

НА ПУТИ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ С ИСКУССТВЕННЫМ СОЗНАНИЕМ

Д.А. Рогаткин

*Московский областной научно-исследовательский клинический институт
им. М.Ф. Владимирского, Москва*

TOWARDS THE INTELLIGENT TECHNICAL SYSTEMS WITH ARTIFICIAL CONSCIOUSNESS

D.A. Rogatkin

Moscow Regional Research and Clinical Institute MONIKI, Moscow, Russia

Реферат

Анализ современных трендов в развитии технологий искусственных нейронных сетей, глубокого машинного обучения и т.п. показывает, что в ближайшее время неизбежно во всем мире начнется штурм одной из центральных и нерешенных проблем научного естествознания – проблемы создания фундаментальной теории сознания и применения ее на практике для создания технических систем (ТС) с элементами самосознания, по образу и подобию человека и животных. Если до недавнего времени проблемам сознания уделяли внимание в основном философы и врачи, то в последние два десятилетия в связи с массовым внедрением в практику «интеллектуальных» информационных и роботизированных технологий, включая и технологии медицинской направленности, стали появляться серьезные публикации инженерно-технического плана по вопросам существования сознания в живой природе и задачам его воспроизведения в ТС. В данном обзоре собраны и анализируются основные известные в биологии, медицине и естествознании в целом данные о феномене сознания. Приводятся аргументы в пользу возможности инженерно-технической постановки задачи создания интеллектуальных ТС, осознающих отдельно себя и окружающий мир. Также высказывается ряд соображений, какие базовые принципы могут лежать в основе таких инженерно-технических аппаратных и программных решений. Предлагается простое рабочее инженерно-техническое определение сознания как высокоуровневого режима управления мультисенсорной подвижной системой, предназначенной автономно действовать в изменчивой внешней среде, руководствуясь личностными целями и смыслами. На известных примерах из живой природы обоснована закономерность эволюционного появления сознания у животных как в плане филогенеза, так и раннего онтогенеза. Показана незаменимая роль эндокринной системы в управлении в животном мире и предложена концепция её реализации техническими средствами во взаимосвязи с нейронными сетями.

Ключевые слова: сознание, самосознание, техническая система, режим управления, искусственный интеллект, нервная система, эндокринная система, рефлекс, нейрон, гормоны, нейромедиаторы

Abstract

Analysis of modern trends in the development of artificial neural network technologies, deep machine learning, etc. shows that in the near future, an assault on one of the central and unsolved problems of scientific natural science will inevitably begin all over the world - the problem of creating a fundamental theory of consciousness and applying it in practice to create technical systems (TS) with elements of self-awareness, in the image and likeness of humans and animals. If until recently, philosophers and doctors paid attention to the problems of consciousness, then in the last two decades, in connection with the mass introduction of "intelligent" information and robotic technologies into practice, including medical technologies, serious engineering publications began to appear on the issues of the existence

of consciousness in living nature and the tasks of its reproduction in TS. This review collects and analyzes the main data known in biology, medicine and natural science in general on the phenomenon of consciousness. Arguments are given in favor of the possibility of an engineering and technical formulation of the problem of creating intelligent TS that are separately aware of themselves and the world around them. A number of considerations are also put forward as to what basic principles may underlie such engineering and technical hardware and software solutions. A simple working engineering and technical definition of consciousness is proposed as a high-level control mode of a multisensory mobile system designed to act autonomously in a changing external environment, guided by personal goals and meanings. Based on well-known examples from wildlife, the regularity of the evolutionary emergence of consciousness in animals is substantiated both in terms of phylogenesis and early ontogenesis. The indispensable role of the endocrine system in control in the animal world is shown, as well as a concept for its implementation by technical means in conjunction with neural networks is proposed.

Key words: consciousness, self-awareness, technical system, control mode, artificial intelligence, nervous system, endocrine system, reflex, neuron, hormones, neurotransmitters

E-mail: d.rogatkin@monikiweb.ru

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2024-104-4-81-121>

От редакции журнала

Развитие информационных технологий идет сегодня очень быстро. Последние успехи в области так называемых технологий искусственного интеллекта – программных продуктов, анализирующих изображения, структурирующих большие наборы данных и т.д. за счет методов машинного обучения – несомненны. Сегодня такие системы в автоматическом режиме обрабатывают данные с камер видеонаблюдения, переводят тексты на разные языки мира, управляют дорожным движением, выдают подсказки в поисковых системах. Не обошли они и медицину. Анализ медицинских изображений, экспертная помощь в совокупной оценке диагностических данных (третье мнение), виртуальный психотерапевт, когда пациент стесняется общаться с человеком, – далеко не полный перечень их уже существующих применений. Для развития таких систем создаются единые центры сбора и обработки телемедицинских данных, разрабатываются единые протоколы обмена данными и протоколы их хранения, создаются специализированные программные продукты для анализа этих данных. Прямые отношения пока к медицинской физике эти технологии, конечно, не имеют, т.к. относятся к разряду информационных. Но в ближайшей перспективе они несомненно начнут (и уже начинают) приникать и в области, традиционно относящиеся к предмету медицинской физики, как то: планирование лучевой терапии, совокупный анализ КТ, МРТ и УЗИ изображений и т.п., прогноз химио- и радиочувствительности опухоли, так что медицин-

ским физикам рано или поздно, но придется столкнуться с такими системами. Подтверждение тому является выход в свет официального издания МАГАТЭ “Artificial Intelligence in Medical Physics”. TCS-83. IAEA, Vienna, 2023. Поэтому представляется целесообразным нашему журналу тоже начать обращать внимание на эти технологии.

Однако начать такое знакомство предлагается, не с какой-то отдельной частной технологии или программного продукта, а с данного обзора. Он затрагивает наиболее общую и фундаментальную научную проблему создания и функционирования технических систем не только с искусственным интеллектом, но и с искусственным сознанием. Тема дискуссионная, но затрагивает много разных аспектов технологий искусственного интеллекта, поэтому точно интересна многим. Даже журнал “Успехи физических наук” в 2009 г. не обошел вниманием тему искусственного сознания (казалось бы...). Поэтому представляется логичным и полезным и нам начать с нее. Тем более, обзор подготовил наш коллега, медицинский физик, член редколлегии нашего журнала и его терминология может быть читателям более привычна и понятна, чем терминология психологов или нейробиологов. Не во всем, конечно, можно согласиться с изложенным в обзоре. Но несомненный положительный момент – максимально широкий охват проблемы, а также некоторые оригинальные выводы и положения, сформулированные автором, которые будут полезны в любом случае многим в дальнейшем при знакомстве уже с более узкими и частными вопросами.

Введение

Анализ уровня и темпов развития технических систем (ТС) на основе модных сегодня технологий *искусственного интеллекта* (ИИ), искусственных нейронных сетей, машинного обучения и т.п., в том числе и в медицине, и даже в том виде, в котором они есть сейчас, неизбежно заставляет задуматься, а не пришло ли время для штурма проблемы “Святого Грааля” всей нашей науки – проблемы понимания явлений субъективного восприятия, рассудочной деятельности и сознания? Возможна ли (и актуальна ли) стала уже постановка задачи разработки таких интеллектуальных систем управления, которые не уступают по уровню своей функциональности самым высоко развитым живым системам (ЖС), включая человека? Если так, то в этом направлении исследование и поиск путей создания даже каких-либо первых, упрощенных ТС с элементами *искусственного сознания* (ИС) – ключевая, центральная проблема. Её решение сверхважно для всех будущих сфер жизни общества, включая медицину (углубленное понимание механизмов расстройств психики, более достоверная и обоснованная диагностика и т.п.), а также оборону и безопасность государств (об этом в конце обзора). Однако на первом этапе, безусловно, необходимо вдумчиво очертить и систематизировать имеющиеся знания по этому вопросу. Сегодня пока они разрознены.

Более того, пока не существует даже общепринятого инженерно-технического определения понятия сознания, поэтому не вполне понятно, что же, собственно, требуется воспроизвести в ТС? В каком направлении надо действовать инженеру, физика, программисту? Сегодня в российском сегменте Википедии присутствует определение сознания, взятое из [1]. Оно, и многие другие аналогичные, классифицирует сознание как “состояние психической жизни организма, выражающееся в субъективном переживании событий”, т.е. как вид психической деятельности, закономерно отсылая нас в область психологии и(или) психиатрии. Но это, на взгляд автора, путь в сторону. Иногда говорят о сознании, разбирая семантическую структуру слова, как о совместном знании. Конечно, ряд русских слов, таких как соавтор, содержит в себе такую “совместную” смысловую нагрузку. Но это применимо не ко всем словам такого рода. Так не объяснить: соболев, сокол, соперник, совок. Да и в других языках у любого

научного понятия должны быть идентичный смысл и слово-аналог, как английское *co-author* для нашего соавтора. Английское же *consciousness* (сознание) без “co” не существует. Много разных других определений сознания встречается сегодня у философов, психологов, врачей [2], но единого и признанного большинством ученых определения пока не существует. Во всех этих определениях не хватает ни общности, ни конкретности, ни инженерно-физического взгляда с точки зрения ТС. Даже есть мнение, что сознание в целом вообще нельзя пока четко определить, т.к. это очень сложное явление, и человечество еще не подошло к его пониманию.

Однако, если до недавнего времени проблемам сознания уделяли внимание в основном философы, психологи и врачи [3–5 и др.], то в последние годы стали появляться серьезные публикации нейробиологов и нейрофизиологов [5, 7], биофизиков [8, 9 и др.] и даже инженерно-технических специалистов [10–15 и др.]. Они более конкретны, касаются фундаментальных вопросов существования сознания в живой природе и задачам его воспроизведения в ТС. Так называемые технологии ИИ в начале XXI века стали даже предметом пристального внимания правительств многих стран мира. В нашей стране в этом плане нельзя не отметить приказ Минэкономразвития РФ [16], в котором говорится о важности для экономики создания некоего универсального (сильного) ИИ (раздел V, п. 58). Правда, это понятие не раскрывается, и о системах с элементами самосознания речь в документе не идет. Тем не менее, под термином “сильный ИИ” как раз с подачи Чалмерса [17] и подразумевают ТС с элементами ИС. Также в разделе “Критерии” в Приказе упоминаются системы, позволяющие *имитировать* когнитивные функции человека (п. 2). Но актуальна ли только имитация, или возможно нечто большее? Это обсуждается далее в статье.

Цель данной статьи (по материалам научного семинара РАИИ 2022 г. (https://raai.org/storage/user_files/1/pii2202_rogatkin.pdf) – взглянуть на феномен сознания с физической и инженерно-технической точек зрения. Сделать обзор имеющихся сведений с этого ракурса. В статье предпринята попытка познакомиться специалистов медико-физического профиля с этой глобальной и захватывающей дух проблемой на немного более углубленном и предметно-ориентированном уровне, нежели

научно-популярный. Попытаться охватить проблему еще и с разных сторон, и под углом зрения разных научных дисциплин, т.е. мультидисциплинарно, но не погружаясь сильно в отдельные монодисциплинарные научные задачи и подзадачи. Это представляется полезным еще и потому, что в этом обширном и не имеющим пока четких границ научном направлении наблюдается в настоящее время путающая мультитерминологичность и не строгость терминологии, в основном, философско-психологического плана, затрудняющая знакомство с первоисточниками технических специалистов. Однако часто совершенно разными терминами из разных областей знаний может обозначаться в публикациях по смыслу одно и то же.

Данный обзор и анализ проблемы появились не сами по себе и не вдруг. Это не дань моде. В период 2013–2016 гг. в лаборатории медико-физических исследований МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского под руководством автора этих строк выполнялись исследования по теме сервисных медицинских роботов. В частности, изучалась проблема, как может и должен сервисный автономный робот воспринимать окружающий мир, окружающую обстановку, взаимодействовать с людьми в клинике и т.д. Одним словом, в фокусе исследований была фундаментальная научная проблема формирования внутренней модели мира роботов с использованием стандартных средств объектно-ориентированного программирования. Работа была поддержана рядом грантов РФФИ (проект №14-08-01127 и др.). В работе участвовали и физики, и инженеры, и врачи с биологами – сборная и мультидисциплинарная команда. Однако погружение в проблему программирования “осмысленного” восприятия роботом окружающего мира быстро показало, что какими-то логическими (математическими) алгоритмами целиком проблему не решить. Даже путем машинного обучения. Нужно, по большому счету, чтобы робот действовал осмысленно, *сознательно*. Чтобы он понимал окружающий мир в совокупности не только предметов и людей в помещении, но и во всех основных закономерностях всех процессов и явлений при их взаимодействии с роботом и между собой. Напрашивались аналогии с живыми системами (ЖС), поэтому родилась совместная работа биологов, физиков, врачей и инженеров [18]. Представленный обзор – логическое продолжение этого

анализа с учетом последних достижений и публикаций других авторов.

Ключевой гипотезой автора здесь является идея, что по проблеме сознания, скорее всего, большинство ключевых фактов, механизмов формирования и функционирования давно известно, и в научной литературе они в целом описаны. Ничего существенно нового открывать, возможно, и не требуется. Просто пока известное не собрано воедино и не осмысленно как целое, т.к. нет фундаментальной объединяющей теории и, соответственно, нет внятного методологического подхода, метода, как объединить разрозненные сведения из разных научных дисциплин в одно целое. Данный обзор – возможный шаг к такому объединению на основе инженерно-технического подхода.

Опираясь на анализ данных литературы, и с позиций разработчика аппаратно-программных средств ТС, в обзоре формулируется и обосновывается инженерная концепция сознания как наиболее высокоуровневого режима управления сложной и автономно действующей мультисенсорной системой, не важно, живая она (ЖС) или техническая (ТС). Эта концепция, в отличие от других, направляет фокус исследований на вопросы автоматического управления в сложных, многозадачных и автономно функционирующих системах, поэтому может служить определенным руководством к действию для инженеров, физиков и программистов. Также открывается новый ракурс взгляда на проблему.

Научные взгляды на сознание к середине XIX века

В середине и ближе к концу XIX века произошло много эпохальных научных событий и было сделано много ключевых для темы обзора открытий. Например, родилась теория электромагнетизма. Началось внедрение в практику электрических машин и приборов, в частности телеграфа, что послужило аналогией последующему развитию идей потенциала действия и проводниковой функции нейронов (передача электрических импульсов на большие расстояния), которые были примерно в это же время обнаружены и описаны совместно Я. Пуркинью и Г. Валентином. Была сформулирована Ч. Дарвиным теория эволюции, а Д. Менделеевым – периодическая таблица элементов. Появилась теория клеточного строения всего живого М.

Шлейдена и Т. Шванна, а чуть позже – теория наследования признаков И. Менделя. Фактически, середина XIX века стала временем окончательного формирования разных обособленных научных направлений (физика, химия, биология, физиология и т.д.), и дальнейшее развитие разных наук пошло вглубь семимильными шагами, но во многом уже разрозненными и слабо пересекающимися параллельными путями. Поэтому в описании прогресса последующих представлений о сознании и функционировании мозга сложно соблюсти строгую историческую последовательность. С античных же времен до этого рубежа естествознание было более компактным, единым, и его легче представить в хронологическом порядке.

Идеи существования особого явления субъективного сознания уходят своими корнями в донаучные исторические эпохи. В частности, к трудам Аристотеля восходит представление об уме и сознании человека при его рождении как о “чистой дощечке для письма” (*tabula rasa*), которая затем “заполняется текстом” по мере развития индивида [19]. И Аристотель, и Платон, и другие философы античного мира уже предлагали различать внутреннюю “душу” и внешний объективный физический мир, что означало рождение философского дуализма. Правда, в те времена в философии и в науке в целом главенствовал описательно-повествовательный подход. Поэтому для “души” и сознания описывались, в первую очередь, причем часто противоречиво, явления, лежащие на поверхности. Это были либо психологические, либо медико-физиологические аспекты проявления и потери сознания, в том числе и разнообразные состояния измененного сознания (болезнь, сон, опиаты). Никакие технические вопросы имитации и моделирования сознания, никакие экспериментальные методы его изучения тогда не рассматривались.

Такой подход сохранялся вплоть до начала XVII века, когда появились первые принципы научного философско-теоретического обоснования проблемы сознания, заложенные стихийными материалистами (как ни странно) Р. Декартом [20] и Дж. Локком [21]. Причем само существование собственного самоосознания настолько всегда было очевидно любому человеку даже в древние времена, что в XVII веке Р. Декарт сразу же заговорил о наличии субъективного сознания (гомункулуса – наблюдающего человечка внутри себя), т.е. явления, противоположного объективному физическому миру,

как о самом достоверном факте на свете [22]. В продолжение темы, в XIX веке один из основателей современной психологии У. Джеймс назвал уверенность людей в существовании сознания самым фундаментальным постулатом психологии [23]. Именно постулатом, т.к. никаких научных доказательств существования сознания до сих пор не опубликовано (теологические теории, религиозное мировоззрение мы здесь не рассматриваем).

Поэтому, видимо, ориентированная на научное познание и мысленный эксперимент теория Дж. Локка сразу после появления занимает в вопросах изучения сознания одно из центральных мест. Ее ядром является знаменитый метод интроспекции (наблюдения за собой) и не менее знаменитая концепция, что воспринимающее сознание не тождественно сигналам-стимулам, поступающим в него извне, а является их *ассоциативной* комбинацией. По Локку внутри субъекта осуществляется в результате ассоциации вторичная обработка сигналов, и этот процесс можно изучать. Так родилось учение об *ассоциациях стимулов* как об одном из механизмов работы нервной системы (НС), на котором базируется функционирование сознания. Тогда же зародились и первые методы экспериментальной психологии, направленные на изучение сознания, на которые теория Локка сразу оказала сильное влияние. В частности, описанная им задача Молиньо стала одной из первых в изучении ассоциаций, которая была решена экспериментально. В этой задаче ставится вопрос: рождённый слепым человек рано или поздно учится на ощупь различать формы предметов, например, шарик или кубик; а сможет ли он, получив способность видеть, только за счет зрения соотнести вид этих объектов с имеющимся у него тактильным опытом? Ответ оказался отрицательным [24]. Мальчик, во младенчестве потерявший зрение из-за болезни, после выздоровления и восстановления зрения не мог различать предметы только по их виду, пока не взял их в руки. Таким образом, ассоциативное научение, ассоциативные (т.е. условные) рефлексy – один из давно известных и важных механизмов работы сознания. Задача Молиньо экспериментально подтвердила гипотезу *tabula rasa* Аристотеля, что восприятие мира не вложено в субъект извне, не задано ему “свыше”, *a priori*, а определяется его собственными сенсорными системами и его (субъекта) жизненным опытом.

Нельзя не отметить и вклад Дж. Локка в зарождение семиотики – науки о знаках и знаковых системах, которая имеет непосредственное отношение к обсуждаемой проблеме сознания. Хотя важность исследования отношений знак–значение (обозначение–смысл (более общенно в философии: форма и содержание)) подчеркивали еще Аристотель и Платон, что, видимо, было следствием зарождающегося философского дуализма, именно Дж. Локк, согласно [25], ввел термин *семиотика* и обратил внимание на то, что мы все пользуемся именно знаками (жестами, словами, картинками, формулами) для понимания вещей и для обмена знаниями и идеями с другими людьми.

Далее Х. Вольф [26], развивая метод интроспекции, обратил внимание, что для активности сознания необходим механизм *представления* (воображения, предвидения) – способность мысленно представить будущую ситуацию. А двигает особью противоречие между представлением и реальностью, т.е. раздражение от рассогласования желаемого и действительного. Стимул-раздражение понуждает особь к действию по его устранению. Этим, фактически, Вольф закладывает первые научные принципы мышления и мотивации действий и указывает на то, что для функционирования сознания есть ряд объективных механизмов внутри ЖС, которые можно и нужно изучать и наблюдать.

Для изучения простейших элементов сознания метод интроспекции использовался и в лаборатории экспериментальной психологии В. Вундта. На основе результатов своих работ, дополнительно к ассоциациям Локка и механизму представления Вольфа, Вундт выдвигает положение, что в дополнение к ассоциативным связям в мозге образуются еще и так называемые апперцептивные связи, которые при активном участии сознания выполняют для него особую функцию, выражающуюся во внимании и способности соотнести наблюдаемые ассоциации с жизненным опытом [27]. Это заложило основы понимания того, что запоминание, распознавание, категоризация и т.п. процессы неразрывно связаны друг с другом и реализуются по механизму сопоставления с предыдущим опытом (с информацией из памяти). Последние данные полностью подтверждают эту идею [28]. Результаты последних исследований говорят о том, что любая новая ситуация и любые новые сигналы-раздражители, как внешние, так и внутренние, постоянно сравни-

ваются с ранее приобретенным опытом, классифицируются, консолидируются, а запоминается лишь новая, не знакомая ранее информация по механизму формирования условных (ассоциативных) рефлексов. Т.е. память работает не как в компьютере. Она ассоциативна и, даже, автоассоциативна [29]. В качестве примера: когда взрослый человек встречается незнакомого ему мужчину по имени Егор, необходимые для запоминания нового персонажа компоненты все уже есть в памяти этого человека: он уже знает (слышал) такое имя, понимает, что есть мужчины и женщины, неоднократно мог уже встречать подобных рост, возраст, цвет глаз и одежду. Чтобы запомнить нового Егора ему не нужно все его признаки заново запоминать, а достаточно выстроить нужные связи между уже известными концептами в памяти.

Независимо к началу XVIII века сделал сознание и психику объектом экспериментального научного исследования психотерапевт Ф. Месмер, практиковавший гипноз как некий *“животный магнетизм”* [30, 31]. В результате эксперимента его ученика А. Пюисегюра еще в 1784 г. психологи пришли к выводу, что у разных людей при разных условиях нормальное единство сознания может распадаться. Могут возникать отдельные обособленные сознания, каждое из которых может обладать своим собственным восприятием, памятью и даже нравственными установками. В мозге начинают как бы функционировать множественные локальные личности, слабо взаимодействующие друг с другом. Сегодня в психиатрии это называется *“диссоциативное расстройство идентичности”* [32]. Позднее выяснилось, что первым, видимо, описал такую патологию легендарный средневековый врач Парацельс. В его трудах были найдены записи о женщине, которая считала, что у нее воруют деньги, но в действительности их тратила она реально сама, а точнее – ее *“вторая личность”*, о которой *“первая личность”* ничего не знала [33]. На сегодня задокументированы случаи существования в одном человеке до 10–11 разных личностей [34]. Этот факт говорит о том, что сознание – это не статический, а формирующийся в онтогенезе динамический процесс в мозге, объективный процесс, и могут возникать разные варианты развития процесса, в том числе и наблюдаться сбой в его работе.

И в заключение раздела нельзя не упомянуть работы Г.В. Лейбница – немецкого философа, логика и математика эпохи Возрождения.

Он, базируясь на учении Платона о душе и абсолютных сущностях-эйдосах, продолжил изучение сознания в направлении идеализма и субъективизма. Лейбниц разработал собственную идеалистическую философию сознания, основанную на понятии монады – элементарной субстанции всего сущего, что стало определенным новым вкладом в проблему [35]. В частности, Лейбниц стал автором понятия бессознательного, психологическую проработку которого затем в XX веке продолжил З. Фрейд [31]. В дополнение Лейбниц сформулировал важнейшее фундаментальное утверждение, что сознание активно и само формирует удобные ему способы чувственного опыта и описания внешнего мира. Например, сознание *формирует* такие базовые понятия, как пространство и время.

Таким образом, можно констатировать, что этот набор знаний к середине/концу XIX века – уже достаточно стройная и логичная концепция базовых принципов и механизмов функционирования сознательного поведения ЖС. Она, фактически, не претерпела серьезных изменений вплоть до наших дней. Дальше она только расширялась и уточнялась, но кардинально ее пересматривать оснований не было и нет.

Отдельные научные направления и результаты XX века

Рефлекс и нервная система как механизм управления в ЖС

Последующее изучение клеточного строения ЖС, развитие клеточной и молекулярной биологии привели к пониманию того, что управление простейшим поведением ЖС во многом основано на явлении раздражимости [36]. Раздражимость – один из основных семи признаков живого. Любая ЖС должна находить ресурсы для поддержания жизненного цикла и защищаться от внешних неблагоприятных воздействий. Это обеспечивается своевременными реакциями на разные поступающие внутренние и внешние сигналы, профессионально называемые стимулами (факторами возбуждения, раздражения, и т.д.). Одноклеточные организмы реагируют на любые внешние и внутренние раздражения всей клеткой в целом. У многоклеточных для этого в целях повышения эффективности и координации по-

являются отдельные специализированные клетки – нейроны (но не только они – см. далее). Безусловно, читатели журнала “Медицинская физика” знакомы с теорией рефлексов и работой нейронов и их сетей. Хотя бы в общих чертах. Однако есть отдельные аспекты, на которых интересно заострить внимание в свете рассматриваемой проблемы ИС и во взаимосвязи с другими разделами обзора.

Нейроны способны сами порождать сигналы при возбуждении. Если клетка возбуждается, от её тела по аксону к синапсам распространяется *потенциал действия* – электрический импульс [37]. Нейроны могут принимать такой сигнал от других клеток (других нейронов, рецепторов) и передавать (транслировать) его по сети нейронов другим нейронам или иным клеткам, скажем, миоцитам. Сигнал-импульс передается по нейрону на большие расстояния, до нескольких метров, и вызывает быстрое и избирательное возбуждение или торможение разных клеток-мишеней, с которыми он «соединен». Это позволяет координировать функционирование разных групп клеток в условиях их пространственной разобщенности [38]. Процесс действительно похож на передачу электрического сигнала по проводам, но есть принципиальная разница. Нейрон – живая клетка, и возбуждение есть его физиологическая реакция на изменившиеся внешние или внутренние условия, на новые неожиданные внешние сигналы, например. При любой активности, при возбуждении у ЖС интенсифицируются внутренние процессы обмена веществ и увеличивается потребление ресурсов извне, например, кислорода. Поэтому при возбуждении нейронам требуется больше ресурсов, и их надо откуда-то черпать. Они не медные электрические провода, а ЖС.

Возможно поэтому, нейроны формируют внутри многоклеточного организма своё достаточно сложно устроенное “сообщество” – нервную систему (НС), могут образовывать достаточно глубокие нейронные сети с другими нейронами, а в головном мозге окружают себя дополнительными клетками – нейроглией [37]. Одним из первых, кто внимательно рассмотрел древо нейронных связей на рубеже XX века, был Сантьяго Рамон-и-Кахаль – один из основоположников нейробиологии. В его трудах впервые прозвучало предположение, основанное на непосредственном наблюдении нейронов в срезах тканей, что связи между нейронами могут совершенствоваться в процессе дея-

тельности индивида, при частом повторяющемся возбуждении, видоизменяться, а наиболее сложными они могут оказаться у музыкантов и ученых [39]. Надо отдать ему должное!

Еще отдельно надо отметить, что если для передачи сигнала на расстояние нейроны проводят внутри себя потенциал действия вдоль своего длинного отростка – аксона, то от нейрона к нейрону сигналы передаются через специальные разделительные “контакты” на ветвящихся окончаниях аксона – синапсы, и либо за счет непосредственно электрического потенциала (электрические синапсы), либо посредством выработки и выделения в синаптическую щель в ответ на потенциал действия особых химических веществ – *нейромедиаторов* (химические синапсы) [36]. Однако у всех позвоночных преобладают химические синапсы. Нейроны для связи с другими клетками вырабатывают такие нейромедиаторы как ацетилхолин, норадреналин и др., т.е. передача сигналов между нейронами в массе своей есть биохимический процесс, процесс выделения и поглощения клетками сигнальных молекул. Такой же процесс происходит, если сигнал от нейрона передается конечному эффектору, скажем, к мышце. В этом случае в нервно-мышечном синапсе секретруется ацетилхолин, вызывающий реакцию возбуждения мышечных волокон – их сокращение. Это важно для дальнейшего понимания особенностей управления в ЖС. Длительная работа синапса вызывает истощение запаса нейромедиатора у выделяющего его нейрона, что приводит к “утомлению” синапса, вплоть до полной временной блокады передачи сигнала. Некоторые химические вещества (природные или фармпрепараты) могут тоже угнетать процесс образования нейромедиаторов, нарушать его синтез или переводить высвобождаемые нейромедиаторы в неактивную форму. Это составляет суть действия многих опиатов и используется для анестезии.

Другие клетки НС – нейроглия (астроциты, олигодендроциты и пр.) – до последнего времени считались вспомогательными и не принимающими участие в “управленческой” работе головного мозга. Им отводилась некая обслуживающая роль – поддержание жизни нейронов. Нейрон – ЖС внутри организма, пусть и одноклеточная. Клетки нейроглии, считалось, только обеспечивают питание, дыхание и защиту для нейронов, участвуют в иммунном ответе нервной ткани, поддерживают химический состав среды, в которой находятся нейроны

(являются основой гематоэнцефалического барьера), образуют миелин вокруг аксонов нейронов (защитный слой), утилизируют “продукты жизнедеятельности” нейронов и т.п. [40]. Но непосредственно в управлении и в передаче сигналов по НС они участия не принимают.

Согласно классическим представлениям, в основе функционирования любой НС лежит рефлекторная деятельность, базирующаяся на явлении возбудимости нейронов [37]. Хотя понятие рефлекса и рефлекторной дуги ввел еще Декарт [22], описывая перетекание управляющих “духов” от органов чувств через головной мозг к конечностям, серьезное изучение рефлексов в НС началось лишь в XIX веке. Самыми примитивными по своей “конструкции” рефлекторными реакциями на внешний раздражитель являются спинальные рефлексы [40]. Коленный рефлекс, рефлекс отдергивания руки от горячего или острого предмета – всё это спинальные рефлексы, которые существуют благодаря наличию простейших нервных дуг, проходящих через позвоночник и не затрагивающих головной мозг. Спинальный рефлекс представляет собой быструю, автоматическую, стереотипную реакцию, которая теоретически не находится под контролем сознания, а является произвольным актом, т.е. относится к безусловным рефлексам. Она призвана быстро снять возникшее возбуждение.

Простейшая рефлекторная дуга, характерная уже для кишечнополостных, включает один рецептор стимула, один нейрон передачи импульса и один эффектор (рис. 1а) [36]. Рефлекторные дуги животных с более высокой степенью организации состоят, помимо рецептора и эффектора, по меньшей мере, из двух нейронов – сенсорного и моторного (афферентного и эфферентного), разделённых синаптической щелью (рис. 1б). На следующем уровне организации ЖС, уже у червей и выше, между этими двумя нейронами появляются вставочные нейроны (рис. 1в). Это кардинальное событие в филогенезе НС, и на нем следует заострить внимание. Именно вставочные нейроны, а точнее уходящие от них и приходящие к ним связи с другими нейронами позволяют создавать многослойные глубокие нейронные сети, что открывает возможность вариативного управления поведением ЖС, включая усиление или ингибирование спинального рефлекса. Часто вставочные нейроны образуют отдельные структурные элементы целых скоплений нервных клеток – ганглионарных узлов (или просто

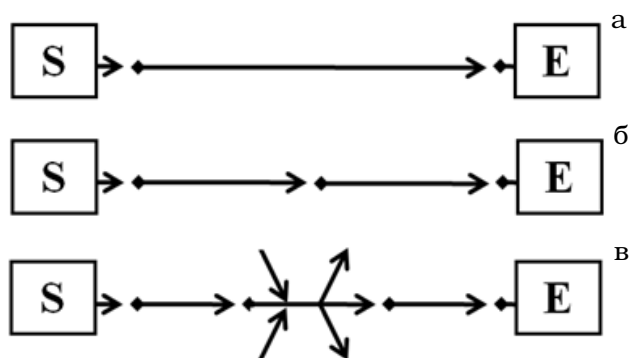


Рис. 1. Варианты схем рефлекторных дуг. Места контакта стрелок обозначают синапсы нейронов: а – возможный вариант в диффузной НС; б – моносинаптическая рефлекторная дуга; в – полисинаптическая рефлекторная дуга. S – сенсорная клетка; E – эффекторная клетка

ганглии) [37]. Обычно вставочный нейрон образует в ганглии соединение (синапс) еще с одним или несколькими нейронами, которые дополнительно посылают сигнал на следующий уровень “обработки”, в другие ганглии, вплоть до головного мозга.

И еще важно в свете рассматриваемой проблемы, и на что нельзя не обратить внимание – не исключено, что связей между нейронами в НС, тормозящих возбуждение, существенно больше, чем его поддерживающих, передающих или генерирующих. В ТС известен способ подавления самовозбуждений в электрических схемах – отрицательная обратная связь. Полной аналогии, возможно, в НС и нет, но известно, что количество обратных связей во многих ассоциативных зонах неокортекса не меньше, а то и больше количества прямых связей. Согласно последним данным, на каждое волокно, подающее информацию в неокортекс от сенсоров, приходится до десяти волокон, отправляющих информацию обратно к органам чувств. Обратная связь также является преобладающей формой связи и между нейронами внутри самого неокортекса [29]. Напрашивается идея концепции «предсказания» НС какой-то ситуации и генерации сигналов обратной связи – сигналов предсказаний, чтобы в целом уменьшить возбуждение. Это некий общий, базовый принцип. Но это предсказание не может возникнуть ни с того, ни с сего. Обычно что-то правильно предсказывают, имея соответствующий опыт.

В начале XX века великий русский физиолог И. Павлов как раз и открыл у животных су-

ществование такого “предсказания” – более сложных, условных рефлексов. Для их выработки часто задействуется кора головного мозга и требуется длительное обучение [41]. Главная особенность условных рефлексов – приобретенность, т.е. формирование реакции на основе жизненного опыта особи. Путь прохождения нервных импульсов в этом случае сильно усложняется, и именно вставочные нейроны обеспечивают этот путь. Усложняется сенсорное восприятие, появляется интегральная оценка ситуации, т.к. привлекается для анализа уже целая совокупность зрительных, слуховых, обонятельных и других стимулов, приходящих с разных сенсоров ЖС, которые воспринимаются уже все в совокупности, ассоциативно. Однако базовый принцип рефлекторного ответа – попытаться снять/уменьшить возникшее раздражение – при этом остается неизменным. Глубокой аналитической работы головного мозга для выработки большинства простейших условных рефлексов тоже требуется [40]. Известен, например, опыт с тараканом, лишенным головы и подвешенным над ванночкой с соевым раствором. Нормальное поведение такого обезглавленного таракана, пока он еще живой, состоит в том, что он опускает ноги в раствор. Если при касании тараканом раствора замыкать электрическую цепь и пропускать через раствор ток так, что тело таракана будет получать электрический разряд, то по прошествии нескольких попыток таракан, даже лишенный головы, в конце концов, перестанет опускать ноги в раствор и научится избегать “неприятностей” [42]. Достаточно простое “разумное” поведение, оказывается, может формироваться и в отдельных частях НС, вне головного мозга.

Эволюция нервной системы, головного мозга и поведения ЖС

Как и все части живого, НС в ходе эволюции развивалась от простого к сложному. Сам по себе этот факт давно известен, но предметный анализ эволюционного развития НС позволяет провести сравнение поведения человека и животных в разрезе сравнительного строения их головного мозга, НС и сделать интересные выводы. Простейший тип НС – диффузная НС (рис. 2). Она свойственна кишечнополостным (медузы, полипы, пресноводные гидры), и некоторым плоским червям [36, 43, 44]. Диффузная НС состоит из отдельных нейронов, соединенных в рассеянную нейронную сеть, так

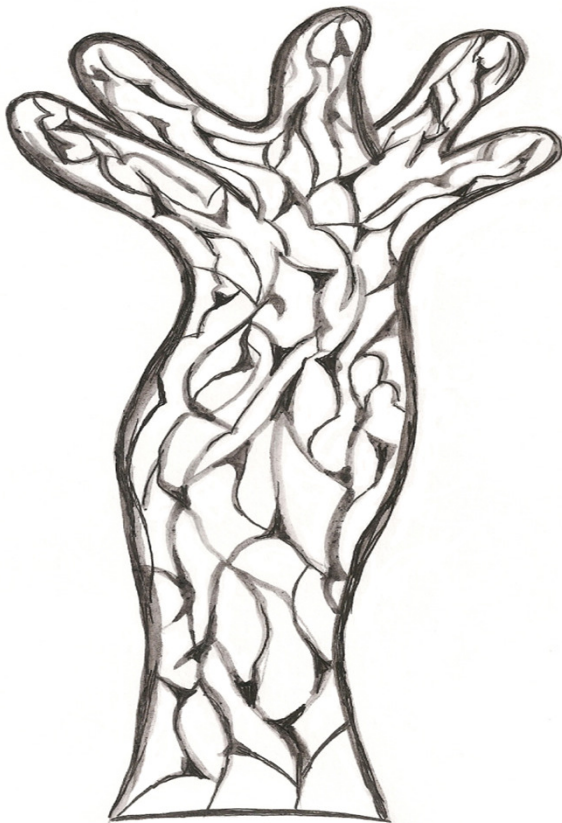


Рис. 2. Пример диффузной нервной системы (НС) у полиха

что передача сигнала часто возможна от любой точки к любой другой в сети. Животные с диффузной НС практически не способны обучаться и что-либо запоминать [45]. Они обладают лишь рефлекторной способностью передвигаться, питаться, размножаться, а также быстро и унифицировано реагировать на любой раздражитель. Раздражитель может быть как механический, так и любой другой – свет, тепло, химические вещества. Типовая реакция гидры на раздражение – либо сжатие щупалец и всего тела, либо наоборот, расправление тела и щупалец на всю длину. Механизм реакции – простейшая двухзвенная рефлекторная дуга [43].

На более высокой ступени развития, уже у кольчатых червей, появляется узловый тип НС с развитыми ганглиями, имеющими разное иерархическое положение в структуре и функционировании НС (рис. 3). Образование ганглиев (узлов) – один из ключевых этапов развития НС в ходе эволюции. Животные с узловым НС проявляют значимо более широкий спектр поведенческих реакций, часто способ-

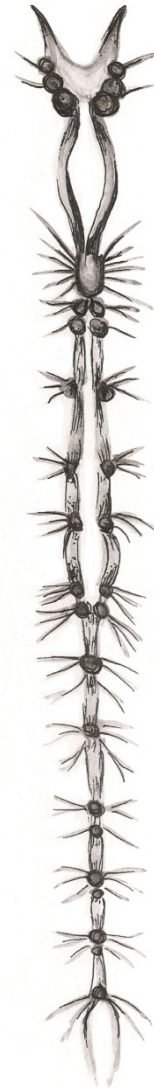


Рис. 3. Узловая НС речных раков

ны к примитивному условно-рефлекторному обучению и обладают небольшой ассоциативной памятью [37]. Все их реакции тоже высоко стереотипны, хотя и более разнообразны, и осуществляются при участии еще относительно небольшого числа нейронов, в то время как у млекопитающих реакции формируются работой тысяч нейронов, за счет чего появляется максимальное разнообразие поведения.

Интересный пример кольчатого червя с узловым НС – пиявка [37]. Тело и НС пиявки сегментированы и состоят из десятка однотипных повторяющихся единиц (сегментов), которые имеют сходное строение. Каждый ганглий пиявки состоит примерно из 400 нейронов и иннервирует определенную зону тела, а также со-

единяется с соседними и удаленными ганглиями посредством дополнительных пучков нервных волокон – коннектив. Интеграция и обмен “информацией” между ганглиями осуществляются последовательно. Каждый ганглий получает сигналы от ближайшего участка тела и передает их в соседние и удаленные ганглии. Основная координация работы всей НС пиявки осуществляется наиболее развитыми головным и хвостовым ганглиями (синганглиями), что выделяет их среди всех ганглиев и в известной степени делает аналогом головного мозга позвоночных [46].

Реакции пиявки на раздражения достаточно стереотипны и легко могут быть смоделированы несложным техническим устройством. Пиявка способна лишь уплощаться, вытягиваться, сокращаться и изгибаться. Когда кто-то задевает кожу или надавливает на тело пиявки, она в этом месте изгибается, разворачивается и уплывает прочь. Рефлекс изгибания устроен так, что разворачивает тело всегда в сторону от действия раздражителя [47]. Это достигается синхронным расслаблением одних и сокращением других мышц. Всего около 20 пар двигательных нейронов иннервируют мускулатуру и управляют сокращениями стенок магистральных кровеносных сосудов пиявки (ее “сердцем”) [37]. Как и у других беспозвоночных (в том числе у членистоногих – тараканов, саранчи), у которых высшие моторные центры с участием небольшого числа нейронов способны обеспечивать весьма сложные с виду движения, базовый ритм движений пиявки задается простым рядом возбуждающих и тормозных импульсов. Пиявки владеют лишь двумя способами передвижения. В толще воды они плавают, уплощая тело и волнообразно изгибая его в вертикальной плоскости. На твердый субстрат пиявки прикрепляются присосками и ползают (“шагают”) по нему: отрывают переднюю присоску, вытягиваются вперед и закрепляют передний конец тела на новом месте, затем отсоединяют от субстрата заднюю присоску и подтягивают ее вперед, закрепляют задний конец тела на новом месте и т.д. Такое движение сегодня легко имитируют роботы [48]. Когда пиявка прикреплена к субстрату в воде и не перемещается, она закрепляется только одной передней присоской и волнообразно изгибает тело, постоянно прогоняя вдоль поверхности кожи свежую воду.

У пиявок кожное дыхание и большое количество кожных механо-, термо- и хеморецеп-

торов. Резкое изменение освещенности, окружающей температуры, химического состава окружающей среды может спугнуть пиявку и заставить сменить дислокацию. Наличие рядом источника крови определяется тепловыми и хеморецепторами [43, 44]. Почуввав рядом жертву, пиявка осуществляет быстрый “бросок” на нее. Напившись крови, она отделяется от жертвы, находит затемненное прохладное укрытие и надолго залегает в нем.

Пиявка – гермафродит, имеет как мужские, так и женские половые органы. Но для спаривания необходимы две особи, ибо пиявка не способна к самооплодотворению. В момент спаривания, найдя пару, пиявки просто обвивают друг друга. При совокуплении каждая особь, как правило, выступает лишь в одном качестве, однако возможно и перекрестное оплодотворение. Как видим, все это – примитивные стереотипные движения и рефлексы, запускаемые “датчиками” голода, тепла и света, а также гормонами полового созревания.

Максимального развития в ходе эволюции узловая НС беспозвоночных достигла у членистоногих. У них она уже обеспечивает такую рефлекторную деятельность, которая приобретает характер сложного и вариативного поведения. Это явилось результатом цефализации НС, которая выражалась в увеличении размеров нервных узлов головного отдела НС и концентрации здесь основных сенсорных органов (формирование головы) [45]. У членистоногих появляются развитые фасеточные (ячеистые) глаза, органы осязания, химического чувства (вкуса), слуха и равновесия, т.е. они ориентируются в пространстве и ситуации уже при помощи достаточно развитой системы органов чувств [44]. Их НС, как и у кольчатых червей, представлена большими парными надглоточными ганглиями, образующими головной “мозг”, и брюшной нервной цепочкой (у примитивных видов в виде “лестницы”). Однако функционально их НС более прогрессивна, чем у кольчатых червей. В пределах типа наблюдается тенденция к слиянию (олигомеризации) парных ганглиев одного сегмента брюшной нервной цепочки [36], а у ракообразных даже проявляется тенденция и к олигомеризации ганглиев из разных сегментов. Так, у речного рака, тело которого состоит из 18 сегментов, имеется только 12 нервных узлов [43]. Еще более высокой олигомеризации НС достигла у крабов. У них имеются лишь две соединенные между собой нервные массы – головной мозг и большое

нервное скопление в груди, образовавшееся в результате слияния всех нервных ганглиев брюшной цепочки в один большой узел [49]. Такая сложная организация головного мозга членистоногих обеспечивает контроль самых разнообразных форм поведения, а его утрата становится невозможной.

Поведение ракообразных очень разнообразно. Речной рак ищет растительную пищу, охотится, прячется в укрытиях, которые обору-дует себе под камнями, корнями деревьев или любыми предметами, лежащими на дне [50]. Часто рак роет норы и делает защитные насыпи перед своим укрытием, орудуя сдвинутыми вместе клешнями как отвалом бульдозера. Вход в укрытие, находясь в нем, рак, как правило, тоже перекрывает клешнями. Живую добычу, чтобы она не вырвалась, часто удерживает не только передними клешнями, но и маленькими клешнями на ходильных ногах, “понимая”, что добыча может убежать. Рак-самец, увидев самку, преследует её, догоняет, хватая за клешни, переворачивает на спину... Все это говорит о том, что у него уже есть некое свое “понимание” и своя картина мира. Укрытие нельзя построить, а добычу подкараулить и поймать, не имея плана действий, адекватной модели своих возможностей, модели внешней среды обитания и поведения жертвы [45]. Поэтому, в определенной степени рак должен уже иметь свою простейшую модель внешнего мира, должен уметь планировать свои действия и прогнозировать чужие. В целом его поведение выглядит уже достаточно осознанным (на его уровне, конечно) и является уже настолько вариативным, что повторить такое автономное поведение сегодня роботам пока не под силу, хотя НС у раков еще и не очень развита, остается узловой. Это первый серьезный повод говорить о том, что сознание возможно и в более простых ЖС, что не нужен для него головной мозг человека или других млекопитающих.

Более высокого уровня организации, конечно, НС достигла у позвоночных (трубчатый тип НС). Эволюционно все позвоночные (рыбы, рептилии, птицы, млекопитающие и др.) имеют единый план анатомической организации центральной НС и, в частности, полностью сформированный головной мозг. Ключом к пониманию единого строения головного мозга у позвоночных является его эмбриональное развитие. Вся НС позвоночных формируется из единой нервной трубки [51]. Далее передний, головной конец трубки разделяется на три моз-

говых пузыря – передний, средний и первичный задний (ромбовидный). На следующей стадии развитие головного мозга идет в разных классах позвоночных в деталях по-разному, но во всех случаях передний мозговой пузырь разделяется на два – конечный и промежуточный, образуя соответствующие два морфофункциональных отдела мозга [36, 37]. Средний мозговой пузырь остается неделим и образует средний мозг, а задний мозговой пузырь делится и образует собственно задний мозг и продолговатый мозг. Заключительным аккордом эмбрионального развития центральной НС служит формирование шейного изгиба мозга, отделяющего ГМ от спинного мозга. Таким образом, все позвоночные животные имеют три первичных (эмбриогенетических) и пять вторичных (морфофункциональных) отделов головного мозга. Каждый первичный отдел филогенетически связан с конкретными органами чувств – хеморецепторами, фоторецепторами, слуховыми и тактильными рецепторами. Полагают, что передний мозг сформировался в ходе развития динамических координаций с органом обоняния, средний – с органом зрения, а задний – с органом равновесия [10].

У рыб и земноводных центральная НС устроена по ихтиопсидному типу, где высшим интегративным центром является средний мозг. Зачатки коры переднего мозга впервые появляются у рептилий. В связи с выходом на сушу, изменившимися условиями существования и более сложными формами поведения высшим интегративным центром у них становится передний мозг (полосатые тела, располагающихся в области дна боковых желудочков). Передний мозг перестает быть только обонятельным центром – формируется так называемый зауропсидный (*заурос* – греч., ящер) тип мозга [46]. Далее эволюция идет по двум направлениям: по стриарному пути с преимущественным развитием подкорковых структур к птицам (в целом сохраняют зауропсидный тип головного мозга) и по кортикальному пути к млекопитающим с преимущественным развитием корковых структур переднего мозга (маммарный тип строения). У всех млекопитающих строение головного мозга в целом одинаково, различия проявляются только в соотношении размеров отдельных его структур и их функциональном развитии [36, 46, 52]. Конечный мозг у них наиболее крупный, значительно превосходит все остальные отделы головного мозга. Увеличение относительных размеров ко-

нечного мозга млекопитающих связано, прежде всего, с разрастанием его коры, а не полосатых тел, как у птиц. Между чувствительными и двигательными зонами коры располагаются интегративные участки, которые объединяют входы сенсорных и моторных областей коры. Кроме этого, имеются отдельные ассоциативные зоны коры, не связанные с конкретными анализаторами. Они представляют собой надстройку над остальными участками коры, обеспечивающую сопоставление друг с другом и совместную обработку всех видов поступающей в мозг информации. В связи с развитием у млекопитающих неокортекса (новой коры) как высшего интегративного центра, многие сложные ассоциативные функции перешли к нему, оставив древней и старой коре участие в формировании эмоций и памяти (древней еще и обоняние), а среднему мозгу – формирование быстрых, экстренных реакций на внешние сигналы.

Еще в 1970-е годы нейрофизиолог-эволюционист А.И. Карменян показал наличие пяти основных этапов в развитии головного мозга позвоночных, на каждом из которых происходило постепенное перемещение центров интеграции из низших отделов мозга (ствол, задний мозг) в высшие – средний и передний мозг [53, 54]. Этот процесс осуществлялся по “методике” вставочных нейронов путем надстройки филогенетически более молодых отделов головного мозга над старыми, которые, в свою очередь, передавали часть свойственных им сложных функций более молодым отделам мозга, “наверх”, и оставляли за собой более простые функции [54]. Скажем, конечному мозгу на ранних этапах развития отводилась роль исключительно центра обонятельной информации, и только в последующие этапы эволюции конечный мозг интегрировал в себе высшие ассоциативные функции.

Очень важно подчеркнуть: у всех позвоночных головной мозг построен по единому принципу и содержит один набор структурных элементов. Данные сравнительной нейроморфологии по системе связей в конечном мозге и данные нейроэмбриологии говорят о том, что основные структуры обоих полушарий всех наземных позвоночных одинаковы по своему происхождению и сходны по своим основным признакам (гомологичны) [52, 53]. В различных условиях окружающей среды (разные типы и интенсивность сенсорной информации) отдельные структуры претерпевали преимуще-

ственное развитие и приобретали способность к выполнению новых функций, даже меняя профиль своей деятельности. Например, передний мозг у низших позвоночных выполняет функцию, связанную с обработкой обонятельной информации, а у высших, помимо этого, является ведущим “аналитическим” центром и участвует в формировании интеллекта и сознания [36, 45]. Но анатомическое строение головного мозга у всех позвоночных одинаково. Таким образом, осознанное разумное поведение человека точно не является следствием особого анатомического строения его мозга по сравнению с другими позвоночными животными.

В таком случае, разумное поведение должно проследиваться и у других позвоночных, если следовать этой логике. Есть ли примеры разумного поведения позвоночных помимо приматов? Такие примеры известны. Первое описание птичьего мышления (и мышления животных вообще) принадлежит древнегреческому историку Фукидиду [55]. Он писал о том, как ворон бросал камешки в дупло, на дне которого скопилась вода, но дотянуться до которой ворон не мог. От камней уровень воды в дупле поднимался, и ворон мог напиться. Уже в наши дни эти наблюдения проверили в десятках лабораторий мира на других врановых птицах (грачах, галках) [56]. Врановые птицы оказались очень умными, и многие решали эту задачу. Более того, птицы, уже решившие эту задачу, часто начинают оптимизировать процесс, постепенно выбирая более крупные камни. Это удивительно. Но проявляется и огромная разница в способностях между представителями одного вида [57]. Одни представители вида пытаются решать и решают задачу, другие даже и не пытаются. Известно, скажем, как одна самка новокаледонской вороны сгибала лапами и клювом в форму крючка проволоку в попытке достать из цилиндра ведерко с приманкой [58, 59]. Это нельзя объяснить врожденными инстинктами и условными рефлексами. Бобры весьма успешно строят плотины, несомненно, имея и план действий в голове, как раки, и возможность орудовать предметами согласно этому плану, сравнивая реальный результат с ожидаемым [29]. Морские выдры каланы, плавая в воде на спине, помещают себе на живот плоский камень и разбивают об него твердые раковины моллюсков [45]. Про обезьян, достающих палкой бананы, строящих лестницы из кубиков, обертывающих ноги соломой в случае хо-

лодного пола и пр. [36, 41, 45, 56 и др.] – уже и говорить не стоит.

В середине 1950-х гг. Л.В. Крушинский начал исследовать важнейшую сторону когнитивной деятельности животных – элементарную рассудочную деятельность, которую он рассматривал как эволюционную предпосылку мышления человека [60]. Наблюдения в природе привели его к мысли, что механизмы поведения животных не ограничиваются только инстинктами и научением, а включают также и элементы мышления, разума, т.е. способность умело реагировать на новую ситуацию при первой же встрече с ней. По его определению рассудочная деятельность – это “способность животного улавливать простейшие эмпирические законы, связывающие предметы и явления окружающей среды, и возможность мысленно оперировать этими законами при построении программ поведения в новых ситуациях”. Крушинский разработал оригинальные тесты, которые обеспечивают возможность объективной оценки рассудочной деятельности животных разных систематических групп. Наиболее полная сравнительная характеристика рассудочной деятельности была получена им с помощью теста на способность к экстраполяции – способность выносить функцию за пределы отрезка, на котором она известна. Например, охота на движущуюся приманку, когда часть пути приманки скрыта от глаз животного за ширмой. Животное должно экстраполировать движение приманки и поймать ее в ожидаемом месте выхода из-за ширмы и в нужное время. Описаны результаты таких опытов, проведенных на представителях почти всех классов позвоночных: рыбах, земноводных, пресмыкающихся, млекопитающих (15 видов) и 13 видах птиц.

Было обнаружено, что и крысы, и мыши лабораторных линий не способны к решению задачи на экстраполяцию. Уровень правильных решений у них достоверно не отличается от случайных 50 %, тогда как дикие крысы-пасюки, а также их гибриды с лабораторными крысами обнаруживали уровень правильных решений, достоверно отличный от случайного. Лисицы и ряд других представителей отряда хищных (волки, собаки, медведи) способны к быстрому решению задачи на экстраполяцию, что совпадает, видимо, с их врожденной способностью к охоте. Более того, уровень правильных решений у диких лисиц был достоверно выше, чем у представителей селектирован-

ных линий лисиц – серебристо-черных и платиновых, а также у носителей других мутаций. Худший результат показали рыбы. Лучший из всех млекопитающих – дельфины. Задачу на экстраполяцию успешно решали и пресмыкающиеся – черепахи, кайманы, зеленые ящерицы. В пределах класса птиц были обнаружены сходные с млекопитающими градации по способности к экстраполяции – от полного ее отсутствия у голубей до высокого ее развития (на уровне хищных млекопитающих и дельфинов) у врановых птиц.

Применение более сложного теста – задачи на оперирование эмпирической размерностью фигур (тест основан на понимании геометрических свойств предметов) – позволило уточнить характеристику рассудочной деятельности и установить ее сходство у продвинутых представителей класса птиц (врановых), приматов и дельфинов. Большинство же хищных млекопитающих, рыб и земноводных оказались не способны к решению теста на размерность фигур. Такое сравнительное исследование способствовало выяснению ответа на вопрос, на каких этапах филогенеза возникли первые зачатки мышления и насколько широко они представлены у современных животных. Крушинский высказал гипотезу и доказал, что усложнение рассудочной деятельности в процессе эволюции происходило у животных за счет увеличения числа эмпирических законов, которыми они могут оперировать. Соответственно, происходил и рост числа логических задач, которые животные способны решать. Более высокоорганизованные животные любого класса позвоночных способны к решению большего числа когнитивных тестов и справляются с более сложными задачами. Животные из дикой природы лучше решают тесты на рассудочную деятельность чем их сородичи, родившиеся и содержащиеся в неволе – в обедненной событиями среде. Среди представителей каждого класса позвоночных можно наблюдать большую градацию по способностям к решению логических задач. В целом же, наивысшие результаты показывают животные из тех групп, для которых характерны сравнительно долгий период в жизни, когда детеныш находится под защитой (длительная родительская забота и/или долгая беременность) и потому есть время для длительного формирования мозговых структур. Таким образом, первые биологические предпосылки мышления человека возникли на одном из ключевых этапов

филогенеза позвоночных при формировании амниот – групп животных, у которых зародыш (в т.ч. его НС) огражден от прямых воздействий окружающей среды, находится в утробе матери или в яйце.

Многие позвоночные преуспели и в обмене информацией (знаковом общении) друг с другом, особенно внутри вида [36]. Те, кто имеет домашних животных (кошек, собак, попугаев) легко назовут с десятков жестов-знаков или звуков своих питомцев, отражающих их желания и/или настроение. Широкое разнообразие мимики и жестов, которые означают настроение или намерение, характерно для шимпанзе. Общение жестами активно дополняется у них и развитыми голосовыми сообщениями. Сегодня выделено и расшифровано уже несколько десятков звуковых сигналов (понятий), которыми на воле при общении обмениваются шимпанзе: “нет”, “прекрати”, “иди прочь”, “это вкусно” и т.д. [45]. Как таковой речи у них еще нет, но понятия они формируют. Взрослые самки африканского слона для социальных контактов также используют специальные “контактные” крики. Каждая самка знакома в среднем с сотней других особей и способна различать их контактные крики согласно степени знакомства [61]. Множество сложных видоспецифических сигналов и знаков связано у животных с ухаживанием и спариванием. Брачное пение и танцы птиц, демонстрационные брачные позы млекопитающих и др. хорошо известны. Но такие сигналы есть не только у позвоночных. Например, самец манящего краба привлекает самку взмахами клешни, похожим на движение руки скрипача со смычком, а некоторые пауки, приближаясь к самке, перебирают нити паутины, извлекая из них звуки как из струн арфы [36].

Более того, есть веские основания полагать, что как минимум позвоночные животные, как и люди, имеют психику, хотя и более элементарную. Это удалось установить в 1940-х в работах К. Лоренца. Он изучал “инстинктивное” поведение животных и обнаружил, что поведение во многом определяется внутренними мотивами, характером и настроением животного [62]. В сообществе (стае) животных, как правило, всегда находятся особи, отличающиеся друг от друга по степени агрессивности, активности, любознательности [57]. Позвоночным присущи и элементарные эмоции, поэтому вполне закономерен вопрос и о наличии сознания в ЖС, по крайней мере наиболее развитых.

Наличие сознания у животных обсуждается давно, со времен Аристотеля, даже безотносительно к тому, есть определение понятию сознание, или нет. Много внимания этой проблеме уделяли Ч. Дарвин, Д. Ромес, И. Павлов. К настоящему времени, благодаря работам нескольких поколений ученых из разных стран, включая уже упомянутого выше Л. Крушинского [60], а также и G. Gallup в США [63], факт наличия сознания у животных уже не вызывает сомнений у специалистов. В ветеринарии давно известны случаи потери сознания животными [64]. В своей статье [63] Gallup еще в 1970 г. рассказал про “зеркальный тест” и доказал самоосознание (самоидентификацию) животных при “общении” со своим отражением в зеркале: шимпанзе, глядя на себя в зеркало, пыталась стереть рукой метку, нанесенную экспериментатором мелом у нее на боку, причем не в зеркале, а на собственном боку, т.е. осознавала раздельно себя и свое отражение в зеркале. А врановые, например, способны не только осознавать себя, но и понимать внутреннюю логическую структуру задач [60, 66, 67]. И если еще лет 30 назад люди делились примерно поровну на тех, кто признает наличие сознания у животных (в основном, профессионалы-зоологи и держатели домашних питомцев), и тех, кто это отрицает (люди, реже сталкивающиеся с животными), то сегодня, благодаря интернету и непрерывному видеонаблюдению за животными в заповедниках и зоопарках, всё больше тех, кто признает наличие сознания у животных. Слишком много фактов их осознанного поведения зафиксировано сегодня на камеру, которые с других позиций трудно объяснить. Как итог, в 2012 г. международная группа ведущих специалистов по когнитивным наукам и нейрофизиологии подписала Кембриджскую декларацию по сознанию (The Cambridge Declaration on Consciousness) [65], в которой четко заявлено, что, кроме человека, остальные животные, в том числе и беспозвоночные (осьминоги и пр.), тоже обладают сознанием и способны к осознанному и целенаправленному поведению.

Следовательно, появление сознания – эволюционный процесс, который должен иметь свои закономерности. Развивается мозг, развиваются сенсорные системы, развивается и сознание, которое начинает постепенно брать на себя управление такой сложной ЖС. Развитие сознания должно также идти от простого к сложному, т.е. должны быть возможны и упрощенные формы сознания, элементы сознания,

которые можно изучать и можно пытаться в первую очередь воспроизвести в ТС. Аналогичная попытка недавно была предпринята в [12].

Эндокринная система управления в ЖС

Нейронные сети сегодня у всех на слуху. Однако помимо аппарата НС, у многоклеточных в процессе эволюции сформировался еще один инструмент регуляции и координации функций органов и систем – *эндокринная система* (ЭС). Ее часто упускают из вида разработчики “умных” ТС и программ ИИ. Но эта система не менее важна для управления ЖС, чем НС, а по некоторым представлениям, так и более важная (об этом чуть позже). Пока подчеркнем: ЭС – это тоже система регуляции деятельности внутренних органов, тканей и клеток посредством особых химических веществ – *гормонов*, выделяемых специальными железами внутренней секреции (эндокринными железами) непосредственно в кровь, ликвор или в межклеточное пространство [68]. За счет этого гормоны становятся доступны большим группам клеток, включая нейроны, если у этих клеток на теле есть рецепторы к этим гормонам. К классическим эндокринным органам всех позвоночных можно отнести гипоталамус вместе с нейрогипофизом, аденогипофиз, щитовидную и паращитовидные железы, часть поджелудочной железы, половые железы, надпочечники, эпифиз и тимус (вилочковую железу). Как видим, разных органов много, значит и разных гормонов много, и функций в целом у гормонов много.

Несмотря на то, что с точки зрения эволюции передача сигналов по гуморальному пути (от лат. *humor* – жидкость) присуща уже одноклеточным ЖС и является более древней, чем НС, в процессе эволюции ЭС у животных, как система, сформировалась значительно позже НС [46]. Существенный недостаток гуморального способа передачи информации при больших расстояниях – сильное запаздывание реакции относительно момента генерации сигнала (выброса гормонов). Поэтому в эволюции животных эндокринная способность клеток в первую очередь была использована, как ни странно, в самих нейронах. Еще до появления органов внутренней секреции некоторые нервные клетки, наряду со способностью возбуждаться и передавать импульсы другим нейронам, приобрели способность секретировать внутри себя особые физиологически активные вещества – *нейросекреты* – и выделять их в

окружающие ткани и жидкости, т.е. проявлять себя как эндокринные. Нейроны, в основном, специализируются, как указывалось ранее, на быстром выделении на большом расстоянии от источника сигнала (тела нейрона) в межклеточную среду сигнальных нейромедиаторов. В то же время для многих функций, в том числе для поддержания гомеостаза организма, скорость реакции не столь критична, а важна именно системность и согласованность ответа на сигнал разными клетками и органами. Поэтому эндокринная регуляция не исчезла, а развивалась параллельно и в тесной взаимосвязи с НС. У всех высокоразвитых животных эндокринная регуляция в основном подчинена нервной и составляет совместно с ней единую систему *нейрогуморальной регуляции*. В эволюции регуляторных систем уже у наиболее высокоорганизованных беспозвоночных (насекомых, червей) можно выделить этап примитивной нейрогормональной регуляции поведения. Это приводит к тому, что поведение ЖС начинает контролироваться в значительной степени еще и выделяемыми гормонами. Как результат, оно становится более гибким, более мотивированным и целенаправленным. Возникновение обособленных органов внутренней секреции произошло позже и было связано, видимо, с дальнейшим совершенствованием механизмов интеграции функций организма [68].

Центром объединения нервной и эндокринной систем у высших позвоночных являются секреторные нейроны гипоталамуса, который является высшим центром регуляции эндокринных функций и высшим подкорковым центром вегетативной НС. Нейросекреторная деятельность гипоталамуса, в свою очередь, испытывает сильное влияние высших отделов головного мозга, особенно лимбической системы, миндалевидных ядер, гиппокампа, эпифиза [40]. Демонстрирует тесное единение НС и ЭС и тот факт, что часто одно и то же физиологически активное вещество может применяться и как нейромедиатор, и как гормон. Например, адреналин – нейромедиатор мышечных сокращений и гормон подготовки к стрессу. Поскольку химически это одно и то же вещество, с точки зрения теории ТС с элементами ИС можно просто говорить о сигнальных молекулах, сигналах, не разделяя их на нейромедиаторы (нейротрансмиттеры) и гормоны.

Приблизительная оценка соотношения между долей влияния нейрогормонов и нейромедиаторов показывает, что у беспозвоночных,

на самом деле, примерно на 85 % поведение контролируется не НС, а ЭС. Например, в крови неподвижных, вялых и не плавающих пиявок уровень гормона серотонина ниже, чем у активных пиявок. Более того, стимуляция секретирующих серотонин клеток (Retzius cells), приводит к увеличению его концентрации в крови, и, в конечном счете, способствует повышению активности животного. Можно полностью удалить серотонин из крови эмбриона пиявки при помощи специального реактива (5,6-дигидрокси-триптамин), который избирательно разрушает серотонин-эргические нейроны в развивающихся ганглиях. Такое взрослое животное само по себе не способно плавать, однако плавательные движения появляются при добавлении в среду серотонина [37].

Считается, что у позвоночных вклад ЭС в общий процесс управления организмом менее 50 %, но он, все же, тоже достаточно высок [57]. Позвоночные более индивидуальны и «интеллектуальны», в том числе и из-за того, что у них функция эндокринных желез находится под более жестким контролем НС. Тесное взаимодействие нервной и эндокринной регуляции обеспечивает им более высокую эффективность механизма управления. НС координирует деятельность всех органов и систем за счет быстрого, прицельного, но и относительно кратковременного способа доставки нейромедиаторов в нужную точку к нужному органу. В свою очередь ЭС обеспечивает более медленный, длительный, но генерализованный для всего организма тип регуляции. Гуморальный сигнал не имеет точного адресата, он работает по принципу «информация для всех, кто может ее принять». Например, выброс надпочечниками адреналина в кровь подготавливает сразу весь организм к предстоящей нагрузке (стрессу) [36]. В результате синхронно повышается частота и сила сердечных сокращений, увеличивается уровень глюкозы в крови, происходит расширение артериол в сердце и скелетных мышцах. Более того, выделяемые ЭС гормоны могут регулировать (как активизировать, так и подавлять) и функционирование собственной НС. Например, выделяемый эпифизом гормон мелатонин, выработка которого активизируется светом, воздействует на головной мозг и влияет на переход состояний сон/бодрствование [40]. Эндогенные морфины (сокращенно эндорфины) могут «отключать» сознание от ощущения боли, вызывать ощущения удоволь-

ствия, спокойствия, радости [36, 41]. В концепции управления работой НС важное значение имеют и такие нейрогормоны как дофамин, вазопрессин, окситоцин и др. [69].

Гормон дофамин, в частности, повышено секретируется нейронами в ответ на положительный опыт особи: добытую вкусную еду, половое удовлетворение. Эксперименты показывают, что у человека даже воспоминания о счастливых таких моментах могут увеличить уровень дофамина в крови. Следовательно, дофамин участвует в оценке результатов поведения, закрепляет в памяти действия, положительно влияющие на выживание и продолжение рода, а еще создает предвкушение удовольствия. Именно последнее в известном опыте с крысами доводило их до иступления, когда они без устали нажимали на педаль и стимулировали себе электрическим током выброс дофамина и эндорфинов в мозг. Все это тоже известно, но пока не рассматривалось детально под углом проблемы сознания, хотя уже лет 15 назад стали появляться первые работы по искусственным эндокринным системам для роботов [70].

Другой пример – гормон вазопрессин, участвующий в генерации стресса, страха, тревоги. Это один из самых эволюционно древних гормонов: его варианты есть уже у беспозвоночных [71]. Вазопрессин участвует в формировании социального поведения, в том числе отношений между родителями и детьми, и взаимодействий между партнерами в паре [72]. У крыс жизненный опыт в части общения с родителями обнаруживает прямую корреляцию с уровнем экспрессии генов рецепторов вазопрессина (а также окситоцина) на нейронах. Наличие или отсутствие заботы крыс-родителей о детеныше приводит к отсутствию либо наличию проблем с социальным поведением у выросшей молодой особи – в обществе сородичей и в семейных парах [73]. Проявляется либо явное миролюбие, либо стойкая агрессия, сильно коррелирующие с количеством рецепторов вазопрессина на нейронах.

Есть при этом гормоны, которые одновременно обеспечивают возбуждение одних областей нейронов, и подавляют активность нейронов других областей мозга. В частности, таковым является «гормон сна» мелатонин. Он гасит возбуждение во многих структурах головного мозга, давая им отдых. Но его возбуждающее действие отмечено в пейсмейкере циркадных ритмов в гипоталамусе (регулирует фазы

сна). Также мелатонин стимулирует нейрогенез в гиппокампе. Нокаутные по рецепторам мелатонина мыши плохо обучаются, а введение в кровь экзогенного мелатонина улучшает когнитивные функции этих мышей. Все зависит еще и от типа рецептора нейронов к мелатонину [74–77].

Однако НС и ЭС могут действовать не только вместе, но и порознь. Функционирование ЭС, в отличие от НС, кроме всего прочего направлено еще и на “стратегическое” управление долговременными процессами: рост, размножение, гомеостаз жизненно важных систем и всего организма [40]. Особенно сильное влияние ЭС на поведение, мышление и другие процессы в организме проявляется, как известно, в период полового созревания, когда происходит активная выработка половых гормонов [36]. Даже так называемая половая принадлежность головного мозга определяется во многом тем, какие гормоны воздействуют на него в большей степени в послеродовом периоде, в период взросления и на протяжении всей жизни [41]. Известна разница в психологии восприятия, мышления и поведения у мужчин и женщин [78]. И никак не обойти вниманием и мотивационное (целеполагающее) для организма действие половых гормонов в период полового созревания, меняющее, зачастую, весь предыдущий привычный образ жизни особи и ее общее мировосприятие, картину мира только за счет повышенной секреции гормонов [41, 45, 57].

С точки зрения филогенеза уже у членистоногих выявляются сильно развитые нейро-секреторные клетки, обеспечивающие нейрогуморальную регуляцию многих функций организма. Поэтому в свете эволюции нейроэндокринной регуляции опять интересно обратить внимание на высших беспозвоночных. Хотя у всех групп беспозвоночных, за исключением губок и кишечноротовых, имеется нейросекреция за счет рассеянных (диффузная ЭС) нейроэндокринных клеток, настоящие эндокринные железы у беспозвоночных достоверно обнаружены только у ракообразных и насекомых. И именно у них, что интересно, у первых в летописи эволюции и проявляется что-то похожее на осмысленное поведение (ракообразные), а также уникальные способности к коллективному поведению (пчелы, муравьи). Не исключено, что здесь ярко проявляется принцип эволюционного делегирования функций: ЭС берет на себя роль рутинного, медленного и стратегического управления, включая мотивацию поведе-

ния, а высвобождающиеся мощности НС начинают более эффективно использоваться для повышения оперативности управления и развития высших ассоциативных функций.

Более того, и это следует особо подчеркнуть, сегодня есть убедительные данные, что любые эмоциональные и интеллектуальные процессы в мозге, любые реакции на события внешнего мира, а также на внутренние процессы в организме, происходят при участии ЭС [79]. Все эмоции сопровождаются, а, возможно, даже, и определяются выработкой совокупности сигнальных гормонов. К примеру, в любовно-романтических отношениях эмоциональные переживания такого рода сопровождаются выработкой гормонов удовольствия и возбуждения – окситоцина, вазопрессина и т.д. [71, 72, 80]. Часто сегодня слово “химия” можно услышать в разговорной речи молодежи, когда речь заходит о любовно-романтических отношениях. Говорят, “была химия”. Чувства голода или насыщения, страха или решимости, ревности, восхищения, а, возможно, и вообще все чувства и эмоции вызываются и сопровождаются соответствующим гормональным фоном [72, 81–83].

Например, продолжительное пребывание желудка пустым – стимул-раздражитель для секреторных клеток выстилки желудка. В ответ на него они увеличивают выработку “гормона голода” грелина, поступающего в кровь. Тот по кровеносному руслу достигает нервного центра в центральной НС, отвечающего за пищевое поведение, и порождает ощущение голода, которое активизирует поиск пищи животным. А растяжение стенок желудка, когда тот станет полон, приводит к уменьшению секреции грелина и, соответственно, к чувству насыщения [84].

В нейропсихологии под ощущением понимают достаточно простой психический феномен, который некоторые ученые относят к так называемому “первичному сознанию”, куда причисляют и эмоции [41, 74]. В исследование эмоций выдающийся вклад внес русский ученый П. Симонов [85]. Он впервые предложил формулу, согласно которой сила эмоции оценивается пропорционально потребности, умноженной на разность между сведениями, имеющимися у индивидуума, и теми, что необходимы ему для удовлетворения данной потребности. Из этой формулы, уходящей своими истоками к воззрениям З. Фрейда [41], следует, что эмоции, так же, как и ощущения, возникают в

результате сравнения в мозге двух информационных потоков – внешнего и внутреннего [86].

Однако такой подход правомерен, на взгляд автора, только для описания эмоций “низшего эшелона”, т.е. простейших сенсорных чувств-ощущений (голода, полового удовлетворения, холода, насыщения, боли, жажды), возникающих в мозге вследствие работы соответствующих “датчиков” (органов) этих чувств. Роль же и разнообразие эмоций, особенно в жизни человека, куда более глубоки и обширны, чем такое упрощенное описание. Эмоции, например, используются и человеком, и животными (влияние хвостом собаки) как дополнительный способ невербальной передачи информации о личностном отношении к происходящему [87]. Эмоции очень сильно управляют поведением животного и человека, а для человека (хотя, возможно, и для многих млекопитающих тоже) еще и “рассудком”, взглядом на ситуацию, личностной оценкой ситуации. В таких эмоциональных состояниях, как раздражение, обида, испуг, грусть, ярость, ревность и т.п. мотивация и результат рассудочной деятельности головного мозга будет отличаться от ситуации эмоционального вдохновения, сопереживания, радости. Следовательно, эмоции во многом являются мотивом поведения, элементом управления в ЖС [88], недостающим элементом целеполагания в робототехнике и программах ИИ.

Наиболее важные из мозговых структур, имеющие отношения к эмоциям, в совокупности называются лимбической системой [40]. Миндалина ответственна за агрессивное поведение и реакцию страха. Ее двустороннее удаление у обезьян приводит к тому, что животное теряет чувство страха, начинает проявлять чрезмерное любопытство. Гипоталамус считается центром удовольствия в концепции чувств-ощущений. Он оценивает и регулирует многие вегетативные и эндокринные функции: температуру тела, водно-солевой баланс, работу гипофиза. Важную роль в эмоциях играет ретикулярная формация – структура внутри мозга и ствола головного мозга. Участвуют в эмоциях и некоторые области коры. Например, удаление передних поясных и подмозолистых извилин коры приводит к тому, что животное становится более склонным к приступам ярости, злобы. При двустороннем удалении передней височной коры у животного наблюдается повышенная исследовательская и поведенчес-

кая активность, развивается опасная покорность, повышенное сексуальное влечение. С развитием лимбической системы проявляется и забота о потомстве. Известны опыты по полному удалению коры головного мозга у новорожденных хомячков [41]. Лишенные коры животные также, как и здоровые, играли друг с другом, спаривались, находили пищу, заботились о потомстве. Удаление же дополнительно ряда элементов лимбической системы приводило к тому, что животные переставали играть и заботиться о потомстве.

Лимбическая система у низших позвоночных развита слабо [36]. Едва ли можно говорить, что черепаха проявляет сложные эмоции, хотя простейшие сенсорные чувства (жажда, боль) ей должны быть присущи. Но как, по каким признакам выяснить, какие эмоции в данный момент испытывает черепаха? Обычно наличие эмоций мы отмечаем, воспринимая невербально передаваемую нам эмоциональную информацию – по улыбке, по жестам, интонации. Строение тела у черепахи иное, и это не позволяет интерпретировать ее жесты методом сравнения с человеческими или собачьими. И черепаху не спросить, что она чувствует. Что же говорить о представителях животного царства параллельной нашей ветки эволюции – беспозвоночных ракообразных и насекомых? Эти таксоны демонстрируют сложное поведение – ориентируются на местности, организуют социальные взаимодействия – но остается не вполне ясным, каким образом они могут проявлять эмоции: их способы явно отличны от понятных нам. Например, у насекомых обнаружены так называемые феромоны тревоги – специальные секретлируемые вещества, служащие для оповещения других особей о возникновении нештатной ситуации (о вторжении в улей, о нападении на особь и т.п.) [89]. Но испытывает ли само насекомое, их выделяющее, чувство тревоги, или оно только “хладнокровно” сигнализирует о необходимости запуска той или иной стратегии коллективного поведения – непонятно. Можно только предполагать. Из сказанного выше логично предположить, что все испытывают эмоции, но по-своему, конечно.

А вот у всех млекопитающих все анатомические части и функции лимбической системы практически сходны [41]. Поэтому, а также базируясь на известных данных по секреции “гормонов эмоций” – глюкокортикоидов, адреналина, окситоцина и пр., сопровождающих проявление разных чувств и ощущений, можно

утверждать, что многие другие млекопитающие помимо человека могут испытывать уже достаточно сложные эмоции. Проявление эмоций, рождающихся в недрах НС от совокупности простейших ощущений, сопровождается выработкой соответствующих гормонов, далее управляющих уже сложным, целенаправленным поведением животного. Так, видимо, под управлением ЭС функционируют многие стереотипные “инстинкты” у животных, которые связывают первичные ощущения и дальнейшее поведение. Во всяком случае, очевидно, что очень большую группу инстинктов, связанную с размножением и воспитанием потомства, запускают, контролируют и направляют именно половые гормоны (тестостерон, эстроген, прогестерон) [57]. Исходя из этого, можно предположить, что и другие позвоночные и беспозвоночные животные испытывают отдельные эмоции, как минимум уровня чувств-ощущений. Человек же с более развитым головным мозгом, с опытом, образованием и воспитанием может переживать внутри себя уже очень сложные эмоции. Но и у человека они также посредством гуморальной регуляции осуществляют и дополнительное управление всеми органами и системами организма, включая сам мозг. Они являются во многом элементом мотивации как поведения человека в целом, так и его отдельных интеллектуальных усилий. Для деятельности в области искусств определяющая роль эмоций сегодня точно неоспорима, а для многих читающих эти строки важная роль эмоционального фона не должна подлежать сомнению и в плане логической рассудочной деятельности, в чем они должны были не раз убедиться на своем собственном опыте.

Подведем промежуточный итог. Гормоны управляют ЖС в не меньшей степени, чем это делает НС. Они влияют разом на большие группы нейронов и других клеток. При этом, если проводить аналогию с ТС, гормоны могут влиять напрямую еще и на гиперпараметры нейронов, причем в целой группе нейронов сразу - меняют функцию активации, порог и(или) длительность активации и т.д. В том числе, известно, что гормоны могут стимулировать нейрогенез и образование новых синаптических связей, т.е. они влияют и на архитектуру нейронной сети, изменяют ее, строят. Пути влияния гормонов на нейрон схематично приведены на рис. 4. В плазматическую мембрану клетки, т.е. в мембрану, отделяющую внутренность клетки от внешней среды, встраивается белок-рецеп-

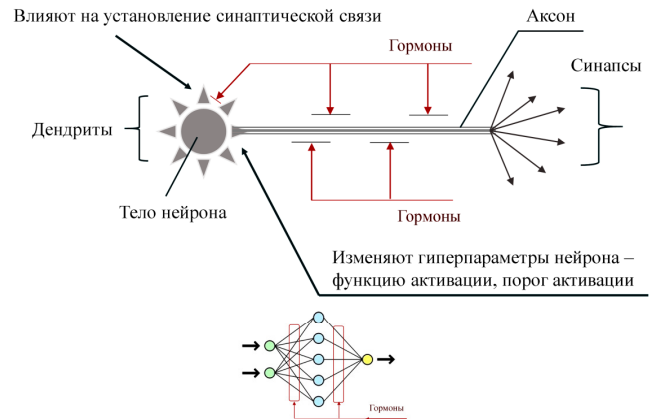


Рис. 4. Роль гормонов в НС

тор гормона. Встроен он таким образом, что его часть находится снаружи мембраны. Молекула-гормон соединяется с подходящей ей по структуре наружной частью рецептора (принцип ключ-замок). Так рецептор принимает сигнал и далее запускает соответствующие сигналы каскады реакций в клетке, ведущие к нужному эффекту. Характер и длительность ответа нейрона зависят от типа рецептора, от количества и плотности расположения молекул рецептора в плазматической мембране. На плотность рецепторов, в свою очередь, влияет и индивидуальный жизненный опыт. Поэтому прослеживается влияние формируемой жизненным опытом индивидуальности на последующее проявление поведения и эмоций. Соответственно, и поведение, и эмоции – индивидуальны. Более того, гормоны – еще и внутренний учитель для нейросетей. При обучении необходимо получить обратный ответ на предпринятый вариант решения задачи – правильным или нет этот вариант оказался. Кто-то всегда должен говорить, что так правильно, а так нет. Если нет внешнего учителя (родителя), то подсказку даст учитель внутренний – набитые шишки, слёзы, голодный желудок, или, наоборот, чувство сытости, удовлетворения, комфорта. Гормоны – система не только управления ЖС, но и внутреннего вознаграждения и наказания мозга и организма в целом, система мотивации к действию или бездействию. Очевидно, что именно нейрогуморальная регуляция, т.е. совместная работа ЭС и НС на указанных выше принципах, и просматривается сегодня как один из ключевых механизмов функционирования сознания в ЖС.

Что наиболее интересно – за сутки в мозг поступает или образуется в нем самое множе-

ство разных гормонов, нейромедиаторов и много разных других молекул – продуктов жизнедеятельности разных клеток – в зависимости от жизненной ситуации. Под конец дня справиться с таким “бульоном” порой бывает уже трудно. А избыточное и неконтролируемое накопление различных сигнальных веществ в мозге может являться спусковым механизмом расстройств работы всей НС (болезнь Паркинсона и пр.): это прослежено для норадреналина, ацетилхолина, дофамина и т.д. Например известно, что гиперактивность дофаминергической системы и чрезмерное накопление дофамина в мозге способствует развитию шизофрении. Поэтому существует во время сна специальная процедура “промывки мозгов”. В фазе медленного сна происходит повышенная продукция и выброс в желудочки мозга свежей цереброспинальной жидкости. Она протекает по специальному g-лимфатическому пути (glymphatic pathway) через мозговую ткань, тем самым вымывая из мозга накопившиеся излишки метаболитов [90]. И на утро мы уже чувствуем свежесть и ясность мышления, новые эмоции.

Роль гормонального управления, подчеркнем еще раз, настолько высока в ЖС, что нейробиологами школы Х. Коштоянца даже был в свое время поставлен вопрос, что она и есть определяющая [91, 92]. Что именно гетерохимизм управляет ЖС (вспомним про сигнальные молекулы в синаптической щели между нейронами – своеобразная химическая «инъекция» соседнему нейрону), а не рефлекторные дуги. Сам Коштоянц скептически относился к тому, что многие его современники описывают механизмы работы НС лишь по аналогии с передачей электрических импульсов по проводам. Широко распространённому взгляду на нейромедиатор как на простой передатчик безликого электрического импульса Х. Коштоянц противопоставил свою красочную энзимохимическую гипотезу. В ней все сигнальные молекулы НС имеют свою биохимическую индивидуальность, а специфика действия каждого нейромедиатора выводится из своеобразия его донервной регуляторной функции. Такой взгляд позволяет объяснить быстрые механизмы перестройки паттернов эндогенной активности и генерации разных ритмов нейронными ансамблями, которые наблюдаются в ЖС. Концепция рефлекторной дуги выстроена под представление о внешнем воздействии на систему, чтобы она перешла в возбужденное состояние. Однако известна и спонтанная эндо-

генная активность групп нейронов в головном мозге, которую сложно объяснить механизмом рефлекторной дуги. Гетерохимическая теория способна объяснить и эти явления. Живые клетки-нейроны постоянно выделяют и поглощают разные сигнальные молекулы в процессе своей жизнедеятельности. В ансамбле нейронов возможно установление положительной обратной связи, приводящей к групповому синхронному возбуждению клеток при обмене такими сигнальными молекулами. А наличие внутреннего эндогенного возбуждения уже дальше передается по сети нейронов по рефлекторному механизму.

Рефлексы головного мозга

Если обобщить изложенное выше, то разнообразные реакции нейронных сетей, равно как и выброс гормонов при эмоциях, стрессе, суть – рефлекторные ответы на возникающие раздражения (стимулы), не важно, внутренние они или внешние (экзогенные или эндогенные). Поэтому и работа головного мозга, мышление, рассудочная деятельность, все наши когнитивные и другие функции мозга, наиболее вероятно, реализуются через аналогичные рефлекторные механизмы. Собственно, эта идея не нова и была высказана великим российским физиологом И. Сеченовым еще в 1866 г. [93]. Он не без основания полагал, как и нейробиологи школы Х. Коштоянца, что исходным раздражителем для многослойной сети нейронов мозга может быть не только внешнее физическое воздействие на внешние сенсорные системы организма (органы зрения, слуха), но и внутренние проблемы, переживания и эмоции, связанные, в том числе, и с действием гормонов. По словам И. Сеченова, внутренние возбуждения порождаются из-за несоответствия между желаемым и действительным, как это постулировал еще много лет назад Х. Вольф, и мозг в ответ на такое внутреннее раздражение в результате своей нервно-психической деятельности начинает вырабатывать решение для возникшей проблемы, чтобы снять это возбуждение. Начинает думать и решать задачу. Для часто встречающихся задач решение может быть найдено быстро путем использования готовых решений, опробованных ранее и хранящихся в памяти. Это своеобразный условный рефлекс – быстрая минимизация возбуждения, если ситуация уже встречалась ранее и известно, что будет дальше. Но новые сложные проблемы могут породить и длительное устойчивое возбуждение, а,

соответственно, и длительную напряженную работу мозга по их устранению.

Такой взгляд на работу головного мозга, а также пример таракана без головы, позволяют высказать предположение, что и механизм памяти в ЖС устроен по рефлекторному принципу. Ранее уже указывалось, что результаты последних исследований говорят о том, что любая новая ситуация и любые новые сигналы-раздражители, как внешние, так и внутренние, поступающие в организм, постоянно сравниваются с ранее приобретенным опытом, классифицируются, консолидируются, и запоминается лишь новая, не знакомая ранее информация по механизму формирования условных (ассоциативных) рефлексов [28, 29]. Это наиболее выгодно с точки зрения энергозатрат и принципа минимизации возбуждений. Любая новая информация – сильный раздражитель, в то время как от известной уже информации возбуждение быстро минимизируется сформированными в процессе выработки условного рефлекса обратными связями в НС. При этом анализ новой информации не ограничивается только моментом ее прихода. Во сне, при воспоминаниях, в рассуждениях, в детской игре мы постоянно продолжаем вольно или невольно анализировать и интегрировать информацию, строить ассоциации. Таким образом, память – непрерывный рефлекторный процесс, который обеспечивается постоянной циркуляцией потенциалов действия и сигнальных молекул в НС по сигнальным путям, которые, в свою очередь, определяются всей архитектурой НС. На этом принципе уже начали строиться в настоящее время искусственные нейронные сети с памятью.

Долговременная память дополнительно еще обеспечивается увеличением количества рецепторов к сигнальным молекулам (нейротрансмиттерам, гормонам), длительным изменением активности киназ, эпигенетическим изменением хроматина [94]. Гетерохимическая концепция работает и здесь. Сначала нейроны реагируют своей активностью на внешние или внутренние стимулы-возбуждения, и рефлекторно выделяют в окружающую среду соответствующие сигнальные молекулы. Эти сигнальные молекулы воспринимаются другими клетками в окружении этих нейронов, и те, в свою очередь, синтезируют уже свои ответные сигнальные молекулы. Такой постоянный взаимный обмен биохимическими сигналами – важный компонент в обеспечении долговременной

памяти. Причем по последним данным, активную роль в этом процессе играют астроциты – клетки нейроглии [95]. Они находятся в непосредственной близости от нейронов и являются первыми активными генераторами сигнальных молекул для них. Т.е. своеобразная рефлекторная дуга здесь обеспечивается не аксонами нейронов и электрическими сигналами, а гуморальным путем. Поэтому клетки нейроглии тоже могут принимать участие в высшей нервной деятельности, а не только обеспечивают простейшие физиологические потребности нейронов. Хотя четкую границу здесь сложно провести.

Говоря о сознании и рефлексках головного мозга, важно также обратить внимание, что живой мозг может находиться, как минимум, в трех разных функциональных состояниях – в состоянии полного и ясного сознания, в состоянии видоизмененного сознания (сон, болезнь, опьянение) и в состоянии частичной или полной потери сознания. Причем и другие животные, помимо человека, спят и теряют сознание (еще одно доказательство, что сознание у них есть) [64, 96]. Управление ЖС в разных этих состояниях разное, разного уровня и качества – от полностью бессознательного, автоматически-рефлекторного и детерминированного, осуществляющего только поддержание основных жизненно важных функций (сердцебиение, дыхание), до полноценного и наполненного личностными смыслами осознанного поведения. Существует шкала Плазго оценки степени угнетения сознания: ясное–оглушение–сопор–кома [97]. В этом смысле сознание явно проявляется как режим управления ЖС, в котором возможны и сбои. Управление постоянно совершенствуется, развивается в зависимости от опыта и возникающих ситуаций в жизни особи, формируются новые условные рефлексы. Значит, в начальный момент жизни особи ее сознание не должно быть еще полностью сформировано, хотя конечно, по крайней мере для млекопитающих, в утробе матери эмбрион уже получает какие-то сигналы (звуковые, например), и у него формируются какие-то первые начальные ответные реакции – ощущения и эмоции [98].

Наблюдение за развитием сознания у ребенка

Наблюдение за развитием и взрослением ребенка с первых дней его рождения, вообще говоря, вне зависимости от каких-либо теорий,

уже позволяет в самых общих чертах определить контуры естественнонаучного взгляда на феномен проявления сознания (на его эмерджентность). Это подметил еще в начале XX века другой наш великий ученый В. Бехтерев [99]. Осознание себя не дано человеку от рождения, оно приходит постепенно. Это известно и описано во многих трудах специалистов по детской психологии, педиатрии, дошкольному воспитанию [100–103]. В первые дни после рождения у малыша отсутствуют не только полноценные сознание и интеллект, но и простейшая координация движений, хотя головной мозг полностью сформирован и его общая «конструкция» далее не меняется, только развивается функционально. По внешним проявлениям у новорожденного есть лишь гримасы, хаотические движения руками, ногами и головой при возбуждении (комплекс оживления) и плач (рис. 5). Взгляд не фокусируется на объектах и не осмыслен. Нет произвольной (целенаправленной) реакции на окружающих. Присутствует быстрое перевозбуждение нервной системы и утомляемость, поэтому требуется частый сон. Грудной ребенок полностью зависит от взрослого, ухаживающего за ним (матери), что можно даже говорить о едином комплексе «взрослый–ребенок» [101]. Младенец беспомощен без взрослого и погибнет без него. Безопасность, обогрев, питание и другие базовые потребности младенца обеспечивает взрослый. Системы управления организмом новорожденного, его нейронные сети, еще не настроены, не обучены, поэтому первые дни и недели жизни полностью уходят у него на формирование первого упорядоченного управления такими основны-

ми и жизненно важными функциями организма, которые не может обеспечить взрослый.

В первую очередь, поскольку в утробе матери эти функции не задействованы (обмен веществ идет через пуповину), у новорожденного осуществляется настройка собственных систем, отвечающих за дыхание, пищеварение и выделение. Ребенок учится ощущать и регулировать дыхание, глотание, реагировать на удушье, на чувства голода, насыщения, управлять на физиологическом уровне процессами выделения. Первые недели жизни ребенка сосредоточены только на этом. Все внешние проявления – плач, срыгивание, гримасы, потуживания – наглядно отражают именно эти перечисленные процессы. Реакция ребенка на внешний мир в это время не осмысленная и не произвольная. Он однотипно и всем телом, автоматически (непроизвольно) реагирует на все сильные внешние раздражители: вздрагивает при сильном и резком звуке, проявляет комплекс оживления (возбуждения) при прикосновении и т.д., но не проявляет никаких других осознанных действий.

Только к возрасту 2–3 месяца у ребенка начинает проявляться «осмысленная» фиксация взгляда на окружающих, происходит узнавание цвета, запаха, контура крупных внешних объектов. Плач часто приобретает интерактивную функцию: ребенок начинает пользоваться им для инициации общения со взрослым [102]. Начинается и собственное звуковое общение – гуление, что возвещает о начале настройки речевого аппарата. Ребенок начинает произвольно поворачивать голову в сторону даже не столь явных внешних визуальных и зву-



Рис. 5. Наблюдение за развитием сознания у ребенка



ковых стимулов. Может уже начать “осознанно” (профессиональный термин – произвольно) глазами и поворотом головы (не всегда еще четко, но заметно для окружающих) следить за ярким внешним предметом, пытаться дотянуться до него руками, приподнять голову. Одним словом, ребенок начинает ощущать отдельно себя и внешний мир, начинает координировать свои действия с возникающей ситуацией, и проявляется это в целенаправленных движениях тела, генерации звуков и мимике. Хотя это, вероятно, еще нельзя назвать моментом появления полноценного сознания, но это его начальный этап, который четко виден окружающим. Возможно, аналогичные наблюдения за младенцами подвели и великого Аристотеля к формулировке его концепции *tabula rasa*.

Далее, все дети по-разному, на разном временном интервале, но обычно к 6–12 месяцам начинают уже внятно осознавать себя во внешнем мире, четко определять основные части своего тела и координировать их функционирование (моторику). В этом возрасте дети могут уверенно схватить и держать игрушку, намеренно тащить ее в рот, пытаться садиться и вставать, реагировать на свое имя. Они уже могут отличать родителей и проявлять соответствующие эмоции – улыбаться родителям или пугаться от чужих. Могут осмысленно ассоциировать жесты и звуки, указывая на предметы или людей и сопровождая каждый такой жест специфическим лепетом. На этом этапе четко видно начало комплексного и ассоциативного восприятия внешнего мира. Полноценное же понятие «я» формируется у ребенка только к 1–1,5 годам. При этом сначала в поведении используется подражание подсмотренным у взрослых шаблонам. Например, полуторагодовалые дети часто не говорят про себя “я”, а называют себя так, как о них говорят взрослые, в третьем лице и по имени (“Ваня тоже хочет...”). То есть дихотомия “я – внешний мир” в сознании ребенка уже присутствует, но еще находится в процессе формирования.

Весь процесс формирования сознания и интеллекта очень чувствителен к внешним факторам, к информации, поступающей извне, к действиям окружающих, что в совокупности может полностью определять последующие умственные способности ребенка. Период раннего онтогенеза у человека, до 5–7 лет – ключевой в плане формирования будущей личности. Известны критические периоды для приобрете-

ния тех или иных навыков и знаний [42]. Вне этих рамок обучение намного сложнее, а иногда становится и вовсе невозможным. Например, для формирования образа родителя посредством запечатления (импринтинга) у гусят и цыплят наиболее чувствительными являются первые 15–16 часов жизни. Для человека достоверно известен и детально изучен страшный случай девочки Джини из США [41]. С двух лет ее отец-психопат держал запертой в комнате и привязанной к стулу. С девочкой никто не разговаривал и не занимался до ее 13-летнего возраста, когда ее обнаружили власти. В 13 лет она не только не умела говорить и понимать слова, но и не могла сознательно контролировать функции мочевого пузыря и кишечника. В последующие годы, благодаря усиленным занятиям с психологами и другими специалистами, она смогла научиться примитивно пользоваться некоторыми предметами, рисовать, понимать отдельные слова и говорить. Но уровень ее речи и интеллекта так и не поднялся выше уровня 2–3-летнего ребенка, хотя анатомические нарушения мозга отсутствовали. Просто были упущены сенситивные периоды научения, когда головной мозг наиболее пластичен и способен к научению (таких случаев “детей-маугли” известно достаточно много, т.е. это не единичный случай, а закономерность). Следовательно, обучение, общение, взаимодействие – важнейший элемент развития сознания и интеллекта. Интересно, что одна из сотрудниц автора, которая воспитывает годовалого ребенка, будучи знакома с первоначальным текстом данного обзора, высказала мнение, что после рождения ребенка сознание у матери также претерпевает сильные метаморфозы.

Обучение (забота о потомстве) не раз было отмечено и у разных животных, как минимум, на уровне подражания [36]. Выводковые птицы обучают потомство плавать, а птица зебровая амадина – так даже обучает свое потомство пению [104]. Хищники обучают своим примером выслеживать жертву, маскироваться, а травоядные – убежать, сбиваться в стаи [105]. Чем более сложная НС у животного, чем больше количество сенсоров и сложнее среда обитания, тем больше времени требуется на обучение. Поэтому начальный этап жизни наиболее сложных ЖС, в отличие, скажем, от червей или рептилий, обязательно протекает под патронажем взрослого. Как правило, детеныши не выживают без взрослого ни у млекопитающих,

ни даже у гнездовых птиц. Всем им требуется, в отличие, скажем, от рыб, относительно длительный период вскармливания, в течение которого они обучаются в плане настройки своих сложных систем управления – НС и ЭС. Безусловно, человек – наиболее сложная ЖС среди всех остальных. И у него период обучения наиболее длительный – минимум порядка 5–10 лет. Как и многие другие млекопитающие (котят, медвежата, да и любой другой молодняк), очень много навыков и полезных условных рефлексов наши дети приобретают во время игры. Поэтому нельзя не вспомнить положительный опыт СССР, когда к обучению дошкольников подходили максимально серьезно – был создан НИИ дошкольного воспитания АПН СССР, который разрабатывал методики обучения и воспитания через игры. Сегодня в нашей стране методическое руководство обучением в детских садах во многом разрушено, а многие детские сады провозглашают своей основной целью только “уход и содержание” (терминология подходит больше для зверушек в зоопарке). Поэтому есть повод для беспокойства. Обучение, игра – ключевой этап настройки систем управления организмом. Это не только знания, как мы видим. Это единый процесс формирования нервно-рефлекторных реакций и картины мира.

Почему же тогда разумное общение человека с животными даже с первых часов их рождения не приводит к существенному росту интеллектуальных способностей животных, а, наоборот, отсутствие общения ребенка с человеком (“эффект Маугли”) однозначно приводит к практически полному отсутствию интеллекта у ребенка? Точного ответа, конечно же, сегодня нет. Но можно рискнуть высказать собственное предположение, что, возможно, животное плохо обучается именно потому, что обучает человек, а не аналогичное животное! Человек обучает на основе понятных ему (человеку) движений, жестов, звуков, понятий и категорий. Их нет в арсенале животного. У животного немного другие основные чувства и понятия (запахи, например), а чувствительные периоды часто очень коротки. Вот если бы маленькое животное обучало бы аналогичное ему взрослое животное, не обязательно биологический родитель, но (представим себе) умное и умеющее обучать животное, то тогда и эффект, возможно, был бы качественно другим. Возможно, дело не столько в анатомии или физиологии, сколько в эволюционном развитии системы. Если так, то открывается заманчивая перспектива исследо-

ваний по искусственному отбору, чтобы попробовать вывести за 100–200 поколений породу каких-либо животных, обучающих свое потомство подобно человеку и общающихся с потомством развитой знаковой системой (не обязательно речью). Уже в опытах Крушинского была достоверно установлена огромная разница в способностях к рассудочной деятельности разных представителей даже одного и того же вида. Откуда она берется? Только ли от наследственности? Сегодня уже очевидно, что нет. Детишки “умных” родителей, лишённые обучения и разнообразного общения в их чувствительный период, не проявляют выдающихся способностей. Следовательно, дело еще и в обучении. Если в исследованиях на выведение обучающей породы животных искусственному отбору подвергать животных, которые наиболее способны обучать свое потомство, можно ожидать уникальный результат. Как только распознать таких животных? Но самый фундаментальный и неожиданный вывод из сказанного, который напрашивается, это такой: ТС, способная к формированию самосознания, также будет требовать специфического обучения, причем на ее “языке”. И далеко не факт, что эффективным учителем для такой ТС сможет стать человек.

Методы ИИ и вклад точных наук

Безусловно, не только нейробиологи и психологи изучают сегодня работу головного мозга животных. Этим со своих позиций занимаются и представители технических и информационных наук. Среди наиболее развитых и признанных сегодня физико-технических, компьютерных и математических направлений исследований в области мышления и сознания, безусловно, являются методы ИИ [106]. Точкой отчёта для них считается лето 1956 г., когда в Дартмутском университете собрались на семинар 10 учёных. Его организатор, Дж. Маккарти, пытаясь получить финансирование в Фонде Рокфеллера был столь оптимистичным, что заявил об уже существующей принципиальной возможности моделирования интеллекта на электронной машине. По его мнению, можно было этого добиться если 10 ведущих учёных разных специальностей соберутся вместе на Дартмутский семинар и плодотворно поработают сообща в течение лета. Прошло примерно 70 лет...

Да, за время с Дартмутского семинара проделан большой путь от простейших нейрон-

ных сетей Хопфа до сверточных нейронных сетей, сетей с глубоким обучением, умеющих распознавать изображения лучше людей [107], до символьных и облачных вычислений [108, 109], моделирования рассуждений, инженерии знаний [110–112], машинного перевода и смыслового анализа текста [113]. Но создан ли именно интеллект? Когда мы говорим об интеллекте, мышлении, понимании, первый и самый важный вопрос заключается в четком и однозначном определении этих терминов. Что мы под ними подразумеваем? По словам Д.И. Менделеева, наука начинается с измерений. Это его легендарная фраза. А наука об измерениях (метрология), как известно, начинается со строгой и однозначной терминологии. Без терминологической ясности создать “то, не знаю, что” весьма проблематично. В настоящее время практически каждый автор, пишущий об ИИ, отталкивается сегодня от какого-либо своего собственного, частного понимания значения этих слов. Иногда говорят, что это раздел научного знания, компьютерных наук и информационных технологий. В книге советского мэтра ИИ Д. Пospelова [114] так и было определено: “ИИ – наука по имитации психики человека в технических системах”. Тогда ИИ точно создан и давно существует, если это раздел научного знания. Незадолго перед этим, в 1950 г., один из пионеров ИИ А. Тьюринг в своей знаменитой статье [115] (известна еще как “Может ли машина мыслить?”) тоже обосновал игру в имитацию, предложив свой известный тест для определения того, мыслит ли машина. Эту игру многие подхватили, считая, что разумная машина обязательно будет тянуться к уровню цивилизованного человека и будет обязательно хотеть доказать ему свою разумность, будет подражать человеку и стараться разумно отвечать на его вопросы. Но они забывают спросить, а реальной разумной машине это действительно надо? Имитация – это все, что мы задумали получить?

Сегодня все специалисты в области ИИ делятся на два лагеря: функционалисты и коннективисты. Первые считают, что для решения проблемы сильного ИИ не надо изучать ЖС, не обязательно знать устройство мозга. Просто надо создавать функционально адекватно работающие машины, решающие задачи на уровне, сравнимом с человеком, и этого можно достичь, например, с помощью логических знаковых систем. Не обязательно копировать функционирование НС человека и животных.

Вторая же группа считает, что необходимо обязательно воссоздать техническими средствами все структуры мозга, повторить в точности все процессы, в них протекающие. Для этого, в частности, создаются нейропроцессоры и нейрокомпьютеры. Однако и те, и другие оперируют аналогией с живой природой. Ведь примеры функциональности, все равно, больше черпать неоткуда. Следовательно, без изучения живой природы, без изучения строения НС, работы ЭС, головного мозга, а также их эволюции проблему сильного ИИ никак не решить.

Однако вычислительные математические методы ИИ подходят к этой проблеме с противоположной стороны. Они в плане функциональности в большинстве своем пытаются воспроизвести “высокоуровневые” функции головного мозга, моделирование рассуждений, например. Эти методы сегодня настолько разнообразны и развиты (интеллектуальный анализ данных, нечеткие модели и вычисления, доказательство теорем, нечеткая логика), что их уже сложно охватить в одном отдельно взятом обзоре. Но в свете рассматриваемой проблемы в этом и нет необходимости. Если принять, что сознание первично, а интеллектуальные функции мозга, особенно высокоуровневые (скажем, логические рассуждения, дедукция), вторичны, что следует уже из анализа онтогенеза и филогенеза сознания, то их моделирование нам мало в чем поможет в понимании проблемы сознания.

Но есть одно важное направление, которое никак не обойти и которое органично связано с рефлексамми головного мозга и принципом минимизации возбуждений. Это – знаковая, условная, понятийная форма мышления. Современное развитие теории категорий и семиотики, в сочетании с принципами рефлекторной работы мозга вплотную позволяет подойти к пониманию проблемы формирования компактной внутренней модели внешнего мира в нашем сознании, к обоснованию основ знакового мышления и объяснению явления *квалиа* [116]. Наш мозг не оперирует миллионами внешних и внутренних стимулов, поступающих к нему каждую секунду. На основе выработанного опыта мозг все исходные данные обрабатывает ассоциативно, соотносит с имеющимися данными в памяти и сразу относит либо к известной категории, либо формирует новую. Этот принцип сформулирован был тоже очень давно, начиная с *эйдосов* (от греч. “эйдос” – образ) Платона. Но сегодня он больше известен

как принцип экономии мышления, уходящего своими корнями к идеям Р. Авенариуса и Э. Маха [117]. По сути, это тот же принцип минимизации возбуждений в НС, только на уровне рефлексов головного мозга.

Представьте, что в НС поступают миллионы и миллиарды разных сигналов ежесекундно. По сделанной нами оценке, количество внутренних и внешних рецепторов у человека – порядка 10^9 . Сюда входят и зрительные анализаторы, и тактильные, и слуховые, и многие другие внутренние, которые постоянно передают в НС информацию не только о ситуации в среде обитания, но и о работе разных органов и частей организма (рецепторы мышечного тонуса, положения тела в пространстве, барорецепторы давления крови в сосудах и многие другие). Включены сюда оценочно и разные рецепторы гормонов. Причем количество внутренних и внешних рецепторов по порядку величины одинаково. Все сигналы от них НС совместно с ЭС должны обрабатывать, анализировать и выдавать ежесекундно адекватный ответ. Это, видимо, просто невозможно в реальном времени при превышении количеством рецепторов определенного порога величины. Поэтому на уровне сознательного мышления мозг уменьшает размерность всех сигналов (не исключено, примерно так, как работают искусственные сверточные нейронные сети) и превращает ситуацию в набор укрупненных понятий, категорий, объектов и явлений – в *понятийные категории*. Это снижает общее возбуждение в НС, и далее мозгу и системе в целом работать проще. Меньше энергозатрат и проще вырабатывать условно-рефлекторный ответ.

Впервые термин “понятийные категории” был введен в обиход грамматики в 1924 г. О. Есперсеном в его классической работе [118]. Однако, несомненно, корни этой концепции восходят к идеям Платона. Он пытался объяснить нашу способность к формированию общих понятий с помощью своей теории “идей” – эйдосов – и полагал что существуют некие идеальные формы и понятия, например, идеальное представление о сущности “стол”, которое дано нам “свыше” и которое помогает нам в каждом конкретном экземпляре стола распознавать стол. Узнавая, вне зависимости от количества ножек, формы, цвета и т.д., стол, мы говорим: это стол. На языке математической теории категорий мы бы сегодня сказали, что в нашем сознании существует некий идеальный образец (эталон) стола с набором переменных – форма

(круглый, квадратный), функциональное назначение (журнальный, обеденный), размер, цвет, число ножек и т.д., подставляя на место которых конкретные числовые и иные значения мы получаем конкретный экземпляр стола из общего класса объектов “столы”. За разницей в терминологии просматривается очевидное концептуальное сходство этих подходов и взглядов. Вопрос в том, являются ли понятийные категории действительно врожденными, присущими строению головного мозга, или они формируются динамически по мере обучения индивида.

Базисные понятийные категории языка (концепты-примитивы) сводятся, насколько сейчас известно, к списку из примерно 30 единиц [119, 120] вне зависимости от языка, хотя, опять же, в литературе не удалось найти сколько-нибудь их исчерпывающего перечисления и/или классификации. Тем не менее, считается, что они организованы иерархически и, следовательно, представляют собой систему. Эта система по некоторым представлениям генетически заложена в мозг человека, где есть также механизм генератора новых понятий-концептов, обеспечивающий даже возможность формулирования гипотез [121]. Это близко идеям порождающей грамматики Хомского и косвенно подтверждается тем фактом, что слова в разных языках в деталях, в обозначении предметов, а также построение фраз могут сильно отличаться, но люди, говорящие на разных языках мира, могут понимать друг друга. Т.е. здесь просматриваются единые фундаментальные законы таксономии внешних объектов и явлений, законы мышления и анализа информации. Альтернативной идеей является идея самообучаемого или обучаемого учителем головного мозга как интуитивно-эталонной системы [122]. Согласно такой концепции, прошлый опыт, состоящий из временных последовательностей раздражающих стимулов и рефлекторных ответов, фиксируется в памяти инвариантно в виде неких объединений нейронов под реализацию какой-либо функции – энграмм (фреймов, сценариев, функциональных систем).

Мы в своей работе [123] попытались тоже в свое время сформулировать обоснование того, что образование базовых понятийных категорий, причем вне зависимости от языка человека, а также у многих млекопитающих обусловлено сенсорными системами, онтогенезом мозга, а, возможно, начинается даже с эм-

бриогенеза. Из неизвестного списка из (примерно) 30 базовых понятийных категорий языка и мышления (концептов), можно, видимо, априори и на основе опубликованных уже работ сразу выделить такие первичные и обязательные в этом списке категории, как: *объект*, *свойство* (атрибут объекта или явления, включая его состояние) и *действие* (совершение движения, воздействие на что-то). Опуская подробности, без претензий на полноту, однородность группы и теоретическую обоснованность единой такой таксонометрии, включим в этот список также категории: *часть*, *граница* (объекта, например), *вложенность* (расположение внутри чего-то) и *присутствовать* (быть в наличии, \exists), подробно рассмотренные в последние десятилетия [124, 125 и др.]. Заметим, что с нейробиологических позиций все они могут быть обоснованы. Как подметил еще Э. Мах, мы любыми органами чувств воспринимаем не сами объекты, а лишь их свойства (цвет, вкус, твердость и т.д.). Устойчивую совокупность свойств, *совместно* наблюдаемую, мы определяем как объект или явление, т.е. концепты атрибута (свойства) и объекта (явления) присущи нам уже на уровне восприятия, только надо добавить сюда еще и понятие *совместности* (одновременность, конъюнкция, $\&(\wedge)$), которое ощущается нами также физиологически при одновременности действия разных раздражителей. Само наличие/отсутствие раздражения, воздействия, стимула, очевидно, определяет концепт *существование* (\exists). Команды, отдаваемые моторным нейронам в ответ на раздражение, т.е. рефлекс, могут служить фундаментом понятия действия. Граница, часть – следствие случаев множественности раздражений, например, на сетчатке глаза, и резкого перехода на границе от одной силы стимула к другой.

Как видим, нейробиологическая обусловленность базовых категорий языка не так уж нереальна. Более того, такой анализ логично выводит нас и на другие концепты-примитивы, которые, возможно, вообще не очевидны лингвистически. Так мы ввели уже в список понятие *совместности*. Но множественность воздействий и их сила диктуют и другие концепты – *последовательность* (упорядоченный ряд), *любой* (\forall) и *градация* (количество), а выработка условных рефлексов подводит нас к понятиям *условие* (*if*) и *следствие* (\rightarrow), т.е. к формированию продукции, если говорить в терминах вычислительных методов ИИ. Если же добавить сюда еще ряд операциональных (процедурных)

понятий – *сравнение*, *оценка*, *запомнить*, *инверсия* (\neg), без которых мозгу невозможно действовать и оперировать имеющимися данными, то легко заметить, что большинство этих элементарных понятий являются элементами алфавита языка исчисления предикатов. Хотя мы и не претендуем на это, возможно, базовые понятийные категории (все элементарные концепты-примитивы) должны образовывать формальную систему, как она определена в теории ИИ. Но, не исключено, что она должна быть и избыточна для повышения, например, быстродействия и безотказности системы. Более того, в этот список оказались включены и некоторые элементарные философские категории (часть и целое, количество и качество (свойство) и т.д.). Как известно, практически в любой области естествознания, особенно в математике, есть неопределяемые понятия (точка, множество), что часто наводит ученых на философские размышления об их природной врожденности. Предложенный подход позволяет с внятных единых позиций изучать этот вопрос.

Особое внимание при таком подходе в свете изучения структуры и принципов функционирования внутренней модели мира у любого животного, на наш взгляд, должно быть уделено понятиям *операциональным*. Помимо внешних сигналов, данных, свойств и выделенных объектов (явлений), со всем этим массивом информации при мышлении постоянно надо совершать какие-то действия. Например, надо сравнивать сигналы, оценивать их на предмет полезности (хорошо/плохо/опасно) и т.д. Одним словом, помимо декларативных (описательных) концептов, в модели мира должны присутствовать еще и согласованные процедурные концепты. Следовательно, необходимо добавление в приведенный выше список еще каких-то обобщающих, прогностических, сравнительных, оценочных и т.д. понятий, необходимых для рассудочной деятельности, включая и инструмент возможной неопределенной (вероятностной) оценки, если точная невозможна. В то же время, часть оценок может быть получена и на основе уже озвученных декларативных концептов. Скажем, понятие градации подходит для оценки в диапазоне хорошо–нейтрально–плохо–опасно, а предельный случай градации из двух крайних позиций логично образует *бинарную оппозицию* – оценку да/нет (есть раздражение или нет). В совокупности же все элементарные концепты-примитивы, их полный набор (особенно если это

формальная система) должны позволять формировать полноценный набор процедур, правил и отношений, достаточный для функционирования системы в простейших жизненных ситуациях. Но они, безусловно, с приобретением опыта могут еще дополняться и расширяться.

Если опереться на такой методологический фундамент, то это справедливо как для объектов и явлений внешнего мира, так и для чувственных субъективных переживаний – квалиа, проблему которых обозначил Льюис [126], и которая до сих пор дискутируется, т.к. считается трудно разрешимой в теории ИИ. Наиболее вероятно, что квалиа – аналогичные чувственные концепты, знаки и обобщенные субъективные категории сознания для наборов внутренних сигналов организма, не объяснимые в терминах объективного мира и не имеющие в нем аналогов. Логично предположить, что процессы формирования ассоциаций и экономии “мышления” сходны и для оценки совокупности сигналов от внутренних рецепторов. Субъективные ощущения – жажду или беспокойство, уверенность или азарт – мы не можем описать как объекты. Но мы легко даем названия таким компактным обобщениям-концептам, формируемым нами для типовых и часто встречающихся наборов внутренних сигналов-раздражителей. И воспринимаем мы их особо, субъективно, как отдельные квалиа. Не исключено, что у каждого они имеют свои оттенки, но в целом у всех нас эти обобщения схожи. Мы понимаем друг друга, можем сочувствовать, сопереживать, вместе радоваться и наслаждаться. Мы понимаем, что значит “прочувствовать”, и для каждого чувства в языке есть свои знаки-слова. И что примечательно, слова для обозначения чувств разные в разных языках, но смыслы их едины. Поэтому мы и понимаем друг друга. Примерно об этом говорит и философ Н. Блок, формулируя свою концепцию двух видов сознания: “А” (access-consciousness) и “Ф” (phenomenal consciousness) [127]. Одно существует для внешнего мира, другое для внутреннего, но принцип ассоциаций и создания обобщений, концептов с присвоением им знака-имени или чувства (квалии) одинаков для всех.

И тут мы можем подойти к самому главному выводу (рис. 6). В силу экономии мышления все отдельные объекты и явления внешнего мира постоянно консолидируются нашим мозгом во все более и более общие кате-

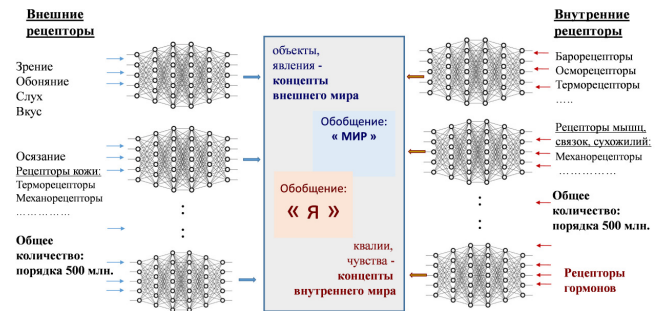


Рис. 6. Обработка и сворачивание информации в НС, формирование концептов

гории: стол и стулья – в категорию “мебель”; мебель, комната и здание – в понятие “жилище”; молния, гром и сильный ветер – “стихия”, и т.д., пока, не объединив все их вместе мы не придем к объединяющей мега-категории “внешний мир”. Ну а внутренние чувства и ощущения, внутренние квалиа, совместно с объективными представлениями о своем теле, в том числе с визуальным восприятием, например, себя в зеркале, консолидируются и свертываются НС в конечном счете в мега-категорию “я”. Она объективно является и частью мега-категории “мир”, входит в ее состав, но является конечной мега-категорией в представлении особи о себе самой.

Новейшие обобщения и взгляды XXI века

Начало XXI века ознаменовалось в области обсуждаемой темы сознания взрывным ростом производительности и промышленного применения технологий искусственных нейронных сетей, машинного обучения и т.д. – всех тех, которые сегодня массово именуются технологиями ИИ. Произошло это, в основном, благодаря росту вычислительных мощностей компьютеров и снижению их стоимости. Это сделало такие технологии массово доступными. Однако автономная функциональность робототехнических систем с применением всех указанных технологий ИИ пока не сильно возросла. Встал в очередной раз один и тот же вопрос: почему роботы так и не достигают функциональной автономности хотя бы уровня членистоногих, несмотря на применение современных быстродействующих компьютеров, глубоких нейронных сетей и вычислительных

методов ИИ? Машины могут распознавать образы быстрее и лучше человека (решать задачи классификации), могут обыграть любого человека в шахматы, шашки и в игру Го, но многие простейшие действия, легко совершаемые ребенком 2–3 лет, машинам при любом даже самом глубоком обучении все еще не под силу.

В развитие этого вопроса в 1969 г. сотрудник Л. Шиклоши в Калифорнийском университете составил таблицу, из которой вытекала удивительная закономерность, что компьютерные методы ИИ быстрее справляются с высокоуровневыми знаниями и умениями, которыми человек овладевает в более зрелом возрасте (перевод текста, логические рассуждения, решение математических задач), чем с более примитивными операциями и навыками (осмысленная ситуативная речь, сочетаемая с движениями, ролевая игра с игрушками, проявление познавательных способностей и любопытства), легко и повсеместно проявляемые детьми в период развития до школьного возраста [128]. Это наводит на мысль, что что-то принципиально важное, более простое, но фундаментальное упущено. Иными фразами эта же мысль сформулирована в обзоре [129]. В нем поднимается такой вопрос: “Развитие роботов и систем ИИ все время шло по пути повышения автономности их работы, мало затрагивая проблему сознания, особенно “сильного” ИС (strong artificial consciousness). До последнего времени считалось, что сознание будет последним штрихом – “вишенкой на торте”, добавляемой к системе в самый завершающий момент. Однако трудности автономного управления роботами, трудности понимания ими внешней обстановки в любой ситуационной задаче без участия человека заставляют задуматься, а не упустили ли мы самое главное и первичное во всем этом? Не означает ли это, что сильный ИИ и автономное полноценное поведение без элементов ИС в системе невозможны, что только сознание и помогает системе стать интеллектуальной?”

Как несколько лет назад отметил в своем интервью великий лингвист Н. Хомский [130], внимание ученых и разработчиков в последнее время переключилось на практическое применение технологий ИИ и решение конкретных прикладных задач, поэтому отложен в сторону фундаментальный научный поиск. Все воодушевились последними успехами нейронных сетей и больших вычислительных мощностей и кинулись в погоню за коммерческой выгодой от

них. Однако только “нейросетевой” ИИ, сфокусированный на использовании техник статистического обучения для лучшей обработки данных и выработки предсказаний на их основе (задача классификации нейронными сетями, фактически, сводится к поиску наилучшей нелинейной аппроксимации ситуации во время обучения; в математической статистике задачи классификации называются также задачами дискриминантного анализа), вряд ли даст нам новые знания о том, как устроено сознание. Этот же вопрос, куда идет развитие нейронных сетей и методов ИИ, почему мы не приближаемся к пониманию законов мышления, сознания и психики, обсуждался активно летом 2018 г. на всемирном форуме по ИИ в Праге. Основной вывод – мы не нащупали еще для этого нужного методического подхода. Очевидно, что упущенным является вопрос возникновения сознания в ТС, создание такой “конструкции” системы, в которой неизбежно возникновение управления в режиме с сознанием. Будет это искусственное сознание (ИС) или естественное – вопрос выбора и терминологии. Автору больше нравится естественный процесс, направляемый базовыми принципами.

Всплеск этой дискуссии, внедрение технологий нейросетей и машинного обучения в нашу повседневную жизнь, информационная шумиха вокруг всего этого в средствах массовой информации породила объективно и интерес в начале XXI века к проблеме многих серьезных ученых. Возможно ли сознание в системе? Мнения, как всегда, разделились, от обоснованного отрицания такой возможности в принципе [131], до попыток обосновать такую возможность и докопаться до истины [2, 6 и др.]. В данном обзоре умышленно опущены многие теории философов и психологов как прошлых веков, так и современных [3–5, 132 и др.]. Во-первых, по сути, эти теории являются психолого-философскими рассуждениями, которые отражают разные аспекты сознания, но ничего не говорят нам о проблеме его реализации техническими средствами. А, во-вторых, многие из них, например, квантовая теория сознания, могут быть вообще интерпретированы как экстерналистские, нефизические, т.к. признают сознание базовым свойством любых объектов, существующих за пределами мозга ЖС. Это напрочь исключает постановку инженерной задачи разработки ТС с элементами ИС, т.к. согласно экстернализму любая суще-

ствующая система, например, фотодиод, уже обладает сознанием. Ничего не надо создавать.

Профессиональный обзор части этих новых и других, более естественнонаучных теорий, дан в [6]. Не много можно нового к добавить к этому, так что для их анализа лучше обратиться к первоисточнику. Однако проанализировать собственные идеи автора интересно. Интуитивно кажется, что на многие вопросы, которые он формулирует в своей работе, в данном обзоре можно найти ответы. Академик К. Анохин с точки зрения профессионального нейробиолога анализирует в своей работе теории других авторов и формулирует ключевые вопросы, на которые требуется найти ответ для понимания принципа функционирования сознания. Эти основные вопросы таковы: Каковы функции сознания? Как сознание формируется в ходе эволюции? Как сознание созревает и совершенствуется в ходе эмбриогенеза и онтогенеза? Каково устройство сознания и почему оно не существует “в темноте” (т.е. почему особь ощущает себя именно так)? Также он справедливо утверждает, что принципы функционирования сознания, т.е. его “устройство”, как это можно понять из текста, должны быть полностью логично выводимы из базовых постулатов теории.

Анализируя вышеприведенный текст, очевидны такие ответы на эти вопросы. Функция сознания – управление автономной, сложной, многозадачной и мультисенсорной системой, действующей в переменной изменчивой внешней среде в целях реализации личностных смыслов. Логика формирования сознания в эволюции и онтогенезе – минимизация возбуждений в системе, консолидация работы НС и ЭС и т.п. в том случае, когда поступающих сигналов-стимулов в ЖС становится много, когда детерминированный алгоритм управления такой системой для любых ситуаций внешней среды выработать уже сложно, или время на создание такого алгоритма превысит время жизни системы. Сознание, видимо, единственный и возможный успешный алгоритм управления в такой системе, и оно не существует в «темноте» в силу своих базовых принципов. В том числе в силу того, что ЖС должна ощущать себя равноправным объектом внешнего мира среди других, а внешний мир существует для любой ЖС извне, на свету. По-другому сознание просто не может, видимо, реализоваться, как режим управления, поэтому – только “на свету”.

Также в своей работе автор [6] формулирует свои базовые принципы функционирования сознания и предпосылки к его появлению, которые тесно перекликаются с изложенными в данном обзоре. В частности, он указывает, что нужны глубокие нейронные сети для формирования базовых концептов и сложных ассоциаций разных внутренних и внешних сигналов. Нужна, по его словам, и память в узлах сети, что подтверждает известный опыт с условным рефлексом обезглавленного таракана. И еще одно условие – постоянное непрерывное образование устойчивых групп клеток НС (кволов, функциональных систем, часто другими авторами именуемых энграммами [133]), которые функционально объединяются для реализации какой-либо отдельно взятой функции в процессе обучения. Это тоже не противоречит данному обзору, только излагается в других терминах. Всё вместе это автор [6] называет своей *гиперсетевой теорией мозга*, теорией *когнитомы* (функциональное объединение в отличие от коннектома, описывающего физические связи). К сожалению, вопросы роли ЭС при таком взгляде на проблему, фактически, выпали. Тем не менее, К. Анохин уверен, что на этих принципах возможно понять функционирование сознания, и не утверждает, что невозможно эти базовые принципы воспроизвести в ТС (с какими-то вариациями, например).

Диаметрально противоположная точка зрения также достаточно убедительно изложена в [131]. Автор этой работы не оспаривает, что сознание эмерджентно, и появляется в ситуации, когда за счет увеличения количества и сложности процессов внутри системы закономерно возникает определенный кооперативный эффект, который приводит к новому качественному состоянию всей системы в целом. Однако с точки зрения процессов внутри системы его подход близок к подходу группы нейробиологов школы Х. Коштойнца. Он считает, что в ЖС каждая молекула играет свою роль, каждая часть системы подчиняется законам живого, и только поэтому возникает кооперативный эффект. Никакие компьютеры, роботы и программы ИИ не имитируют биохимические процессы в НС, не моделируют выделение гормонов и нейромедиаторов, не воспроизводят (даже виртуально) кровоснабжение, дыхание и питание нейронов головного мозга, поэтому говорить о моделировании работы мозга и НС в целом, включая сознание, методами вычислительных алгоритмов и ИИ неправомерно. Если

ТС не будет собрана функционально на принципах ЖС из отдельных молекул и атомов, если на уровне уже этих молекул и атомов не будут реализованы процессы, аналогичные процессам в ЖС, то и кооперативного эффекта не возникнет. Логика в этом есть, и спор решит время.

Обсуждение и выводы

Обсуждать, какие теории верны, а какие нет – сегодня задача не благодарная. Это будет бездоказательный, схоластический спор. Можно максимум говорить об интуитивной приверженности, симпатии к той или иной теории. Безусловно, приведенный обзор не совершенен, часть вопросов опущена или упущена, часть изложена субъективно, но это частично объясняется отсутствием обоснованной методологии, какие вопросы заслуживают обсуждения, а какие второстепенны для проблемы сознания. Правильно будет использовать данный обзор совместно с другими, в частности с [6, 18, 131]. Однако один вопрос в качестве дискуссии есть смысл обсудить. Это вопрос, а как распознать сознание в ТС?

Вопрос не праздный. Его уже анализировал в свое время известный философ Д. Сёрл, автор мысленного эксперимента “Китайская комната” [134]. Он справедливо отметил, что наука никогда не подойдет к онтологической редукции сознания, к его прямому объективному наблюдению, т.к. это, фактически, приведет к элиминации (уничтожению) субъективного. Онтология сознания – это онтология от первого лица, поэтому непосредственно к сознанию неприменима объективистская модель научного наблюдения с позиции третьего лица. А это значит, что наблюдать сознание можно только по внешним косвенным проявлениям, а не напрямую. Например, по поведению. Ровно так, как мы наблюдаем его у животных и себе подобных.

Первое и наиболее важное при этом – наблюдение должно быть длительным. Одного беглого взгляда на лежащего с закрытыми глазами человека, недостаточно, чтобы понять, потерял он сознание, пьян, или просто прикрыл глаза и лежит в задумчивости. Более того, любой актер средней руки может так изобразить потерю сознания, психическое расстройство, сознание, замутненное алкоголем, и т.д., что и не отличить. Поэтому быстро при наблю-

дении определить, есть в системе сознание, или нет – не всегда возможно. А вот сама способность системы играть, шутить, обманывать – признак осознанного поведения. Осознанное поведение – оно вариативно и не обязательно строго логично. Оно подвержено личностным смыслам, целям, эмоциям, настроению. Оно многогранно и направлено на удовлетворение потребностей в еде, в общении, в самореализации самой особи и(или) ее окружения (семьи и т.д.). Одним словом, оно субъективно мотивировано. Скорее всего, такое поведение просто невозможно без сознания. Оно и будет критерием наличия сознания в ТС. Будет ли такое сознание искусственным (ИС), или в правильно сконструированной искусственной ТС оно будет возникать естественным путем, также, как и в раннем онтогенезе у млекопитающих (а, возможно, начиная и с позднего эмбриогенеза), – это уже вопрос выбора терминологии. Более логичным представляется такой эмерджентный процесс называть естественным.

Если еще раз взглянуть на собранный материал, то не видно никаких принципиальных ограничений, кроме [131], почему нельзя создать ТС, система управления которой будет функционировать на изложенном выше нейрогуморальном принципе управления и в которой по мере обучения на указанных выше принципах внутри самой системы управления сформируется самоосознанное “я”. Возможно, для этого нужны специальные нейропроцессоры, а не привычные компьютеры, но это уже детали. Основные необходимы принципы для этого должны быть соблюдены такие (минимальный необходимый набор):

1. Построение системы управления в ТС должно быть в плане конструкции аналогично нейроэндокринной системе ЖС. Целенаправленная доставка точечных сигналов и массовая рассылка сигналов группам структурных и функциональных элементов. Формирование совокупного рефлекторного ответа.
2. Основным регулирующим механизмом, приводящим к появлению сознания, должен быть рефлекторный механизм минимизации энергетических затрат, возбуждений и раздражений в системе, или какой-то аналогичный.
3. Входными внешними и внутренними сигналами для ТС должны быть большие массивы временных последовательностей сигналов, закономерно меняющихся в зависимости от

особенностей внешней и внутренней ситуации. Случайно меняющиеся сигналы не приводят к формированию условных рефлексов и устойчивого набора концептов (мир должен быть предсказуем хотя бы на коротких промежутках времени).

4. Система должна быть автономной и действовать в переменной внешней среде в режиме субъективной многозадачности, формируя за счет рефлекторного механизма базовые понятийные концепты, единые и пригодные для решения любых личностных задач, как у животного (поиск пищи, избегание опасности, рождение потомства). Концепты должны быть едиными и универсальными для разных задач. Это принципиально важно. Разные системы концептов не реализуемы, скорее всего, в единой системе управления в режиме с сознанием, либо это будет подобие расщепленного сознания.

Заключение

В работе предпринята попытка сделать обзор, провести анализ и сформулировать исходные, базовые положения и подходы для последующего создания естественнонаучной теории сознания в приложении к задаче разработки элементов ИС для интеллектуальных ТС. Если рассматривать сознание как режим управления в системе, использующий сформулированные в обзоре принципы работы, то на вскидку не видно явных ограничений, почему такой режим не может быть реализован в специально разработанной для этого ТС.

Вместе с тем, если допустить возможность создания таких ТС с сознанием уровня сознания у человека или животного, возникает очень сложный аспект безопасности и морально-юридический аспект, которые, видимо, кардинально повлияют на всю цивилизацию в самое ближайшее время. Во-первых, не исключено, что это будет система, намного превосходящая человека и всех известных животных по своим возможностям. Сознание, как уже указывалось, очень энергозатратно. ЖС с её принципом получения энергии с едой, водой, теплом и воздухом очень трудно выделить много ресурсов на работу мозга. Поэтому у нас внутри есть ограничители: узкое внимание в каждый момент времени лишь на небольшой части происходящего, постепенная утомляемость с замедлением восприятия и т.д. Мы постоянно вы-

нуждены гасить возбуждения НС внутри себя, а также периодически “отключаться” – спать. А современные ТС могут и не иметь таких ограничений. Теоретически ИС можно даже запитать энергией от персональной атомной электростанции. Какой широты кругозора, неутомимости и одновременного охвата проблем может быть тогда такое сознание – дух захватывает. А с учетом того, что такие системы встраиваются сегодня в системы вооружений, страна, первая получившая такую технологию, получит неоспоримое преимущество на поле боя, купировать которое у противника может не хватить сил.

И вторая проблема – проблема взаимодействия человека с такой системой. И это не будет проблема с роботами и системами ИИ, как ее описывают многие предсказатели – восстание роботов и пр. Это будет, как всегда, проблема с человеком, с его нравственностью и моралью. Ибо, если ТС с сознанием можно выключить, разобрать по винтикам и т.д. (убить), то почему нельзя это же проделать с аналогичной биологической системой? Где грань и в чем разница, если обе системы одинаково осознают и чувствуют себя во внешнем мире? Или станет уголовным деянием наносить ущерб любой ТС с сознанием? Это представляется абсурдным. Поэтому пострадают, скорее всего, системы биологические. Как решить эту проблему, у автора сегодня ответа нет.

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам своей лаборатории – биологу А. Ивлиевой и к.м.н. П. Плязковой, а также Т. Рогаткиной (специалисту по дошкольному воспитанию), за плодотворное обсуждение проблемы, замечания, дополнения и помощь при подготовке рукописи.

Список литературы

1. Лекторский В. А. Сознание. Новая философская энциклопедия. Ин-т философии РАН; Нац. обществ.-науч. Фонд. 2-е изд., испр. и доп. - М.: Мысль, 2010.
Lektorskiy VA. Consciousness. In: Institute of Philosophy of the Russian Academy of Sciences, National Society-Scientific Foundation. New Philosophical Encyclopedia. 2nd ed. Moscow: Mysl Publ.; 2010 (In Russ).

2. Пшенокова ИА. Основные методы и подходы к моделированию искусственного сознания. Известия КБНЦ РАН. 2022; 2: 72-81.
Pshenokova IA. Basic methods and approaches to modeling artificial consciousness. Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022; 2: 72-81 (In Russ).
3. Chalmers D. J. Facing up to the Problem of Consciousness. J Consciousness Studies. 1995; 2 (3).
4. Прист С. Теории сознания / Пер. с англ. А.Ф. Грязнова - М.: Идея-Пресс: Дом интеллектуал. кн., 2000.
Priest S. Theories of the mind. New York: Penguin Books; 1991.
5. Аллахвердов ВМ. Сознание как парадокс. Экспериментальная психология, т. 1. СПб.: Издательство ДНК; 2000.
Allahverdiv VM. Consciousness as a paradox. Experimental psychologic, V. 1. Saint-Petersburg: DNK Publ.; 2000 (In Russ).
6. Анохин КВ. Когнитом: в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания. Журнал высшей нервной деятельности. 2021; 71 (1): 39-71. <https://doi.org/10.31857/S0044467721010032>.
Anokhin KV. Cognitome: in search of fundamental neuroscience theory of consciousness. Journal of Higher Nervous Activity. 2021; 71 (1): 39-71 (In Russ). <https://doi.org/10.31857/S0044467721010032>.
7. Koch C., Massimini M., Boly M., Tononi G. Neural correlates of consciousness: progress and problems. Nature Reviews Neuroscience. 2016; 17 (5).
8. Nelson A.L. Artificial Life and Machine Consciousness. Fall Symposium Series. AAAI Technical Report FS-13-02. 2013.
9. Soliv C., Al-Khudhairy S.G., Chittka L. Bumble bees display cross-modal object recognition between visual and tactile senses. Science. 2020; 367.
10. Dehaene S., Lau H., Kouider S. What is consciousness, and could machines have it? // Science. 2017; 358.
11. Chella A., Manzotti R. Artificial Intelligence and Consciousness. Association for the Advancement of Artificial Intelligence. 2007. <https://www.aaai.org/Papers/Symposia/Fall/2007/FS-07-01/FS07-01-001.pdf>.
12. Wiedermann J., van Leuwen J. Finite State Machines with Feedback: An Architecture Supporting Minimal Machine Consciousness. In: Manea, F., Martin, B., Paulusma, D., Primiero, G. (eds) Computing with Foresight and Industry. CiE 2019. Lecture Notes in Computer Science; 2019; 11558. Springer, Cham.
13. Осипов ГС, Панов АН, Чудова НВ. Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание. Известия РАН. Теория и системы управления. 2014; (4): 49-62. <https://doi.org/10.7868/S000233881404012X>.
Osipov GS, Panov AN, Chudova NV. Behavior control as a function of consciousness. I. Picture of the world and goal setting. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems. 2014; (4): 49-62 (In Russ). <https://doi.org/10.7868/S000233881404012X>.
14. Сергеев СФ. К проблеме создания робототехнических систем с искусственным сознанием и действующей личностью. Робототехника и техническая кибернетика. 2019; 7 (4): 245-57.
Sergeev SF. On the problem of creating robotic systems with artificial consciousness and an acting personality. Robotics and technical cybernetics. 2019; 7 (4): 245-57 (In Russ).
15. Щербаков АЮ, Урядов АВ. Искусственное сознание: техническое задание в философской и естественнонаучной парадигме. Вестник современных цифровых технологий. 2023; (17): 4-12.
Shcherbakov AY, Uryadov AV. Artificial consciousness: technical task in the philosophical and natural scientific paradigm. Bulletin of modern digital technologies. 2023; (17): 4-12 (In Russ).
16. Об утверждении критериев определения принадлежности проектов к проектам в сфере искусственного интеллекта. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 29.06.2021 № 392 (Зарегистрирован 28.07.2021 № 64430).
On approval of criteria for determining whether projects are projects in the field of artificial intelligence. Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation of 2021 June 29. No.392.
17. Chalmers DJ. The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory. New York: Oxford University Press; 1996.
18. Рогаткин ДА, Куликов ДА, Ивлиева АЛ. Три взгляда на современные данные нейронаук в интересах интеллектуальной робототехники. Modeling of Artificial Intelligence. 2015;

- 6 (2): 98-136. <https://doi.org/10.13187/mai.2015.6.98>.
- Rogatkin DA, Kulikov DA, Ivlieva AL. Three perspectives on modern neuroscience data for intelligent robotics. *Modeling of Artificial Intelligence*. 2015; 6 (2): 98-136 (In Russ). <https://doi.org/10.13187/mai.2015.6.98>.
19. Аристотель. О душе. В кн.: Аристотель. Соч. в 4-х томах. Под ред. Асмуса В.Ф. Т. 1. М.: Мысль; 1976.
- Aristotle. About Soul. In: Aristotle. Works. Asmus VF, editor. Moscow. 1976 (In Russ).
20. Каньшева ОА. Учение Рене Декарта о душе и сознании. Вестник ВГУ. Серия: Философия. 2021; (3): 99-107.
- Kanysheva OA. Rene Descartes's Doctrine of the Soul and Consciousness. *Voronezh State University Bulletin. Series: Philosophy*. 2021; (3): 99-107 (In Russ).
21. Локк Д. Опыт о человеческом разуме. Избранные философские произведения: в 2-х т. Т.1. М.: Соцэкгиз, 1960.
- Locke J. An Essay concerning Human Understanding. London: Tho. Buffet, 1690.
22. Декарт Р. Сочинения в 2-х томах. Под ред. Соколова В.В. М. 1989.
- Descartes. Works. Sokolov VV, editor. Moscow. 1976 (In Russ).
23. Джеймс У. Психология. М.: Педагогика; 1991.
- James W. Psychology. Moscow: Pedagogy Publ.; 1991 (In Russ).
24. Cheselden W. An Account of some Observations made by a young Gentleman, who was born blind, or lost his Sight so early, that he had no Remembrance of ever having seen, and was couch'd between 13 and 14 Years of Age. *Philosophical Transactions: journal*. 1728; 35 (402): 447-50. <https://doi.org/10.1098/rstl.1727.0038>.
25. Лотман ЮМ. Семиосфера. СПб.: Искусство-СПБ; 2000.
- Lotman YM. Semiosphere. Saint-Petersburg. 2000.
26. Иванов ВЛ. Principium omnium primum: место принципа противоречия в порядке экспликации понятия сущего в науке онтологии Х. Вольфа. *EINAI: Проблемы философии и теологии*. 2012; 1 (1-2): 51-73.
- Ivanov VL. Principium omnium primum: the place of the principle of contradiction in the order of explication of the concept of being in the science of ontology of H. Wolff. *EINAI: Problems of Philosophy and Theology*. 2012; 1 (1-2): 51-73 (In Russ).
27. Зароченцев КД, Худяков АИ. Экспериментальная психология: учебник. М.: Проспект; 2005.
- Zarochencev KD, Hudyakov AI. *Experimental Psychology: Textbook*. Moscow: Prospect Publ.; 2005 (In Russ).
28. Burachas GT, Grigsby S, Ferguson W, Krichma J, Rao R. Metacognitive Mechanisms for Novelty Processing: Lessons for AI. Association for the Advancement of Artificial Intelligence [Internet]. 2022 [cited 2024 Nov 25]. Available from: https://sites.socsci.uci.edu/~jkrichma/burachas_SSS-22_paper_47.pdf.
29. Хокинс Дж, Блейкли С. Об интеллекте. М.: ООО "И.Д. Вильямс"; 2007.
- Hawkins J., Blakeslee S. On Intelligence: How a New Understanding of the Brain will Lead to the Creation of Truly Intelligent Machines. New York City: Times Books; 2004.
30. Harte R. Hypnotism and the doctors. London: Fowler & Wells Company; 1902.
31. Шерток Л, Соссюр Р. Рождение психоаналитика. От Месмера до Фрейда. М.: Прогресс; 1991.
- Chertok L., Saussure R. The therapeutic revolution: From Mesmer to Freud. New York: Brunner/Mazel; 1979.
32. Корень ЕВ, Куприянова ТА, Пономарева КИ, Кузьмина ЕА. Диссоциативное расстройство идентичности: психологический конструкт или клиническая реальность (наблюдение из практики детской психиатрии). Вопросы психического здоровья детей и подростков. 2020; 20 (3): 58-64.
- Koren' EV, Kupriyanova TA, Ponomareva KI, Kuz'mina EA. Dissociative identity disorder: psychological construct or clinical reality (observation from the practice of child psychiatry). *Issues in mental health of children and adolescents*. 2020;20(3):58-64 (In Russ).
33. Rieber RW. The duality of the brain and the multiplicity of minds: can you have it both ways? *History of Psychiatry*. 2002; 13 (49 Pt 1): 3-17. <https://doi.org/10.1177/0957154x0201304901>.
34. Труфанова ЕО. Расщепленное сознание как междисциплинарная проблема. *Философия науки*. 2014; 19 (1): 183-99.
- Trufanova EO. Split consciousness as an interdisciplinary problem. *Philosophy of Science*. 2014; 19 (1): 183-99 (In Russ).

35. Лейбниц ГВ. Сочинения в четырех томах. Том 1. М.: "Мысль"; 1982.
Leibniz GV. Works. V.1. Sokolov VV, editor. Moscow. 1982 (In Russ).
36. Грин Н, Стаут У, Тейлор Д. Биология. Под ред. Сонера Р. М.: Мир; 1996.
Green NPO, Stout GW, Taylor DJ. Biological Science. Cambridge: Cambridge University Press; 1997.
37. Николлс Дж, Мартин А, Валлас Б, Фукс П. От нейрона к мозгу. М.: ЛКИ; 2008.
Nicholls JG, Martin AR, Wallace BG, Fuchs PA. From Neuron to Brain. 4th ed. Moscow: LKI; 2008. (In Russ.).
38. Козлов ВИ, Цехмистренко ТА. Анатомия нервной системы. Учебное пособие для студентов. М.: Мир; 2008.
Kozlov VI, Cekhmistrenko TA. Anatomy of the Nervous System. A Textbook for Students. Moscow. 2008.
39. Рамуну Сажал S. The Croonian lecture: La fine structure des centres nerveux. Proceedings of the Royal Society of London. 1894; 55: 444-68. <https://doi.org/10.1098/rspl.1894.0063>.
40. Гайтон АК, Холл Дж. Медицинская физиология. Под ред. Кобрина В.И. М.: Логосфера; 2008.
Guyton AC, Hall JE. Textbook of Medical Physiology. New York: Elsevier; 2006.
41. Блум Ф, Лейзерсон А, Хофстедтер Л. Мозг, разум и поведение. М.: Мир; 1988.
Bloom FE, Lazerson A., Hofstadter L. Brain, Mind, and Behavior. 2nd ed. New York: W. H. Freeman and Company; 1988.
42. Роуз С. Устройство памяти: от молекул к сознанию. М.: Мир; 1995.
Rose S. The Making of Memory: From Molecules to Mind. New York: Bantam Books; 1992.
43. Шарова ИХ. Зоология беспозвоночных. М.: Владос; 2002.
Sharova IH. Invertebrate zoology. Moscow: Vldos; 2002 (In Russ.).
44. Зоология беспозвоночных. Т.1: От простейших до моллюсков до артропод. Под ред. Вестхайде В., Ригера Р. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2008.
Spezielle Zoologie. Teil 1: Einzeller und Wirbellose Tiere. Westheide W, Rieger R, editors. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag; 1996 (In German).
45. Ичас М. О природе живого: механизмы и смысл. М.: Мир; 1994.
Yčas M. About the nature of living things: mechanisms and meaning. Moscow. 1994 (In Russ.).
46. Ходжаян АБ, Федоренко НН, Краснова ЛА. О некоторых морфофункциональных преобразованиях нервной, эндокринной систем и органов чувств в филогенезе беспозвоночных и позвоночных. Учебно-методическое пособие для студентов 1-го курса СтГМА. Ставрополь: СтГМА; 2008.
Hodzhayan AB, Fedorenko NN, Krasnova LA. On some morphofunctional transformations of the nervous, endocrine systems and sense organs in the phylogenesis of invertebrates and vertebrates. A teaching aid for first-year students of Stavropol State Medical Academy. Stavropol. 2008 (In Russ.).
47. Lewis JE, Kristan WB. A neuronal network for computing population vectors in the leech. Nature. 1998; 391: 76-9. <https://doi.org/10.1038/34172>.
48. Головин АА, Гладков ЮА. Механический аналог гусеницы. В кн.: Проблемы механики современных машин: Материалы международной конференции, Т.1. Улан-Удэ: ВСГТУ; 2000.
Golovin AA, Gladkov YA. Mechanical analogue of a caterpillar. In: Problems of mechanics of modern machines: Proceedings of the international conference, Vol. 1. Ulan-Ude: VSGTU; 2000 (In Russ.).
49. Roberts A, Bush BMH. Coxal Muscle Receptors in the Crab: The Receptor Current and some Properties of the Receptor Nerve Fibres. Journal of Experimental Biology. 1971; 54: 515-24. <https://doi.org/10.1242/jeb.54.2.515>.
50. Хофштэттер КВ. Креветки и раки в аквариуме. М.: Аквариум; 2008.
Hofstatter K.V. Shrimps and crayfish in the aquarium. Moscow. 2008 (In Russ.).
51. Белоусов ЛВ. Основы общей эмбриологии. М.: МГУ; 2005.
Belousov LV. Fundamentals of general embryology. Moscow: Moscow State University Publ.; 2005 (In Russ.).
52. Обухов ДК. Современные представления о развитии, структуре и эволюции неокортекса конечного мозга млекопитающих животных и человека. В кн.: Вопросы морфологии XXI века. Вып. 1. Под ред. Смольянова Ю. СПб.: ДЕАН; 2008.
Obuhov DK. Modern concepts of development, structure and evolution of the neocortex of the

- end brain of mammals and humans. In: Morphology issues of the 21st century. Vol. 1. Ed. by Smolyanov Yu. Saint-Petersburg: DEAN; 2008 (In Russ.).
53. Обухов ДК. Эволюционная морфология конечного мозга позвоночных. СПб: Знак; 1999.
Obuhov DK. Evolutionary morphology of the vertebrate telencephalon. Saint-Petersburg. 1999 (In Russ.).
54. Карменян АИ. Эволюция конечного мозга позвоночных. Л.: Наука; 1976.
Karmenyan AI. Evolution of the vertebrate telencephalon. Saint-Petersburg. 1976 (In Russ.).
55. Зорина ЗА. Ученые в поисках разума. Троицкий вариант. 2013; 11 (130): 10.
Zorina ZA. Scientists in search of intelligence. Troitsky Variant. 2013; 11 (130): 10 (In Russ.).
56. Резник ЛР. Мысли без слов. Химия и жизнь. 2014; (4): 41-5.
Reznik LR. Thoughts without words. Chemistry and life. 2014; (4): 41-5 (In Russ.).
57. Жуков Д. Стой, кто ведёт? Биология поведения человека и других зверей. М.: Альпина нон-фикшн; 2013.
Zhukov D. Wait, who's leading? Biology of human and other animal behavior. Moscow. 2013 (In Russ.).
58. Weir AAS, Chappell J, Kacelnik A. Shaping of Hooks in New Caledonian Crows. Science. 2002; 297 (5583): 981. <https://doi.org/10.1126/science.1073433>.
59. Hunt GR. Manufacture and use of hook-tools by New Caledonian crows. Nature. 1996; 379: 249-51. <https://doi.org/10.1038/379249a0>.
60. Крушинский ЛВ. Биологические основы рассудочной деятельности: Эволюционные и физиолого-генетические аспекты поведения. М.: Издательство МГУ; 1986. 270 с.
Krushinskij LV. Biological foundations of rational activity: Evolutionary and physiological-genetic aspects of behavior. Moscow. 1986 (In Russ.).
61. McComb K, Moss C, Durant SM, Baker L, Sayialel S. Matriarchs as repositories of social knowledge in African elephants. Science. 2001; 292: 491-4. <https://doi.org/10.1126/science.1057895>.
62. Черников АМ, Клещенко ЕВ. Конрад Лоренц о животных и людях. Химия и жизнь. 2013; (11): 40-3.
Chernikov AM, Kleshchenko EV. Konrad Lorenz on Animals and People. Chemistry and Life. 2013; (11): 40-3 (In Russ.).
63. Gallup GG. Chimpanzees: Self-Recognition. Science. 1970; 167: 86-7. <https://doi.org/10.1126/science.167.3914.86>.
64. Талько АН. Справочник ветеринара. Руководство по оказанию неотложной помощи животным. СПб.: Питер; 2012.
Tal'ko AN. Veterinarian's Handbook. Guide to providing emergency care to animals. St. Petersburg. 2012 (In Russ.).
65. The Cambridge Declaration on Consciousness [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fcmconference.org/img/CambridgeDeclarationOnConsciousness.pdf>, свободный. – (дата обращения: 01.03.2022). The Cambridge Declaration on Consciousness [Internet] [cited 2022 March 1] Available from: <https://fcmconference.org/img/CambridgeDeclarationOnConsciousness.pdf>.
66. Баготская МС., Смирнова АА, Зорина ЗА. Врановые способны понимать логическую структуру задач на подтягивание закрепленной на нити приманки. Журнал высшей нервной деятельности. 2010; 60 (5): 543-51.
Bagotskaya MS., Smirnova AA, Zorina ZA. Corvids are able to understand the logical structure of tasks involving pulling a bait attached to a thread. Journal of Higher Nervous Activity. 2010 ;60 (5): 543-51 (In Russ.).
67. Зорина З.А., Полетаева И.И. Зоопсихология. Элементарное мышление животных. Учебное пособие. М.: Аспект Пресс; 2010. 320 с.
Zorina Z.A., Poletaeva I.I. Zoopsychology. Elementary thinking of animals. A study guide. Moscow. 2010.
68. Камкин АГ, Каменский АА. Фундаментальная и клиническая физиология. М.: Академия; 2004.
Kamkin AG, Kamenskij AA. Fundamental and clinical physiology Moscow. 2004 (In Russ.).
69. Шкурко АВ. Человеческий мозг и социальное поведение. Химия и жизнь. 2013; 11: 36-9.
Shkurko AV. Human brain and social behavior. Chemistry and Life. 2013; 11: 36-9 (In Russ.).
70. Xu Q, Wang L. Recent advances in the artificial endocrine system. Journal of Zhejiang University Science C. 2011; 12 (3): 171-83. <https://doi.org/10.1631/jzus.C1000044>.
71. Corbani M, Marir R, Trueba M, Chafai M, Vincent A, Borie AM, Desarménien MG, Ueta Y,

- Tomboly C, Olma A, Manning M, Gilles G. Neuroanatomical distribution and function of the vasopressin V1B receptor in the rat brain deciphered using specific fluorescent ligands. *General and Comparative Endocrinology*. 2018; 258: 15-32. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2017.10.011>.
72. Carter CS. The Oxytocin-Vasopressin Pathway in the Context of Love and Fear. *Front. Endocrinol*. 2017; 8: 356. <https://doi.org/10.3389/fendo.2017.00356>.
73. Kelly AM, Ong JY, Witmer RA, Ophir AG. Paternal deprivation impairs social behavior putatively via epigenetic modification to lateral septum vasopressin receptor. *Sci. Adv*. 2020; 6: eabb9116. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb9116>.
74. Полуэктов МГ. Сон и когнитивные функции. Эффективная фармакотерапия. 2018; (20): 20-7.
Poluektov MG. Sleep and cognitive functions. *Effective pharmacotherapy*. 2018; (20): 20-7 (In Russ).
75. Полуэктов МГ, Преображенская ИС. Нарушения сна и когнитивных функций, подходы к терапии. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2014; (1): 68-73. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-1-68-73>.
Poluektov MG, Preobrazhenskaya IS. Sleep and cognitive disorders, approaches to therapy. *Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics*. 2014; (1): 68-73 (In Russ). <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-1-68-73>.
76. Zisapel N. New perspectives on the role of melatonin in human sleep, circadian rhythms and their regulation. *Brit J Pharmacol*. 2018; 175: 3190-9. <https://doi.org/10.1111/bph.14116>.
77. Jilg A, Bechstein P, Saade A, Dick M, Li TX, Tosini G, Rami A, Zemmar A, Stehle JH. Melatonin modulates daytime-dependent synaptic plasticity and learning efficiency. *J Pineal Res*. 2019; 66 (3): e12553. <https://doi.org/10.1111/jpi.12553>.
78. Хомская ЕД. *Нейропсихология*. 4-е изд. СПб.: Питер; 2005.
Homskaya ED. *Neuropsychology*. 4th ed. Saint-Petersburg. 2005 (In Russ.).
79. Block N. On a confusion about a function of consciousness. *Behav. Brain Sci*. 1995; 18: 227-47. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00038188>.
80. Grinevich V, Knobloch-Bollmann HS, Eliava M, Busnelli M, Chini B. Assembling the Puzzle: Pathways of Oxytocin Signaling in the Brain. *Biological Psychiatry*. 2016; 79: 155-64. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2015.04.013>.
81. Бондарева ВМ, Чистякова ОВ. Инсулин и инсулинрецепторная сигнальная система мозга. *Нейрохимия*. 2007; 24 (1): 8-20.
Bondareva VM, Chistyakova OV. Insulin and the insulin receptor signaling system of the brain. *Neurochemistry*. 2007; 24 (1): 8-20 (In Russ).
82. Ghasemi R, Haeri A, Dargahi L, Mohamed Z, Ahmadiani A. Insulin in the Brain: Sources, Localization and Functions. *Molecular Neurobiology*. 2013; 47: 145-71. <https://doi.org/10.1007/s12035-012-8339-9>.
83. Штаненко НИ, Каплиева МП. Физиология эндокринной системы. Гомель: ГомГМУ; 2016. 140 с.
Shtanenko NI, Kaplieva MP. *Physiology of the endocrine system*. Gomel. 2016 (In Russ).
84. Poher AL, Tschupp MH, Myller TD. Ghrelin regulation of glucose metabolism. *Peptides*. 2018; 100: 236-42. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2017.12.015>.
85. Симонов ПВ. Лекции о работе головного мозга. Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности. М.: Институт психологии РАН; 1998.
Simonov PV. *Lectures on the work of the brain. Need-information theory of higher nervous activity*. Moscow: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences; 1998 (In Russ.).
86. Фоминых ИБ. Эмоции как аппарат оценок поведения интеллектуальных систем. В кн.: Труды 10-й Национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ – 2006; 25-28 сентября 2006 года; Обнинск, Россия. Под ред. Осипова ГС. Т.2. М.: Физматлит; 2006.
Fominyh IB. Emotions as an Apparatus for Assessing the Behavior of Intelligent Systems. In: *Proceedings of the 10th National Conference on Artificial Intelligence KII-2006; 2006 September 25-28; Obninsk, Russia*. Ed. Osipov GS. Vol. 2. Moscow. 2006 (In Russ.).
87. Анохин ПК. Эмоции. В кн.: Большая медицинская энциклопедия. Т. 35. М.: Медгиз; 1964.
Anohin PK. Emotions. In: *Great Medical Encyclopedia*. Vol. 35. Moscow. 1964 (In Russ.).

88. Ortony A, Clore GL, Collins A. The cognitive structure of emotion. Cambridge: Cambridge University Press; 1988.
89. Иванов ВД. Феромоны насекомых. Соросовский образовательный журнал. 1998; (6): 29-34.
Ivanov VD. Insect pheromones. Soros educational journal. 1998; (6): 29-34.
90. Jessen NA, Munk AS, Lundgaard I, Nedergaard M. The Glymphatic System: A Beginner's Guide. *Neurochem Res.* 2015; 40 (12): 2583-99. <https://doi.org/10.1007/s11064-015-1581-6>.
91. Сахаров ДА. Биологический субстрат генерации поведенческих актов. Журнал общей биологии. 2012; 73 (5): 324-48.
Saharov DA. Biological substrate of generation of behavioral acts. *Journal of General Biology.* 2012; 73 (5): 324-48 (In Russ).
92. Базенков НИ, Воронцов ДД, Дьяконова ВЕ, Жилиякова ЛЮ, Захаров ИС, Кузнецов ОП, Куливец СГ, Сахаров ДА. Дискретное моделирование межнейронных взаимодействий в мультитрансмиттерных сетях. Искусственный интеллект и принятие решений. 2017 (2): 55-73.
Bazhenkov NI, Vorontsov DD, Dyakonova VE, Zhilyakova LYu, Zakharov IS, Kuznetsov OP, Kulivets SG, Sakharov DA. Discrete modeling of interneuronal interactions in multitransmitter networks. *Artificial Intelligence and Decision Making.* 2017 (2): 55-73 (In Russ).
93. Сеченов ИМ. Рефлексы головного мозга. 1866. Переиздано в 2015г. М.: АСТ; 2015.
Sechenov IM. Reflexes of the brain. 1866. Republished in 2015. Moscow. 2015 (In Russ).
94. Бородинова АА, Зюзина АБ, Балабан ПМ. Роль атипичных протеинкиназ в поддержании долговременной памяти и синаптической пластичности. Биохимия. 2017; 82 (3): 372-88.
Borodinova AA, Zuzina AB, Balaban PM. Role of atypical protein kinases in maintenance of long-term memory and synaptic plasticity. *Biochemistry.* 2017; 82 (3): 243-56. (In Russ.).
95. Williamson MR, Kwon W, Woo J. Learning-associated astrocyte ensembles regulate memory recall. *Nature.* 2024. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08170-w>.
96. Квинтен Д. Болезни декоративных птиц. М.: Аквариум; 2002.
Quinten D. Diseases of decorative birds. Moscow. 2002 (In Russ.).
97. Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. *Lancet.* 1974; 2 (7872): 81-4. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(74\)91639-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(74)91639-0).
98. Lagercrantz H, Changeux JP. Basic consciousness of the newborn. *Seminars in Perinatology.* WB Saunders, 2010; 34 (3): 201-6.
99. Бехтерев ВМ. Объективная психология. Под ред. Кольцовой В.А. М.: Наука; 1991.
Bekhterev VM. Objective psychology. Kol'cova V.A., editor. Moscow. 1991 (In Russ).
100. Сергеева КМ. Педиатрия: учебник. СПб.: Питер; 2007. 544 с.
Sergeeva KM. Pediatrics: the textbook. Saint-Petersburg. 2007.
101. Ежова НВ, Русакова ЕМ, Кащеева ГИ. Педиатрия: учебник. 8-е изд., испр. Минск: Вышэйшая школа; 2014. 639 с.
Ezhova NV, Rusakova EM, Kashcheeva GI. Pediatrics: the textbook. 8th ed. Minsk. 2014.
102. Tronick E, Beeghly M. Infants' meaning-making and the development of mental health problems. *American Psychologist.* 2011; 66 (2): 107-19. <https://doi.org/10.1037/a0021631>.
103. Кушнир НЯ. Плач как показатель психического развития младенца в первые месяцы жизни. Вопросы психологии. 1992; 6: 17-25.
Kushnir NY. Crying as an indicator of the mental development of an infant in the first months of life. *Questions of Psychology.* 1992; 6: 17-25 (In Russ).
104. ChuChu L, Gudowska A, Rutkowska J. What do zebra finches learn besides singing? Systematic mapping of the literature and presentation of an efficient associative learning test. *Animal Cognition.* 2023; 26:1489-503. <https://doi.org/10.1007/s10071-023-01795-w>.
105. Zefferman M. R. Mothers teach daughters because daughters teach granddaughters: the evolution of sex-biased transmission. *Behavioral Ecology.* 2016; 27 (4): 1172-81. <https://doi.org/10.1093/beheco/arw022>.
106. Финн ВК. Искусственный интеллект. Методология, применение, философия. Изд. 2-е. М.: Ленанд; 2021.
Finn VK. Artificial Intelligence. Methodology, Application, Philosophy. 2nd ed. Moscow. 2021 (In Russ).
107. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep Learning. *Nature.* 2015; 521: 436-44. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.

108. Стефанюк ВЛ, Жожикашвили АВ. Сотрудничающий компьютер. М.: Наука; 2007. Stefanyuk VL, Zhozhikashvili AV. Collaborating computer. Moscow. 2007 (In Russ).
109. Сидорова НП, Сидоров ЮЮ. Искусственный интеллект в технологии облачных вычислений. Информационно-технологический вестник. 2018; 3 (17): 108-15. Sidorova NP, Sidorov Yu. Service-oriented analysis and design of corporate information systems. Information Technology Bulletin. 2018; 3 (17): 108-15 (In Russ).
110. Пospelов ДА. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М.: Радио и связь; 1989. Pospelov DA. Modeling of Reasoning. An Experiment in Analyzing Thought Acts. Moscow. 1989 (In Russ).
111. Осипов ГС, Панов АИ, Чудова НВ. Управление поведением как функция сознания. Ч.2. Синтез плана поведения. Известия РАН. Теория и системы управления. 2015; (6): 47-61. Osipov GS, Panov AI, Chudova NV. Behavior control as a function of consciousness. Part 2. Synthesis of the behavior plan. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 2015; (6): 47-61 (In Russ).
112. Гаврилова ТА, Кудрявцев ДВ, Муромцев ДИ. Инженерия знаний. Модели и методы. Санкт-Петербург: Лань; 2016. Gavrilova TA, Kudryavcev DV, Muromcev DI. Knowledge Engineering. Models and Methods. Saint Petersburg. 2016 (In Russ).
113. Николаев ИС, Митренина ОВ, Ландо ТМ. Прикладная и компьютерная лингвистика. М.: Издательская группа URSS; 2017. Nikolaev IS, Mitrenina OV, Lando TM. Applied and computational linguistics. Moscow. 2017 (In Russ).
114. Пospelов Д. Фантазия или наука: на пути к искусственному интеллекту. М.: Наука; 1982. Pospelov DA. Fantasy or Science: Towards Artificial Intelligence. Moscow. 1982 (In Russ).
115. Turing AM. Computing machinery and intelligence. Mind. 1950; 59: 433-60. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.
116. Осипов ГС, Панов АИ, Чудова НВ, Кузнецова ЮМ. Знаковая картина мира субъекта поведения. М.: Физматлит; 2018. Osipov GS, Panov AI, Chudova NV, Kuznetsova YM. The symbolic picture of the world of the subject of behavior. Moscow. 2018 (In Russ).
117. Мах Э. Механика. Историко-критический образ ее развития. М.: Ленанд; 2023. 456 с. Mah E. Mechanics. Historical and critical image of its development. Moscow. 2023.
118. Есперсен О. Философия грамматики. Под ред. Ильиша БА. М: Иностр. Лит.; 1958. Jespersen O. Philosophy of grammar. Il'ish BA, editor. Moscow. 1958 (In Russ.)
119. Апресян ЮД. Исследования по семантике и лексикографии. Т.1: Парадигмика. М.: Языки славянских культур; 2009. Apresyan YD. Research in Semantics and Lexicography. V.1: Paradigmics. Moscow: Languages of Slavic Cultures; 2009 (In Russ.).
120. Худяков АА. Понятийные категории как объект лингвистического исследования. В кн.: Аспекты лингвистических и методических исследований. Архангельск: ПГУ им. М.В. Ломоносова; 1999. Hudyakov AA. Conceptual categories as an object of linguistic research. In the book: Aspects of linguistic and methodological research. Arkhangelsk. 1999 (In Russ.).
121. Fodor J. The Mind Doesn't Work That Way: The Scope and Limits of Computational Psychology. Cambridge: MIT Press; 2001.
122. Косяков ЮБ. Мой мозг. Строение, принципы работы, моделирование. М.: Синтег; 2001. Kosyakov YB. My brain. Structure, principles of operation, modeling. Moscow. 2001 (In Russ.).
123. Лапаева ЛГ, Быченков ОА, Рогаткин ДА. Нейробиология, понятийные категории языка и элементарная модель мира робота. XV национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3-7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия). Труды конференции. В 3-х томах., Смоленск: Универсум; 2016. 2: 292-301. Lapaeva LG, Bychenkov OA, Rogatkin DA. Neurobiology, conceptual categories of language and elementary model of the robot world. In: Proceedings of the XV National Conference on Artificial Intelligence with International Participation; 2016 Oct 3-7; Smolensk, Russia. Smolensk. 2016. 2: 292-301 (In Russ).
124. Lakoff J. Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal About the

- Mind. – Chicago. University of Chicago Press, 1987.
125. Комарова ЗИ, Дedyухина АС. Методологические и методические основы изучения категории партитивности в современном языкознании. Вестник Пермского Университета. 2010; 2 (8): 35-41.
Komarova ZI, Dedyuhina AS. Methodological and methodological foundations of studying the category of partitivity in modern linguistics. Bulletin of Perm University. 2010; 2 (8): 35-41 (In Russ.).
126. Lewis C. Mind and the World Order: Outline of a Theory of Knowledge. Mineola: Dover Publications; 1991.
127. Block N. On a confusion about a function of consciousness. Behav. Brain Sci. 1995; 18: 227-47. <https://doi.org/110.1017/S0140525X00038188>.
128. Рогальский ЕС. Роль сетевых технологий в современном обществе. Исследования Наукограда. 2012; 2 (2): 43-9.
Rohalsky ES. The role of network technologies in modern society. Research of the Science City. 2012; 2 (2): 43-9 (In Russ).
129. Chella A, Manzotti R., editors. Artificial Consciousness. 2nd ed. Exeter: Imprint Academic. 2013.
130. Хомский Н. Где искусственный интеллект пошел не туда? [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/432846/>, свободный. - (дата обращения: 25.11.2024).
- Homskij N. Where did artificial intelligence go wrong? [Internet] 2018 [cited 2024 Nov 25]. Available from: <https://habr.com/ru/post/432846/> (In Russ).
131. Чайлахян ЛМ. Проблема индивидуального сознания. Успехи физических наук. 2009; 40 (2): 87-109.
Chajlahyan LM. The Problem of Individual Consciousness. Advances in Physical Sciences. 2009; 40 (2): 87-109 (In Russ).
132. Паламарчук ОФ. Сможет ли искусственный интеллект обладать... сознанием? Общество: философия, история, культура. 2022; (1): 28-35.
Palamarchuk OF. Will artificial intelligence be able to have... consciousness? Society: Philosophy, History, Culture. 2022; (1): 28-35 (In Russ).
133. Guskjolen, A., Cembrowski, M.S. Engram neurons: Encoding, consolidation, retrieval, and forgetting of memory. Mol Psychiatry 28, 3207-19 (2023).
134. Searle J. Minds, Brains and Programs. Behavioral and Brain Sciences. 1980; 3 (3): 417-57. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00005756>.