+1) &\rightarrow \infty \end{aligned} \quad (23)$$

Это 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, т.е. энергозатратная 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.

Обычная компьютерная память является локально адресуемой, т.е. предьявляется адрес и извлекается информация, записанная по этому адресу. Она закодирована определенным образом в виде паттерна и находится в определенной 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 трех различных состояний: *Да*, *Возможно* и *Нет*. Кроме того, эти операции происходят под управлением отдельного специализированного устройства – контроллера памяти, который распознает важность информации, оценивает её качество и придает ей эмоциональную окраску. Другими словами, память неразрывно связана с мышлением – распознаванием образов и оценкой возникающих ситуаций. В связи с этим память человека – это динамический, а, следовательно, энергозатратный процесс. События и явления быстро забываются, если не повторяются, что подтверждает динамичность памяти. Информация определенным 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, 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 слоев паттернов для записи и считывания информации. Слои паттернов имеют различные пространственно-временные характеристики записи, хранения, поиска, забывания информации и связаны между собою. Но главное отличие нашей памяти от памяти машин состоит в том, что наш мозг работает не с наборами символов, а со смыслами, заключенными в их наборах.

Амплитудно – частотный спектр ЭЭГ, с которым работает наш мозг, показывает вклад в эту сумму каждой гармонической составляющей, пришедшей по одному или нескольким рецепторным каналам (зрение, слух, осязание и т.д.). Когда ребенок учится узнавать кошку, то первоначально он воспринимает набор её существенных признаков: размеры, наличие хвоста, усов, перемещение на четырех 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 $S_{i_{уз}}(\omega_x, \omega_y)$ 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 гармоники формируется свой весовой множитель $F_i(\omega_x, \omega_y)$ [62]. С помощью набора таких множителей можно осуществлять преобразование волнового изображения: $F_i(\omega_x, \omega_y) \times S_{i_{уз}}(\omega_x, \omega_y)$. Множество $\{F_i(\omega_x, \omega_y) \times S_{i_{уз}}(\omega_x, \omega_y)\}$, состоящее из набора признаков образа, представленных на языке автоволн, является основой для завершения операции распознавания образа, который происходит в лобной коре мозга [63, 64]. Итак, рецепторные (сенсорные) системы, т.е. квалиа, обладают инструментарием, связывающим внешний мир с внутренним миром человека путем перекодировки получаемого сообщения. Поскольку любой процесс преобразования информации может вносить ошибки, то результат часто сохраняет некоторую неопределенность. При этом апостериорная вероятность будет меньше единицы.

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

⁹Однако ассоциативная память может быть реализована в виде машинной памяти, используя приложения быстрого поиска, например, «память, адресуемая по содержанию ключевому слову» [Кохонен Т. Ассоциативные запоминающие устройства. М.: Мир, 1982]

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 активностью. 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, – эти 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, слюна). Примеры некоторых гормонов, коррелирующие с эмоциями, приведены в Таблице 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.

Табл. 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 надежность)

Окончание таблицы 6

№	Гормон	Эмоция
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, подъем 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 этих 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 отвлечения», влияет на интеллектуальную деятельность: при малых концентрациях понижает пороги возбуждения нейронов, при больших концентрациях тормозит возбуждение и задерживает принятие решений

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 дополнение

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 $1 \div 2$ мсек, 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 гормоны аминокислотной группы, работающие в нашем мозгу.

По-видимому гормоны являются словарем, формирующим эмоции. Они обладают высокой биологической активностью. Некоторые их химических соединений в силу их специфичности, оказывают тонкое регулирующее влияние при очень низких концентрациях ($10^{-8} - 10^{-15}$ моль/литр). Их специфичность объясняется наличием избирательности при взаимодействии рецепторов с этими молекулами [65].

3.5. Смеси гормонов с разной концентрацией содержимого

В 1949 году Клод Шеннон опубликовал работу «Теория связи в секретных системах» [66]. В ней он сформулировал пять критериев защиты секретной информации. Пятый пункт формулировки в этой статье гласил: *«при кодировании сообщения необходимо смешать правильное послания (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»*. Эта 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 зашифрованной информации по одному каналу, когда в качестве дезинформации используется также информация, но предназначенная другим пользователям. В этом 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 приемном конце канала связи есть свой специфический дешифратор на признак информации *a*. У второго клиента – на признак информации *б*, у третьего – на признак информации *в*. Поскольку в канале информация смещенная, то для постороннего наблюдателя она выглядит как бессмысленный хаос (шум толпы), но этот хаос детерминированный, т.к. он в целом несет 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 *a*, *б*, *в*..., которые расшифровывают информацию, доставляемую в виде молекул-носителей. В зависимости от набора рецепторов и их избирательной способности смещенная 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 этому языку раньше, чем звуковому языку.

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

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

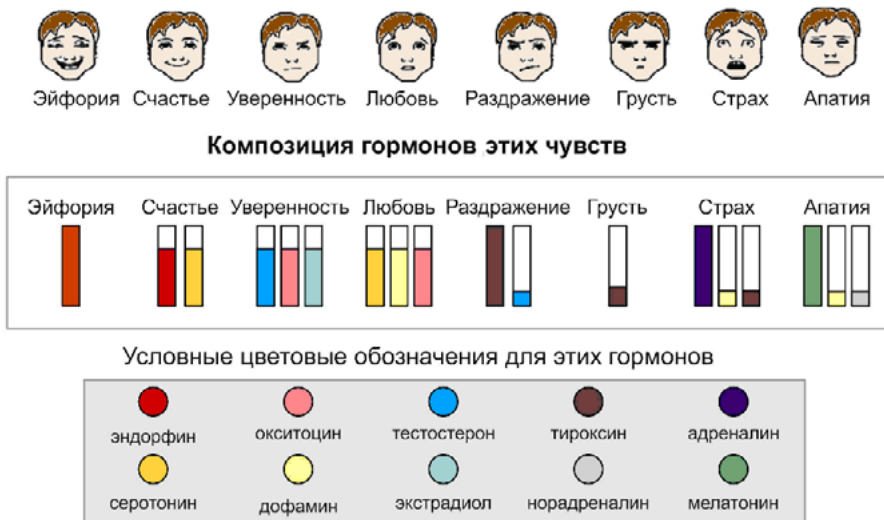


Рис. 16. Примеры мимики лиц человека, сопровождаемые комбинациями гормонов

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 ребенком 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 этому варианту робота относят реального человека с вживленным в мозг чипом, который управляет его поведением. Этот пока не созданный вариант робота теперь стали называть «зомби».

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) [58].

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

Табл. 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 пересеченной местности [67].

Продолжение таблицы 7

Год	Название	Создатель и возможности робота
2012	NimbRo	Группа автономных интеллектуальных систем Боннского университета (Германия) – платформа Humanoid TeenSize NimbRo-OP [68.].
2013	TORO	Немецкий аэрокосмический центр (DLR) – робот - гуманоид TORO (гуманоидный робот RObot с управлением с крутящими моментами).[69.]
2013	SCHAFT	20–21 декабря 2013 г. DARPA Robotics Challenge в борьбе за денежный приз в размере 2 миллионов долларов США представила 16 роботов-гуманоидов,. Команда-лидер SCHAFT, набрала 27 баллов из 30 возможных, и была куплена фирмой Google. [70]
2013	REEM-C	PAL Robotics запускает REEM-C, первого двуногого робота-гуманоида, разработанного как исследовательская платформа робототехники, на 100% основанная на платформе ROS [71].
2013	Poppy	Первый гуманоидный робот с открытым исходным кодом, напечатанный на 3D-принтере, с ногами, предназначенными для двуногого передвижения. Разработан Департаментом Цветков INRIA.[72]
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) [73].
2014	Pepper robot	После приобретения Aldebaran Soft Bank Robotics производит коммерческих общедоступных роботов [74].
2014	Nadine	Женский гуманоидный социальный робот, разработанный в КНР в Наньянском Технологическом Университете в Сингапуре с лицом, похожим на его директора профессора Нади Магненат Тальманн. Надин – социально интеллектуальный робот, который отвечает на приветствия, устанавливает зрительный контакт и запоминает все разговоры, которые он вёл с посетителями [75, 76].
2016	Sophia	Робот-гуманоид, разработанный гонконгской компанией Hanson Robotics по образцу Одри Хепберн. У Софии есть искусственный интеллект, обработка визуальных данных и распознавание лиц.[77]
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 [78].
2017	TALOS	Компания PAL Robotics создала полностью электрического робота-гуманоида, в суставах рук которого есть датчиками с крутящим моментом. Робот TALOS обладает коммуникационной технологией EtherCAT, может также манипулировать полезным грузом до 6 кг в каждом из своих захватов.[79]

Год	Название	Создатель и возможности робота
2018	Rashmi Robot	Ранджит Шривастав (Индия) создал многоязычного реалистичного робота-гуманоида, обладающего способностью интерпретировать наблюдаемые на лицах людей эмоции [80].
2020	Vyommitra	Индийская Космическое Агентство разрабатывает человекоподобного робота с женским лицом для работы на борту Gaganyaan, орбитального космического корабля с экипажем. [81].
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 [82].
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 [83].
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 [84].

Остановимся на последнем роботе. Андроидный робот Амека (Ameca) был показан на выставке CES¹⁰ 2022, которая в начале 2022 года 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. Это чисто электромеханическая имитация. 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).

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

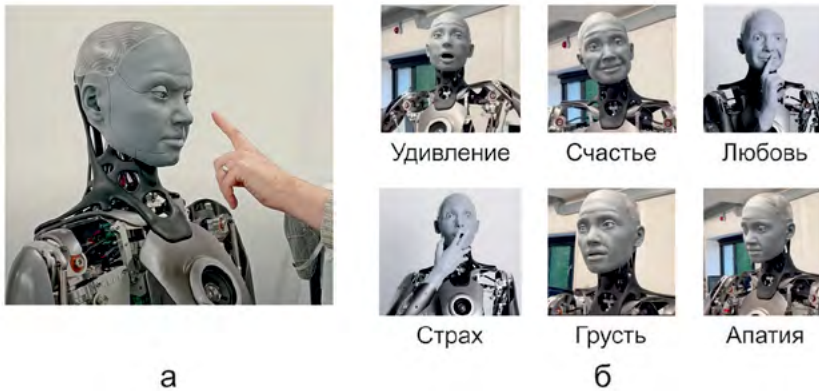


Рис. 17. Робот Амека (а) и изменения её лица, имитирующие мимику человека (б) [84]

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 счет подвижности мышц лица.

4.2. Человек или робот? Особая задача распознавания образов

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

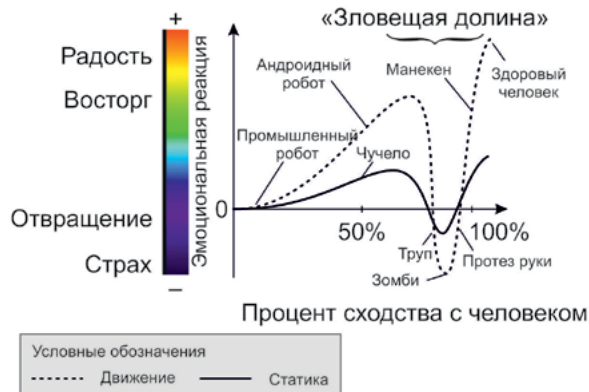


Рис. 18. «Зловещая долина» Масахиро Мори

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 [85].

Заметим, что развитие цифровых информационных технологий изменяет восприятие людей. В результате периодически возникают дис-

куссии 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 этой точки зрения все существующие ограничения базируются на тех упрощениях, которые неизбежны сегодня, но настанет время, когда более совершенные программы позволят избавиться от этих 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. Еще У.Р. Эшби в середине XX века определил четыре составные части операционного метода [86]:

- 1) метод должен быть определен в форме рабочего приема;
- 2) он должен быть применим к исследованию всех материальных «машин» – как одушевленных, так и неодушевленных;
- 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.

Как уже отмечалось в первой главе в разделе 1–6, более 60 лет назад А. Тьюринг (*Alan Turing*) предложил тест, 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. С помощью придуманного эксперимента Д. Сирл показал, что использование некоторым устройством программы, пускай даже совершенной, ещё не может свидетельствовать о её разумности и наличия у неё сознания. Появление мышления и сознания (как было показано выше в этой главе) 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 нужно назвать другим термином и не называть *сознанием* [88].

Может показаться, что этот семантический спор лишен смысла, поскольку несёт на себе груз терминов для многих целей полезных, но неопределенных. 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, эта ситуация сегодня изменилась. На мониторе может быть и робот. Уже это экспериментально доказано. Например, японский инженер Хироси Исигуро (с 2003 года профессор Осакского университета) известен как создатель серии человекоподобных роботов. Одно из его творений Geminoid ростом 180 см повторяет облик самого создателя робота и заменяет его во время лекций (рис. 19).

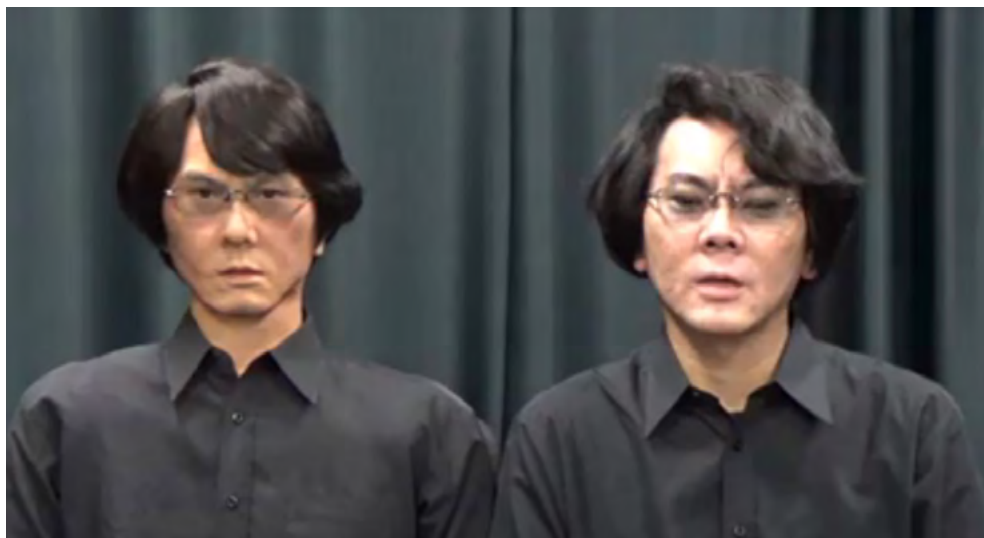


Рис. 19. Профессор Хироси Исигуро (справа) и его двойник робот – андроид (слева)

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»* [89]

Создание антроидных 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 нейрофизиологии говорят, что *душа* или *сознание* – это всего лишь взаимное функционирование частей коры и подкорки нашего мозга (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 людьми. 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 [90–92]. Можно пытаться 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» [18]. В статье они отметили: *«Феномен сознания не является частным или выдуманым понятием, он просто релятивистский. В системе отсчета когнитивной системы сознание будет наблюдаемым с точки зрения одного наблюдателя, а в другой системе отсчета будет наблюдаемо другим наблюдателем. Учитывая, что сознание является релятивистским явлением, ни одна из позиций этих двух наблюдателей не может быть привилегированной,...»*.

Итак, сложность определения термина сознания при различных подходах связана с тем, что каждый экспериментатор, использующий тот или иной метод исследований, сталкивается со специфическим набором неопределенностей, затрудняющих решение этой проблемы в целом. Эта ситуация аналогична известной древнеиндийской притче «Слепые и слон» [93], иллюстрирующей заблуждения слепых, ощупывающих разные части слона и не понимающие 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 мы положили в основу распознавания и классификации. Ошибки при выборе признаков, используемых при классификации, приводит к парадоксам, поэтому ответ на вопрос: может ли машина иметь сознание? – зависит от договоренности между исследователями. Поскольку разные их группы вкладывают в этот 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 робота *семантическая и прагматическая характеристики редуцированы, а целевая функция задана программистом*.

4. Согласно давно известному негэнтропийному принципу, информация есть негэнтропия [94]. 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.

5. Однако, с широким развитием цифровых технологий, искусственного интеллекта и робототехники человечество, вступило в новую, весьма неопределенную фазу своего развития. Об этом речь пойдет в следующей главе.

Глава 6

ВМЕСТО ЭПИЛОГА

Не старайся знать всё, иначе невеждой будешь во всём.

Демокрит

1. В ПОИСКАХ УСТОЙЧИВОСТИ БИОСИСТЕМ



Итак, мозг – это энергетически открытая система, через которую проходят как энергетические, так информационные потоки. Энергетические потоки мы можем экспериментально наблюдать, а о содержании информационных потоков лишь догадываться. Догадки достигаются регистрацией характерных временных интервалов изменения поведения человека. Для выяснения содержания информационных потоков можно вести диалог с пациентом в условиях наблюдения за изменением характеристик его мозга с помощью различных методов современной томографии.

С появлением центральной нервной системы живые организмы начали одновременно существовать в двух мирах: в мире обработки информации (быстрых процессов) и в мире силовых пространственных перемещений (медленных процессов подвижности). Важно понимать, что *информационный мир* – разнообразен.

Во-первых, информационный мир – это мир родителей и учителей, обучающих детей механизмам успешного выживания в меняющейся внешней среде.

Во-вторых, это индивидуальный мир положительных и отрицательных эмоций (стрессов), связанных с памятью о прошлом обучении и с расхождением модельных представлений с реальностью, поскольку реальность непрерывно изменяется.

В-третьих, это мир самостоятельного обучения методом «проб и ошибок».

В-четвертых, это мир реализации реальных жизненных потребностей (пища, размножение, любопытство, творчество).

В-пятых, это информационный социальный мир, основанный на связи со своими партнерами – друзьями или врагами.

Хотя наличие этих миров достаточно очевидно. Однако, не всё так просто, как может показаться на первый взгляд. Как говорил философ древности Демокрит, а затем Сократ [1,2]: **«Чем больше я знаю, тем больше я понимаю, что**

ничего не знаю». Раньше это высказывание называли принцип познавательной скромности, но дело не в *скромности* великих философов древности, а в цели, которую они ставили перед собой. Вообразим, что все наши знания – это модель внешнего мира, компактно уложенная в коре и в подкорке мозга. Чем больше становятся наши знания, тем быстрее получаемая новая информация распределяется при укладке между корой и подкоркой, освобождая, прежде занятую площадь поверхности коры, которая готовится усвоить новые знания. Так возникает привычка – постоянно пополнять себя новыми знаниями. Отсюда приведенное выше высказывание Сократа можно было бы записать так: **«Я всегда хочу знать больше, поскольку чувствую, что знаю мало».**

Каждая эпоха, создавая «теории», которые овладевают сознанием современников, тем не менее оставляет для следующих поколений много вопросов. Пример: раньше, казалось, что эволюционная теория Ч. Дарвина на основе конкуренции является замкнутой и достаточна сама по себе, отражая все стороны эволюционного развития всех живых организмов [3]. Постепенно к этой теории все привыкли [4]. Однако, одним из первых в Европе, кто подверг её научной критике, был П.А. Кропоткин. Его книга «Взаимопомощь как фактор эволюции» (1902) была переведена на многие европейские языки, но её проигнорировали. Она не оказала большого влияния на уточнение учения Ч. Дарвина. В Азии аналогичные идеи развивал японский натуралист Кинжи Иманиши (*Kinji Imanishi*), но его работы публиковались на японском языке и стали достоянием европейских исследователей после перевода, лишь в конце XX века [5]. Кроме того, в гипотезе Ламарка [6] (предшественника Ч. Дарвина), наряду с ошибками, также содержалось рациональное зерно – это идея кооперации живых организмов [7].

С появлением центральной нервной системы живые организмы не потеряли связь с микромиром бактерий и вирусов, но приобрели новое качество. В начале XXI века началось осознание того факта, что теория Дарвина отражает лишь одну сторону явлений, происходящих в эволюции живой материи, а именно конкуренцию. В XX веке появились несколько новых терминов для описания второй стороны явления – симбиоза (греч. *συνβίωσις* – «совместная жизнь»), а именно – *Holobionts* и *Hologenomes*. По-сути возникло новое направление, находящееся на стыке всех разделов эволюционной биологии, получившее название *холобионтика* (греч. *ὅλος* – *полный*) [см. обзоры: 8-11]. Сначала это научное направление в биологических исследованиях затрагивало лишь процессы, происходящие в микробиологических сообществах [12-13]. Однако было очевидно, что оно должно охватывать все уровни организации живого, благодаря наличию общих пищевых цепей как внутри отдельного организма, так и в Биосфере в целом.

Например, на поверхности и внутри нас живет суммарно порядка $10^{12} \div 10^{15}$ микроорганизмов (бактерий), суммарный вес которых в норме у взрослого человека доходит до 1,5 Кг. Их суммарный вес практически равен весу нашего мозга. Разнообразие видов этих микроорганизмов – от сотен до нескольких тысяч. Эта биота специфична для каждого из нас. Она образует разные микробио-

логические комбинации. Другими словами, не только собственный генофонд человека, а совокупный набор генов его симбионтов (союзников) определяет нормальное функционирование и продолжительность жизни «хозяина + его биота». Таким образом, мы обладаем не только собственным геномом, но наше развитие и поведение находится под влиянием генома нашей биоты [15–17].

На социальном уровне человеческого общества этот факт информационного влияния зафиксирован в афоризме: «скажи, с кем ты дружишь, и я скажу, кто ты».

Системное исследование живых сообществ продолжается и сейчас. *Проблема устойчивости с учётом биоты является одной из центральных проблем прикладной биологии и биофизики* как для решения задач экологии в целом, так и частных задач биомедицины, сельского хозяйства, демографии и биобезопасности. Это важно учитывать также при освоении новых территорий планеты и космического пространства, при развитии восполняемых энергетических ресурсов и при поиске отличия живых систем от искусственных интеллектуальных систем.

Биота – неоднородна. Она может содержать не только союзников, но и конформистов, и врагов (паразитов). Нарушение баланса между ними приводит к разнообразным отклонениям в поведении организма-хозяина и даже может влиять на его психику, что оказывается существенным фактором в противопоставлении стратегий Жертв по отношению к Хищникам, и наоборот Хищников к Жертвам. Таких примеров много, ограничимся лишь одним.

Существует, например, такая болезнь *вертячка*, при которой больные травоядные жвачные животные, например, овцы, ходят, пошатываясь, кругами и, в конце концов, отбиваются от стада. Вертячка вызывается проникновением в головной и спинной мозг овцы паразита – личинки собачьего ленточного червя *Taenia multiceps*. Следующим «хозяином» гельминта становятся волки или дикие собаки, которые охотятся за отделившимися от стада животными. Как правило, паразиты не индуцируют какие-то новые типы поведения, а просто трансформируют существующие поведенческие реакции так, что они неправильно отражают в коре головного мозга состояние внешней среды в текущий момент и тем самым препятствуют выживанию животного [18]. Очень часто то, что называют болезнью, связано с нарушением биоты организма и борьбой на этом иерархическом уровне между союзниками и паразитами организма-хозяина.

Что притягивает микроорганизмы-союзники к организму хозяина? Это *информационно-энергетическая взаимопомощь*. При этом оба партнёра или только один извлекает для себя энергетическую пользу от содружества с другим, или один извлекает энергетическую пользу, а другой извлекает информационную пользу. Наконец, третий вариант – обмен информационной пользой, когда один получает необходимую для него информацию от другого, а второй, в свою очередь, получает нужную ему информацию от первого.

Осуществляемые в ходе симбиоза действия или производимые вещества являются для партнёров существенными для поддержания устойчивости их совместного выживания. В обобщённом понимании такой процесс есть проме-

жуточное звено между дистанционным взаимодействием и полным слиянием. Слияние – это предельный случай симбиоза, когда партнеры объединены в объеме одного тела и имеют общий генетический код, который считывается по мере формирования органов тела при дифференцировке клеток (табл. 1) [19, 20].

Табл. 1. Количественные показатели на разных уровнях организации человека как симбиотического объединения бактерий

Наименование	Количество
1. Объем тела взрослого человека	$\sim (0,03 \div 0,05) \text{ м}^3$
2. Поверхность тела взрослого человека	$\sim (1,6 \div 2) \text{ м}^2$
3. Плотность тела человека	$\sim (1050 \div 1100) \text{ кг/м}^3$
4. Количество нейронов в мозгу	$\sim 10^9 \div 10^{10}$
5. Количество нейроглии в мозгу	$\sim 10^{10} \div 10^{12}$
6. Максимальное количество связей (синапсов)	$\sim 10^{12} \div 10^{14}$
7. Количество клеток в теле человека	$\sim 10^{13} \div 10^{15}$
8. Из них – симбиотических бактерий	$\sim 0,7 (10^{13} \div 10^{15})$
9. Количество различных типов клеток	~ 210
10. Количество молекул воды	$\sim 10^{14}$
12. Количество молекул сахаров	$\sim 5 \times 10^{12}$
10. Количество молекул жиров	$\sim 2 \times 10^{12}$
13. Количество РНК	$\sim 6 \times 10^{10}$
14. Количество разных типов белков	$\sim 10^6$
15. Количество низкомолекулярных метаболитов	$\sim (2 \div 3) \times 10^3$
16. Количество генов	$(25 \div 35) \times 10^3$
17. Длина ДНК	$\sim 2 \text{ м}$

Примечание: Организм человека можно представить как сформировавшийся в процессе эволюции конденсат из одноклеточных организмов. Другими словами, клетки и органоиды объединяются в единую гигантскую колонию объемом $\sim (0,03 \div 0,05) \text{ м}^3$. Эта колония эволюционно сформировала свой единый информационно-энергетический комплекс и внутренний язык общения, приобретя тем самым устойчивость, т.е. сравнительно большую продолжительность жизни, но уменьшила при этом скорость размножения.

Поясним три типа обменов, лежащих в основе симбиоза как общебиологического принципа.

Энергетический обмен: очевиден и не требует особых пояснений. Например, без желудочных и кишечных бактерий было бы невозможно пищеварение у млекопитающих животных и человека. Другой пример: грибы и водоросли

в лишайниках. Водоросли в результате фотосинтеза производят органические вещества (углеводы), используемые грибом, а тот в свою очередь поставляет воду и минеральные вещества водорослям.

Энергоинформационный обмен: это направленный перенос важной для вида генетической информации в нужном одном из партнеров направлении взамен на пищу. Примером такого симбиоза служат взаимодействия насекомых и растений. Некоторые орхидеи, опыляются только одним видом насекомых. Другие виды цветковых растений могут опыляться разными видами насекомых. Насекомые получают питание (нектар растений), а сами взамен разносят пыльцу (носителя генетической информации), способствуя размножению растения. Некоторые птицы также совмещают собственное питание с распространением семян растений в пространстве, перенося их как не перевариваемые фрагменты в своих фекальных отходах на большие территории. Имеет место и взаимная защита, например, молодые южно-американские кактусы сильно перегреваются и страдают от прямого солнечного света и могут развиваться только в тени засухоустойчивых кустарников. В свою очередь кактус – колючее растение. Он защищает кустарник от поедания травоядными животными.

Информационный (смысловой) обмен: известны наборы триад, например, птицы, травоядные животные и хищники. Некоторые птицы, питающиеся семенами в фекальных отходах травоядных, предупреждают их своими криками о появлении хищников. В основе подобного симбиоза лежит реакция животных на изменение информационной ситуации во внешней среде.

Однако долгое время психику исключали из арсенала объектов прямого наблюдения, поскольку отсутствовали надежные методы регистрации процессов, лежащих в её основе. Тем самым зоопсихология превратилась в исследование не *психической деятельности как таковой, а лишь наблюдаемого внешнего поведения*, которое является её результатом. Только развитие этологии в конце XX века и в начале XXI веке при создании методов дифференциальной электроэнцефалографии и разных методов динамической томографии привело планомерному изучению механизмов, формирующих процессы мышления. Работа нашего мозга в значительной степени организована на тех же принципах конкуренции и симбиоза, но со своими особенностями [13, 14].

Предельная постановка вопросов такая: насколько процессы взаимодействий в системах Хищников и Жертв устойчивы во времени? Может ли живая материя в результате конкуренции уничтожить сама себя? Не окажется ли процесс взаимного поедания сходящимся к нулю, т.е. к исчезновению, как хищников, так и жертв?

Ответы на эти вопросы заключаются в оценке устойчивости процессов конкуренции и симбиоза с учетом роли интеллекта животного и скорости размножения его вида. Казалось бы, что процесс взаимного поедания основан на отрицательной обратной связи и должен сходиться к нулю как спадающая функция $\langle e^{-t/\tau} \rangle$, где t – реальное время, τ – характерное время существования жертв. Однако жизнь не только существует, но и развивается, усложняясь и «карабкаясь» по ступеням иерархической сложности. Следовательно, на всякое

множество спадающих функций $\langle e^{-t/\tau} \rangle$, определяемых наличием конкуренции, должно найтись множество возрастающих или медленно спадающих функций $\langle e^{-t/\theta} \rangle$, создаваемых симбиозом, θ – характерное время восприятия и обработки информации организмами. В этом случае за счет обратной связи рост одной функции ограничивает спад другой. При этом у систем появляется равновесие, когда выполняется правило:

$$\ln \Sigma \theta_i = \ln \Sigma \tau_j, \quad (1)$$

а для устойчивого развития и усложнения должно выполняться неравенство:

$$\Sigma \theta_i > \Sigma \tau_j \quad (2)$$

Эволюционный динамический отбор устойчивых систем осуществляется на основе периодически проявляющейся слабой асимметрии локальных процессов конкуренции в пользу симбиоза. Таким образом, *наличие слабой локальной асимметрии и есть основная движущая сила эволюции биосистем*. Если это правило для отдельных видов нарушается, то этот вид вымирает, замещаясь другим, для которого оно справедливо.

Внутри всех сложных организмов идут аналогичные процессы. *В организме имеют место твердые и мягкие элементы. У индивида – это скелет и его окружение мышечной тканью и жидкими субстратами – ликвором (такими как плазма крови, лимфа, межклеточное вещество, цереброспинальная жидкость и другие разновидности коллоидов, гелей и слизей). Наличие этих двух факторов обеспечивает пластичность системы в целом, повышает ее устойчивость.*

В социальных биосистемах роль скелета выполняют ведущие виды – суперхищники и супержертвы (пассионарии, или иными словами – аттракторы) [23], а роль мягкой ткани ведомые (симбионты, конформисты и паразиты).

Важно отметить, что часто выход биосистемы за диапазон устойчивости не уничтожает её, а лишь приводит к метаморфозам, т.е. к переходу в качественно новое состояние [24, 25]. Если пытаться кратко подвести итоги состояния теории устойчивости в живых системах, то придётся признать, что сегодня это не общая теория, а *совокупность экспериментальных наблюдений и их индивидуальных модельных трактовок*. Наблюдаемые частные режимы поведения призваны дать пищу для будущих обобщений.

На практике реализация биофизических попыток создания общей теории Хищники и Жертвы требует единообразного описания самых разных моделей и погружения их в какое-то единое «конфигурационное» пространство. Например, таким пространством может быть «Поверхность Земли при "низких энергиях"», а лучше «Космическое поле», поскольку не утихают споры относительно метеоритной панспермии, как механизма зарождения и распространения живой материи в Космосе и её занесения оттуда на разные планеты [26, 27].

Иными словами, в таком сценарии предполагается снабдить «теорию» сложной фазовой подвижной структурой, а конкретные, известные нам, свой-

ства жизни интерпретировать как следствие динамического отбора частных вариантов общей теории. Хотя от этой возможности до практической реализации еще далеко, поскольку чрезвычайно велико разнообразие механизмов достижения устойчивости в сложных динамических системах [28].

Итак, что нас ждёт впереди? Исходя из идей, изложенных в книге, можно сделать два прогноза будущего: пессимистический и оптимистический.

Пессимистический прогноз

Во-первых, человечество вступило в новую, весьма опасную, фазу своего развития, когда виртуальный мир вытесняет реальный мир. Непрерывно создаваемые человеком новые технологии меняют внешний мир, а его изменение меняет самого человека. Мы уже живем в эпоху **гигантского столкновения реального и виртуального миров**. Эту ситуацию можно назвать *информационным психозом*, при котором пороги между мирами исчезают. При этом может возникнуть нарушение устойчивости общества. В свое 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 путем размножения текстов и, наконец, создание новых видов долговременной памяти в эпоху компьютеризации и Интернета). Все это способствовало технологическому ускорению развития человеческого общества. Однако в настоящее время широкое использование ИИ уже начало приводить к проблемам. Ограничусь двумя примерами.

Известный американский лингвист, философ и профессор Массачусетского технологического института Эврем Ноум Хомский¹ (*Avram Noam Chomsky*), в силу своего возраста и опыта, считает, что развитие ИИ пошло по неправильному и даже опасному для человечества пути. Он 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. Он следит в Интернете за человеком-пользователем, коллекционирует и анализирует его запросы и переписку, а затем на основе анализа этих данных формирует его психологический портрет и как бы стремится помочь преодолеть возникшие у человека проблемы.

Автоматически общаясь с клиентом *чат-бот* с помощью текста или голоса ведёт диалог, как бы стремясь в сжатые сроки предоставить актуальную для клиента информацию или готовый продукт. Хомский отмечает, что широкое использование подобных программ с ИИ создаёт иллюзию их сверх полезности, 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 проис-

¹Э.Н. Хомский (г.р. 1928) внес большой вклад в классификации формальных языков, именуемую иерархия Хомского, что содействовало развитию когнитивных наук.

ходящих событий в жизни людей. Им не свойственны понятия Добра и Зла. Более того *чат-боты*, основываясь лишь на статистике, могут в равной степени утверждать, что Земля круглая и плоская. Они могут прийти к заключению, что искусственное распространение суицида или роста сексуальных меньшинств (ЛГТБ сообществ) в обществе людей полезно, т.к. это ограничивает рост населения, или, что классическая семья (муж, жена и их дети) – это архаизм и т.д. Советы *чат-ботов*, основанные на статистическом машинном обучении, всегда будут поверхностными и сомнительными. Подобные ошибки при общении с чат-ботами будут приводить к обману людей и в лучшем случае заканчиваться судами. Однако, законодательство к рассмотрению подобных дел пока не готово, поскольку нет законодательной основы. Существующее желание у фирм, создающих программы ИИ, собрать большие массивы данных, идет непрерывно, хотя и не понятно, в какую теорию эти данные могут уложиться. Русская поговорка – *«слышат звон, но не знают, где он»*, – хорошо отражает состояние этой работы.

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

Во-вторых, некоммерческая организация Future of Life 29 марта 2023 года на своем 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 еще тысяча исследователей ИИ призывали «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 создатель, уже не может понять как работают эти системы, а, следовательно, не имеет 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 ме-*

ста, 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 нас? 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 не только более точными, но безопасными, интерпретируемыми, прозрачными, надёжными и заслуживающими доверия. Параллельно разработчики ИИ должны работать с политиками, чтобы значительно ускорить разработку надёжных систем управления 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 текста этого обращения трудно понять, чего в нём больше – беспокойства за судьбу человечества или желания затормозить конкурентов в борьбе за новый информационный рынок?

В-третьих, сегодня все более заметной становится односторонняя тенденция развития части молодого поколения на основе компьютерных игр, что приводит к вытеснению реальности из их сознания. Эта молодежь, повзрослев, размножит доверчивую клиентуру чат-ботов, что действительно может привести

к непредсказуемым последствиям. Виртуальный мир в мозгу ребенка, воспитанного на виртуальном компьютерном мире, живет 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*.

В-четвертых, 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 жаренный петух не клюнет», – хорошо отражает поведение современных финансовых элит. Возможно, что вскоре «Петух клюнет», 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.

Оптимистический прогноз

Риски возникали и существовали всегда. Прогнозировать поведение сложных нелинейных систем практически невозможно. Можно надеяться, что существенная часть следующего поколения скорее всего будет умнее существующего. Эта ситуация – обычная в развитии человечества и периодически повторяется. Поэтому есть надежда, что и с новыми рисками человечество справится. Однако для этого необходимо интенсивное развитие междисциплинарных наук и усиление пропаганды их научных достижений.

Эффективность этих наук должна вселять оптимизм у молодежи, поскольку ускорит выяснение, что все частные риски, несмотря на их разнообразие, обладают некоторыми общими чертами. Объединение физико-химических законов и социальных наук в одно целое – это задача фундаментальной науки и системного подхода к изучению мозга. Уже осознано, что Природы едина, а её деление на рубрики – условно [4].

Дальнейшее развитие человечества требует создания новых синтетических наук, подобных *биофизике* или, если кому-то больше нравится, то одну из таких наук можно назвать *психофизика*. Здесь уместно напомнить, что наиболее плодотворными оказываются приложения математического формализма на границах рубрикаторов наук. Эффективность междисциплинарных наук и их усвоение ускорит адаптацию человечество к нововведениям. Здесь уместно напомнить, что наиболее плодотворными оказываются приложения математического формализма на границах рубрикаторов наук. Ещё в 1944 году 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 (1970 и 2001 год). Главная ее мысль, что тому, кто хочет обнаружить скрытое, важно не замыкаться в одной области науки, а сохранять связь с другими её областями. По сути в этой 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 необходимость расширения междисциплинарных наук.

Не стоит преувеличивать, а тем более абсолютизировать значение тех или иных физико-химических идей или сценариев, и сегодняшнюю их прогностическую ценность, в том числе обобщенную теорию Хищник – Жертва. Поскольку, в лучшем случае, её придется еще много раз модифицировать, а в худшем – заменить на нечто новое. Эта ситуация – обычная в процессе развития науки. *Биофизика* как наука пока основана на классической механике, которая ограничена сверху общей теорией относительности, а снизу квантовой механикой, поэтому от ускоренного расширения этих границ биофизики зависит не только решение многих практических задач биомедицины и экологии, но и движение всего фронта фундаментальной науки, включая развитие ИИ [28].

2. КАК И В КАКОМ НАПРАВЛЕНИИ ДВИГАТЬСЯ ДАЛЬШЕ

Необходимо понять не только как работает наш мозг с носителями информации, но и как он работает со смыслом передаваемой информации. При обобщении результатов исследования, с одной стороны, нужно избегать ошибок, порождаемых пластичностью исследуемого мозга человека, и большим индивидуальным разбросом восприятия людьми смыслов информации. Это весьма непростая задача. Исследователь при изучении мозга, чтобы не наткнуться на ошибки, должен учитывать узкий, и непрерывно меняющийся коридор при исследовании каждого индивидуального мозга. Другими словами, исследователь в этом случае периодически оказывается между Сциллой и Харибдой. Многие выдающиеся люди, посвятившие свою жизнь нейронаукам, выходя за пределы коридора, становились жертвами ошибочных трактовок полученных результатов. В качестве примера приведу краткий перечень причин подобных ошибок, состоящий из их четырех групп.

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 возникновения случайности, т.е. предположение, что события всегда испытывают влияние предыдущих событий.

- Недооценка эффекта общественного мнения, когда многократно повторяемая ложь может в силу внушения казаться правдой.
 - Недооценка преобладания в нашей памяти позитивного восприятия прошлых событий, возникающего из-за изменений 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 исследователей.
 - Ошибочное и бессознательное предположение, что все другие разделяют твоё мнение.

Однако надежных рецептов, как избежать подобных ошибок, пока нет. Каждому из нас остается надеяться лишь на собственную интуицию и собственный опыт.

• • •

Поскольку я начал заключительный раздел книги с панегирика древним философам, то и закончу похвалой в их адрес. У них многому можно научиться. По сведениям античных авторов, на стене храма Аполлона в Дельфах было сделано несколько надписей. Одна из них гласила: *«Познай самого себя»*. Автор этого высказывания неизвестен. Смысл фразы оставался загадочным и вызывал множество толкований. Одним из толкователей в IV веке до н.э. был Сократ. Его анализ этой фразы дошёл до нас. *«Во всяком ремесле, – говорил он, – мастер и инструмент, которым он пользуется, не тождественны друг другу. Так, сапожник пользуется резакom, ножом и другими инструментами, значит, сам он не есть ни нож, ни резак, ни какой-либо из других инструментов. Но сапожник пользуется не только инструментами. Он пользуется также своими руками, глазами и прочими частями тела; стало быть, он не есть также руки, глаза или какая-либо из этих частей. Но это ещё не всё: ведь человек пользуется не только руками и глазами, но и всем своим телом. Следовательно, человек и тело, которым он пользуется, не есть одно и то же. Что же такое сам человек? Сам человек, – делает вывод Сократ, – есть именно то, что пользуется телом, а то, что пользуется телом, мы называем душой².*

²Как отмечалось выше сегодня термин «душа» заменили терминами «Сознание или Разум»

Итак, человек есть душа, управляющая телом, как своим инструментом; а значит, Бог, призывающий познать самого себя, призывает познать свою душу» [1, 2]. 2300 лет спустя наш выдающийся писатель и врач А.П. Чехов ответил Сократу устами своего героя: «Познай самого себя» – прекрасный и полезный совет; жаль только, что древние не догадались указать способ, как пользоваться этим советом» [29].

Возможно, что следующее поколение исследователей, опирающееся на наш опыт и добавляя свой, сможет детальнее разобраться с механизмами работы мозга человека, восприняв при этом совет Николая Заболоцкого:

*Не позволяй душе лениться!
Чтоб в ступе воду не толочь,
Душа обязана трудиться
И день и ночь, и день и ночь!*

Закончить эту книгу 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 развития человечества с использованием ИИ как эффективного инструмента познания, окружающего нас мира.*

АЛФАВИТНЫЙ СПИСОК ТЕРМИНОВ И АББРЕВИАТУР, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КНИГЕ, И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термины и аббревиатуры	Определения
Адаптация	От лат. <i>adapto</i> «приспосаблию» – приспособление строения и функций организма, его органов и клеток к условиям внешней среды. Процессы адаптации направлены на сохранение гомеостаза.
Адвекция	От лат. <i>advectio</i> – «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.
Аксиома (см. Постулат)	От древне греч. ἀξίωμα «утверждение, положение» – это исходное положение какой-либо теории, принимаемое в рамках данной теории истинным, и используемое при доказательстве других её положений, которые, в свою очередь, являются теоремами.
Айтишники	Определение людей, владеющих информационными технологиями. (см. Информационные технологии)
Амилоидные отложения	Результат нарушения белкового обмена, сопровождающееся образованием и отложением в тканях специфического белково-полисахаридного комплекса – амилоида.
Антипод	От др.-греч. ἀντίπους, мн. число будет ἀντίποδες – «противоположные, противостоящие» – это объект, противоположный данному объекту; <i>антиподы</i> – это парная альтернатива, пара противоположных объектов.
Андроид	От греч. ἀνήρ, «мужчина», εἶδος «подобие», т. е. человекоподобный робот.
Антропогения	От греч. от <i>anthropos</i> – «человек», и <i>genea</i> – «рождение» – учение о происхождении человека и человеческих рас.

Апофения	От др.-греч. ἀποφαίνω «высказываю суждение, делаю явным» ← ἀπο «из-» + φαίνω «представление» – это переживание, заключающееся в способности видеть структуру или взаимосвязи в случайных или бессмысленных данных.
Апостериорная информация	От лат. <i>a posteriori</i> , буквально, – «из последующего». Информация – ранее не известная человеку, т.е. полученная в результате нового проведенного эксперимента, или от учителя, или путем самостоятельного мыслительного анализа внешней среды.
Априорная информация	От лат. <i>a priori</i> , буквально, – «от предшествующего» – знание, полученное до опыта и независимо от него, то есть знание заранее известное человеку.
Астроцит	От лат. <i>astrocytus</i> ; astro – «крупный», cytus – «клетка» – крупная нейроглиальная клетка звездчатой формы с многочисленными отростками. Этот вид глии выполняет много функций. В контексте этой статьи наиболее важным будет его функция поддержания устойчивости мозговых систем на основе формирования глимфатического потока, т.е. очистки синоптической щели путем выведения глутамата и ионов калия после передачи сигнала между нейронами.
Аттрактор	От англ. <i>attract</i> – «привлекать, притягивать» – компактное подмножество фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого стремятся к нему при времени, стремящемся к бесконечности. Аттрактором может являться притягивающая неподвижная точка (к примеру, в задаче о маятнике с трением о воздух), периодическая траектория (пример – самовозбуждающиеся колебания в контуре с положительной обратной связью), или некоторая ограниченная область с неустойчивыми траекториями внутри (как у странного аттрактора).
Аускультация	От лат. <i>auscultatio</i> – «выслушивание» – физический метод медицинской диагностики, заключающийся в выслушивании звуков, образующихся в процессе функционирования внутренних органов..
Афферентация	От лат. <i>afferens</i> «приносящий» – это постоянный поток нервных импульсов, поступающих в центральную нервную систему от органов чувств, воспринимающих информацию как от внешних раздражителей (экстерорецепция), так и от внутренних органов (интерорецепция). Находится в прямой зависимости от количества и силы воздействующих раздражителей, а также от состояния – активности или пассивности – индивида.
Биологические часы или биоритмы	От греческого βίος – <i>bios</i> , «жизнь» и ῥυθμός – <i>rhythmos</i> , «любое повторяющееся движение, ритм» – это периодически повторяющиеся изменения характера и интенсивности биологических процессов и явлений. Ритмы свойственны живой материи на всех уровнях её организации – от моле-

	кулярных и субклеточных до биосферы. Ритмика являются фундаментальным свойством процессов в живой природе.
Бихевиоризм	От англ. <i>behavior</i> – «поведение». Это – научное направление, которое предполагает, что все действия человека состоят из поведенческие реакций, отвечающих на определённые стимулы и состоят из рефлексов, реакций на определённые стимулы в среде, а также последствий индивидуальной истории, таких как подкрепление и наказание, совместно с настоящим мотивационным состоянием индивида и контролирующими стимулами. Сторонники этого научного направления не отрицают важную роль, которую играет наследственность в определении степени реагирования на разные факторы среды, но, прежде всего, фокусируются на поведении человека, в значительной части пренебрегая его мыслительными процессами.
Вещь в себе, Вещь сама по себе	От нем. <i>Ding an sich</i> ; англ. <i>thing-in-itself</i> ; фр. <i>chose en soi</i> – философский термин, вещь как таковая, вне зависимости от нашего восприятия. Понятие вещи в себе тесно связано у Иммануила Канта с понятием ноумен (греч. νοούμενον «постигаемое» от νοέω «постигаю»), обозначающим объекты умопостигаемые, в отличие от чувственно воспринимаемых феноменов.
Виртуальная реальность	Это созданный техническими средствами мир, передаваемый в реальном времени человеку через его ощущения: зрение, слух, осязание и другие. Виртуальный мир имитирует реальность, но может не полностью соответствовать реальному миру.
ВОЗ	<i>Всемирная организация здравоохранения</i> (англ. WHO – <i>World Health Organization</i>) – специализированное учреждение Организации Объединённых Наций, состоящее из 194 государств-членов, основная функция которого лежит в решении международных проблем здравоохранения населения Земли.
Гидроцефалия	Водянка головного мозга – заболевание, характеризующееся избыточным скоплением цереброспинальной жидкости в желудочковой системе головного мозга в результате затруднения её перемещения от места секреции (желудочки головного мозга) к месту абсорбции в кровеносную систему. Сам термин происходит от древне.-греч. ὕδωρ «вода» + κεφαλή «голова».
Гоминиды	Латинское <i>Hominidae</i> – семейство приматов, включающее людей и больших человекообразных обезьян. Вместе с гиббоновыми образует надсемейство гоминоидов.
Гипнопедия	От др.-греч. ὕπνος – сон, παιδεία – обучение; обучение во сне – методика обучения во время естественного сна, заключается в прослушивании обучаемым во время сна реального голоса гипнотизёра или в записи.

Гиппокамп	От др.-греч. ἵππόκαμπος – «морской конёк» – отдел лимбической системы головного мозга человека. Отвечает за развитие интуиции и механизма предвидения. Участвует в механизмах формирования эмоций, консолидации памяти (то есть перехода кратковременной памяти в долговременную) и пространственной памяти, необходимой для навигации. Генерирует тета-ритм ЭЭГ при удержании внимания.
Гипнограмма	Это график, представляющий этапы сна в зависимости от времени. Он был разработан как простой способ представить записи волновой активности мозга в виде изменения ЭЭГ в периоды сна. Это график позволяет идентифицировать различные стадии сна: сон с быстрым движением глаз под закрытыми веками (REM) со сновидениями и сон без быстрого движения глаз (NREM) без сновидений. Сон NREM можно дополнительно классифицировать на стадии NREM 1, 2 и 3.
Гипоталамус	От лат. <i>hypothalamus</i> , от др.-греч. ὑπό ‘под’ и θάλαμος ‘комната, камера, отсек, таламус – это небольшая область в промежуточном мозге, включающая в себя большое число групп клеток (свыше 30 кластеров), которые регулируют нейроэндокринную деятельность мозга и гомеостаз организма.
Глиальные клетки	От др.-греч. νεῦρον – «волокно, нерв» + γλοιός – «клей» – совокупность вспомогательных клеток нервной ткани. Составляет около 40 % объёма центральной нервной системы. По последним исследованиям, количество глиальных клеток (глиоцитов) в мозге примерно такое же, как и нейронов, но они распределены неравномерно..
Лимфатическая система	Это анатомический ликворный путь удаления продуктов жизнедеятельности тканей (т.е. «шлаков») в центральной нервной системе млекопитающих,
Голограмма	Изображение любого объекта с наиболее точным стереоскопическим воспроизведением зрительного впечатления, т.е. сохраняется ощущение глубины поверхности и его ракурсности. Изображение внешне выглядит как реальный, но бестелестный объект.
Гониометр	От др.-греч. γωνία – «угол» и μετρέω – «измеряю» – класс измерительных приборов для высокоточного измерения углов. Объекты измерения и способы измерения могут быть различными.
Гормоны	От др.- греч. ὀρμάω – «двигаю, побуждаю, привожу в движение» – сигнальные химические вещества, вырабатываемые одними клетками тела и влияющие на другие клетки частей тела.
Диссипативная структура	Устойчивые пространственно неоднородные структуры, возникающие в результате развития неустойчивостей в од-

	нородной неравновесной диссипативной среде: например, ячейки Рэлея – Бенара (чередование восходящих и нисходящих конвекционных потоков в жидкости), страты в плазме, неоднородные распределения концентраций в химических реакторах, перистые облака и др.
Диссипативная среда	Распределённая физическая система, в которой энергия упорядоченных (макроскопических) движений или полей необратимым образом переходит в энергию неупорядоченных (хаотических) движений или полей. Подобные среды могут быть средой с потерями и консервативной средой без потерь. В последнем случае она является идеализацией диссипативной среды, т.е. со слабой диссипацией (рассеиванием) энергии.
Духовные переживания	Субъективные переживания от встречи с реальностью, ощущение зависимости от внешних неведомых сил или от не ощущаемого порядка вещей. В религии – это чувство вины и страха перед божьим судом или внутреннее умиротворение в надежде на божественное всепрощение.
ИИ	Искусственный интеллект (ИИ; англ. <i>artificial intelligence</i> , AI) – свойство искусственных интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека (не следует путать с термином <i>сознание</i>)
Идеальный газ	Это теоретическая модель газа, состоящая из множества случайно движущихся точечных частиц, которые не взаимодействуют между собой. Концепция идеального газа полезна, поскольку она подчиняется закону идеального газа, упрощенному уравнению состояния, и поддается анализу в рамках статистической механики. Требование нулевого взаимодействия часто может быть ослаблено, если, например, взаимодействие является абсолютно упругим и рассматривается как точечные столкновения.
Интерстиция	Это пространство внутри мозга, заполненное лимфатической жидкостью (ЛЖ).
Информационные технологии	Это процессы, использующие совокупность средств и методов сбора, обработки, накопления и передачи данных (первичной информации) для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса, явления и информационного продукта, а также способы распространения любых видов информации.
Информационный психоз общества	Ситуация, при которой пороги между реальным и виртуальным мирами исчезают. При этом возникнет нарушение равновесия, которое связано, например, с наркотиками разных видов или с воздействием компьютерных социальных технологий.
КАР	Креативный Андроидный Робот (см. Андроид и см. Креативность)

Киберпанклизм	Этот термин происходит от слов «кибернетика» и «панк» (англ. <i>punk</i> – перен. разг. «шпана, «дрянь»), характеризуют «альянс технического мира с низшими проявлениями поп-культуры и уличной анархии».
Киральность или Хиральность	От англ. <i>chirality</i> , от др.-греч. χεῖρ – «рука» – отсутствие симметрии относительно правой и левой части объекта. Например, если отражения правой и левой частей объекта в идеальном плоском зеркале отличаются друг от друга по каким либо параметрам, то объекту присуща хиральность.
Конкуренция	Это борьба между антагонистическими процессами за использование поступающей энергии. От лат. <i>concurrentia</i> , от лат. <i>concurro</i> – «соответствовать, равняться, быть равным».
Кооперация	Форма взаимодействия, при которой определённое количество систем организма или организмов совместно участвуют в одном и том же процессе, направленном на совместное выживание при изменениях внешней среды (от лат. <i>cooperatio</i> – сотрудничество)
Консенсус	От лат. <i>consensus</i> – «согласие, сочувствие, единодушие» – способ разрешения конфликтов при принятии решений, если отсутствуют принципиальные возражения у большинства заинтересованных лиц. Решения принимаются на основе общего согласия (без проведения голосования), если против никто не выступает, либо при исключении мнения немногих несогласных участников (с проведением голосования).
Консументы	От лат. <i>consume</i> «употреблять» – организмы, потребляющие готовые органические вещества, создаваемые автотрофами (продуцентами). В отличие от редуцентов (см. Редуценты), консументы не способны разлагать органические вещества до неорганических.
Конфессия	Это подгруппа внутри общей религии, которая действуют под общим названием и со своими традициями.
Конформист	От позднего лат. <i>conformis</i> – «подобный», «сообразный» – термин, обозначающий приспособленчество, пассивное принятие существующего порядка вещей или господствующих мнений. Конформизм означает отсутствие собственной позиции, некритическое следование любому образцу, обладающему наибольшей силой давления (мнение большинства, признанный авторитет, привычка и страх).
Креативность	От лат. <i>creatio</i> – творчество, предполагает присутствие прогрессивного подхода, воображения и оригинальности. Прослеживается в различных видах деятельности, создаваемых им продуктов, а также в отдельных сторонах качества самого субъекта.
Классификация	В широком смысле является фундаментальной концепцией и частью почти всех видов деятельности. Она является меж-

	дисциплинарной областью исследования и способствует развитию философии, биологии, организации знаний, психологии, статистики и математики.
Клиренс	От англ. <i>clearance</i> – этот термин используется в медицине как показатель скорости очищения биологических жидкостей или тканей организма от токсинов и «шлаков».
Лаваж	Диагностическая и лечебная медицинская процедура, предполагающая введение нейтрального раствора в органы (bronхи, легкие, кишечник или мозг), с последующим его удалением из них.
ЛГТБ сообщество	Сообщество лесбиянок, геев, бисексуалов, трансгендерных людей (ЛГБТ) и прочих сексуальных меньшинств, объединяемое общими интересами, проблемами и целями.
ЛЖ	Лимфатическая жидкость (от латинского <i>lymph</i> , что означает "вода") – это жидкость, которая течет через лимфатическую систему, состоящую из лимфатических сосудов (каналов) и промежуточных лимфатических узлов, функция которых, как и венозной системы, заключается в возврате жидкости из тканей для рециркуляции.
Лимбическая система головного мозга человека	От лат. <i>limbus</i> – «граница, край» – совокупность структур головного мозга, расположенных на обеих сторонах таламуса. Окутывает верхнюю часть ствола головного мозга и образует его границу (лимб). Эта система представляет собой не отдельную структуру, а скопление из конечного мозга, промежуточного мозга (диэнцефалона), и среднего мозга (мезэнцефалона). Точные границы этой системы до сих пор не определены.
Ложная информация	Информация, удаляющая человека от решения возникшей перед ним задачи.
МВНДЗ	Механизм возникновения нейродегенеративных заболеваний.
Метаморфоза	От др.-греч. μεταμόρφωσις – «превращение», у животных называется также метаболіей – это глубокое преобразование строения организма (или отдельных его органов), происходящее в ходе индивидуального развития (см. онтогенез). Метаморфоза у растений и животных существенно различается.
Мимика человека	Выражение лица с помощью движений мышц под кожей лица. Эти движения могут передавать эмоциональное состояние человека. Выражение лица – это форма невербального общения. Является основным средством передачи информации между людьми, но также встречается у большинства других млекопитающих и некоторых других видов животных.

Моллюски	Тип первичноротых целомических животных со спиральным дроблением. Оценка общего количества видов моллюсков колеблется в разных публикациях в диапазоне от 100 до 200 тысяч. Они освоили практически все среды обитания: морские и пресноводные водоёмы, почву, наземно-воздушную среду. Особое место по своему развитию среди моллюсков занимает осьминог обыкновенный, обитающий в морях.
МРТ	Магнитно-резонансная томография – способ получения томографических (см. томография) медицинских изображений для исследования внутренних органов и тканей с использованием явления ядерного магнитного резонанса. Способ основан на измерении электромагнитного отклика атомных ядер, находящихся в сильном постоянном магнитном поле, в ответ на возбуждение их определённым сочетанием электромагнитных волн.
Мультикоптер	От англ. <i>multicopter</i> – «многоворотный вертолёт» – летательный аппарат с тремя и более несущими винтами..
Нанороботы	Это роботы, размером сопоставимые с молекулой (менее 100 нм), обладающие функциями движения, обработки и передачи информации на основе заложенной в них программы.
Негэнтропия	Это физический термин, образованный добавлением отрицательной приставки нег- (от лат. <i>Negativus</i> – отрицательный) к понятию энтропия, и обозначающий её противоположность. В самом общем смысле противоположен по смыслу энтропии и означает меру упорядоченности и организованности системы или количества имеющейся в системе энергии. Термин иногда используется в физике и в математике (в теории информации, математической статистике) для обозначения величины, математически противоположной к величине энтропии.
Нейродегенеративные расстройства мозга	Это заболевания, связанные с прогрессирующей потерей структуры или функции нейронов (склероз, болезнь Паркинсона, болезнь Альцгеймера, болезнь Хантингтона, множественная системная атрофия). Пока не существует надежного способа обратить вспять прогрессирующую дегенерацию нейронов, поэтому эти заболевания считаются неизлечимыми.
Нейромедиаторы	Это – биологически активные химические вещества, посредством которых осуществляется передача возбуждения от нейрона к нейрону. Нейромедиаторы проходят через синаптическую щель между нейронами,
Онтогенез	От др.-греч. ὄν, лат. <i>on</i> > род. ὄντος, <i>ontos</i> «сущий» + γένεσις, <i>genesis</i> «зарождение» – индивидуальное развитие организма от рождения до смерти. У многоклеточных животных, включая человека, под онтогенезом принято различать фазы эмбрионального и постэмбрионального развития.

Операционный метод У.Р.Эшби	Эшби принадлежит введение термина гомеостат (1948), и понятия самоорганизация. Он сформулировал, так называемый закон, о требуемом разнообразии, названный его именем (закон Эшби): «управление может быть обеспечено только в том случае, если разнообразие средств управляющего (в данном случае всей системы управления) по крайней мере, не меньше, чем разнообразие управляемой им ситуации».
Пассионарии	Термин введён Л.Н. Гумилёвым. В теории этногенеза это люди, с особой характеристикой их поведения и психики. Они обладают врождённой способностью потреблять из внешней среды энергии больше, чем это требуется только для их личного самосохранения, чтобы затем выдавать эту энергию в виде целенаправленной работы по видоизменению окружающей их социальной среды.
Периваскулярное пространство	Пространство между стенками сосудов и белым веществом мозга, заполненное глиальными клетками и аксонами нейронов головного мозга. Эти образования называют также кривбурами или пространствами Вирхова – Робина.
Плюрализм	От лат. <i>pluralis</i> – «множественный» – это позиция, согласно которой существует несколько или множество независимых и несводимых друг к другу начал или видов бытия, оснований и форм знания и стилей поведения. Другими словами, отрицается единый логический подход оценки происходящих событий..
Принцип дополнителности	Это один из важнейших методологических принципов науки, а также один из важнейших принципов квантовой механики, сформулированный в 1927 году Нильсом Бором. Согласно этому принципу, для полного (целостного) описания квантово-механических явлений необходимо принимать два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий, совокупность которых даёт исчерпывающую информацию об этих явлениях. Например, в квантовой механике дополнительными являются пространственно-временная и энергетически-импульсная картины. Описания любого физического объекта как частицы и как волны дополняют друг друга, одно без другого лишено смысла, корпускулярный и волновой аспекты описания обязательно вместе должны входить в описание физической реальности.
ПЭТ	Позитронно-эмиссионная томография
Редуценты	От лат. <i>reduco</i> – «возвращаю, восстанавливаю» – это организмы (в основном бактерии и грибы), разрушающие отмершие останки живых существ, превращая их в неорганические и простейшие органические соединения.
Репликаторы	Нанороботы (см. Нанороботы) – создатели своих копий, т.е. обладающие способностью к самовоспроизводству.

Рептилии (пресмыкающиеся)	Это традиционно выделяемый класс преимущественно наземных позвоночных животных, включающий современных черепах, крокодилов, клювоголовых и чешуйчатых. Пресмыкающиеся являются парафилетической группой, т.е. группой, которая включает лишь часть потомков последнего общего предка.
Рефракция	Это изменение направления луча (волны), возникающее на границе двух сред, через которые этот луч проходит, или в одной среде, но с меняющимися свойствами, в которой скорость распространения волны неодинакова. Феномен преломления объясняется законами сохранения энергии и сохранения импульса. При изменении среды, в которой движется волна, изменяется скорость волны, а её частота не меняется.
Симбиоз	От греч. συμ-βίωσις – «совместная жизнь» – это сообщество живых организмов, принадлежащих к разным биологическим видам. Такое сообщество может принимать различные формы в зависимости от природы отношений между двумя видами и от того, полезны (см. Кооперация) эти отношения или вредны.
СИМСИМ (SENS Research Foundation)	Это общественный фонд и организация в США под названием «Стратегии искусственно замедленного старения инженерными методами». SENS – Strategies for Engineered Negligible Senescence .
Синестезия	От др.-греч. σύν «вместе» + αἴσθησις «ощущение» – это нейробиологический феномен, при котором раздражение в одной сенсорной или когнитивной системе мозга ведёт к автоматическому, произвольному отклику в другой сенсорной системе.
Синтетическая наука	Объединение нескольких наук, например, биопсихифизика, при решении сложных задач. Современная КАР создается совместными усилиями физиков, химиков, биологов и ученых, работающих в области нанотехнологий (см. КАР).
Системные науки	Это научные дисциплины, частично основанные на системном мышлении, например: теория хаоса, сложные системы, теория управления, кибернетика, теория социо-технических систем, системная биология, системная химия, системная экология, системная психология и уже упоминавшаяся системная динамика, системная инженерия и теория систем.
Скейлинг или масштабная инвариантность	Это свойство уравнений физики сохранять свой вид при изменении всех расстояний и промежутков времени в одинаковое число раз, то есть переход от функции f к F : $f(x,y,z,t) \rightarrow F(kx,ky,kz,kt)$ Причём здесь подразумевается лишь изменение единиц измерения, само пространство-время остаётся неизменным. Такие изменения называются преобразованиями подобия и образуют группу масштабных преобразований.

СМЖ	<i>Спинальная жидкость</i> (лат. <i>liquor cerebrospinalis</i> , <i>цереброспинальная жидкость</i>) – жидкость, постоянно циркулирующая в желудочках головного мозга.
Солитон	Это структурно устойчивая уединённая волна, распространяющаяся в нелинейной среде. Солитоны ведут себя подобно частицам при взаимодействии друг с другом или с некоторыми другими возмущениями. Они не разрушаются, а продолжают движение, сохраняя свою структуру неизменной. Это свойство может использоваться для передачи данных на большие расстояния без помех.
Сомнология	От лат. <i>somnus</i> – сон и греч. <i>λόγος</i> – учение – это раздел медицины и нейробиологии, посвящённый исследованиям сна, расстройств сна, лечению от бессонницы и влиянию сна на здоровье человека..
Степени свободы	Характеристики движения механической системы. Они определяют минимальное количество независимых переменных (обобщённых координат), необходимых для полного описания состояния механической системы. Строгое теоретико-механическое определение: «число степеней свободы механической системы есть размерность пространства её состояний с учётом имеющих место жестких связей».
Таламус	От лат. <i>thalamus</i> ; от др.-греч. <i>θάλαμος</i> «комната, камера, отсек» – это отдел головного мозга, представляющий собой большую массу серого вещества, расположенную в верхней части промежуточного мозга хордовых животных, в том числе и человека. Эта структура состоит из двух половинок, симметричных относительно межполушарной плоскости. Таламус находится глубже структур большого мозга, в частности коры мозга. Под ним расположены структуры среднего мозга.
Теломеры	От др.-греч. <i>τέλος</i> – «конец» и <i>μέρος</i> – «часть» – концевые участки хромосом. Теломерные участки хромосом характеризуются отсутствием способности к соединению с другими хромосомами или их фрагментами и выполняют защитную функцию.
Томография	Компьютерный метод неразрушающего послойного исследования внутреннего строения предмета. Метод основан на измерении и компьютерной обработке разности ослабления электромагнитного излучения различными по плотности тканями.
Троф	От греч. <i>trophe</i> «питание» – составная часть сложных слов, означающая относящийся к питанию, связанных с питанием.
Тест А.Тьюринга	Эмпирический тест, идея которого была предложена Аланом Тьюрингом в статье «Вычислительные машины и разум», опубликованной в 1950 году в философском журнале <i>Mind</i> . Он задался целью определить – может ли машина мыслить? Через 20 лет этот тест был опровергнут американским философом Д. Сирлом..

Тест Д. Сирла	В этом тесте, под названием «китайская комната», утверждается, что компьютерные программы никогда не смогут достичь разума в привычном для нас понимании, т.к. они принципиально отличаются своими механизмами обработки информации и материальными носителями информации.
Постулат (см. Аксиома)	От лат. <i>postulatum</i> – буквально. требуемое, – это исходное положение какой-либо теории, принимаемое в рамках данной теории истинным без требования доказательства и используемое при доказательстве других её положений.
Протеомика	Англ. <i>Proteomics</i> – область молекулярной биологии, посвящённая идентификации и количественному анализу белков.
Современный человек (Homo Sapiens)	От лат. <i>Homo sapiens</i> – вид рода людей (<i>Homo</i>) и мыслящих (<i>sapiens</i>) из семейства гоминид в отряде приматов. Этот вид появился в начале верхнего палеолита, около 40 тысяч лет назад и быстро заселил почти всю Землю (кроме Американского континента, который был заселён им позже, примерно 15 тысяч лет назад)
Творчество или Креативность	Это процесс, в результате которого создаются качественно новые объекты или духовные ценности. Основной критерий, отличающий творчество от изготовления (производства), повторения уникальных результатов. «Креативность» и «Творчество» – схожие, но не полностью одинаковые понятия. Отличие творчества от креативности заключается в том, что творческие способности определяются как качество личности, а креативность – это способность к творчеству, т.е. возможность проявления этих качеств в мыслительной деятельности. Креативность, предполагает возможность для личности воспринимать информацию, её преобразовывать и создавать новую информацию, т.е. способность отказываться от стереотипных способов мышления..
Теология	Систематическое изучение природы божественного и, в более широком смысле, религиозной веры.
Фагоциты	Это – клетки, которые защищают организм, поглощая вредные инородные частицы, бактерии и мертвые клетки. Их название происходит от греческого <i>phagein</i> – "съесть" или "пожирать", и "-cyte" – суффикса в биологии, обозначающего "клетку", от греческого <i>kutos</i> , "полый сосуд" .. Фагоциты необходимы для борьбы с инфекциями и для последующего иммунитета. Фагоциты играют важную роль во всем животном мире и высокоразвиты у позвоночных, включая человека.
Фазовое пространство	В математике и физике – это пространство, каждая точка которого соответствует одному и только одному состоянию из множества всех возможных состояний системы. Точка пространства, соответствующая состоянию системы, называется «изображающей» или «представляющей» процесс. Таким образом, изменению состояний системы, т.е. её ди-

	<p>наимике – можно сопоставить движение изображающей точки. Траекторию этой точки называют фазовой траекторией (следует отметить, что она не тождественна действительной траектории движения), а скорость такой изображающей точки называют фазовой скоростью.</p>
Фасилитация	<p>От англ. <i>facilitate</i> – «помогать, способствовать» – стиль не директивного управления, а основанного на принципах самоорганизации управляемой системы. Если при традиционных формах управления субъект побуждает систему выполнять собственные инструкции и распоряжения, то в случае наличия фасилитации субъект должен сочетать в себе не только функции руководителя и лидера, но и участника групповой динамики. Такое управление основано на поиске консенсуса (см. Консенсус) при объединении элементов системы, что повышает устойчивость системы как целого.</p>
Феноменология	<p>От нем. <i>Phänomenologie</i> – «учение о феноменах» – направление в философии XX века, определявшее своей задачей описание опыта и выделение в нём сущностных черт.</p>
Филогенез	<p>От др.-греч. φῶλον, <i>phylon</i> – племя, раса и др.-греч. γένεσις, <i>genesis</i> – «происхождение». Это – историческое развитие вида организмов во времени..</p>
Фильмограмма	<p>Последовательное представление изменения любой структуры во времени в виде череды её изображений, получаемых путем фотосъёмки с заданным интервалом времени.</p>
фМРТ	<p>Функциональная магнитно-резонансная томография</p>
Фрактал	<p>Латинское <i>fractus</i> – дроблённый, сломанный, разбитый – множество, обладающее свойством самоподобия (объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого, то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей).</p>
Хаб	<p>От англ. <i>hub</i>, буквально – «ступица колеса, центр». В общем смысле, это центральный узел какой-то сети (включая нейронные сети) через который передается информация для всех подключенных к нему абонентских клиентов (в нашем случае – нейронов).</p>
Хаос	<p>В книге используется математическое описание хаоса. Это аперiodическое детерминированное поведение динамической системы, крайне чувствительной к начальным условиям. Бесконечно малое возмущение граничных условий для хаотической динамической системы приводит к конечному изменению траектории в фазовом пространстве (см. Фазовое пространство)</p>
Характерное время	<p>Время переходного процесса из одного устойчивого состояния организма в другое.</p>

Холобионтика	От греч. ὅλος – «полный». Наука, изучающая связи, которые образуются в биологических сообществах, – начиная от микроорганизмов (бактерий) и кончая макро организмом, внутри и на поверхности которого они живут.
Ценная информация	Информация, приближающая человека к решению возникшей перед ним задачи.
Шапероны	От англ. <i>chaperones</i> – класс белков, главная функция которых состоит в восстановлении правильной нативной третичной или четвертичной структуры белков, а также образование и диссоциация белковых комплексов..
Экзоскелет	От греч. ἔξω «внешний» +»скелет» – это внешний каркас и его движущиеся части, предназначенные для перераспределения нагрузки минуя опорно-двигательного аппарата человека, а также для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц и расширения амплитуды движений.
Экзотерические гипотезы	Гипотезы, основанные на мистических учениях людей, которые воспринимают реальность, как имеющую тайное содержание и выражение в «психодуховных практиках», а не требующих экспериментального подтверждения
Эмерджентность	От англ. <i>emergen</i> «возникающий, неожиданно появляющийся» в теории систем – это наличие у системы свойств, не присущих её компонентам по отдельности; несводимость свойств системы к сумме свойств её компонентов. Близкими понятиями в теории систем являются синергичность, холизм, системный эффект, сверхаддитивный эффект, некомпозициональность.
Эмоция	От лат. <i>emoveo</i> – «потрясаю, волну» – психический процесс средней продолжительности, отражающий субъективное оценочное отношение к существующим или возможным ситуациям и реальному миру..
Этология	От др.-греч. ἦθος «характер» + -λογία «изучение» – наука о поведении животных, изучающая главным образом генетически обусловленное поведение (инстинкты) животных и эволюцию изменения поведения от животных до человека.
ЭЭГ	Электроэнцефалография (от электро- + др.-греч. ἐγκέφαλος «головной мозг» + γραμμή«запись»). Это – раздел электрофизиологии, изучающий закономерности суммарной электрической активности мозга, отводимой с поверхности кожи головы, что позволяет неинвазивным способом исследовать состояния головного мозга путём регистрации его биоэлектрической активности.
Эпифиз	Это шишковидная железа, которая представляет собой железистое образование длиной до 12 мм и шириной до 8 мм. Располагается в головном мозгу между полушариями сразу за III желудочком над задней частью среднего мозга в непо-

	средственной близости от сильвиева водопровода – канала, соединяющего полости III и IV желудочков головного мозга.
Эффект «Зловещей долины» Масахиро Мори	Явление было основано на гипотезе, сформулированной японским инженером Масахиро Мори. Оно подразумевает, что робот или другой объект, выглядящий или действующий примерно как человек (но не точно так, как настоящий), вызывает неприязнь и отвращение у людей-наблюдателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глава 1

1. Иваницкий Г.Р. Найдутся ли ответы? М.: Знание (Серия: знак вопроса), № 6 (1989); <https://traumlibrary.ru/znak/book/zv8906/zv8906.html>
2. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П. Может ли существовать долговременная структурно-динамическая память воды? УФН. 184 (1) с. 43–74 (2014), Ivanitskii G.R., Deev A.A., Khizhnyak E.P. Long-term dynamic structural memory in water: can it exist? Phys. Usp. 57 37–65 (2014); DOI: 10.3367/UFNe.0184.201401b.0043
3. Bohr N Atomic Physics and Human Knowledge N.Y.: John Wiley (1958). Бор Н. Перевод главы с небольшими сокращениями: «Квантовая механика и биология». с. 27. В сб.: «Моделирование в биологии» (под ред. Н.А. Бернштейна). М.: ИЛ. (1963)
4. Окунь Л.Б. «Формула Эйнштейна: $E_0 = mc^2$. «Не смеётся ли Господь Бог?»» УФН 178 541–555 (2008). Okun L B «The Einstein formula: $E_0 = mc^2$. ‘Isn’t the Lord laughing?’». Phys. Usp. 51 513–527 (2008); DOI: 10.1070/PU2008v051n05ABEH006538
5. Иваницкий Г.Р. XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики. УФН. 180 337–369 (2010). Ivanitskii G.R. «21st century: what is life from the perspective of physics?» Phys. Usp. 53 327–356 (2010); DOI: 10.3367/UFNe.0180.201004a.0337
6. Searle, J. Minds, brains, and programs. Behavioral and brain sciences. 3, № 3. 417-424. (September 1980). doi:10.1017/S0140525X00005756
7. Борисюк Г.Н., Борисюк Р.Н., Казанович Я.Б., Иваницкий Г.Р. Модели динамики нейронной активности при обработке информации мозгом – итоги «десятилетия». УФН, 172, 1189–1214 (2002); DOI: 10.3367/UFNr.0172.200210d.1189; English citation: Borisyuk G.N., Borisyuk R.M., Kazanovich Ya.B., Ivanitskii G.R. Models of neural dynamics in brain information processing – the developments «of the decade» Phys. Usp. 45 1073–1095 (2002); DOI: 10.1070/PU2002v045n10ABEH001143

Глава 2

1. Иваницкий Г.Р. Найдутся ли ответы? М.: Знание (Серия: знак вопроса), № 6 (1989)
2. Гурфинкель В.С., Малкин В.Б., Цетлин М.Л., Шнейдер А.Ю. Биоэлектрическое управление. М.: Наука, (1972)
3. Кобринский А.Е. и др., Биоэлектрическая система управления, Доклады АН СССР. Серия «Техническая физика», 117. № 1. с. 42 (1957)

4. Бабский Е.Б., Ульянинский Л.С. Электрическая стимуляция сердца. М.: Медицина (1961)
5. Биологические аспекты кибернетики. Сб. работ (отв. ред. Кузин А.М.). М.: Изд. Академия наук СССР (1962)
6. Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh, Davide Scaramuzz: Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, zweite Auflage (2011)
7. Joseph I. «Step into a new world – Virtual Reality (VR)». Basic Concepts of Virtual Reality along with Research Challenges explained in simple words (2016)
8. Warneke B., Last M., Liebowitz B., and Pister K.S.J. «Smart dust: communicating with a cubic-millimeter computer». Computer 34(1): 44–51 (2001); DOI 10.1109/2.895117
9. Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Деев А.А., Цыганов М.А. От «демона Максвелла» к самоорганизации процессов массопереноса в живых системах УФН 168 1221–1233 (1998); DOI: 10.3367/UFNr.0168.199811c.1221; English citation: Ivanitskii G.R., Medvinskii A.B., Deev A.A., Tsyganov M.A. From Maxwell's demon to the self-organization of mass transfer processes in living systems Phys. Usp. 41 1115–1126 (1998); DOI: 10.1070/PU1998v041n11ABEH000503
10. Drexler K.E. Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation. N.Y.: Wiley (1992)
11. New Technology. Tokyo: NEDO (1997)
12. Иваницкий Г.Р., Воробьев С.И. Организация подвижных структур в кровотоке – основа функционирования перфторуглеродной «искусственной крови». Биофизика. 41, № 1, 178–190 (1996)
13. Рабинович М.И. «Пути возникновения и свойства стохастичности диссипативных систем» УФН 139 363–363 (1983). Rabinovich M.I. «Pathways to and properties of stochasticity in dissipative systems» Sov. Phys. Usp. 26 186–187 (1983); DOI: 10.1070/PU1983v026n02ABEH004330
14. Рабинович М.И., Мюезинолу М.К. «Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность» УФН 180 371–387 (2010). Rabinovich M.I., Muezzinoglu M.K. «Nonlinear dynamics of the brain: emotion and cognition» Phys. Usp. 53 357–372 (2010); DOI: 10.3367/UFNe.0180.201004b.0371
15. Борисюк Г.Н., Борисюк Р.Н., Казанович Я.Б., Иваницкий Г.Р. Модели динамики нейронной активности при обработке информации мозгом – итоги «десятилетия». УФН, 172, 1189–1214 (2002); DOI: 10.3367/UFNr.0172.200210d.1189; English citation: Borisyuk G.N., Borisyuk R.M., Kazanovich Ya B, Ivanitskii G R Models of neural dynamics in brain information processing – the developments «of the decade» Phys. Usp. 45 1073–1095 (2002); DOI: 10.1070/PU2002v045n10ABEH001143
16. Менский М.Б. . Концепция сознания в контексте квантовой механики. УФН. 175 413 (2005); DOI: 10.3367/UFNr.0175.200504c.0413; English citation: Menskii M.B. Concept of consciousness in the context of quantum mechanics Phys. Usp. 48 389–409 (2005); DOI: 10.1070/PU2005v048n04ABEH002075

17. Клиньшов В.В., Некоркин В.И. «Синхронизация автоколебательных сетей с запаздывающими связями». УФН 183 1323–1336 (2013); Klinshov V.V., Nekorkin V.I. «Synchronization of delay-coupled oscillator networks» Phys. Usp. 56 1217–1229 (2013); DOI: 10.3367/UFNe.0183.201312c.1323

18. Масленников О.В., Некоркин В.И. «Адаптивные динамические сети» УФН 187 745–756 (2017). Maslennikov O.V., Nekorkin V.I. «Adaptive dynamical networks» Phys. Usp. 60 694–704 (2017); DOI: 10.3367/UFNe.2016.10.037902

19. Васильев В.А., Романовский Ю.М., Яхно В.Г. «Автоволновые процессы в распределенных кинетических системах». УФН 128 625–666 (1979). Vasil'ev V.A., Romanovskii Y.M., Yakhno V.G. «Autowave processes in distributed kinetic systems». Sov. Phys. Usp. 22 615–639 (1979); DOI: 10.1070/PU1979v022n08ABEH005591

20. Абарбанель Г.Д., Рабинович М.И., Селверстон А., Баженов М.В., Хурта Р., Сущик М.М., Рубчинский Л.Л. «Синхронизация в нейронных ансамблях» УФН 166 363–390 (1996). Abarbanel H.D., Rabinovich M.I., Selverston A., Bazhenov M.V., Huerta R., Sushchik M.M., Rubchinskii L.L. «Synchronisation in neural networks» Phys. Usp. 39 337–362 (1996); DOI: 10.1070/PU1996v039n04ABEH000141

21. Чернавский Д.С. «Проблема происхождения жизни и мышления с точки зрения современной физики». УФН 170 157–183 (2000). Chernavskii D.S. «The origin of life and thinking from the viewpoint of modern physics». Phys. Usp. 43 151–176 (2000); DOI: 10.1070/PU2000v043n02ABEH000609

22. Смолянинов В.В. «Пространственно-временные задачи локомоторного управления». УФН 170 1063–1128 (2000)

23. Цыганов М.А., Бикташев В.Н., Бриндли Дж., Холден А.В., Иваницкий Г.Р. «Волны в кросс-диффузионных системах – особый класс нелинейных волн» УФН 177 275–300 (2007). Tsyganov M.A., Biktashev V.N., Brindli J., Holden A.V., Ivanitskii G.R. «Waves in systems with cross-diffusion as a new class of nonlinear waves». Phys. Usp. 50 263–286 (2007); DOI: 10.1070/PU2007v050n03ABEH006114

24. Tsyganov M.A., Biktashev V.N. «Half-soliton interaction of population taxis waves in predator-prey systems with pursuit and evasion». Phys. Rev. E 70 031901 (2004). DOI: 10.1103. MathSciNet: MR2129996

25. Иваницкий Г.Р. «XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики» УФН 180 337–369 (2010). Ivanitskii G.R. «21st century: what is life from the perspective of physics?» Phys. Usp. 53 327–356 (2010); DOI: 10.3367/UFNe.0180.201004a.0337

26. Иваницкий Г.Р. «Самоорганизующаяся динамическая устойчивость биосистем, далёких от равновесия» УФН 187 757–784 (2017), Ivanitskii G.R. «The self-organizing dynamic stability of far-from-equilibrium biological systems» Phys. Usp. 60 705–730 (2017); DOI: 10.3367/UFNe.2016.08.037871

27. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. Пер. с англ. М.; Мир, (1973)

28. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Пер. с англ. М.: Мир, (1982)

29. Рабинович М.И., Варона П. «Нелинейная динамика творческого мышления. Многомодальные процессы и взаимодействие гетероклинических структур» УФН 191 846–860 (2021); Rabinovich M.I., Varona P. «Nonlinear dynamics of creative thinking. Multimodal processes and the interaction of heteroclinic structures» Phys. Usp. 64 801–814 (2021); DOI: 10.3367/UFNe.2020.09.038837
30. Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. «Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка». УФН 169 7–38 (1999);
31. Зельдович Я.Б., Молчанов С.А., Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д. «Пережимаемость в случайной среде». УФН 152 3–32 (1987); Zel'dovich Ya.B., Molchanov S.A., Ruzmaikin A.A., Sokolov D.D. «Intermittency in random media». Sov. Phys. Usp. 30 353–369 (1987); DOI: 10.1070/PU1987v030n05ABEH002867
32. Анищенко В.С., Астахов С.В. «Теория возвратов Пуанкаре и её приложение к задачам нелинейной физики». УФН 183 1009–1028 (2013); Anishchenko V.S., Astakhov S.V. «Poincaré recurrence theory and its applications to nonlinear physics» Phys. Usp. 56 955–972 (2013); DOI: 10.3367/UFNe.0183.201310a.1009
33. Penrose R. «The Emperor's New Mind» (1989). Русский перевод: Пенроуз Р. Новый ум короля (О компьютерах, мышлении и законах физики). М: Едиториал УРСС. с.14 (2003)
34. Смолуховский М. «О понятии случайности и о происхождении законов вероятностей в физике» УФН 7 329–349 (1927)
35. Смолуховский М. «Границы справедливости второго начала термодинамики» УФН 93 724–748 (1967)
36. Анохин П.К. «Узловые вопросы в изучении высшей нервной деятельности». Вопросы психологии. № 6. 16–38 (1955)
37. Соловьёв В.С. Гегель, Георг Фридрих Вильгельм. Энциклопедический словарь Брокгауза и Эфрона: 82. СПб., (1890–1907)
38. Бернштейн Н.А. Очерки о физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина (1966)
39. Гумилёв Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. СПб.: Кристалл (2001)
40. Сенина И.Н., Тютюнов Ю.В. Моделирование стаеобразования как следствия автотаксиса. Журнал общей биологии, 63, № 6. 483–488 (2002)
41. Говорухин В.Н., Моргулис А.Б., Тютюнов Ю.В. Медленный таксис в модели хищник–жертва. Доклады академии наук. 372, № 6. 730–732 (2000)
42. Arditi R., Tyutyunov Yu., Morgulis A., Govorukhin V., Senina I. Directed movement of predators and the emergence of density-dependence in predator–prey models. Theoretical Population Biology, 59(3): 207–221 (2001)
43. Lightfoot E.N. Transport Phenomena and Living Systems. Biomedical Aspects of Momentum and Transport (N.Y.: Wiley, 1974). Пер. на русск. яз.: Лайтфут Э. Явление переноса в живых системах. Биомедицинские аспекты переноса количества движения и массы. М.: Мир (1977)

44. Воларович М.П. Работы Пуазейля о течении жидкости в трубах (К столетию со времени опубликования). Известия Академии наук СССР. Серия физическая. 11(1), 7–18 (1947)
45. Бернулли Д. Гидродинамика, или записки о силах и движениях жидкостей. Серия «Классики науки». Л.: Изд. АН СССР (1950)
46. Шустер Х.Г. Детерминированный хаос. М.: Наука, (1988)
47. Иваницкий Г.Р., Деев А.А. Модель развития устойчивых конкурирующих отношений при самоорганизации биосистем. Биофизика, 54(3). 545–553 (2009). Ivanitsky G.R., Deev A.A. A Model of the Development of Stable Competing Relations in the Self-organization of Biosystems. Biophysics, 54(3), 381–388 (2009)
48. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Цыганов М.А. Ритмы жизни биологических и социальных систем. Вестник Российской академии наук. 81(11), 1008–1020 (2011)
49. Иваницкий Г.Р., Куниский А.С. Исследование микроструктуры объектов методами когерентной оптики. М.: Энергия (1981)
50. Гариев А.М., Куниский А.С., Мячин Е.Т. Синтез голограмм по набору ракурсных некогерентно зафиксированных снимков для целей электронно-микроскопического анализа. Квантовая электроника, 2(10) 2303–2308 (1975)
51. Иваницкий Г.Р., Куниский А.С. Количественные методы исследования пространственной организации ультраструктур. В сб.: «Биофизика сложных систем и радиационных нарушений» (под ред. Г.М. Франка) М.: Наука 129–140 (1977)
52. Фейман Р., Лейтон Р., Сэтдс М. Феймановские лекции по физике. М.: Мир, 3. с. 179. (1967)
53. Проссер Л. Температура. В кн.: Сравнительная физиология животных. 2(9). с. 86 (под ред. Т.М. Турпаева). Пер. с англ. М.: Мир (1977)
54. Wiener N. Cybernetics or control and communication in the animal and the machine. Paris: Hermann & Cie Editeurs, Cambridge, Mass: The Technology Press, N.Y.: John Wiley & Sons Inc. (1948). Перевод: Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М.: Советское радио» (1958)
55. Колмогоров А.Н. О понятии алгоритма. Успехи математических наук. Российская академия наук. 5, № 4 (56) 175–176 (1953)
56. Колмогоров А.Н. Автоматы и жизнь В кн. Возможное и невозможное в кибернетике (под ред. А. И. Берга и Э.Я. Кольмана) М.: Наука, 10–29. (1964)
57. Turing A. «Computing Machinery and Intelligence» Mind. LIX (236), 433–460, (1950)
58. Бонгард М.М. Проблема узнавания. М.: Физматгиз (1967), Перевод на англ.: Bongard M.M. Pattern Recognition. N.Y.: Spartan Books (1970)
59. Chomsky N. Syntactic Structures. The Hague: Mouton (1957)
60. Цетлин М.Л. Исследование по теории автоматов и моделированию биологических систем. М.: Наука, Физматлит. (1969)
61. Lorenz C. Blatter fur Deutsche Philosophie, 15, s. 94–125 (1941). Перевод в сборнике: «Эволюция. Язык. Познание.» (отв. ред. д.ф.н. И.П. Меркулов), М.: Языки русской культуры, (2000)

62. Simon H.A. *Models of Man*. John Wiley (1957)
63. Simon H.A. «The Architecture of Complexity». *Proceedings of the American Philosophical Society*. 106, 467–468 (1962)
64. Бонгард М.М. Моделирование процесса узнавания на цифровой счетной машине. *Биофизика*. 4(2), 17 (1961)
65. Дж. фон Нейман, Моргенштерн О. *Теория игр и экономическое поведение*. М.: Наука, (1970)
66. Brooks R.A. *Elephants Don't Play Chess*. *Robotics and Autonomous Systems*. 6: 139–159 (1990)
67. Vardi M.Y. *Artificial intelligence: past and future*. *Communications of the ACM*. 55: 5 (2012)
68. Hopfield J.J. *Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities*. *Proceedings of National Academy of Sciences*. 79(8) 2554–2558, (1982)
69. Иваницкий Г.Р. *Убегающее время*. М.: «Наука-пресс» (2001)
70. Розенблатт Ф. *Принципы нейродинамики: Перцептроны и теория механизмов мозга*. М.: Мир, (1965)
71. Минский М., Пейперт С. *Перцептроны*. Пер. с англ. М.: Мир, (1971)
72. Осовский С. *Нейронные сети для обработки информации*. М.: Финансы и статистика (2002)
73. Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А. «От беспорядка к упорядоченности – на примере движения микроорганизмов» *УФН* 161(4) 13–71 (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(4) 289–316 (1991); DOI: 10.1070/PU1991v034n04ABEH002362
74. Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А. От динамики популяционных автоволн, формируемых живыми клетками, к нейроинформатике *УФН* 164 1041–1072 (1994). Ivanitskii G.R., Medvinskii A.B., Tsyganov M.A. *From the dynamics of population autowaves generated by living cells to neuroinformatics* *Phys. Usp.* 37 961–989 (1994); DOI: 10.1070/PU1994v037n10ABEH000049
75. Хакен Г. *Синергетика*. Пер. с англ. М.: Мир (1980)
76. Пригожин И. *От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках*. Пер. с англ. М.: Наука, (1985)
77. Bohr N. *Atomic Physics and Human Knowledge* N.Y.: John Wiley (1958). Нильс Бор / *Квантовая физика и биология* // В кн.: «Моделирование в биологии» (под ред. Н.А. Бернштейна) М: Изд. иностранной литературы, (1963)
78. Ruelle D., Takens F. *On the Nature of Turbulence*. *Comm. Math. Phys.* 20. 167–192 (1971)
79. Ландау Л.Д. К проблеме турбулентности. *ДАН СССР*. 44(8) 339–342 (1944)
80. Hopf E. *A mathematical example displaying features of turbulence*. *Comm. Pure Appl.* 1. 303–322 (1948)
81. *Self-Organization. Autowaves and Structures Far from Equilibrium* (ed. V.I. Krinsky). Berlin, Heidelberg, N.Y., Tokyo: Springer-Verlag (1984)

82. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. Пер. с англ. М.: Мир, с. 152 (1979)
83. Иваницкий Г.Р., Кринский В.И., Сельков Е.Е. Математическая биофизика клетки. М.: Наука (1978)
84. Зыков В.С. Моделирование волновых процессов в возбудимых средах. М.: Наука, (1984)
85. Арнольд В.И. Особенности, бифуркации и катастрофы. УФН 141 569–590 (1983) Arnold V.I. Singularities, bifurcations, and catastrophes. Sov. Phys. Usp. 26 1025–1037 (1983); DOI: 10.1070/PU1983v026n12ABEH004581
86. Devaney R.L Introduction to Chaotic Dynamical Systems. Westview Press. (2003)
87. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: УРСС (2002)
88. Данилов Ю.А. Прекрасный мир науки. М.: Прогресс-Традиции (2008)
89. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: Пер. с англ. М.: Прогресс, (1986)
90. Maass W., Legenstein R., Markram H. A New Approach towards Vision Suggested by Biologically Realistic Neural Microcircuit Models. In books «Biologically Motivated Computer Vision». Eds.: Bulthoff C., Wallraven S.-W., Poggio T. (2525, 1–6): Springer, Berlin / Heidelberg (2002)
91. Markram H., Toledo-Rodriguez M., Wang Y., et al. Interneurons of the neocortical inhibitory system. *Neurosci*, 5(10), 793–807 (2004)
92. Kalisman N., Silberberg G., & Markram H. The neocortical microcircuit as a tabula rasa. *Proc. Nat. Acad. Sci USA*, 102(3), 880–885 (2005)
93. Le Be J.-V., Markram H. Spontaneous and evoked synaptic rewiring in the neonatal neocortex. *Proc. of the National Academy of Sciences*, 103(35), 13214–13219 (2006)
94. Wang Y., Markram H., Goodman P.H., Berger T.K., Ma J., Goldman-Rakic P.S. Heterogeneity in the pyramidal network of the medial prefrontal cortex. *Nat Neurosci*, 9(4), 534–542 (2006)
95. Le Be J.V., Silberberg G., Wang Y., Markram H. Regular Spiking and Intrinsic Bursting Pyramidal Cells Show Orthogonal Forms of Experience-Dependent Plasticity in Layer V of Barrel Cortex. *Cereb Cortex*, 17(9), 2204–2213 (2007)
96. Markram H. Bioinformatics: industrializing neuroscience. *Nature*, 445(7124), 160–161 (2007)
97. Markram H. (2008). Fixing the location and dimensions of functional neocortical columns. *HFSP Journal*. 2(3), 132–135 (2008)
98. Druckmann S., Hill S., Schurmann F., Markram H. and Segev I. A hierarchical structure of cortical interneuron electrical diversity revealed by automated statistical analysis. *Cereb. Cortex* 23, 2994–3006 (2013)
99. King J.G., Hines M., Hill S., Goodman P.H., Markram H., Schurmann, F.A. A component-based extension framework for large-scale parallel simulations in NEURON. *Frontiers in Neuroinformatics*, 3, 10 (2009)

100. Berger T.K., Perin R., Silberberg G. & Markram H. Frequency-dependent disinaptic inhibition in the pyramidal network: a ubiquitous pathway in the developing rat neocortex. *J. Physiol. (Lond.)* 587, 5411–5425 (2009)
101. Hay E., Hill S., Schiormann F., Markram H., Segev I. Models of Neocortical Layer 5b Pyramidal Cells Capturing a Wide Range of Dendritic and Perisomatic Active Properties. *PLoS Computational Biology* 7(7): e1002107. (2011); doi: 10.1371/journal.pcbi.1002107
102. Lasserre S., Hernando J., Hill S., Schuermann F., Anasagasti P.M., Jaoude G.A., Markram H. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 99 (preprints): p. 1 (2011)
103. Druckmann S., Berger T.K., Schiormann F., Hill S., Markram H., Idan Segev I. Effective Stimuli for Constructing Reliable Neuron Models. *Plos Computational Biology*, 7(8): e1002133. (2011); doi: 10.1371/journal.pcbi.1002133
104. Romand S., Wang, Y., Toledo-Rodriguez, M., Markram H. Morphological development of thick tufted layer V pyramidal cells in the rat somatosensory cortex. [Original Research]. *Frontiers in Neuroanatomy*, 5 (2011)
105. Anastassiou A.C., Perin R., Markram H., Koch C. Ephaptic coupling of cortical neurons. *Nature Neuroscience*, 14(2) 217 (2011)
106. Perin R., Berger T.K., Markram H. A synaptic organizing principle for cortical neuronal groups. *PNAS*, 108(12), (2011)
107. Markram H. The Blue Brain Project, *Nature Reviews Neuroscience*. 7, 153–160 (February 2006) или Маркрам Г. Проект цифрового мозга. В мире науки, № 8 46–53 (2012)
108. Тейл С. Горе от ума. В мире науки, № 12, 40–45 (2015)
109. «The Human Connectome Project», NIH Blueprint for Neuroscience Research, National Institutes of Health, retrieved (2013)
110. Братко Иван. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG = Prolog Programming For Artificial Intelligence. М.: Вильямс (2004)
111. Анохин К.В., Бурцев М.С., Ильин В.А. др. Современные подходы к моделированию активности культур нейронов *in vitro*. Матем. биология и биоинформ., 7(2), 372–397 (2012)
112. «Special Issue: The Allen Human Brain Reference Atlas» *J. Comparative Neurology* 524 (16) Version of Record online: 15 September (2016)
113. Блинков С.М., Иваницкий Г.Р. О количестве глиальных клеток в головном мозге человека (подсчеты на вычислительной машине). *Биофизика*, 10(5), 817–825 (1965)
114. Блинков С.М., Иваницкий Г.Р. Автоматический анализ клеток мозга Вестник Академии медицинских наук СССР, № 5, 84–85 (1968)
115. *Positron Emission Tomography* (Eds: Bailey D L et al.). N.Y.: Springer (2005)
116. Rowan A.J., Tolunsky E. *Primer of EEG: With A Mini-Atlas*. Philadelphia, PA: Butterworth-Heinemann (2003)
117. Kim S.G., Richter W., Ugurbil K. Limitations of temporal resolution in fMRI. *Magn. Reson. Med.* 37 631 (1997)

118. Доронина-Амитонова Л.В., Федотов И.В., Федотов А.Б., Анохин К.В., Жёлтиков А. М. «Нейрофотоника: оптические методы исследования и управления мозгом». УФН 185 371–392 (2015)
119. Шерозия Г.А., Шерозия М.Г. Человеческий разум, рожденный в сетях искусственных логических элементов – введение в проект создания нового человека. Рязань: ПРИЗ (2013)
120. Редько В.Г. Лекция по нейроинформатике. М.: МИФИ (2002)
121. Weisstein E.W. Законы де Моргана. На сайте Wolfram MathWorld (англ.)
122. Владимиров Д.А. Булевы алгебры. М.: Наука, (1969)
123. Peano G. Formulaire de mathematiques. Т. II, № 2. Восса, Torino, (1897)
124. Frege F.L.G. Gedankengefüge, в кн.: Beiträge zur Philosophie des Deutschen Idealismus III: 36–51 (1923)
125. Пуанкаре А. О науке. М.: Наука, (1983)
126. Гильберт Д. Избранные труды: в 2 т. (под ред. А.Н. Паршина). М.: Факториал, (1998)
127. Рассел Б. Введение в математическую философию. Сибирское университетское издательство (2009)
128. Arnold van der Nat. Simple formal logic: with common-sense symbolic techniques. Routledge, (2010)
129. Grünbaum A. Modern science and Zeno's Paradoxes. – Allen & Unwin, (1968)
130. Лоскутов А.Ю. «Очарование хаоса», УФН 180 1305–1329 (2010); DOI: 10.3367/UFNr.0180.201012d.1305
131. Вольф М.Н. Философский поиск: Гераклит и Парменид. СПб.: Изд. Русской христианской гуманитарной академии (2012)
132. Конт-Спонвиль А. Бритва Оккама (Rasoir D'Okham) «Философский словарь». Litres (2015)
133. Chaitin G.J. Limits of Formal Reasoning. Springer-Verlag (1998)
134. Деев А.А., Единцов И.М., Иваницкий Г.Р., Куниский А.С. Спектральный анализ нуклеиновых последовательностей. Биофизика, 34(4), 564–569 (1989)
135. Кадомцев Б.Б. «Динамика и информация» УФН 164 449–530 (1994). Kadomtsev B B «Dynamics and information» Phys. Usp. 37 425–499 (1994); DOI: 10.1070/PU1994v037n05ABEH000109
136. Кадомцев Б.Б. «Необратимость классическая и квантовая» УФН 165 967–973 (1995). Kadomtsev V.B. «Classical and quantum irreversibility» Phys. Usp. 38 923–929 (1995); DOI: 10.1070/PU1995v038n08ABEH000102
137. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация. М.: Изд. журнал «УФН» (1999)
138. Чейтин Г. Пределы доказуемости. В мире науки. № 6, 38–45 (2006)
139. Gödel K. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I Monatshefte für mathematik und physik. 38 (1). 173–198 (1931); <https://doi.org/10.1007/BF01700692>
140. Лейбниц Г.В. Труды по философии науки. М.: Либроком (2010)

141. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика, М.: Высшее образование. (2005)
142. Kahneman D., et al. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. Cambridge University Press, (2005)
143. Крис Фрит. Мозг и душа. Пер. с англ. М.: Изд.: «CORPUS» (2010)
144. Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности: Правила и предубеждения. Харьков: Гуманитарный центр (2005)
145. Лурия А.Р. Об историческом развитии познавательных процессов. М.: Наука (1974)
146. Кругляков Э.П. «Ученые» с большой дороги-2». М.: Наука (2005)
147. Wiener N. God and Golem. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press. Massachusetts Institute of Technology (1964). Перевод на русский: Винер Н. Творец и робот. М.: Изд. «Прогресс» (1966)
148. Бобылев Д. Виет. Энциклопедический словарь. СПб.: Брокгауз–Ефрон. Т. VIa. С. 616–617 (1892)
149. Bailey D., Borwein P. and Plouffe S., On the rapid computation of various polylogarithmic constants. Mathematics of Computation, 66(1997), 903–913 (1997); DOI:10.1007/978-3-319-32377-0_14
150. Рыбников К.А. История математики. В 2 томах. М.: Изд-во Моск. Университета. 1(1960), 2(1963)
151. Сюжет из книги: Белл Б., Белл Д. Пособие по английскому языку. Дубна, (1971)
152. Морозов А.Ю. Интегрируемость и матричные модели УФН 164 3–62 (1994); DOI: 10.3367/UFNr.0164.199401a.0003; English citation: Morozov A.Yu. Integrability and matrix models Phys. Usp. 37 1–55 (1994); DOI: 10.1070/PU1994v037n01ABEH000001
153. Фаддеев Л.Д. Новая жизнь полной интегрируемости УФН 183 487–495 (2013); DOI: 10.3367/UFNr.0183.201305b.0487; English citation: Faddeev L.D. New life of complete integrability Phys. Usp. 56 465–472 (2013); DOI: 10.3367/UFNe.0183.201305b.0487
154. Колмогоров А.Н. Проблемы передачи информации 1(3) (1965)
155. Колмогоров А.Н. Проблемы передачи информации 5 (3) (1965)
156. Clark R.W. Einstein: The Life and Times. World Publishing Company (1971)
157. Хютт В.П. Концепция дополнительности и проблема объективности физического знания. Ин-т истории АН ЭССР. Таллин: Валгус (1977)
158. The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution. Cambridge: Cambridge Univ. Press, (1994); DOI:10.2307/5660
159. Хрисанфова Е.Н., Перевозчиков И.В. Антропология .М.: Изд. МГУ, (1991); ISBN 5-02-010348-9
160. Фоули Р. Еще один неповторимый вид. Пер. с англ. М.: Мир (1990)
161. Wood B. Origin and evolution of the genus Homo Nature 355 783–790 (1992); <https://www.nature.com/articles/355783a0>

162. Капица С.П. Феноменологическая теория роста населения Земли. УФН, 166 63–80 (1996); DOI: 10.3367/UFNr.0166.199601c.0063; English citation: Kapitsa S.P. The phenomenological theory of world population growth Phys. Usp. 39 57–71 (1996); DOI: 10.1070/PU1996v039n01ABEH000127

163. Falk D. Hominin paleoneurology: Where are we now? In M. Hofman & D. Falk (Eds.), Primate Brain Evolution: From Neuron to Behavior, Progress in Brain Research, Elsevier, 195, 255–272, (2012); DOI: 10.1016/B978-0-444-53860-4.00012-X

164. Прингл Ч. Как появилось творческое мышление. В мире науки. № 5 54–60 (2013)

165. Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. М.-Л.: Госиздат биологической и медицинской литературы (1936)

166. Miller S.L., A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions. Science 117: p. 528. (1953)

167. Miller S.L. and Urey H.C., Organic Compound Synthesis on the Primitive Earth, Science, 130, No. 3370, pp. 245–251 (1959); <http://dx.doi.org/10.1126/science.130.3370.2451959>

168. Розанов А.Ю. Бактериально-палеонтологический подход к изучению метеоритов Вестник РАН. 70, № 3. 214–226 (2000)

169. Лопухин А.С. Возникновение жизни – прерогатива первозданных планет новых звёзд Вестник РАН. 85 № 10. 916–921 (2015); DOI: 10.7868/80869587315050060

170. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория самовоспроизводящихся автоматов. Пер. с англ. М.: Мир. (1971)

171. Иваницкий Г.Р. Выражи закономерностей. М.: Наука, 327 с. ISBN 978-5-02-037480-5. (2011)

Глава 3

1. Cummings J. et al. Alzheimer's disease drug development pipeline. Alzheimers Dement (N.Y.). 4 195–214 (2018); doi: 10.1016/j.trci.2018.03.009

2. Cummings J. et al. Clinical Trials for Disease-Modifying Therapies in Alzheimer's Disease: A Primer, Lessons Learned, and a Blueprint for the Future. J Alzheimers Dis., 64(s1) 3–22 (2018); doi: 10.3233/JAD-179901

3. Nedergaard M. Direct signaling from astrocytes to neurons in cultures of mammalian brain cells, Science, 263(5154) 1768–1771 (1994); doi:10.1126/science.8134839

4. Xie L, Kang H, Xu Q et al. Sleep drives metabolite clearance from the adult brain, Science, 342(6156) 373–377 (2013); doi: 10.1126/science.1241224

5. Castillo X., Castro-Obregon S., Gutierrez-Becker B. et al. Re-thinking the Etiological Framework of Neurodegeneration. Frontiers in Neuroscienc, 131 (728) (2019); doi: 10.3389/fnins.2019.00728

6. A Reimagined Research Strategy for Aging, SENS Research Foundation (18 November 2012), <https://www.sens.org/our-research/intro-to-sens-research/>
7. Ivanitsky G.R., Krinsky V.I., Zaikin A.N. and Zabolitsky A.M. Autowave processes and their role in disturbing the stability of distributed excitable systems, Soviet Scientific Reviews. Section D2, 279–325 (1981)
8. Хижняк Е.П., Брагин А.Г., Иваницкий Г.Р. и др. Тепловая активность изолированного фрагмента мозга. Биофизика 31(5) 897–900 (1986); E.P. Khizhniak, A.G. Bragin, G.R. Ivanitskiĭ, V.I. Krinskiĭ, V.V. Tiazhelov Thermal activity of the isolated brain fragment Biofizika. 31(5):897–900. (1986); PMID: 3778964
9. Tsyganov M.A., Ivanitsky G.R. and Zemskov E.R. Wave reflection in a reaction-diffusion system: Breathing patterns and attenuation of the echo. Physical review E 89(5) 052907 (2014); doi:10.1103/PhysRevE.89.052907
10. Fry S., Lloyd J. and Mitchinson J. The book of general ignorance. London: Faber and Faber (2006). Есть Русский перевод: Фрай С., Лойд Дж. и Митчинсон Дж. Книга всеобщих заблуждений. М.: FantomPress (2008)
11. What we believe but cannot prove. Today’s Leading Thinkers on Science in the Age of Certainty (Edited by John Brockman). N.Y., London, Toronto, Sydney: Harper Perennial (2006). Русский перевод: Во что мы верим, но не можем доказать. Интеллектуалы XXI века о современной науке (Под ред. Дж. Брокмана). М.: Альпина нон-фикшн (2018)
12. Diagnostic Classification Steering Committee; Chairman –Thorpy M.J. International Classification of Sleep Disorders: Diagnostic and Coding Manual. Rochester, MN, American Sleep Disorders Association, USA, 1990 https://archive.org/details/internationalcla0000unse_1990
13. Бонгард М.М. Проблема узнавания. М.: Физматгиз (1967). Пер. на англ.: Bongard M. M. Pattern Recognition. N.Y.: Spartan Books (1970)
14. Экономо Константин // Большая советская энциклопедия. В 30 т. (гл. ред. Прохоров А.М.) 3-е изд. М.: Советская энциклопедия 1969–1978
15. Ludwig von Bertalanffy. The Theory of Open Systems in Physics and Biology. Science 111: 23–29 (1950); DOI: 10.1126/science.111.2872.23
16. Морозов А.Ю. Теория струн – что это такое? УФН 162(8) 83–175 (1992); DOI: 10.3367/UFNr.0162.199208c.0083 English citation: Morozov A.Yu. String theory: what is it? Sov. Phys. Usp. 35 (8) 671–714 (1992); DOI: 10.1070/PU1992v035n08ABEH002255
17. Иваницкий Г.Р., Гартштейн В.П. Системный подход в биофизическом моделировании. В сборнике: Методологические и теоретические проблемы биофизики (под ред. Иваницкого Г.Р.), с. 190–200. М.: Наука (1979)
18. Иваницкий Г.Р. Самоорганизующаяся динамическая устойчивость биосистем, далёких от равновесия УФН, 187 757–784 (2017); doi:10.3367/UFNr.2016.08.037871; English citation: Ivanitskii G.R. The self-organizing dynamic stability of far-from-equilibrium biological systems Phys. Usp. 60 705–730 (2017); DOI: 10.3367/UFNe.2016.08.037871

19. Money & the reticular formation On Psychology and Neuroscience Posted on February 21, 2014 by psychneuro, <https://psychneuro.wordpress.com/2014/02/21/money-the-reticular-formation>

20. Bringmann H. Sleep-Active Neurons: Conserved Motors of Sleep. *Genetics* 208(4) 1279–1289 (April 1, 2018); doi: 10.1534/genetics.117.300521

21. Ковальзон В.М. Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла бодрствование–сон. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 239 с. ISBN 978-5-9963-0601-5

22. Научная сессия Отделения физических наук РАН Методы колебательно-волновой физики в задачах и приложениях нейронауки. УФН 178(3) 313–323 (2008); DOI: 10.3367/UFNr.0178.200803f.0313; English citation: Nekorkin V.I., Bezruchko B.P., Ponomarenko V.I., Prokhorov M.D., Smirnov D.A., Tass P.A. «Scientific session of the Physical Sciences Division of the Russian Academy of Sciences «Methods of wave-based physics in neuroscience problems and applications» (31 October 2007)» *Phys. Usp.* 51 295–304 (2008); DOI: 10.1070/PU2008v051n03ABEH006493

23. Клиньшов В.В., Некоркин В.И., Синхронизация автоколебательных сетей с запаздывающими связями, УФН 183 1323–1336 (2013); DOI: 10.3367/UFNr.0183.201312c.1323; English citation: Klinshov V.V., Nekorkin V.I. «Synchronization of delay-coupled oscillator networks» *Phys. Usp.* 56 1217–1229 (2013); DOI: 10.3367/UFNe.0183.201312c.1323

24. Казанович Я.Б. Осцилляторные нейросетивые модели когнитивных функций мозга, Диссертация доктора физ.-мат. наук. ИТЭБ РАН. Пушкино, (2018)

25. Kuramoto Y. *Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence* Book, Berlin: Springer-Verlag, 1984, 19, 141–158, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-69689-3>

26. Kuramoto Y. Self-entrainment of a population of coupled non-linear oscillators In *International Symposium on Mathematical Problems in Theoretical Physics* (edited by Araki H.) Springer: N.Y., Lecture Notes in Physics, 39 420, 1975. DOI: <https://doi.org/10.1007/BFb0013365>

27. Sakaguchi H., Kuramoto Y. A soluble active rotator model showing phase transitions via mutual entertainment. *Progress of Theoretical Physics* 76(3) 576–581 (1986); DOI:10.1143/PTP.76.576

28. Kazanovich Y.B., Borisyuk R.M. Synchronization in oscillator systems with a central element and shifts. *Progress of Theoretical Physics*. 110(6) 1047–1057 (2003); DOI:10.1143/PTP.110.1047

29. Borisyuk R., Kazanovich Y., Oscillatory model of attention-guided object selection and novelty detection. *Neural Networks*, 17(7), 899–915 (2004); doi:10.1016/j.neunet.2004.03.005

30. Walter W.G. *The living brain*. London: Pelican Books (1963) DOI https://doi.org/10.1007/978-3-642-70911-1_17; Русский перевод: Уолтер Г. Живой мозг. М.: Мир. (1966)

31. Bushey D., Tononi G., Cirelli C. Sleep and Synaptic Homeostasis: Structural Evidence in *Drosophila*. *Science* 332(6037) 1576–1581 (2011); doi: 10.1126/science.1202839
32. Diekelmann S., Born J. The Memory Function of Sleep, *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2) 114–126 (2010); doi: 10.1038/nrn2762
33. Kripke D. Long sleep and mortality: Rationale for sleep restriction. *Sleep Medicine Reviews* 8(3) 159–174 (Jul 2004); doi: 10.1016/j.smrv.2003.10.002
34. Cirelli C., Tononi G. Is Sleep Essential? *PLOS Biology*, 6(8) 1605–1611 (2008); doi:10.1371/journal.pbio.0060216
35. Vyazovskiy V.V., Olcese U., Hanlon E.C., Nir Y., Cirelli Ch., Tononi G. Local Sleep in Awake Rats. *Nature*, 472 443–447 (2011); doi: 10.1038/nature10009
36. Hablitz L.M., Vinitzky H.S., Sun Q. et al. Increased glymphatic influx is correlated with high EEG delta power and low heart rate in mice under anesthesia, *Science Advances*. 5(2) eaav5447 (2019); doi: 10.1126/sciadv.aav5447
37. Xie L., Kang H., Xu Q. et al. Sleep drives metabolite clearance from the adult brain, *Science*, 342(6156) 373–377 (2013); doi: 10.1126/science.1241224
38. Mestre H., Kostikov S., Mehta R.I., Nedergaard M. Perivascular spaces, glymphatic dysfunction, and small vessel disease. *Clin. Sci.* 131(17) 2257–2274 (2017); doi: 10.1042/CS20160381
39. Rodriguez A.V., Funk C.M., Vyazovskiy V., Nir Y., Tononi G., Cirelli C. Why does sleep slow-wave activity increase after extended wake? Assessing the effects of increased cortical firing during wake and sleep, *J. Neurosci.*, 36(49) 12436–12447 (2016); doi:10.1523/J. NEUROSCI.1614-16.2016
40. L de Vivo, Bellesi M., Marshall W., Bushong E.A., Ellisman M.H., Tononi G., Cirelli C. Ultrastructural evidence for synaptic scaling across the wake/sleep cycle, *Science*, 355(6324) 507–510 (2017); doi: 10.1126/science.aah5982
41. Iadecola C., Nedergaard M. Glial regulation of the cerebral microvasculature. *Nature neuroscience*, 10(11) 1369 (2007); doi:10.1038/nn2003
42. Ballabh P., Braun A., Nedergaard M. The blood–brain barrier: an overview: structure, regulation, and clinical implications. *Neurobiology of disease*, 16(1) 1–13 (2014); doi:10.1016/j.nbd.2003.12.016
43. Takano T., Tian G.F., Peng W., Lou N., Libionka W., Han X., Nedergaard M. Astrocyte-mediated control of cerebral blood flow. *Nature neuroscience*, 9(2) 260–267 (2006); doi:10.1038/nn1623
44. Kang J., Jiang L., Goldman S.A., Nedergaard M. Astrocyte-mediated potentiation of inhibitory synaptic transmission. *Nature neuroscience* 1(8) 683 (1998); doi:10.1038/3684
45. Tian G.F., Azmi H., Takano T., Xu Q., Peng W., Lin J., Oberheim N.A., Lou N., et al. An astrocytic basis of epilepsy. *Nature medicine*, 11(9) 973–981 (2005); doi: 10.1038/nm1277
46. Ji R.R., Berta T., Nedergaard M. Glia and pain: is chronic pain a gliopathy? *Pain®* 154 10–28 (2013); doi: 10.1016/j.pain.2013.06.022
47. Konnikova M. Goodnight. Sleep Clean, *The N.Y. Times* (2014)

48. Asti A., Gioglio L. Can a bacterial endotoxin be a key factor in the kinetics of amyloid fibril formation? *Alzheimers Dis.* 39(1) 169–179 (2014); doi: 10.3233/JAD-131394
49. Trevaskis N.L., Kaminskas L.M., Porter C.J. From sewer to saviour – targeting the lymphatic system to promote drug exposure and activity. *Nature Reviews Drug Discovery*, 14(11) 781–803 (2015); doi: 10.1038/nrd4608
50. Юрищев Е.П., Добровольский Г.Ф., Имшенецкая В.Ф., Щербакова Е.Я. Цереброспинальная жидкость./ Большая медицинская энциклопедия: в 30 т. (гл. ред. Б.В. Петровский). Т. 27 Третье изд. М.: Советская энциклопедия (1986)
51. Jessen N.A, Munk A.S., Lundgaard I., Nedergaard M. The glymphatic system: A beginner’s guide. *Neurochem. Res.* 40(12) 2583–2599 (2015); doi: 10.1007/s11064-015-1581-6
52. Mestre H., Hablitz L.M., Xavier A.L.R., et al. Aquaporin-4-dependent glymphatic solute transport in the rodent brain, *eLife*, 7 e40070 (2018); doi: 10.7554/eLife.40070
53. Plog B.A., Nedergaard M. The glymphatic system in central nervous system health and disease: Past, present, and future. *Annu Rev Pathol.*, 13 379–394 (2018); doi: 10.1146/annurev-pathol-051217-111018
54. Nuzzo Di M., Nedergaard M. Brain energetics during the sleep-wake cycle. *Curr. Opin. Neurobiol.* 47 65–72 (2017); doi: 10.1016/j.conb.2017.09.010
55. Crous-Bou M., Minguillon C., Gramunt N., Molinuevo J.L. Alzheimers disease prevention: from risk factors to early intervention. *Alzheimers Res. Ther.* 9(1) 71 (2017); doi: 10.1186/s13195-017-0297-z
56. Эшби У. Росс. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. М.: Книга по Требованию, 394 с. (2021); ISBN 978-5-458-51297-8
57. Hsu D. and Marshall G.A. Primary and secondary prevention trials in Alzheimer disease: looking back, Moving Forward. *Curr Alzheimer Res.* 14(4) 426–440 (2017); doi:10.2174/1567205013666160930112125
58. Klein P., Tyrlikova I. Prevention of epilepsy: should we be avoiding clinical trials? *Epilepsy Behav.*, 72 188–194 (2017); doi:10.1016/j.yebeh.2017.05.024
59. Косенко Е.А. Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI веке болезнь Альцгеймера неизлечима? М.:Наука (2019)
60. Brainstorm C., Anttila V., Bulik-Sullivan B., Finucane H.K., Walters R.K., Bras J. et al. Analysis of shared heritability in common disorders of the brain. *Science* 360(6395) 8757 (2018); doi: 10.1126/science.aap8757
61. Gitler A.D, Dhillon P., Shorter J. Neurodegenerative disease: models, mechanisms, and a new hope. *Dis. Model Mech.* 10(5) 499–502 (2017); doi: 10.1242/dmm.030205
62. Dawson T.M., Golde T.E., Lagier-Tourenne C. Animal models of neurodegenerative diseases. *Nat. Neurosci.* 21(10) 1370–1379 (2018); doi: 10.1038/s41593-018-0236-8
63. Van der Worp H B, Howells D W, Sena E S, Porritt M. J, Rewell, S, Ocollins, V et al. Can animal models of disease reliably inform human studies? *PLoS Med.* 7(3):e 1000245. (2010); doi: 10.1371/journal.pmed.1000245

64. Mergenthaler P., Meisel A. Do stroke models model stroke? *Dis Model Mech.* 5(6) 718–725 (2012); doi: 10.1242/dmm.010033
65. Abud E.M., Ramirez R.N., Martinez E.S., Healy L.M., Nguyen C.H., Newman S.A. et al. iPSC-derived human microglia-like cells to study neurological diseases, *Neuron.*, 94(2) 278–293 (2017); doi: 10.1016/j.neuron.2017.03.042
66. Korhonen P., Malm T., White A.R. 3D human brain cell models: new frontiers in disease understanding and drug discovery for neurodegenerative diseases. *Neurochem. Int.*, 120 191–199 (2018); doi: 10.1016/j.neuint.2018.08.012
67. Xie N. and Tang B. The application of human iPSCs in neurological diseases: from bench to bedside. *Stem Cells Int.* (2016); doi: 10.1155/2016/6484713
68. Robbins J.P. and Price J. Human induced pluripotent stem cells as a research tool in Alzheimers disease. *Psychol. Med.* 47(15) 2587–2592 (2017); doi: 10.1017/S0033291717002124
69. Itakura E., Chiba M., Murata T., Matsuura A. Heparan sulfate is a clearance receptor for aberrant extracellular proteins. *Journal of Cell Biolodgy (JCB)*, 2;219(3):e201911126; (2020); doi: 10.1083/jcb.201911126
70. Ransohoff R.M. All (animal) models (of neurodegeneration) are wrong. Are they also useful? *Exp. Med.* 215(12) 2955–2958 (2018); doi: 10.1084/jem.20182042
71. Lee C.H. and Yoon H.J. Medical big data: promise and challenges. *Kidney Res. Clin. Pract.* 36(1) 3–11 (2017); doi: 10.23876/j.krcp.2017.36.1.3
72. Stepanov A. et al. A mathematical model of multisite phosphorylation of tau protein. *PLoS One.* 13(2):e0192519 (2018); doi: 10.1371/journal.pone.0192519
73. Dalle Pezze P., Nelson G., Otten E.G., Korolchuk V.I., Kirkwood T.B., Von Zglinicki T. et al. Dynamic modelling of pathways to cellular senescence reveals strategies for targeted interventions. *PLoS Comput. Biol.* 10(8):e1003728 (2014); doi: 10.1371/journal.pcbi.1003728
74. Lloret-Villas A., Varusai T.M., Juty N., Laibe C., Le Novere N., Hermjakob H., et al. The impact of mathematical modeling in understanding the mechanisms underlying neurodegeneration: evolving dimensions and future directions. *CPT Pharmacometrics Syst. Pharmacol.* 6 73–86 (2017); doi: 10.1002/psp4.12155
75. Bilgel M., Jedynek B.M. Predicting time to dementia using a quantitative template of disease progression. *Alzheimers Dement*, 11 205–215 (2019); doi: 10.1016/j.dadm.2019.01.005
76. Pederson J.G. Fiducial Inference. *International Statistical Review*, 46(2) 147–170 (1978); doi:10.2307/1402811
77. Bayes T., Price R. An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chance. By the late Rev. Mr. Bayes, communicated by Mr. Price, in a letter to John Canton M A and F. R. S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 53 370–418 (1763)
78. Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности: Правила и предубеждения. Харьков: Издательство Институт прикладной психологии «Гуманитарный Центр», 632 с., (2005)
79. Gutierrez Becker B., Klein T., Wachinger C. Gaussian process uncertainty in age estimation as a measure of brain abnormality. *Neuroimage*, 175 246–258. (2018); doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.03.075

80. Davtyan H., Hovakimyan A., Shabestari S. et al. Testing a MultiTEP-based combination vaccine to reduce A β and tau pathology in Tau22/5xFAD bigenic mice. *Alzheimer's Research & Therapy*, 11(1) 107 (2019); doi: 10.1186/s13195-019-0556-2
81. Lamb V.J. *Biology of Ageing*. Glasgow and London: Blackie (1977); Есть Русский перевод: Лэмб М. Биология старения. М.: Мир (1980)
82. Warner H. et al. Science fact and the SENS agenda. What can we reasonably expect from ageing research? *EMBO Rep.* 6(11): 1006–1008, (2005); doi: 10.1038/sj.embor.7400555
83. Tuckwell H.C. Solitons in a reaction-diffusion system. *Science* 205(4405) 493–495 (1979); DOI: 10.1126/science.205.4405.493
84. FitzHugh R. Impulses and Physiological States in Theoretical Models of Nerve Membrane. *J. Biophys.* 1(6) 445–66 (1961); doi: 10.1016/s0006-3495(61)86902-6
85. Nagumo J., Arimoto S., Yoshizawa S. An active pulse transmission line simulating nerve axon. *Proc. IRE*, 50 2061–2070 (1962); <https://doi.org/10.1109/JRPROC.1962.288235>
86. Van der Pol B and Van der Mark J Frequency demultiplication. *Nature* 120 363–364, (1927); <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=28169>
87. Иваницкий Г.Р., Кринский В.И., Сельков Е.Е. Математическая биофизика клетки. М.: Наука (1978)
88. Кринский В.И., Михайлов А.С. Автоволны. Серия Физика. М.: Знание № 10 (1984)
89. Дайсон Ф. Птицы и лягушки в математике и физике. УФН 180 859–870 (2010); DOI: 10.3367/UFNr.0180.201008f.0859; English citation: Dyson F. Birds and frogs in mathematics and physics *Phys. Usp.* 53 825–834 (2010); DOI: 10.3367/UFNr.0180.201008f.0859
90. *Biological Rhythms* (ed. By Aschoff J.) Max-Planck Institut für Verhaltensphysiologie Andechs, German Federal Republic. N.Y. and London: Plenum Press (1981); Есть Русский перевод: Биологические ритмы (под ред. Ю. Ашоффа) В 2 томах. М.: Мир (1984)
91. Winfree A.T. *The timing of Biological Clocks*. N.Y.: Scientific American Books, Inc. (1984); Есть Русский перевод: Уинфри А.Т. Время по биологическим часам. М.: Мир (1990)
92. Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А. От беспорядка к упорядоченности – на примере движения микроорганизмов. УФН 161 (4) 13–71 (1991); DOI: 10.3367/UFNr.0161.199104b.0013; English citation: 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 (4) 289–316 (1991); DOI: 10.1070/PU1991v034n04ABEH002362
93. Kosek J. and Marek M. Phys. Collision-stable waves in excitable reaction-diffusion systems. *Rev. Lett.* 74 2134–2137 (1995); doi: 10.1103/PhysRevLett.74.2134
94. Petrov V., Scott S.K., Showalter K. Excitability, wave reflection, and wave splitting in a cubic autocatalysis reaction-diffusion system. *Philos. Trans. R. Soc. London A* 347, 631 (1994); doi.org/10.1098/rsta.1994.0071

95. Kobayashi R., Ohta T. and Hayase Y. Self-organized pulse generator in a reaction-diffusion system. *Phys. Rev.*, 50(5) 3291–3294, (1994); doi:10.1103/physreve.50.r3291
96. Aslanidi O.V., Mornev O.A. Can colliding nerve pulses be reflected? *JETP Lett.* 65, 579 (1997)
97. Aslanidi O.V., Mornev O.A. Soliton-like regimes and excitation pulse reflection (echo) in homogeneous cardiac purkinje fibers: results of numerical simulations, *J Biol. Phys.* 25 149–164 (1999); doi: 10.1023/A:1005119218136
98. Couillet P., Lega J., Houchmanzadeh B., Lajzerowicz J. Breaking chirality in nonequilibrium systems. *Phys. Rev. Lett.*, 65 1352–1355 (1990); doi: 10.1103/PhysRevLett.65.1352
99. Hagberg A., Meron E., Pattern formation in non-gradient reaction diffusion systems: the effects of front bifurcations. *Nonlinearity* 7: 805–835 (1994); DOI:10.1088/0951-7715/7/3/006
100. Malomed B.A., Nepomnyashchy A.A. Stability limits for arrays of kinks in two-component nonlinear systems. *Europhys. Lett.*, 27(9) 649 (1994); doi:10.1209/0295-5075/27/9/003
101. Mikhailov A.S., Showalter K. Control of waves, patterns and turbulence in chemical systems. *Phys. Rep.* 42540 79–194 (2006); DOI:10.1016/j.physrep.2005.11.003
102. Ohta T. and Kiyose J. Collision of domain boundaries in a reaction-diffusion system. *J. Phys. Soc. Japan*, 65 1967–1970 (1996); doi.org/10.1143/JPSJ.65.1967
103. Ohta T., Kiyose J., Mimura M. Collision of propagating pulses in a reaction-diffusion system. *J. Phys. Soc. Japan* 66 1551–1558 (1997); doi.org/10.1143/JPSJ.66.1551
104. Sheintuch M., Nekhamkina O. Analysis of front interaction and control in stationary patterns of reaction-diffusion systems. *Phys. Rev.* 63 056120 (2001); doi: 10.1103/PhysRevE.63.056120
105. Tsyganov M.A., Brindley J., Holden A.V., Biktashev V.N. Quasisoliton interaction of pursuit-evasion waves in a predator-prey system. *Phys. Rev. Lett.* 91 218102 (2003); doi: 10.1103/PhysRevLett.91.218102
106. Tsyganov M.A., Biktashev V.N., Brindley J., Holden A.V., Ivanitskii G.R. Waves in systems with cross-diffusion as a new class of nonlinear waves. *Phys. Usp.*, 50 3 263–286 (2007); DOI: 10.1070/PU2007v050n03ABEH006114; Оригинал: Цыганов М.А., Бикташев В.Н., Бриндли Дж., Холден А.В., Иваницкий Г.Р. «Волны в кросс-диффузионных системах – особый класс нелинейных волн» *УФН* 177 275–300 (2007); DOI: 10.3367/UFNr.0177.200703b.0275
107. Rinzel J. and Keller J.B. Traveling wave solutions of a nerve conduction equation. *Biophys. J.* 13(12) 1313–1337 (1973); doi:10.1016/S0006-3495(73)86065-5;
108. Tonnelier A., Gerstner W. Piecewise linear differential equations and integrate-and-fire neurons: insights from two-dimensional membrane models. *Phys. Rev.* 67(2 Pt 1) 021908 (2003); doi:10.1103/PhysRevE.67.021908

109. Арнольд В.И., Варченко А.Н., Гусейн-Заде С.М. Особенности дифференцируемых отображений. т. I, II. М.: Наука, 1982, 1984

110. Арнольд В.И. Теория катастроф. 3-е изд. М.: Наука, (1990); ISBN 5-02-014271-9

111. Blanke O., Landis T., Spinelli L., Seeck M. Out-of-body experience and autopsy of neurological origin. *Brain*. 127(2) 243–258 (2004); doi: 10.1093/brain/awh040

112. Иваницкий Г.Р. 275 лет Российской Академии Наук и история биофизики, *Биофизика*, 44(6) 931–945 (1999); Ivanitsky G.R. 275 Years of Russian Academy of Sciences and a History of Biophysics. *Biophysics*, 44(6) 965–979 (1999); PMID: 10707271

113. 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* 189 759–784 (2019); DOI: 10.3367/UFN.2019.01.038524; English citation: 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.* 62 711–734 (2019); DOI: 10.3367/UFNe.2019.01.038524

114. Усенко Л.В., Клигуненко Е.Н., Доронин А.Г. Экспериментальное обоснование использования перфторана в лечении тяжелой травмы головного мозга. В сб.: *Перфторуглеродные активные среды для медицины и биологии (новые аспекты исследования)* (под ред. Г.Р. Иваницкого и С.И. Воробьева) Пушкино 47–63, (1993)

115. Ромоданов А.П., Зозуля Ю.А., Спасиченко А.П. и др. Перфторан при внутричерепной гипертензии и отеке набухания головного мозга. В сб.: *Перфторуглеродные активные среды для медицины и биологии (новые аспекты исследования)* (под ред. Г.Р. Иваницкого и С.И. Воробьева) Пушкино 63–69, (1993)

116. Усенко Л.В., Клигуненко Е.Н. Перспективы и возможности использования перфторана в комплексном лечении критических состояний. В сборнике: *Физиологическая активность фторсодержащих соединений (эксперимент и клиника)* (под ред. Г.Р. Иваницкого и С.И. Воробьева) Пушкино 173–176, (1995)

117. Усенко Л.В., Царев А.В., Петров В.В., Кобеляцкий Ю.Ю. Кровопотеря, анемия, гемостаз и инфузионно-трансфузионная терапия: Pro et Contra в современной реаниматологии. Днепр: Лира (2021)

118. Graham D.W. Heraclitu's criticism of Ionian philosophy. In the book: "Oxford Studies in Ancient Philosophy (Ed. by C.C.W. Taylor)". Oxford: Clarendon Press. Vol. XV, p. 1-50 (1997)

Глава 4

1. Arthur A. Powell. *The Astral Body and other Astral Phenomena*. London.: The Theosophical House (1927)

2. Sigmund Freud. *Die Traumdeutung*. Leipzig und Wien: Franz Deuticke (1900).

3. Альфред Адлер. Большая советская энциклопедия (в 30 т.) (под ред. А.М. Прохорова). 3-е изд. М.: Советская энциклопедия (1969)
4. Юнг Карл Густав. Большая советская энциклопедия (в 30 т.) (под ред. А.М. Прохорова). 3-е изд. М.: Советская энциклопедия (1969)
5. Ramachandran V.S. The tell-tale Brain. A Neuroscientist's Quest for What Makes Us Human. New York, London.: W.W. Norton & Company (2011). Есть русский перевод: Рамачандран Вилейанур. Мозг рассказывает. Что делает нас людьми. М.: Карьера Пресс (2012)
6. Иваницкий Г Р. Самоорганизующаяся динамическая устойчивость биосистем, далёких от равновесия. УФН 187 757–784 (2017) Ivanitskii G R. The self-organizing dynamic stability of far-from-equilibrium biological systems. Phys. Usp. 60 705–730 (2017); DOI: 10.3367/UFNe.2016.08.037871
7. Уинфри А.Т. Время по биологическим часам. М.: МИР (1990)
8. The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine – Press release –NobelPrize.org
9. Charles A. Czeisler, Jeanne F. Duffy, Theresa L. Shanaban et al. “Stability, Precision, and Near-24-Hour Period of the Human Circadian Pacemaker”. Science: (т. 284, № 5423) (журнал 25 июня 1999)
10. Линдсей П., Норман Д. Системы памяти. В кн.: Психология памяти (Под ред. Ю. Б. Гиппенрейтер, В.Я. Романова). 3-е изд., перераб. и доп. М.: АСТ:Астрель, (2008),
11. Ковальзон В. М. Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла «бодрствование-сон». М.: Бином, (2012)
12. Иваницкий Г Р, Морозов А А. Объект исследования – стареющий мозг. УФН 190 1165–1188 (2020). Ivanitskii G R, Morozov A A. Subject of study – the aging brain. Phys. Usp. 63 1092–1113 (2020); DOI: 10.3367/UFNe.2020.06.038791
13. Mackowiak, Philip A.; Wasserman, Steven S.; Levine, Myron M. “A critical appraisal of 98.6 degrees F, the upper limit of the normal body temperature, and other legacies of Carl Reinhold August Wunderlich”. Journal of the American Medical Association. 268 (12): 1578–1580 (1992-09-23). DOI:10.1001/jama.1992.03490120092034. PMID 1302471.
14. Kleitman N. Sleep and Wakefulness. (1st. ed.) Chicago: University of Chicago Press (1936) стр 58
15. Biological Rhythms (edited by J. Aschoff) New York, London: Plenum Press (1981), Есть русский перевод в двух томах: Биологические ритмы (под редакцией Ю.Ашоффа) М.: Мир (1984) том 2
16. Температура тела. В книге «Популярная медицинская энциклопедия» (под ред. Б.В. Петровского) М.: «Советская энциклопедия» (1980) с.601
17. Christian Moro. What position should I sleep in, and is there a ‘right’ way to sleep? Modern Science. <https://modernsciences.org/what-position-should-i-sleep-in-and-is-there-a-right-way-to-slee>
18. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. М.: Наука, (1965)

19. Monteith J.L. Specification of the environment for thermal physiology. // In book: "Heat Loss from Animals and man" (ed. J.L. Monteith and L.E. Mount) Butterworths/ London (1974)
20. Gagge A.P. Effective radiant flux // In book: "Physiological and Behavioural Temperature Regulation". (Ed: J.D. Hardy et al.) (Springfield: Thomas 1970)
21. Иваницкий Г Р. Современное матричное тепловидение в био-медицине. УФН 176 1293–1320 (2006), Ivanitskii G R. Modern matrix thermovision in biomedicine. Phys. Usp. 49 1263–1288 (2006); DOI: 10.1070/PU2006v049n12ABEH006163
22. Bushey D, Tononi G, Cirelli C. Sleep and Synaptic Homeostasis: Structural Evidence in *Drosophila*. Science 332 1576–1581 (June 24, 2011); doi: 10.1126/science.1202839.
23. Diekelmann S, Born J The Memory Function of Sleep, Nature Reviews Neuroscience, 11(2) 114–126 (February 2010); doi: 10.1038/nrn2762
24. Walter W G. The living brain. London: Pelican Books (1963); Русский перевод: Грей Уолтер. Живой мозг. М.: Мир. (1966)
25. Caruso Damiano; De Santis Domenico; Rivosecchi Flaminia et al. "Lean Body Weight-Tailored Iodinated Contrast Injection in Obese Patient: Boer versus James Formula". BioMed Research International: 8521893 (13 August 2018). doi:10.1155/2018/8521893. ISSN 2314-6133. PMC 6110034. PMID 30186869
26. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, Главная ред.физ.-мат. литературы (1981)
27. Бонгард М. М. Проблема узнавания. М.: Физматгиз (1967)
28. Хьюбел Д.. Глаз, мозг, зрение. М.: Мир (1990)
29. Justin A. Harris, Carlo Miniussi, Irina M. Harris, and Mathew E. Diamond. Transient Storage of a Tactile Memory Trace in Primary Somatosensory Cortex. Journal of Neuroscience. 22 (19) 8720 – 8725 (October 1, 2002)
30. Sperling, G. The information available in brief visual presentations. Psychol. Monogr., general and applied, , 74, 1–29 (1960)

Глава 5

1. Pribram, Karl. Languages of the brain; experimental paradoxes and principles in neuropsychology. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall (1971), Русский перевод: Прибрам К. Язык мозга. Экспериментальные парадоксы и принципы нейробиологии. М.: «Прогресс», (1975)
2. Everett H. Relative State' formulation of Quantum Mechanics. Rev. Mod. Phys. 29 454 (1957)
3. Менский М.Б. Концепция сознания в контексте квантовой механики. УФН. 175 413 (2005); DOI: 10.3367/UFNr.0175.200504c.0413; English citation: Menskii M.B. Concept of consciousness in the context of quantum mechanics. Phys. Usp. 48 389–409 (2005); DOI: 10.1070/PU2005v048n04ABEH002075

4. Рабинович М.И., Мюезинолу М.К. Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность. УФН. 180, 371–387 (2010); DOI: 10.3367/UFNr.0180.201004b.0371; English citation: Rabinovich M.I., Muezzinoglu M.K. Nonlinear dynamics of the brain: emotion and cognition Phys. Usp. 53 357–372 (2010); DOI: 10.3367/UFNe.0180.201004b.0371
5. Доронина-Амитонова Л.В., Федотов И.В., Федотов А.Б. и др. Нейрофотоника: оптические методы исследования и управления мозгом. УФН 185 371–392 (2015); DOI: 10.3367/UFNr.0185.201504c.0371; English citation: Doronina-Amitonova L.V., Fedotov I.V., Fedotov A.B., Anokhin K.V., Zheltikov A.M. Neurophotonics: optical methods to study and control the brain. Phys. Usp. 58 345–364 (2015); DOI: 10.3367/UFNe.0185.201504c.0371
6. Жёлтиков А.М. Критика квантового разума: измерение, сознание, отложенный выбор и утраченная когерентность УФН 188 1119–1128 (2018); DOI: 10.3367/UFNr.2017.06.038155; English citation: Zheltikov A.M. The critique of quantum mind: measurement, consciousness, delayed choice, and lost coherence. Phys. Usp. 61 1016–1025 (2018); DOI: 10.3367/UFNe.2017.06.038155
7. Желтиков А.М., Скалли М.О. Запутанные фотоны для микроскопии живых систем: за пределами возможного? УФН 190, 749 (2020); DOI: 10.3367/UFNr.2020.03.038743; English citation: Zheltikov A.M., Scully M.O. Photon entanglement for life-science imaging: rethinking the limits of the possible. Phys. Usp. 63 698–707 (2020); DOI: 10.3367/UFNe.2020.03.038743
8. Ramachandran V.S. The Tell-Tale Brain: A Neuroscientist's Quest for What Makes Us Human (N.Y., London: Norton&Company, 2011); DOI:10.1075/ssol.3.1.14pee; Пер. на русск. яз.: Рамачандран В.С. Мозг рассказывает: что делает нас людьми (пер. с англ. Елены Чепель). М.: Карьера Пресс, 394 с., (2015); ISBN 978-5-00074-031-6
9. Parkinson B., Fisher A.H., Manstead A.S.R. Emotions in social relations. Cultural, social and interpersonal processes. N.Y.: Psychology Press, (2005); DOI:10.4324/9780203644966
10. Oatley K., Keltner D., Jenkins J. Understanding emotions. (2nd edition) Acta Neuropsychiatrica. Psychology 19(2): 133–133, (2007); DOI:10.1111/j.1601-5215.2007.00194.x
11. Лейбниц Г.В. Сочинения в четырёх томах. М.: «Мысль», (1982)
12. Новая система природы и общения между субстанциями, а также о связи, существующей между душою и телом. Собрание сочинений Г. Лейбница. В 4-х томах. М.: Мысль Т. 1, 271–281, (1982)
13. Lewis C.I. Mind and the World-Order: Outline of a theory of knowledge. N.Y.: Charles Scribner's Sons, (1929)
14. 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 189 759–784 (2019); DOI: 10.3367/UFNr.2019.01.038524; English citation: 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.* 62 711–734 (2019); DOI: 10.3367/UFNe.2019.01.038524

15. Иваницкий Г.Р. Первый Всесоюзный биофизический съезд. *БИОФИЗИКА*, 27(4), 749–751 (1982)

16. Иваницкий Г.Р. XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики. *УФН* 180 337–369 (2010); DOI: 10.3367/UFNr.0180.201004a.0337; English citation: Ivanitskii G.R. 21st century: what is life from the perspective of physics? *Phys. Usp.* 53 327–356 (2010); DOI: 10.3367/UFNe.0180.201004a.0337

17. 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), 1022–1029 (2021); DOI: 10.31857/S0006302921050239; English citation: 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, No. 5, pp. 872–878 (2021); DOI:10.1134/s0006350921050080

18. Lahav N. and Neemeh Z.A. A Relativistic of Consciousness. *Frontiers in Psychology*, 12(2021), (2022); <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.704270>

19. Zemskov E.P., Kassner K., Tsyganov M.A., and Hauser M.J. B. Wavy fronts in reaction-diffusion systems with cross-advection. *Eur. Phys. J. B*, 72, 457–465 (2009); <https://doi.org/10.1140/epjb/e2009-00370-5>

20. Zemskov E.P., Tsyganov M.A., Ivanitsky G.R. and Horsthemke W. Solitary pulses and periodic wave trains in a bistable FitzHugh-Nagumo model with cross diffusion and cross advection. *Physical Review E* 105.014207 (2022); DOI: 10.1103/PhysRevE.105.014207

21. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. М.: Наука, 2001

22. Сборник статей «Пределы предсказуемости» (под ред. Ю.А. Кравцова) М.: ЦентрКом (1997)

23. Kaku M. *The future Mind. The scientific quest to understand, enhance, and empower the mind.* Doubleday: N.Y., London, Toronto, Sydney, Auckland (2014); ISBN 978-0-385-53083-5 (eBook) Русский перевод: Каку М. *Будущее разума.* М.: «Альпина Нон-фикшн» (2015)

24. Ellison A.M., Gotelli N.J. Energetics and the evolution of carnivorous plants–Darwin's 'most wonderful plants in the world. *Journal of experimental botany.*60(1), 19–42 (2009); doi: 10.1093/jxb/ern179

25. Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А. От беспорядка к упорядоченности – на примере движения микроорганизмов. *УФН* 161 (4) 13–71 (1991); DOI: 10.3367/UFNr.0161.199104b.0013; English citation: 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 (4) 289–316 (1991); DOI: 10.1070/PU1991v034n04ABEH002362

26. Tsyganov M.A., Kresteva I.B., Aslanidi G.V., Aslanidi K.B., Deev A.A., Ivanitsky G.R. The mechanism of the fractal-like structures formation by bacterial populations. *J. Biol. Phys.* 25(2–3), 165–176 (1999); doi: 10.1023/A:1005153720027
27. Mimura M., Sakaguchi H., Matsushita M. Reaction-diffusion modelling of bacterial colony patterns. *Physic A.* 282, № 1–2. P. 283–303 (2000); DOI:10.1016/S0378-4371(00)00085-6
28. Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А. От динамики популяционных автоволн, формируемых живыми клетками, к нейроинформатике. *УФН* 164(10) 1041–1072 (1994); DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.0164.199410b.1041>; Ivanitskii G.R., Medvinskii A.B. and Tsyganov M.A. From the dynamics of population autowaves generated by living cells to neuroinformatics. *Physics-Uspekhi* 37(10) 961 (1994); DOI: 10.1070/PU1994v037n10ABEH000049
29. Biktashev V.N. and Tsyganov M.A. Solitary waves in excitable systems with cross-diffusion. *Proc. Royal Soc. A.* 461(2064), 3711–3730 (2005); DOI:10.1098/rspa.2005.1529
30. Цыганов М.А., Бикташев В.Н., Бриндли Дж., Холден А.В., Иваницкий Г.Р. «Волны в кросс-диффузионных системах – особый класс нелинейных волн». *УФН* 177 275–300 (2007); DOI: 10.3367/UFNr.0177.200703b.0275; Tsyganov M.A., Biktashev V.N., Brindley J., Holden A.V., Ivanitskii G.R. Waves in systems with cross-diffusion as a new class of nonlinear waves. *Phys. Usp.*, 50 3 263–286 (2007); DOI: 10.1070/PU2007v050n03ABEH006114
31. McKean H.P. Nagumo's equation. *Advances in Mathematics*, 4, 209–223 (1970); DOI:10.1016/0001-8708(70)90023-X
32. Rinzel J. and Keller J.B. Traveling wave solutions of a nerve conduction equation, *Biophys. J.*, 13, 1313–1337 (1973); doi: 10.1016/S0006-3495(73)86065-5
33. Montgomery Sy. *The Soul of an Octopus: A Surprising Exploration into the Wonder of Consciousness.* Atria Books, (2015); ISBN 1451697716. Русский перевод: Монтгомери С. Душа осьминога. Тайны сознания удивительного существа. М.: Альпина Нон-фикшн (2018)
34. В Интернете «Энциклопедия природы»: Осьминог (*Octopus vulgaris*). https://www.floranimal.ru/animals/catalog/oktopodidy/osminog/?sphrase_id=10805
35. Albertin C.A., Simakov O., Mitros T. et al. The octopus genome and the evolution of cephalopod neural and morphological novelties. *Nature*: 524(7564), 220–224 (2015); doi: 10.1038/nature1466
36. Hanlon R.T. & Messenger J.B. *Cephalopod Behaviour.* Cambridge: Cambridge University Press, (1996)
37. Crook Robyn J. Behavioral and neurophysiological evidence suggests affective pain experience in octopus *Science*. 24, iss. 3. (2021); ISSN 2589-0042. doi:10.1016/j.isci.2021.102229
38. MacLean Paul D. *The Triune Brain in Evolution Role in Paleocerebral Functions.* N.Y.: Plenum (1990)
39. Тирас Х.П., Хачко В.И. Критерии и стадии регенерации у планарий. *Онтогенез* 21. 620–624 (1990)

40. Каку М. Будущее разума. М: «Альпина нон-фикшн» (2015)
41. Modesto S.P., Anderson J.S. The phylogenetic definition of Reptilia Systematic Biology: journal. 53, № 5, 815–821 (2004); doi:10.1080/10635150490503026. PMID 15545258
42. Eakin R.M. The Third Eye. Berkeley: University of California Press, (1973); ISBN 0-520-02413-3
43. Labra A., Voje K.L., Seligmann H., Hansen T.F. Evolution of the third eye: a phylogenetic comparative study of parietal-eye size as an ecophysiological adaptation in *Liolaemus lizar*. Biological Journal of the Linnean Society. 101(4), 870–883 (2010); doi:10.1111/j.1095-8312.2010.01541
44. Иваницкий Г.Р. Мир глазами биофизика. М.: Педагогика (1985)
45. Уинфри А.Т. Время по биологическим часам. М.: Мир (1990)
46. Иваницкий Г.Р., Панфилов А.В., Цыганов М.А. Механизмы пульсаций пространственного распределения численности делящихся биообъектов. Биофизика 32(2), 354–356 (1987)
47. Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Деев А.А., Цыганов М.А. От «демона Максвелла» к самоорганизации процессов массопереноса в живых системах. УФН 168, 1221–1233 (1998); DOI: 10.3367/UFNr.0168.199811c.1221; English citation: Ivanitskii G R, Medvinskii A B, Deev A A, Tsyganov M A From Maxwell's demon to the self-organization of mass transfer processes in living systems. Phys. Usp. 41, 1115–1126 (1998); DOI: 10.1070/PU1998v041n11ABEH000503
48. Basma J., Guley N., Ii L. M. M., Arnautovic K., Boop F. The Evolutionary Development of the Brain As It Pertains to Neurosurgery. Cureus. 12(1):e6748 (2020); doi:10.7759/cureus.6748
49. Cesario J., Johnson D.J., Eisthen H.L. Your Brain Is Not an Onion With a Tiny Reptile Inside Current Directions in Psychological Science. 29(3), 255–260 (2020); <https://doi.org/10.1177/0963721420917687>
50. Чернавский Д.С. Проблема происхождения жизни и мышления с точки зрения современной физики. УФН 170 157–183 (2000); DOI: 10.3367/UFNr.0170.200002c.0157; English citation: Chernavskii D.S. The origin of life and thinking from the viewpoint of modern physics. Phys. Usp. 43 151–176 (2000); DOI: 10.1070/PU2000v043n02ABEH000609
51. Мелик-Гайказян И.В. Информационные процессы и реальность. М.: Наука (1997)
52. Махлуп Ф. Производство и распространение знаний в США. М.: Прогресс (1966)
53. Бонгард М.М. Проблема узнавания. М: Наука (1967)
54. Rose S. The making of Memory: from molecules to mind. London, N.Y., Toronto: Bantam Press (1992). Русский перевод: Роуз С. Устройство памяти: от молекул к сознанию. М.: Мир (1995)
55. Аллахвердов В.М. Сознание как парадокс. СПб: ДНК (2000)
56. Корогодин В.И. Информация и феномен информации. Препринт: Пушино АН СССР (1991)

57. Ramachandran V.S. The tell-tale Brain. A Neuroscientist's Quest for What Makes Us Human. N.Y., London: w.w. Norton & company (2011). Русский перевод: Рамачандран В.С. Мозг рассказывает. Что делает нас людьми. Карьера Пресс (2012)
58. Иваницкий Г.Р. Робот и человек Где находится предел их сходства? УФН 188 965–991 (2018); DOI: 10.3367/UFNr.2018.03.038302; English citation: Ivanitskii G.R. The robot and the human. Where's their similarity limit? Phys. Usp. 61 871–895 (2018); DOI: 10.3367/UFNe.2018.03.038302
59. Харкевич А.А. О ценности информации. Проблемы кибернетики. Вып.4. М.: Физматгиз (1960)
60. Корогодина В.И., Корогодина В.Л. Информация как основа жизни. Дубна: Издательский центр «Феникс» (2000); ISBN 5-87905-125-0
61. Шеннон К., Бандвагон Г. Работы по теории информации и кибернетики. М.: ИИЛ (1963)
62. Борисюк Г.Н., Борисюк Р.Н., Казанович Я.Б., Иваницкий Г.Р. Модели динамики нейронной активности при обработке информации мозгом – итоги «десятилетия». УФН, 172, 1189–1214 (2002); DOI: 10.3367/UFNr.0172.200210d.1189; English citation: Borisyuk G.N., Borisyuk R.M., Kazanovich Ya B, Ivanitskii G R Models of neural dynamics in brain information processing – the developments «of 'the decade». Phys. Usp. 45 1073–1095 (2002); DOI: 10.1070/PU2002v045n10ABEH001143
63. Kazanovich Y.B., Borisyuk R.M. Synchronization in oscillator systems with a central element and shifts. Progr. Theor. Phys. 110(6) 1047–1058 (2003); DOI:10.1143/PTP.110.1047
64. Borisyuk R., Kazanovich Y., Oscillatory model of attention-guided object selection and novelty detection. Neural Networks, 17, 899–915 (2004); DOI:10.1016/j.neunet.2004.03.005
65. Жуков Д. Биологические основы поведения. Гуморальные механизмы. Litres, 691с. (2022); ISBN 978-5-457-85316-4
66. Shannon C.E. Communication Theory of Secrecy Systems. Bell System Technical Journal. 28. 656–715 (1949)
67. COmpliant HuMANoid Platform (COMAN)». iit.it. 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
68. Schwarz M., Pastrana J., Allgeuer Ph., Schreiber M., Schüller S., Missura M., Behnke S. (2013). «Humanoid TeenSize Open Platform NimbRo-OP». RoboCup 2013: Robot World Cup XVII. Springer. pp. 568–575. ISBN 978-3-662-44467-2
69. DLR – Institute of Robotics and Mechatronics – Toro». www.dlr.de. Retrieved 2019-06-17
70. Home. Therobotics challenge.org. Archived from the original on 2015-06-11
71. REEM-C – ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics
72. Meet Poppy, the open source / open hardware humanoid robot inspiring innovation in labs & classrooms. IEEE SCV RAS Chapter» (2015)

73. Menezes B. Meet Manav, India's first 3D-printed humanoid robot». www.livemint.com. Archived from the original on 2015-09-29

74. Pepper – ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics; <https://robots.ieee.org/robots/pepper/>

75. Zhang J.J., Thalmann N.M. and Zheng J., Combining Memory and Emotion With Dialog on Social Companion: A Review, Proceedings of the ACM 29th International Conference on Computer Animation and Social Agents. CASA (2016), p. 1–9, Geneva, Switzerland, May 23–25, 2016;

76. 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-robot-nadine-can-feel-emotions-has-good-memory-scientists-claim-2245600>

77. 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 & Society*. 36(3), 715–724, (2021); doi:10.1007/s00146-020-01104-w

78. How did a Stanford-designed 'humanoid' discover a vase from a Louis XIV shipwreck? montereyherald.com. (2017); <https://www.montereyherald.com/2016/04/28/how-did-a-stanford-designed-humanoid-discover-a-vase-from-a-louis-xiv-shipwreck/>

79. 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>

80. «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>

81. 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>

82. Johansson B., Tjostheim T., Balkenius C. Epi: An open humanoid platform for developmental robotics». *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 17(2). (2020); DOI:10.1177/1729881420911498

83. 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>

84. Halle 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>

85. Mori M. The Uncanny Valley. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 19, № 2. 98–100 (2012); doi:10.1109/MRA.2012.2192811
86. Эшби У.Р. Конструкция мозга. М.: Книга по Требованию, (2021); ISBN 978-5-458-38789-7
87. Alan M. Turing. Computing machinery and intelligence. *Mind* 59:433–460 (1950) Русский перевод статьи: Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М.: ИИЛ, (1960); http://www.etheroneph.com/files/can_the_machine_think.pdf
88. Сирл Д. В мире науки (3) 7 (1990); ISSN 0208-0621. "Является ли разум мозга компьютерной программой?" *Scientific American* 262, № 1, 26-31 (1990), Bibcode:1990SciAm.262a..26S, doi: 10.1038 / scientificamerican 0190-26, PMID 2294583
89. H. Ishiguro. Toward interactive humanoid robots: a constructive approach to developing intelligent robot. *Proc. 1st Int. Joint Conf. Autonomous Agents & Multiagent Systems, Invited talk, Part 2*, pp. 621-622, 2002
90. Клиньшов В.В., Некоркин В.И., Синхронизация автоколебательных сетей с запаздывающими связями, *УФН* 183 1323–1336 (2013); DOI: 10.3367/UFN.0183.201312c.1323; English citation: Klinshov V.V., Nekorkin V.I. «Synchronization of delay-coupled oscillator networks» *Phys. Usp.* 56 1217–1229 (2013); DOI: 10.3367/UFNe.0183.201312c.1323
91. Sakaguchi H., Kuramoto Y. A soluble active rotator model showing phase transitions via mutual entertainment. *Prog. Theor. Phys.* 76 576–581 (1986); doi.org/10.1143/PTP.76.576
92. Казанович Я.Б. Осцилляторные нейросетивые модели когнитивных функций мозга. Дисс. доктора физ.-мат. наук. Пушкино: ИТЭБ РАН (2018); https://www.impb.ru/downloads/Kazanovich_ar.pdf
93. Слепые и слон WIKI 2 (Википедия Переиздание); https://wiki2.org/ru/Слепые_и_слон
94. Brillouin L. *Scientific Uncertainty, and Information*. Academic Press. N.Y. and London (1964). Есть Русский перевод: Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М.: Мир (1966)

Глава 6

1. Платон. Апология Сократа. В книге: Платон: Собрание сочинений в 4-х томах. Т. 1. Примечание № 16. М.: Мысль (1990).
2. Энциклопедический словарь крылатых слов и выражений: более 4000 статей / Авт.-сост. В. В. Серов (2-е изд.) М.: Локид-Пресс (2005).
3. Darwin Charles. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (1st ed.) London: John Murray (1859)
4. Иваницкий Г.Р. XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики *Успехи физических наук.* 180 337–369 (2010). Ivanitskii G.R. 21st century: what is

life from the perspective of physics? *Phys. Usp.* 53 327–356 (2010); DOI: 10.3367/UFNe.0180.201004a.0337

5. Иваницкий Г.Р. *Выражи закономерностей. Правило БИО – стержень науки.* М.: Наука (2011)

6. Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck. *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*, 1 éd // Paris (1809); Русский перевод.: *Философия зоологии* / М.: Наука (1911)

7. Lipton B. *The Biological of Belief.* USA: Hay House (2008); Русский перевод: Липтон Брюс. *Умные клетки: Биология убеждений. Как мышление влияет на гены, клетки и ДНК.* М.: ООО Издательство «София» (2013)

8. Gilbert S.F., Sapp J., Tauber A.I. *A Symbiotic view of Life: we have never been individuals.* *The Quarterly Review of Biology.* 87. № 4. 3250–336 (2012); <http://www.jstor.org/stable/10.1086/668166>

9. Brucker R.M. and Bordenstein S.R. *Speciation by symbiosis.* *Trends in Ecology and Evolution.* 27(8), 443–451 (2012); DOI: (10.1016/j.tree.2012.03.011)

10. Guerrero R., Magulis L., Berlanga M. *International Microbiology* 16, 133–143 (2013). Salucci E. *Microbiome, holobiont and the net of life.* USA.(2014) <http://infomahealthcare.com/mby>

11. Sampson T.R., Mazmanian S.K. *Specialized metabolites from the microbiome in health and disease.* *Cell Host & Microbe* 17, 565–576 (2015)

12. Borenstein S.R., Theis K.R. *Host Biology in Light of the Microbiome: Ten Principles of Holobionts and Hologenomes.* *PLOS Biology*, (2015); DOI:10.1371/journal.pbio.1002226

13. Fitzpatrick B.M. *Symbiote transmission and maintenance of extra-genomic associations.* *Frontiers in Microbiology.* 5(46), 1 (2014); doi: 10.3389/fmicb.2014.00046

14. Nemergut D.R. et al. *The merging of community ecology and phylogenetic biology.* *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 77(3), 342–356 (2013)

15. *Genome consortium. Finishing the euchromatic sequence of human genome.* *Nature.* 431(7011), 931–945 (2004)

16. Lander E.S. *Initial impact of the sequencing of the human genome.* *Nature.* 470(7033) 187–197 (2011); DOI: 10.1038/nature09792

17. Alberts B. *The end of «small science»?* *Science.* 337(6102) 1583 (2012); и Свердлов Е.Д. *Системная биология и персонализированная медицина: быть или не быть?* *Российский физиологический журнал.* 100(5) 505–541 (2014)

18. Мур Дж. *Паразиты, которые изменяют поведение своего хозяина.* В мире науки. № 7, 48–55 (1984) или Томас Ф., Адамо С., Мур Дж. *«Паразитарные манипуляции: где мы и куда нам идти?» Поведенческие процессы.* 68(3), 185–199 (2005); doi:10.1016/j.beproc.2004.06.010. PMID 15792688. S2CID 599951

19. Маргелис Л. *Роль симбиоза в эволюции клетки.* М.: Мир, (1983)

20. Douglas A. E. *Symbiotic interaction.* Oxford Univer. Press: Oxford:Y-N, Toronto (1994)

21. Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А. От динамики популяционных автоволн, формируемых живыми клетками, к нейроинформатике. УФН. 164, 1041–1072 (1994); Ivanitskii G R, Medvinskii A B, Tsyganov MA. «From the dynamics of population autowaves generated by living cells to neuroinformatics. Phys. Usp. 37, 961–989 (1994); DOI: 10.1070/PU1994v037n10ABEH000049
22. Рабинович М.И., Мюезинолу М.К. Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность. УФН 180 371–387 (2010); Rabinovich M.I., Muezzinoglu M.K. «Nonlinear dynamics of the brain: emotion and cognition». Phys. Usp. 53, 357–372 (2010); DOI: 10.3367/UFNe.0180.201004b.0371
23. Гумилёв Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. СПб.: Кристалл (2001)
24. Encyclopedia of Insects (Resh V.H. (ed.), Carde R.T. (ed.)). Academic Press. p. 666–669 (2003)
25. Kay R.R., Garrod D., Tilly R. Requirements for cell differentiation in *Dictyostelium discoideum*. Nature 211, 58–60 (1978); or Hudson, J.J., Hsu, D.W. et al. DNA-PKcs-dependent signaling of DNA damage in *Dictyostelium discoideum*. Curr Biol. 15, 1880–1885 (2005)
26. Розанов А.Ю. Бактериально-палеонтологический подход к изучению метеоритов. Вестник Российской академии наук. 70(3), 214–226 (2000)
27. Лопухин А.С. Возникновение жизни – прерогатива первозданных планет новых звезд. Вестник Российской академии наук. 85(10), 916–921 (2015)
28. Иваницкий Г.Р. «Самоорганизующаяся динамическая устойчивость биосистем, далёких от равновесия». УФН 187, 757–784 (2017); Ivanitskii G.R. «The self-organizing dynamic stability of far-from-equilibrium biological systems». Phys. Usp. 60, 705–730 (2017); DOI: 10.3367/UFNe.2016.08.037871
29. Чехов А. П. Скучная история // Чехов А.П. Полное собрание сочинений и писем: В 30 т. Сочинения: В 18 т. / АН СССР. Ин-т мировой лит. им. А. М. Горького.М.: Наука, (1974–1982)

Иваницкий
Генрих Романович

**БИОФИЗИКА
МОЗГА
РЕАЛЬНОСТЬ
И МОДЕЛИ**

Формат 70x100 1/16
Гарнитура Times
Усл.-п. л. 21,29. Уч.-изд. л. 17,0
Тираж 300 экз.

Издатель – Российская академия наук

Публикуется в авторской редакции

Верстка и печать – УНИД РАН
Отпечатано в экспериментальной цифровой типографии РАН

Издается по решению Научно-издательского совета
Российской академии наук (НИСО РАН) от 31.03.2023 г.
и распространяется бесплатно