

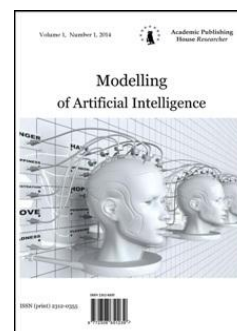
Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation
 Modeling of Artificial Intelligence
 Has been issued since 2014.
 ISSN: 2312-0355
 Vol. 6, Is. 2, pp. 98-136, 2015

DOI: 10.13187/mai.2015.6.98

www.ejournal11.com



UDC 007.5::681.5:[612.8+612.4]

Three Views on Current Data of Neuroscience for the Purposes of Intelligent Robotics

¹ Dmitry A. Rogatkin

² Dmitry A. Kulikov

³ Aleksandra L. Ivlieva

¹⁻³ State Budgetary Organization of Healthcare of Moscow Region “Moscow Regional Research and Clinical Institute “MONIKI” named after M.F. Vladimirovskiy”
 Russian Federation, 129110, Moscow, Shepkina str. 61/2

¹ Dr. (Technical Sciences), Head of Laboratory

E-mail: rogatkin@monikiweb.ru

² PhD (Medical Sciences), Scientific Secretary of MONIKI

³ Researcher, Biologist

Abstract

For the purposes of development of intelligent robots, we analyze the current scientific data of human and animal brains: about its phylogeny, anatomical and physiological characteristics as well as principles of its functioning. It is emphasized that not only the nervous, but also the endocrine system is the basis of control in living systems. Because the anatomy of the nervous and endocrine systems is the same for all mammals, the development of intellectual abilities of mammals is not directly linked to only the anatomy of these two systems. Most likely three aspects play the key roles in the development of the rational activity and consciousness: intraspecific symbolical communication, training and the ability of the individual to create its internal model of the World, as well as functionality of this model.

Keywords: robot, human brain, anatomy, phylogeny, rational activity, neuroendocrinology, neuron, reflex, neuronal system, endocrine system, ganglion, neocortex, principle of functioning.

Введение

Примерно с конца 1990-х годов во всем мире наблюдается взрывной интерес к робототехническим системам в связи с появлением на рынке малогабаритных и дешевых сервоприводов (обеспечение двигательной активности робота) и достаточно мощных по своим возможностям электронных микроконтроллеров, оснащенных, к тому же, хорошо развитым и профильным программным продуктом (мозг и управление робота), что в совокупности позволяет создавать уже сегодня весьма эффективные коммерческие машины [1-3]. Это отличает современный период развития робототехники от 1970–1990-х гг., когда теория и чаяния разработчиков несколько опережали возможности промышленности. В данном случае под роботами мы понимаем не только какие-либо колесные, крылатые и/или андроидные автономные машины, но и отдельные интеллектуальные программные и аппаратно-программные решения, разрабатываемые в рамках направления по искусственному интеллекту (ИИ) [4]. Однако, несмотря на очевидную востребованность

роботов и их успехи в области решения отдельных технических задач, использование роботов пока ограничено специальными сферами применения (военные роботы, промышленные роботы, поисковые для интернета и др.) и, главное, узким перечнем конкретных выполняемых функций. Часто такие роботы действуют только под контролем человека, не имея полной автономности. Поэтому актуальной и фундаментальной задачей в современной робототехнике является расширение автономности роботов путем развития их мыслительно-аналитических способностей. Существенную помощь в этом, очевидно, может оказать углубленный анализ и понимание принципов работы головного мозга (ГМ) человека и животных и центральной нервной системы (ЦНС) в целом. Сегодня такие проекты действительно находятся в центре внимания многих нейробиологов и нейрофизиологов по всему миру. Физиологические и когнитивные процессы в нейронных сетях активно пытаются изучать на больших компьютерных моделях мозга (Blue Brain Project, Spratt и др.) с симуляцией не только процессов передачи импульсов по нейронам, но и пространственной структуры укладки нейронов и их синапсов. Имеются сообщения о модели, содержащей 1,6 млрд. нейронов, что сопоставимо по числу нейронов и синапсов с кошачьим мозгом, и даже о модели из 100 млрд. нейронов [5]. Поэтому в интересах робототехники имеет смысл постоянно вести параллельное инженерно-техническое обобщение имеющихся базовых и появляющихся новых нейробиологических сведений о принципах работы ГМ и ЦНС человека и животных. Кроме того, периодически у представителей физико-математических и технических наук, имеющих дело с «умными» роботами и задачами ИИ, возникают споры по устройству и принципам работы ГМ, в основе которых, помимо всего прочего, лежит и недостаточное владение основами нейрофизиологии, нейробиологии и других нейронаук. Освоить их быстро, в нужных объемах и аспектах, далеко не так легко. Одна из причин – специфика описательного медико-биологического подхода и используемая терминология, которые здесь в целом не столь строги, как в физике и технике. Поэтому для техников, физиков и математиков многие фрагменты учебников и справочников по нейронаукам требуют «навигатора» («переводчика»). Данная статья призвана частично сыграть эту роль. Для физиков, математиков и других технических специалистов рассматриваются три важнейших аспекта проблемы: строение и функционирование ГМ как такового, включая некоторые сведения из этологии* по «разумному» поведению животных, нейроэндокринные механизмы управления в живых системах и особенности развития ЦНС в процессе эволюции (филогенез ЦНС). Не претендуя на всю полноту охвата столь сложной проблемы, статья, по задумке, должна позволить специалистам по роботам и ИИ более уверенно чувствовать себя в базовых вопросах строения и функционирования ЦНС, а также более внимательно присмотреться к ряду отдельных фактов и явлений, не всегда попадающих пока еще в их поле зрения.

Базовые сведения о нервной системе и взгляд с точки зрения эволюции

Управление в живых системах основано на явлении *раздражимости* [6]. Одноклеточные организмы реагируют на внешние раздражения всей клеткой в целом. У многоклеточных для этого появляются специальные нервные клетки – *нейроны*. Нейроны способны самостоятельно генерировать электрохимическое возбуждение – импульс, принимать таковой от других клеток (нейронов, рецепторов) и передавать его «по сети» другим нейронам или иным клеткам организма (мышечным, железистым). Сигнал-импульс передается по нейрону на большие расстояния (до нескольких метров) и вызывает возбуждение или торможение различных клеток организма, что позволяет координировать функционирование разных групп клеток в условиях их пространственной разобщенности [7].

Нейроны имеют эктодермальное происхождение и формируют *нервную систему* (НС) любого многоклеточного животного. НС принято разделять на *центральную* (ЦНС) и *периферическую* (ПНС). К ЦНС относят головной и спинной мозг позвоночных животных. Для передачи сигнала на расстояние нейроны проводят электрические импульсы вдоль своего длинного отростка – *аксона* (единичного нервного волокна), но от нейрона к нейрону сигналы передаются через специальные разделительные «контакты» на ветвящихся

* Этология (от греческого «этос» – поведение, нрав) – наука о поведении.

окончаниях аксона – *синапсы*, либо за счет непосредственно электрического потенциала (электрические синапсы), либо посредством выработки в ответ на электрический импульс особых химических веществ – *нейромедиаторов* (химические синапсы) [6]. Синапсы являются универсальным образованием НС и характерны как для беспозвоночных, так и для всех позвоночных животных, однако у высших позвоночных преобладают химические синапсы. Это важно запомнить. Они вырабатывают такие нейромедиаторы, как ацетилхолин, норадреналин и др., т.е. передача сигналов между нейронами – это *электрохимический процесс*. Такой же процесс происходит, если сигнал от нейрона передается конечному *эффектору* (исполнительному органу), скажем, мышце. В этом случае в нервно-мышечном синапсе секретруется ацетилхолин, вызывающий реакцию возбуждения мышечных волокон и их сокращение. Длительная работа синапса вызывает истощение запаса нейромедиатора, что приводит к «утомлению» синапса, вплоть до полной временной блокады передачи сигнала. Некоторые химические вещества (природные или фармпрепараты) могут также *ингибировать* (тормозить) процесс образования нейромедиаторов или переводить высвобождаемые нейромедиаторы в неактивную форму. Это составляет суть действия многих опиатов, например, новокаина и используется в медицине для анестезии.

Другие клетки НС – *нейроглия* (астроциты, олигодендроциты и пр.) по современным данным в «управленческой» работе участия не принимают. Они отвечают за поддержание «жизни» НС. Клетки нейроглии обеспечивают питание, дыхание и защиту для нейронов (являются основой гематоэнцефалического барьера), поддерживают химический состав среды, в которой находятся нейроны (например, спинномозговой жидкости – *ликвора*), участвуют в образовании слоя *миелина** вокруг аксонов, утилизируют «продукты жизнедеятельности» нейронов и т.п. [8].

В основе функционирования любой НС лежит *рефлекторная деятельность* [7]. Самыми примитивными по своей «конструкции» рефлекторными реакциями НС на внешний раздражитель у человека являются *спинальные рефлексы* [9]. Коленный рефлекс, рефлекс отдергивания руки от горячего или острого предмета – всё это спинальные рефлексы, которые существуют благодаря наличию специальных *нервных дуг*, проходящих через позвоночник, но не затрагивающих ГМ. Спинальный рефлекс представляет собой быструю, автоматическую, стереотипную реакцию, которая не находится под контролем сознания, а является произвольным актом, т.е. относится к *безусловным рефлексам*.

Простейшая рефлекторная дуга, характерная уже для кишечнополостных, включает один рецептор стимула, один нейрон передачи импульса и один эффектор (рис. 1а) [6]. 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, уже у червей и выше, между этими двумя нейронами в большинстве случаев появляются вставочные нейроны (рис. 1в), в основном представляющие собой структурные элементы организованных скоплений нервных клеток – *ганглиозных узлов* (или просто «ганглиев») [8]. Обычно вставочный нейрон образует в ганглии соединение (синапс) еще и с одним или несколькими «восходящими» нейронами, которые дополнительно посылают сигнал на следующий уровень «обработки», в другие ганглии высшего порядка, вплоть до головного мозга, и/или с одним или несколькими «нисходящими» нейронами, принимающими сигнал управления от ганглиев высшего порядка.

* Миелиновая оболочка аксонов подобно диэлектрику коаксиальных электрических кабелей улучшает электрические характеристики проводника – увеличивает скорость и уменьшает потери передачи сигнала на большие расстояния. Разрушение миелиновой оболочки – характерный признак многих нейродегенеративных заболеваний [9].

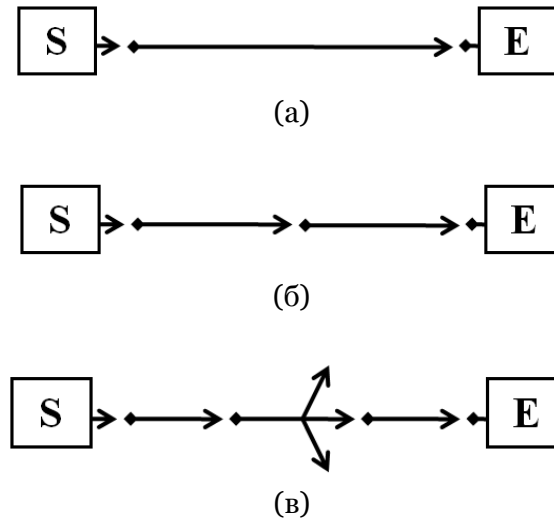


Рис. 1. Варианты схем рефлекторных дуг: S – рецепторная (сенсорная) клетка; E – эффектор. Места контакта стрелок обозначают синапсы нейронов.
 (а) – возможный вариант в диффузной НС;
 (б) – моносинаптическая рефлекторная дуга;
 (в) – полисинаптическая рефлекторная дуга

В начале XX века великий русский физиолог И. Павлов открыл у животных существование и более сложных *условных* рефлексов, где уже, как правило, задействуется кора ГМ [10]. Главная особенность условных рефлексов – приобретенность, т.е. формирование на основе жизненного опыта особи. Путь прохождения нервных импульсов в этом случае сильно усложняется, усложняется сенсорное восприятие и интегральная оценка ситуации, т.к. привлекается для анализа уже целая совокупность зрительных, слуховых, обонятельных и других стимулов, а для хранения информации используется память. Однако базовый принцип рефлекторного ответа – стереотипный подготавливающий и/или охраняющий ответ – при этом остается неизменным. Глубокой аналитической работы ГМ для выработки большинства условных рефлексов тоже не требуется [9].

Как и все части живого, НС в ходе эволюции развивалась от простого к сложному. Простейший тип НС – *диффузная* НС (рис. 2). Она свойственна кишечнорастворным (пример: медузы, полипы*, в т.ч. пресноводные гидры), и некоторым плоским червям [6, 11, 12]. Диффузная НС состоит из отдельных нейронов, соединенных в достаточно случайную, рассеянную нейронную сеть, так 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 [13]. Они обладают лишь рефлекторной способностью однообразно передвигаться, питаться, размножаться, а также быстро и унифицировано реагировать на внешний 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. Нервный механизм реакции – простейшая двухзвенная рефлекторная дуга [11].

* Типичный жизненный цикл кишечнорастворных содержит три сменяющие друг друга формы: полип, медуза и личинка (планула) [12]. Главная задача медузоидной стадии – расселение. Поэтому, хотя план строения тела у медузы и полипа один и тот же, медуза «снабжена» рядом приспособлений, необходимых для активного образа жизни. В частности, у медуз появляется кольцо однотипных нервных ганглиев по краю купола медузы – главная часть НС, управляющая всеми реакциями медузы. Диффузная НС, как у полипа, также здесь присутствует, и выделенного одного управляющего головного ганглия пока еще нет.



Рис. 2. Пример диффузной НС у полипа

На более высокой степени развития, уже у кольчатых червей (пример – дождевой червь), появляется *узловой тип* НС с развитыми ганглиями, имеющими разное иерархическое положение в структуре и функционировании НС (рис. 3-5). Образование ганглиозных узлов – один из ключевых этапов развития НС в ходе эволюции. Животные с узловой НС проявляют несравнимо более широкий спектр поведенческих реакций, часто способны к примитивному условно-рефлекторному обучению и обладают небольшой *ассоциативной** памятью [8]. В целом, анализ поведенческих реакций этих беспозвоночных весьма поучителен. Все их реакции, на самом деле, тоже высоко стереотипны, хотя и более разнообразны, и осуществляются при участии относительно небольшого числа нейронов, в то время как у млекопитающих подобные реакции формируются работой тысяч нейронов, т.е. здесь проявляется принцип минимального обеспечения функций НС. Такие типовые элементы поведения у беспозвоночных как кормление, позные рефлексы, суточные ритмы, реакции избегания достаточно подробно изучены [8, 12, 14-17]. Написано много о моллюске *Aplysia*, морской улитке *Hermissenda* и речных раках [11, 18, 19].

* Ассоциативной не в смысле зрительных или иных ассоциаций, а в смысле коллективной, скоординированной, т.е. *ассоциированной* работы нейронов в ганглиях. Используемые в физиологии ГМ термины «ассоциативные» зоны (функции), также как и «интегративные», можно для простоты понимать как высшие мыслительно-интеллектуальные зоны (функции).



Рис. 3. Пример простейшей узловой НС в виде «лестницы» у кольчатых червей

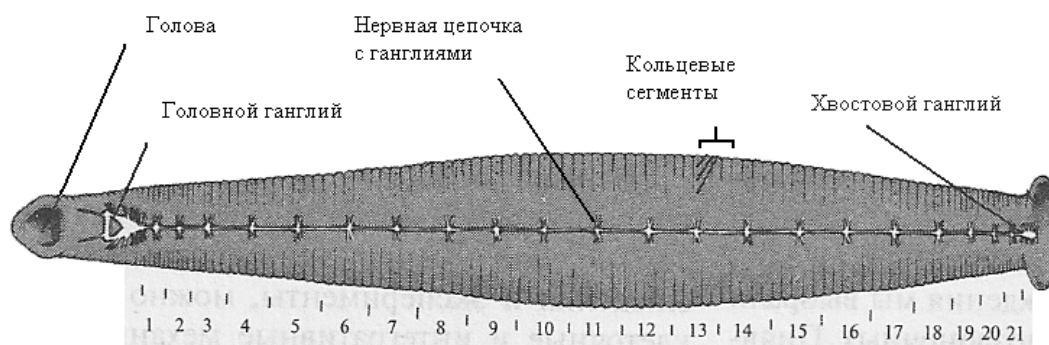


Рис. 4. Узловая НС пиявки (плоского червя)

Интересный пример животного с узловой НС – пиявка (она же – кольчатый червь) [8]. Тело и НС пиявки сегментированы и состоят из десятка стереотипных повторяющихся единиц (сегментов), которые имеют сходное строение (рис. 4). Каждый сегмент тела иннервируется однотипно отдельным сегментарным ганглием, а все ганглии имеют близкое (стереотипное) строение. На первых пяти сегментах головы пиявки имеются фоточувствительные клетки, позволяющие различать свет и тень. Строение ганглиев пиявки удивительно сходное от сегмента к сегменту и от особи к особи. Даже специализированные головной и хвостовой «мозг» пиявки состоят из слившихся однотипных ганглиев, в которых прослеживаются многие свойства, характерные для сегментарных ганглиев [16]. Каждый ганглий пиявки состоит примерно из 400 нейронов и иннервирует определенную зону тела, а также соединяется с соседними и удаленными ганглиями посредством дополнительных пучков нервных волокон – *коннектив*. Интеграция и обмен «информацией» между ганглиями осуществляются последовательно. Каждый ганглий получает информацию от ближайшего участка тела, «обрабатывает» ее и передает 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 ГМ позвоночных [20].

Реакции пиявки на раздражения достаточно примитивны, унифицированы 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 [17]. 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») [8]. Как и у других беспозвоночных (в т.ч. у членистоногих – тараканов, саранчи и т.п.), 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. Периферические рецепторы служат для усиления, ослабления, изменения направления или полной остановки движений пиявки. Пиявки владеют 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 [21]. 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 хеморецепторов. Резкое изменение освещенности, окружающей температуры и т.п. может спугнуть пиявку, заставив ее сменить дислокацию. Наличие рядом источника крови определяется тепловыми и хеморецепторами [11, 12]. 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, т.е. имеет как мужские, так и женские половые органы. Однако для спаривания необходимы минимум 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, полового созревания (см. раздел по нейроэндокринологии), тепла, света и т.п.

Максимального развития в ходе эволюции узловая НС беспозвоночных достигла у членистоногих. У них она уже обеспечивает такую рефлекторную деятельность, которая приобретает характер сложного и целенаправленного поведения (считается – генетически запрограммированного). Это явилось результатом *цефализации* НС, которая выражалась в увеличении размеров нервных центров головного отдела НС и концентрации здесь основных сенсорных органов (формирование головы) [13]. У членистоногих имеются 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 [12]. 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» – рис. 3). 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 [6], 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 [11]. Еще более высокой олигомеризации НС достигла у крабов. У них имеются лишь две соединенные между собой нервные массы – ГМ и большое нервное скопление в груди, образовавшееся в результате слияния всех нервных ганглиев брюшной цепочки в один узел [18].

Наиболее важным результатом цефализации беспозвоночных является возникновение в ГМ некоторых членистоногих (скажем, насекомых) грибовидных тел [12]. В их обязанности входят «интеллектуальные» функции, позволяющие высшим беспозвоночным регулировать рефлекторные реакции низших центров их НС, обеспечивать организацию конкретной деятельности и сохранять информацию, что является основой памяти и условных рефлексов. Такая сложная организация ГМ членистоногих обеспечивает контроль самых разнообразных форм поведения, а его утрата становится невозможной.

Показателен пример речного рака. НС речного рака состоит из парного ГМ (*протоцеребрума* и *дейтоцеребрума*), окологлоточных коннектив и пары брюшных нервных стволов с ганглиями в каждом сегменте (рис. 5). Правый и левый ганглии каждого сегмента тела слились, вследствие чего поперечные связи между ними практически исчезли, и только двойственность продольных перемычек между ганглиями соседних сегментов напоминает о парном происхождении брюшного нервного ствола. Сближение ганглиев в продольном направлении привело к укорачиванию продольных стволов и слиянию воедино ряда нервных узлов, принадлежащих разным сегментам. Часто с ГМ сливаются смещающиеся вперед ганглии сегмента «антенн» рака – усов. В этом случае образуется третий отдел ГМ - *тритоцеребрум*. От протоцеребрума к глазам направляются зрительные нервы, и по ходу последних выделяются дополнительные ганглиозные узлы [20].



Рис. 5. Узловая НС речных раков

Поведение рака достаточно разнообразно. Речной рак ищет растительную пищу, охотится, прячется в укрытиях, которые оборудует себе под камнями, корнями деревьев или любыми предметами, лежащими на дне [22]. 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 ... В случае опасности рак часто резким поджатием хвоста быстро отпрыгивает назад, поднимая со дна ил, и прячется в укрытии, пока не осядет эта мутная «завеса». Все это говорит о том, что у него есть некое свое «понимание» и своя картина мира. Как известно, укрытие нельзя построить, а добычу подкараулить и поймать, не имея плана действий, адекватной модели своих возможностей и модели внешнего мира [13]. Поэтому, в определенной степени, рак должен уже иметь свою простейшую внутреннюю модель внешнего мира, должен уметь планировать свои действия и прогнозировать чужие. В целом его действия выглядят и являются уже настолько «разумным», что повторить такое автономное поведение сегодня роботам вряд ли под силу, хотя ЦНС у рака (узловая) еще и не очень развита.

Более высокого уровня организации, конечно, ЦНС достигла у позвоночных (*трубчатый тип* ЦНС). На них следует остановиться подробнее. Эволюционно все позвоночные животные (круглоротые, рыбы, амфибии, рептилии, птицы и млекопитающие) имеют единый план анатомической организации ЦНС и, в частности, ГМ. Ключом к пониманию единого строения ГМ у позвоночных является его эмбриональное развитие. Вся ЦНС позвоночных формируется из единой нервной трубки [23]. Далее передний, головной конец трубки разделяется на три мозговых пузыря – передний, средний и первичный задний (или ромбовидный). На следующей стадии развитие ГМ идет в разных классах позвоночных в деталях по-разному, но во всех случаях передний мозговой пузырь разделяется на два [6, 7] – конечный и промежуточный, образуя соответствующие два морфофункциональных отдела ГМ. Средний мозговой пузырь остается неделимым и образует средний мозг, а задний мозговой пузырь делится и образует собственно задний мозг и продолговатый мозг. Заключительным аккордом эмбрионального развития ЦНС служит формирование шейного изгиба мозга, отделяющего ГМ от спинного мозга. Таким образом, все позвоночные животные имеют три *первичных* (эмбриогенетических) и пять *вторичных* (морфофункциональных) отделов ГМ (Табл.1). 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 ЦНС 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 [20]. Далее эволюция идет по двум направлениям: по стриарному пути с преимущественным развитием подкорковых структур к птицам (в целом сохраняют зауропсидный тип ГМ) и по кортикальному пути к млекопитающим с преимущественным развитием корковых структур переднего мозга (*маммарный* тип строения мозга). У всех млекопитающих строение ГМ в целом одинаково, различия могут проявляться только в соотношении размеров отдельных его структур [6, 20, 24]. Конечный мозг у них наиболее крупный, значительно превосходит все остальные отделы ГМ. Увеличение относительных размеров конечного 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 ГМ, обеспечивающую сопоставление друг с другом и совместную обработку всех видов поступающей в ГМ 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 ГМ позвоночных, на каждом из которых происходило постепенное перемещение центров интеграции из низших отделов мозга (ствол, задний мозг) в высшие – средний и передний мозг [25, 26]. Этот процесс осуществлялся путем надстройки филогенетически более молодых отделов ГМ над старыми, которые, в свою очередь, передавали часть свойственных им сложных функций более молодым отделам мозга и оставляли за собой более простые функции [26]. 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. Данные сравнительной нейроморфологии по системе связей в конечном мозге наземных позвоночных 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) [24, 25].

Считаем важным подчеркнуть: у всех позвоночных ГМ построен по единому принципу и содержит один набор структурных элементов. В различных условиях окружающей среды (разные типы и интенсивность сенсорной информации) отдельные элементы претерпевали преимущественное 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 [6, 13]. Но анатомическое строение ГМ у всех позвоночных одинаково. Таким образом, разумное поведение человека 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 такого «разумного» поведения позвоночных помимо приматов? Такие примеры известны. Первое описание птичьего мышления (и мышления животных вообще) принадлежит древнегреческому историку Фукидиду [27]. 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) [28]. 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 [29]. 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 [30, 31]. Это нельзя объяснить врожденными инстинктами и условными рефлексам. 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 [13]. Про обезьян, достающих палкой бананы, строящих лестницы из кубиков, обертывающих ноги соломой в случае холодного пола и пр. [6, 10, 13, 28 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 (РД), которую он рассматривал как эволюционную предпосылку мышления человека [32]. 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 РД – 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 РД животных разных систематических групп. Наиболее полная сравнительная характеристика РД 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 ожидаемое время. Описаны результаты таких опытов, проведенных на представителях почти всех классов позвоночных: рыбах (4 вида), земноводных (3 вида), пресмыкающихся (5 видов), 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 селектированных 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 РД и установить сходство РД 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 РД 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 РД 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 [6]. Те, кто имеет домашних животных (кошек, собак, попугаев) легко назовут с десяток жестов-знаков или звуков своих питомцев, отражающих их пожелания 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. [13] 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 [33]. 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 [6].

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 [34]. В сообществе (стае) животных, как правило, всегда находятся особи, хотя и ведомые едиными врожденными «инстинктами» (базовыми алгоритмами поведения), но отличающиеся друг от друга по степени агрессивности, активности, любознательности [29]. Позвоночным присущи и элементарные «сенсорные» эмоции (см. раздел по нейроэндокринологии), поэтому главенствующий сегодня взгляд на них как на инстинктивные, генетически запрограммированные машины явно не правомерен.

Взгляд на строение и функционирование головного мозга.

Несомненно, основные эволюционные приобретения человека в части мышления следует искать, все же, в тонкостях структуры и функциональной организации его головного мозга. Известно, что объём ГМ человека в процессе антропогенеза увеличивался за счёт неокортекса и его фронтальных отделов [13, 24-26]. Временем появления *Homo sapiens* как биологического вида считается период около 180 тыс. лет назад. Ко времени 150–140 тыс. лет назад ГМ у него имел уже практически сопоставимый с современной популяционной нормой объём неокортекса [35]. Тем не менее, это почему-то не обеспечивало никакого видимого прогресса в течение сотен тысяч лет. Что же позволило ГМ, который сотни тысяч лет был достаточного объёма, внезапно стать несравнимо более эффективным функционально только 50-75 тысяч лет назад*? Ели не в строении, то в чем здесь дело? При анализе «разумной» работы ГМ человека самое пристальное внимание обычно обращают на *неокортекс* (новую кору) – самую молодую с точки зрения эволюции область ГМ, составляющую основную часть всей коры у человека и других млекопитающих и отвечающую за высшие интегративные функции. Однако до рассмотрения особенностей работы неокортекса полезно напомнить анатомию всего ГМ (Рис. 6, 7).

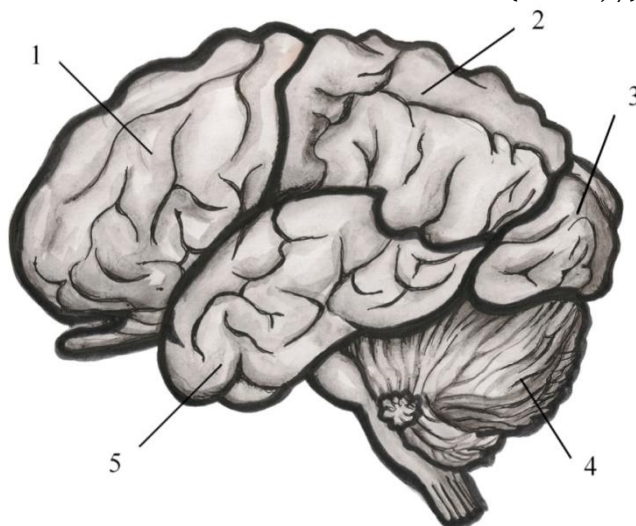


Рис. 6. Головной мозг человека, внешний вид.

1 - лобная доля коры; 2 – теменная доля коры; 3 – затылочная доля коры;
4 – мозжечок; 5 – височная доля коры

* Археологами и антропологами фиксируется «внезапный» взрыв креативных способностей древних людей, произошедший примерно 75-50 тыс. лет назад [35].

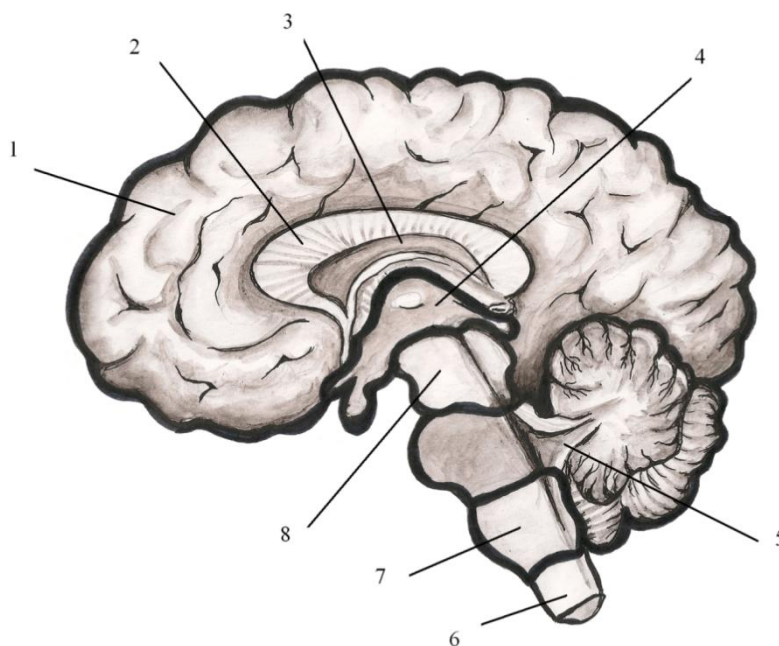


Рис. 7. Головной мозг человека в разрезе (правая височная доля коры не показана).

1 – конечный мозг; 2 – мозолистое тело; 3 – мозговой желудочек (полость, заполненная ликвором; дренажная система мозга); 4 – промежуточный мозг; 5 – собственно задний мозг; 6 – элемент спинного мозга; 7 – продолговатый мозг; 8 – средний мозг

В разных руководствах по анатомии и нейрофизиологии строение ГМ человека рассматривается с разной степенью детализации, поэтому сопоставление данных из разных источников может запутать неподготовленного читателя. Мы здесь будем выделять только основные анатомические структуры. Рассмотрим ГМ снизу вверх согласно эволюционному развитию.

Первичный задний мозг (эмбриогенетический отдел) дает начало продолговатому мозгу, Варолиеву мосту и мозжечку (Табл. 1). *Продолговатый мозг* является непосредственным продолжением спинного мозга. Он обеспечивает основные рефлекторные функции: пищевые рефлексы (глотание, рвота), контроль за тонусом сосудов, сердечной деятельностью, тонусом скелетной мускулатуры и т.д., а также обеспечивает связь спинного мозга с вышележащими отделами ГМ (так называемая *проводниковая функция*). *Варолиев мост* также выполняет роль проводника, в т.ч. сенсорной информации в средний и промежуточный мозг. *Мозжечок* отвечает за координацию движений (регуляция равновесия тела, реализация сложных двигательных программ - бег, жестикуляция при разговоре, движения при игре на музыкальных инструментах и т.п.). Его иногда называют «малым мозгом» [7]. Он «программирует» плавное и точное выполнение движений и обеспечивает сенсомоторную координацию при сложных движениях. Все эти функции мозжечка после обучения реализуются без участия сознания [6].

Средний мозг (эмбриогенетический отдел) образует *четверохолмие* и *ножки моста*. Четверохолмие производит первичную обработку зрительной и слуховой информации, управляет движениями глаз и головы при взоре, регулирует тонус мускулатуры. Ножки моста, главным образом, выполняют проводниковую функцию.

Передний мозг (эмбриогенетический отдел) дает начало таламусу, гипоталамусу (и гипофизу как подчиненной структуре), эпителиамусу, включая эпифиз, базальным ганглиям, коре ГМ (древней (*палеокортекс*), старой (*архикортекс*) и новой (*неокортекс*)) и гишпокампу как ее части, обонятельному и зрительному трактам (обонятельным луковицам, сетчатке глаз и т.д.). *Таламус* обеспечивает вторичную обработку зрительной и слуховой информации, участвует в процессах запоминания и повторного перенаправления в кору ГМ

всей сенсорной информации, за исключением обонятельной (ее входов сюда нет^{*}). В таламусе оканчиваются аксоны большинства сенсорных нейронов, несущих импульсы в кору ГМ. Здесь анализируются характер и происхождение этих импульсов. Кроме того, в таламусе перерабатывается и обратная информация, поступающая из коры, и полагают [6], что он участвует в ощущении боли и удовольствия. *Гипоталамус* является подкорковым центром обонятельной системы и главным регулирующим центром вегетативной НС (отвечает за гомеостаз организма). Он является высшим центром регуляции эндокринных функций организма (см. далее). *Эпиталамус* обеспечивает проводниковую функцию, регуляцию гормонов, суточных биоритмов. *Базальные ганглии* помогают мозжечку планировать и осуществлять сложные двигательные программы. Они работают в тесной связи с корой ГМ. Почти все сигналы базальные ганглии получают от коры, и почти все выходящие сигналы ганглиев возвращаются обратно в кору. Если мозжечок обучается и после этого контролирует движения без участия сознания, то ганглии, по современным представлениям, обеспечивают когнитивный контроль движений, когда требуются не автоматические, а продуманные действия [9] – при письме, при ведении мяча в футболе, лепке из пластилина и т.п.

Наибольшую часть ГМ человека составляют два полушария коры (разросшийся конечный мозг), которые связаны между собой тяжем нервных волокон – *мозолистым телом*. Оно объединяет работу полушарий [7]. Поскольку оба полушария функционально во многом сходны, их долго считали одинаково работающей парной анатомической структурой. И действительно, для правой при целиком удаленном правом полушарии (иногда встречается при иссечении опухоли) последствия для психики часто оказываются минимальными[†]. Одно время проводилась операция перерезки мозолистого тела при некоторых формах эпилепсии. Больной с перерезанным мозолистым телом часто имеет как бы два обособленных мозга и внутренне ощущает себя как две немного разные личности в одном теле [9, 13]. Все области коры имеют интенсивные двусторонние связи с внутренними структурами мозга. Особенно большое число связей определяется с таламусом. Когда таламические связи прерываются (при травмах, например), функции соответствующей области коры практически полностью теряются [9]. Кора функционирует в неразрывной связи с таламусом, и часто они вместе в ряде руководств рассматриваются как единая *таламокортикальная система*.

Структурное строение коры ГМ, включая неокортекс, на удивление однородно. Нейроны во всех отделах коры организованы в вертикальные колонки – элементарные структурно-функциональные единицы коры [36]. Сегодня, как отражается во многих публикациях, не очень еще понятно, почему и зачем существуют эти колонки, но обращает внимание на себя тот факт, что у всех млекопитающих, от ежа до человека, количество клеток в этих колонках примерно одинаково и составляет около 110 [24]. Колонки, в свою очередь, объединяются функциональными связями в элементарные корковые модули, т.е. у всех млекопитающих не только одинаково строение ГМ в целом, но и одинаково строение неокортекса. Вероятно, модульный принцип организации неокортекса является необходимым базовым условием для реализации высших интегративных функций. Более того, есть данные, что по модульному принципу построены и другие отделы ЦНС, причем разнообразие типов таких модулей весьма ограничено [37, 38].

В разное время создавались разные теории структурно-функциональной организации работы коры ГМ млекопитающих, среди которых необходимо упомянуть теорию «экранов нервных центров» академика Заварзина [39]. Она предусматривала, что информация, поступающая в кору, распределяется и обрабатывается послойно, что соответствует представлению о слоистой организации неокортекса (у неокортекса различают 6 слоев нейронов [36]). В настоящее же время наибольшее распространение получила, все же, *модульная концепция* коры, в которой акцент делается на вертикальный принцип формирования колонок, проходящих через все 6 слоев неокортекса, и, соответственно, на

* За обоняние полностью отвечает древняя кора – палеокортекс. Выходы потоков обонятельной информации в новую кору и в таламус идут только от палеокортекса.

† Несколько иначе обстоит дело при иссечении левого полушария, т.к. в нем находятся центры речи и понимания ее смысла, а для левой все наоборот [13].

вертикально-слоистое распространение сигналов в неокортексе [40, 41]. Согласно этой концепции, элементарные корковые модули объединены функционально еще и в макро модули, количество клеток в которых составляет уже от 3000 до 10 000. Общее же количество макро модулей в коре колеблется от единиц миллионов у млекопитающих животных до 600 млн. у человека [24].

Однако такое рассмотрение морфологии коры, также как и анатомического строения мозга в целом, как видим, мало что говорит нам о выполнении ГМ своих высших интегративных функций: рассудочной деятельности, обучения, запоминания, эмоционального восприятия, и не продвигает нас к пониманию основ таких основных функций ГМ (или состояний?) как сознание и умственная деятельность. Поскольку при анализе любых интеллектуальных функций человека самое пристальное внимание, прежде всего, обращено к коре ГМ, мы попытались найти данные об известных ассоциативных функциях неокортекса, особенно относящихся к когнитивной сфере, поскольку, как нам представляется, сформировав некий список этих функций можно вычленил наиболее важные, ключевые позиции и попытаться применить эти знания для разработки принципов создания «умного» программного обеспечения робота. Однако в доступной литературе не оказалось такого общепринятого «списка». Имеют место либо перечисление очень крупных групп функций: анализ, планирование, запоминание, и так давно известных в робототехнике и находящихся, что называется, «на слуху» в теории ИИ, либо наличествует описание функций отдельных участков коры ГМ человека (зон, полей, областей – здесь нет четкого термина), таких как *зона Брока* (моторный центр речи), *область Вернике* (центр восприятия и анализа речи), цитоархитектонических полей по К.Бродману и/или миелоархитектонических по О. Фогту и С. Фогт*.

Несомненно, важным результатом фундаментальных исследований конца XIX – начала XX вв. стало разделение коры на цитоархитектонические поля по К. Бродману (52 поля) и миелоархитектонические по О. Фогту и С. Фогт (185 полей) по морфологическим признакам [42]. Разделение полей по Бродману до сих пор используется в клинической медицине, например, в нейрохирургии, хотя известно, что карта каждого мозга уникальна, и это необходимо учитывать при проведении операций. Часто поля по Бродману упоминаются и при обсуждении локализации в неокортексе мест выполнения отдельных высших функций ГМ. С помощью электрофизиологических методов было давно установлено, что функционально в коре имеет смысл различать области трех основных типов: *сенсорные* (чувствительные), получающие входную информацию от внешних сенсоров, *двигательные* (моторные), посылающие импульсы к эффекторам и *ассоциативные* – основные «интеллектуальные» области, объединяющие, хранящие и анализирующие всю имеющуюся информацию [6]. В отношении сенсорных и моторных зон картирование по Бродману часто весьма успешно. Например, первичная соматосенсорная кора – поля 1, 2, 3а и 3b по Бродману, первичная зрительная кора – поле 17, первичная моторная кора – поле 4 и т.д. [8]. Но в отношении ассоциативных зон такой четкой картины не наблюдается. Поле 44 по Бродману лишь частично является зоной Брока. Область Вернике занимает часть полей 39 и 40, а также ряд смежных полей, при этом поле 39 является, одновременно, и областью зрительного анализатора письменной информации. Это позже стало поводом говорить о более широких функциях области Вернике, вплоть до смыслового анализа всей поступающей в ГМ символической информации. Т.е. все эти взгляды о функциональной специализации полей по Бродману и другим авторам постоянно дискутируются и развиваются. Они уже достаточно сильно отклонились от первоначальных представлений. Так, например, у кошек выявлено, по меньшей мере, 7 слуховых полей вместо двух по старой классификации Бродмана, 12 зрительных полей вместо трех, 5 соматосенсорных вместо двух [43].

* Послойное расположение отдельных нейронов в коре называется *цитоархитектоникой*, послойное расположение пучков нервных волокон – *миелоархитектоникой*. Поскольку в разных участках коры плотность их расположения, число и размеры немного различаются, варьирует толщина отдельных их слоев, подслоев и т.д., такое разделение на однородные поля возможно, но не однозначно (зависит от субъективно выбранных критериев).

Аналогично обстоит дело и с концепцией Фогтов, утверждавших, что не цитоархитектонические, а миелоархитектонические поля являются отдельными одновременно структурными и функциональными единицами ГМ [44]. Сегодня в руках нейрофизиологов есть мощный инструмент для проверки всех таких предположений и для выявления функционально активных зон – функциональная магнито-резонансная томография (ФМРТ). Она позволяет по насыщенности кислородом кровеносного русла мозга и потреблению глюкозы достаточно точно локализовать области мозга, активизирующиеся при решении тех или иных экспериментальных интеллектуальных задач [45]. С ее помощью Риццолатти с соавт., например, не так давно сделали одно из самых громких открытий последних десятилетий в нейронауке – открытие зеркальных нейронов [8, 46]. К ним мы еще вернемся, а на основе ФМРТ сегодня десятки научных групп в разных странах мира то и дело сообщают о новых открытых функциональных областях неокортекса, ответственных за те или иные интеллектуальные функции, часто весьма узкоспециализированные и не обсуждавшиеся во времена Бродмана и Фогтов. Например, область, соединяющая височную и затылочную доли в правом полушарии, оказалась ответственна за способность строить модель внутреннего мира другого человека, собеседника [47]. Вентромедиальная префронтальная часть коры оказалась ответственна за моральные суждения и стиль принятия решения [48]. И таких работ много [45]. Часто их результаты противоречат друг другу, а обсуждаемые поля неокортекса перекрываются.

В рамках настоящей статьи в наши задачи не входил детальный анализ всего этого класса работ, тем более что достоверность таких выводов о весьма трудно поддающихся объективизации субъективных функциях (как построение модели мира другого человека) очень сложно проверить. Но общий вывод из таких исследований напрашивается: рассматриваемое картирование сегодня ни методологически, ни концептуально, ни терминологически не стандартизовано и проводится «вслепую». Нет общей теоретической гипотезы, направляющей исследования. Как следствие, результат картирования зависит от авторских методик и научных взглядов ученых, его выполняющих, какие группы функций они выделяют, как их именуют, как детализируют.* Скажем, недавние исследования на основе комбинированного подхода (совместные цито-, миело-, хемоархитектоника и ФМРТ) позволили определить в коре ГМ около 150 различных зон [49, 50]. Много ранее отечественными учеными была создана карта коры ГМ человека, содержащая всего 47 зон [51]. А в одном из наиболее полных и последних справочных изданий [9] в разделе «Кора большого мозга, интеллектуальные функции мозга...» проведено деление неокортекса всего на 14 больших функциональных зон. Таким образом, вопрос списка функций и единой функциональной карты неокортекса остается открытым. Более того, с учетом методических особенностей и различий в проведении подобного рода работ, да и вообще различий в представлениях авторов о функционировании коры, в отсутствие стройной теории, создание исчерпывающего списка функций в ближайшее время представляется маловероятным. Несмотря на возможность картирования коры по разным морфологическим признакам, осуществление жесткой привязки к конкретным ее участкам различных ассоциативных функций мозга представляется сегодня теоретически и методически сомнительным. И в первую очередь это сомнительно для функций, имеющих отношение к когнитивной сфере. Согласно самым последним представлениям, ни одна когнитивная функция не может быть жестко приписана к какой-либо зоне – ни частично, ни преимущественно. Функциональный протагонизм не есть жесткая и заранее заданная функциональная специализация [52].

Более того, картирование неокортекса на поля по каким-либо морфологическим признакам само по себе ничего еще не говорит о функциях, выполняемых отдельными полями. И обязаны ли выполнять разные такие поля только разные функции? В нейроморфологии ответа на этот вопрос не найти. Вместе с тем, весьма информативными еще раньше оказались обычные наблюдения врачами пациентов с разными травмами мозга, с врожденными пороками развития мозга, с опухолями мозга до и после их хирургического удаления и т.д. Именно таким способом в конце 1860-х гг. Поль Брока выявил участок коры (носящий ныне его имя), управляющий мышцами языка, челюсти и глотки [10]. Больной,

* Бесконечная детализация, очевидно, может привести к бесконечному процессу изучения и бесконечному списку функций, а какой-либо всеми признанной, ограничивающей и/или объединяющей классификации пока не придумано.

которого он наблюдал, утратил способность говорить, но мог нормально читать, писать и понимать сказанное другими, т.е. нарушена у него была только моторика органов речи. Аналогично в 1874 г. Карлом Вернике была локализована область в левой височной коре, ответственная за понимание речи (у левшей она находится в правой височной коре) [13].

Сегодня в нейрохирургии известно, что даже разрушение обширных областей коры ГМ, как правило, не лишает полностью человека мышления и восприятия реальности, но снижает глубину его мышления и степень осознания окружающего мира [9]. Это значит, что мозг работает не зонами, а целиком, сразу весь, хотя некая специализация разных зон неокортекса и других отделов мозга и наблюдается. Известен еще с 1848 г. случай Ф.Гейджа, когда в результате аварии и травмы у него была полностью удалена левая лобная доля мозга. Однако его сознание, мышление, память и другие когнитивные функции оказались не нарушены. Сменился только характер, со спокойного на грубый и раздражительный [10].

Известен также феномен сенсорного замещения, когда одна область коры ГМ в силу тех или иных причин берет на себя функции другой области. Удачно иллюстрируют эту ситуацию работы по подаче визуальной информации посредством звуковых сигналов или электрической стимуляции языка лицам с потерей зрения* [53, 54]. Подобные «перепутанные» ситуации не раз воспроизводили экспериментально [36]. Например, мозг новорожденного хорька путем хирургического вмешательства меняли так, что глаза зверька посылали сигналы в зону коры, отвечающую за слуховое восприятие. В результате у хорьков развивались зоны визуального восприятия в сенсорной области слухового восприятия. Участки зрительной коры ГМ крысы, трансплантированные в область коры, отвечающей за осязание, начинали заниматься обработкой осязательных сигналов. Как результат, выявлено, что имеется значительная индивидуальная пластичность неокортикальных полей/зон ГМ. У каждого человека топография синаптических связей коры и контуры функциональных полей/зон очень индивидуальны [55]. Существуют индивидуальные варианты не только строения борозд и извилин, но и расположения цитоархитектонических полей [42].

Подобная универсальность может быть свидетельством, как предположил еще в конце XX века В. Маунткасл [36, 41], и в нейрофизиологии есть сегодня такие объективные данные, что все участки коры ГМ, независимо от того, за какую функцию они отвечают (речь, слух, осязание), работают по одним и тем же базовым принципам. Различия в морфологии разных областей неокортекса здесь не принципиальны. Базовые принципы функционирования едины для всего мозга. Среди таких принципов сегодня выделяют [36]:

- распознавание временной последовательности сигналов путем сравнения с автоассоциативно извлеченными из памяти эталонными паттернами (образами), сформированными в процессе обучения;
- категоризацию элементов этой последовательности на основе сравнения с эталонами категорий, также сформированными в процессе обучения и хранящимися в памяти;
- представление опознанных и неопознанных элементов в инвариантной форме и иерархическое запоминание элементов в этой инвариантной форме;
- автоассоциативное вспоминание и сравнение хранящейся в памяти информации с поступающей новой информацией.

Мозг не решает уравнений в процессе своей рефлекторной деятельности (если только человек не занимается математикой). Его ответ на внешнюю ситуацию рождается за 0,1–0,2 секунды – время распространения сигнала по цепочке не более чем из 100 нейронов [36]. Этого времени и количества последовательных шагов (нейронов) недостаточно для последовательных математических вычислений. Параллельные же вычисления не всегда реализуемы. Часто для следующего шага необходимы результаты предыдущих вычислений. Да и математику мозг не знает от рождения. Вместо вычислений он использует автоассоциативную память, обучение, набор эталонов, включая эталоны ситуаций, и временные последовательности сигналов. И используются основные интегральные операции – предсказание (моделирование) последовательности сигналов во времени и

* *Tongue Display Unit (TDU)* - реальное устройство из класса «человеко-машинных интерфейсов» с видеокамерой и сотнями электродов, создающих слабое покалывание на языке подобно яркости пикселей на изображении. При помощи TDU незрячий человек начинает "видеть" через ощущения языка.

сравнение. Мы можем узнавать музыку и радоваться ей благодаря тому, что в коре знакомая музыка «звучит» по памяти с некоторым опережением, и результат сравнения этой внутренней музыки с поступающей извне последовательностью звуков рождает эмоции*.

Точно также работает и зрительный анализатор [8]. Последовательность сигналов во времени дает реальная картинка перед глазами – меняющаяся сама или (в случае статического объекта) в результате движений глаз, в т.ч. специальных сканирующих *саккад* [9, 10]. Необходимость постоянной смены сигналов – единый принцип для всех живых систем. У птиц глаза практически неподвижны, поэтому при внимательном взгляде они все время двигают головой. Статические же картинки наш мозг, видимо, анализировать не может. Для его работы необходима непрерывная динамика, постоянное моделирование и прогнозирование сигналов во времени.

То, что визуальная информация в виде непрерывной временной последовательности зрительных сигналов постоянно прогнозируется мозгом и моделируется в коре, многие не раз ощущали на себе. Для этого достаточно немного покружиться на месте с открытыми глазами и резко остановиться. Кратковременно наступает дезориентация зрительной системы и сбой прогноза[†] (интересно, а необходимо ли головокружение для корректной работы мозга *Robo sapience?*). Аналогичное ощущение зрительного прогноза многие, кто часто пользуется эскалатором (в метро, например), испытывали при спуске по неработающему эскалатору. Внизу, при спуске с неработающего эскалатора, мозг, запомнивший часто повторяющуюся ранее динамическую картинку движения, пытается «подставить» ее в изображение и на этот раз. Т.е. процесс зрения неотделим функционально от процессов моделирования, происходящих в коре. Фактически, эффект «эскалатора» – новый условный рефлекс, отсутствующий у людей, не имеющих дела с эскалаторами. Глаза – не web-камеры. Это – неотъемлемая структурная часть переднего мозга[‡]. Сетчатка глаза даже анатомически представляет собой вынесенный за пределы черепа фрагмент ГМ.

Исходя из понимания сути рефлексии, можно предположить, что внешний сигнал раздражения, в т.ч. и зрительный, переходящий в сигнал возбуждения нейронов, есть своеобразная «разбалансировка» соответствующего участка НС. Иногда возбуждение сигнализирует об опасности (ожог руки), иногда просто о необходимости реагирования на какой-то неизбежно последующий процесс (пример – пищевой рефлекс Павлова). В обоих случаях нужна адекватная реакция с (желательно) минимизацией времени реакции и энергетических затрат на нее. Если ГМ будет каждый раз путем рассудочной деятельности анализировать ситуацию после поступления сигнала возбуждения и принимать решение о реакции, время реакции и энергетические затраты на нее будут велики. В случае опасности рациональнее «машинально» реагировать по механизму безусловных, в т.ч. спинальных рефлексов, а на не критические ситуации – постепенно вырабатывать оптимальные условные рефлексы, заранее подготавливая ответную реакцию и минимизируя энергетические затраты на анализ ситуации, если она все время повторяется [6, 13].

А как это проще реализовать «технически» в высших отделах ЦНС? Эффект «эскалатора» дает нам подсказку: в процессе компенсаторного рефлекторного ответа на зрительный образ НС, видимо, пытается так сформировать по памяти и послать на вход сигнал предсказания «картинки» (отрицательная обратная связь), чтобы он максимально совпал с исходным входным сигналом, возможно, даже, погасил бы его и убрал бы таким образом возникшую «разбалансировку» в НС. Если продолжить дальше эту цепочку

* Известно, что для не очень музыкально образованных людей любимой обычно является простая эстрадная музыка. Она достаточно примитивна по своему музыкальному строю, рисунок мелодии раз за разом повторяется, поэтому ее легко запомнить и «угадывать» при каждом новом прослушивании. Для людей с высшим музыкальным образованием такое простое угадывание примитивно. Как правило, большее эстетическое наслаждение им приносит сложная классическая музыка, когда требуется больший опыт и серьезная интеллектуальная работа мозга по предсказанию рисунка. Часто от новой музыки восторг может вызвать расхождение прогнозируемого и предложенного реально композитором. Рождение неоклассической абстрактной музыки – шаг по пути создания новых, «непредсказуемых» музыкальных узоров.

[†] Конечно, здесь надо принять во внимание еще и сигналы от вестибулярного аппарата.

[‡] Возможно, именно поэтому есть много разных зрительных эффектов, галлюцинаций и т.п.

рассуждений, то аналогичный рефлекторный ответ должен существовать и при мышлении, когда возбуждающий (раздражающий) сигнал рождается не вне, а внутри ГМ. Возникшая проблема и мотивация к мышлению есть возбуждение, а само мышление и решение проблемы – ответная рефлексия с формированием сигналов обратной связи. Подтверждением ведущей роли возвратных сигналов в неокортексе может служить факт, 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 [36].

Сравнение сенсорного сигнала за счет обратной связи со сведениями, извлеченными из памяти, предположительно лежит и в основе перехода физиологического процесса зрительного восприятия на уровень психического, субъективного зрительного *ощущения* [56, 57]. Эта концепция А.Иваницкого получила название гипотезы *информационного синтеза*. Еще в 20–30-е гг. XX века было установлено, что ощущения появляются только примерно через 100 мс после предъявления стимула* [58]. Согласно данным группы Иваницкого, полученным при изучении вызванных потенциалов ГМ, время в ~100 мс затрачивается на циклическое движение нервных импульсов и объединение в проекционной коре сенсорной информации со сведениями, извлекаемыми из памяти, включая данные о значимости полученной информации для индивида. Этот синтез приводит к возникновению ощущения, которое не только отражает физические характеристики стимула-сигнала, но и может быть эмоционально окрашено. Только после этого информация окончательно логически опознается, *категоризируется* (причисляется к конкретной категории, т.е. переводится в инвариантную форму) и запоминается.

Очень важной когнитивной функцией ГМ является распознавание информации (временных последовательностей сигналов) и перевод ее в инвариантную форму. Сегодня практически нет сомнений, что память человека хранит информацию не только в виде исходных сигналов – временных последовательностей (как музыку), а еще и в виде неких обобщенных концептов (эталонов, образов, категорий, образцов, фреймов, сценариев, гештальтов, паттернов – опять здесь нет единой терминологии) и их связей для всех предметов, ситуаций, свойств, явлений и прочих сущностей [59]. Бесконечное разнообразие деталей внешнего мира, если все их запоминать в исходных временных последовательностях, может быть сохранено в памяти только бесконечно большого объема. Добросовестный студент, слушая лектора и списывая с доски (экрана) формулы, свое основное внимание сосредотачивает именно на формулах, анализируя, известны ли ему или нет, понятны обозначения или нет, какой смысл они несут, правильно ли он их вносит в свой конспект и т.д., но никак не на цвете доски, неровностях ее поверхности и/или особенностях в одежде лектора. Либо формулы, либо что-то еще. Редки случаи, когда человек может концентрироваться сразу на нескольких событиях одновременно [60]. Таким образом, наше сознание еще и избирательно и тесно связано с вниманием: *осознается только то, на что обращается внимание* [57]. Мы замечаем, выбираем и анализируем только то, что нам важно в данный момент. При взгляде на человека у нас на сетчатке отображаются миллионы деталей – освещенность лица, морщины, тени, повреждения на коже, укладка волос, складки на одежде и т.д. Но мы, глядя на человека, «видим» их не все. Точнее – замечаем и анализируем не все. Мы замечаем и осознаем в данный момент только то, что нам необходимо, только главное смысловое содержание. Наличие механизма такого избирательного восприятия наиболее наглядно сегодня просматривается при анализе данных о работе зрительных анализаторов и первичной зрительной коры ГМ.

Процесс зрительного восприятия сегодня изучен достаточно детально [8, 9]. Рецептивные поля в первичной зрительной коре осуществляют начальные этапы распознавания образов. Отдельные группы клеток (колонки нейронов) реагируют на границы освещенности, ориентацию этой границы в пространстве (горизонтально, вертикально, под углом и т.д.), ее протяженность, контраст и динамику контраста во

* Это явление использовано в кинематографе. Последовательная смена кадров (картинок) с частотой, более 10 в секунду (обычно от 16 до 24), дает ощущение динамики событий.

времени. Далее, благодаря связям нейронов в колонках и макро модулях, происходит конвергенция этих простейших сигналов на новом уровне. Отдельные ансамбли клеток и колонок начинают возбуждаться только при появлении контрастной линии определенной протяженности и ориентации на сетчатке. Другие колонки оказываются чувствительными к скорости и направлению движения линии в поле зрения. На следующем уровне появляются группы нейронов, которые отвечают возбуждением уже на определенные образы (и только на них), на глубину изображения в поле зрения, на освещенность, цвет и пр. Из такой иерархической организации обработки сигналов в зрительной коре неизбежно следует гипотеза, что должны быть обнаружены клетки, на которых конвергируют все большие объемы информации, вплоть до информации об отдельном человеке, например. И такие нейроны, действительно, были обнаружены. Были обнаружены, например, нейроны, отвечающие реакцией только на лица людей, а не на какие-либо другие объекты [8]. Нейроны, активизирующиеся при распознавании определенных действий (ходьба, взмах руки, наклон головы), в т.ч. и своих собственных (как при наблюдении в зеркале), получили поэтическое название «зеркальные нейроны» [45, 46]. Их возбуждение сигнализирует о том, действие какого типа было выполнено. А нейроны коры, реагирующие только на определенный объект в поле зрения, например, на определенного человека, когда по совокупности всех своих элементов весь объект распознается, например, как «бабушка», получили название «бабушкиных нейронов» [60]. Таким образом, активацию бабушкиных и других узкоспециализированных нейронов можно рассматривать как конечный результат анализа признаков сложного объекта и выделение внутри общей категории «объекты» конкретного класса, подкласса, вида и экземпляра этой категории [10]. Аналогичный механизм категоризации на верхнем уровне конвергенции информации был обнаружен недавно и для внеобъектовых понятий, скажем, понятий, характеризующих субъективную оценку ситуации. Обнаружены нейроны, активизирующиеся при законченности действия, при достижении цели, при обнаружении проблемы и т.д. [8, 13, 36], а в последнее время и нейроны «ориентации в пространстве» (*grid-нейроны*)*.

Все это подводит нас к идее, что и вербализация (словесное описание) – аналогичный компонент человеческого мышления, в основе которого лежит этот же самый универсальный механизм избирательного внимания, распознавания, категоризации и сохранения в памяти объектов и явлений в инвариантной понятийной форме [57, 58]. Весь наш язык, по сути, состоит из набора объектов, действий, свойств, категорий, образов и связей между ними, выраженных словами, которые позволяют как оперировать самыми общими понятиями, такими, например, как «предмет» или «объект», так и образовывать подмножества понятий данного множества путем введения дополнительных признаков классификации: «подвижный/неподвижный», «свой/чужой», «мягкий/твердый» и т.д., вплоть до детального описания конкретного экземпляра какого-либо объекта в виде, например: «чистый лист гладкой белой мелованной бумаги формата А4». Именно появление вербального понятийного общения, языка, как способа сжатой адресной передачи информации в реальном времени, в том числе и эффективного способа обучения потомства, считается причиной резкого развития умственных способностей людей около 50–75 тыс. лет назад [35].

Если так, то языковая способность, как и предполагал еще Н.Хомский [61], является, фактически, врожденным свойством мозга, точнее, как мы теперь видим – логическим следствием базовых принципов его структурной организации и функционирования для распознавания, категоризации и инвариантного сохранения в памяти наблюдаемых объектов и явлений. Причем, из-за схожести анатомического строения ГМ всех позвоночных, нет никаких ограничений со стороны мозговых структур, почему это свойство не может быть доступно другим животным помимо человека[†]. «Кирпичики», составляющие наш язык, это: *лексикон*, представляющий собой по определенным правилам организованные списки лексем, словоформ и т.д., речевые *вычислительные процедуры и правила*, в т.ч. *продукционные* [61], обеспечивающие грамматику (морфологию, синтаксис,

* Нобелевская премия по физиологии и медицине 2014 г.

[†] Здесь под термином «язык» следует понимать не только словесную речь, но и другие символичные языки общения, например, язык общения жестами, как у глухонемых.

семантику и фонологию), и механизмы произнесения речи [62]. Эти «кирпичики» взаимодействуют между собой на основе системы базисных правил речи, которые усваивает ребенок по мере обучения его родителями (без родителей «ребенок-маугли» не имеет речи). В разных языках в деталях они могут отличаться, но одно то, что люди, говорящие на разных языках мира, могут общаться между собой и понимать друг друга, говорит о единых фундаментальных законах речи, таксономии, анализа информации и мышления, происходящих у нас в голове [63]. В сознании каждого из нас объекты и сценарии событий стереотипно *категоризированы*, упорядочены и подчиняются единому своду правил и законов вне зависимости от места проживания человека. Поэтому, вероятно, Н. Хомский и говорил о врожденности грамматики.

Признание понятийной формы мышления (как логического, так и абстрактного) позволяет подойти к пониманию, как создается внутри нас онтологическая модель мира, причем не просто модель, а «мир, понятый в смысле такой модели» [64, 65]. Впервые термин «понятийные категории» был введен в обиход грамматики в 1924 г. О. Есперсенем в его классической работе [66]. Однако, несомненно, корни этой концепции восходят к идеям Платона и Аристотеля, заложивших фундамент европейской философской мысли [67]. Платон пытался объяснить нашу способность к формированию общих понятий с помощью своей теории «идей» («*эйдосов*», от греч. «*эйдос*» - образ) и форм, что тесно перекликается с изложенным выше. Он полагал, что существуют некие идеальные формы и понятия, например, идеальное представление о сущности «стол», которое дано нам «сверху» 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 понимании существует некий идеальный образец (эталон) стола с набором переменных – форма (круглый, квадратный, журнальный, письменный), 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 всех этих подходов и взглядов [13]. Вопрос в том, являются ли понятийные категории действительно врожденными, присущими строению ГМ, или они формируются динамически по мере обучения индивида.

Базисные понятийные категории языка (концепты-примитивы) сводятся, насколько сейчас известно, к списку из примерно 30 единиц [62] вне зависимости от языка, хотя, опять же, в литературе мы не нашли 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 ГМ человека, где есть также механизм генератора новых понятий-концептов, обеспечивающий даже возможность формулирования гипотез [68]. Это близко идеям порождающей грамматики Хомского. Альтернативной идеей является идея самообучаемого или обучаемого учителем ГМ как интуитивно-эталонной системы [59]. Согласно такой концепции, прошлый опыт, состоящий из временных последовательностей раздражающих стимулов и рефлекторных ответов, фиксируется в памяти инвариантно в виде неких *энграмм* (фреймов, сценариев) [6]. Согласно одной из гипотез в основе памяти и формирования энграмм лежат стойкие изменения в биохимии мозга [6, 10]. Согласно другой – в основе памяти лежит изменение количества и эффективности связей синапсов. В любом случае по мере обучения в мозге происходят структурные изменения, позволяющие подстраивать рефлекторные реакции оптимальным образом под внешние стимулы [59].

Величина конечного мозга животных оказалась прямо пропорциональна их способности к научению и условиям социального существования [6]. В 1990-х годах Р. Данбар обнаружил закономерность: размер неокортекса у представителей различных видов животных и человека пропорционален среднему размеру групп, в которых они живут [69]. Например, размер неокортекса человека характерен для группы общения примерно в 150 человек. От чего это происходит? Мозг – живой орган, который имеет свое не только функциональное, но и анатомо-морфологическое развитие в процессе жизни. Если раньше, практически вплоть до конца XX века, нейробиологи считали, что *нейрогенез* – процесс образования новых нейронов – возможен лишь в раннем возрасте, во время интенсивного

интеллектуального развития, а по мере взросления он полностью прекращается, то в 1990-х удивительное известие потрясло научный мир: и у взрослых млекопитающих мозг может образовывать новые нейроны. Оказалось, что каждый день во взрослом мозге появляются тысячи новых клеток, особенно в области гиппокампа, который участвует в процессах памяти и научения [70]. В начале 1990-х гг. Э.Гоулд удалось продемонстрировать появление новых клеток во взрослом мозге морского конька в области гиппокампа. Вскоре аналогичные результаты были получены на животных различных видов: от мыши до мартышки. Причем, если перед животным встают сложные умственные задачи, то новообращенные нейроны останутся, если нет – погибнут. В 1998 г. нейробиологи США и Швеции показали, что аналогично нейрогенез осуществляется и в ГМ взрослого человека [71]. Это означает, что общение и решение интеллектуальных задач развивает ГМ не только функционально, но и структурно. Вот почему, как и в опытах Крушинского, животные, обитающие на воле и в стаях, имеют чуть больше неокортекса и проявляют более высокие интеллектуальные способности, чем животные, содержащиеся в неволе, например, в современных вивариях с ограничением подвижности и возможности общения [29, 45]. Расширение социального и физического опыта приводит к большему развитию неокортекса и ЦНС в целом [10].

Безусловно, в детском возрасте эти процессы идут активнее. Известны критические периоды для приобретения тех или иных навыков и знаний [72]. Вне этих рамок обучение намного сложнее, а иногда становится невозможным совсем. 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 [10]. С 2-х 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 психолингвистами 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 ГМ наиболее пластичен и способен к развитию. Но в целом и взрослый мозг – живая и динамическая система, и функционально, и структурно [36].

Рассматривая вопрос функционирования ГМ, интересно также обратить внимание, что живой мозг может находиться, как минимум, в трех разных функциональных состояниях – в состоянии сознания, в состоянии сна и в состоянии потери сознания. Причем и другие животные, помимо человека, спят и теряют «сознание» (определенное доказательство того, что «сознание» у них есть) [73, 74]. На последнее редко обращают внимание, но, в свете высказанной гипотезы механизма мышления в виде возбуждения и рефлекторного гасящего ответа за счет обратной связи, анализ этого явления весьма показателен. Потеря сознания, или переход в бессознательное состояние, у человека, в первую очередь, выступает как симптом, указывающий на какие-либо нарушения [9]. Первая группа причин – внезапные тяжелые повреждения жизненно важных органов и функций (черепно-мозговая травма, сотрясение головного мозга, обширное кровоизлияние в мозг, аневризмы аорты). Вторая группа причин – временные резкие нарушения гомеостаза: гипогликемия у здорового человека, нарушения мозгового кровообращения, острая транзиторная гипоксия мозга (во время пребывания душной комнате, например). Последнее, что характерно, чаще встречается у лиц астенического (хрупкого) телосложения. Резервы их организма, как правило, не столь велики, и потеря сознания, видимо, является для них спасительным рефлексом, кардинально снижающим энергопотребление мозга в критической ситуации и предупреждающим таким образом возможные его необратимые повреждения. Такой же механизм существует и у животных [73]. Но есть для человека и не связанная с травмами и заболеваниями причина потери сознания – внезапный испуг или важная и неожиданная, обычно негативная для индивида вдруг возникшая информация. Иногда теряют сознание от вида крови, иногда при известии о гибели родственника, иногда по другим причинам, но везде здесь выступает в качестве спускового механизма информация. Причем, что опять

характерно, такое явление чаще встречается у лиц женского пола – более эмоциональной части человечества. Для животных же оно не замечено. Трудно представить себе африканскую гориллу, упавшую в обморок от вида капельки крови...

Каков же может быть механизм «информационной» потери сознания у человека? Можно предположить на основе вышеприведенных сведений, что внезапная и неожиданно появившаяся информация, которая крайне важна для индивида, но не была спрогнозирована и смоделирована заранее в отсутствие «успокаивающей» обратной связи вызывает повышенную возбудимость и энергопотребление мозга, необходимые для анализа этой информации и прогнозирования ее последствий. Такое острое перевозбуждение мозга для многих людей чревато также необратимыми разрушениями, поэтому происходит защитное отключение сознания.

Сегодня мы еще очень плохо представляем себе, что такое Сознание и как оно обеспечивается мозговой активностью. Для чего высшим животным и человеку нужен сон*. В этой связи стоит вспомнить дискуссию *“The Self and Its Brain”*, происходившую почти 30 лет назад между крупнейшим нейрофизиологом Д.Экклзом и крупнейшим философом К.Поппером [75] и признать, что всё нарастающая лавина надёжных данных функционального картирования ГМ и некоторый прогресс в теоретических знаниях, тем не менее, не привели за это время к значимому прорыву в осмыслении проблемы. Вероятно, следует возлагать надежды на некий новый методологический прорыв, который должен привести к возникновению новой научной парадигмы Сознания. Как нам представляется, сейчас нет единого мнения ни относительно принципов функционирования ГМ, ни относительно методологии его изучения, не говоря уже о Сознании. Например, все приведенные выше сведения из нейрофизиологии, нейроанатомии, нейропсихологии и других наук ничего не говорят нам о мотивации интеллектуального поведения животного и человека, о целеполагании (мотивации) его рассудочной деятельности. Известно, что и в теории ИИ вопрос о мотивации (целеуказании) не может быть сегодня решен [4]. Для этого надо взглянуть на проблему с иного ракурса.

Взгляд со стороны нейроэндокринологии.

Как было указано выше, НС осуществляет координацию деятельности органов и систем, обеспечивает централизованное управление в организме и его ответное приспособление к изменяющейся внешней среде за счет быстрой и прицельной «доставки» в нужную «точку» организма специальных химических веществ – нейромедиаторов. Однако помимо этого «центрального» аппарата у многоклеточных в процессе эволюции сформировался и еще один инструмент регуляции и координации функций органов и систем организма – *эндокринная система* (ЭС). Ее часто упускают из вида разработчики «умных» роботов и программ ИИ, но эта система не менее важна для управления живым организмом, чем НС. ЭС – это система регуляции деятельности внутренних органов, тканей и клеток посредством особых химических веществ – гормонов[†], выделяемых специальными эндокринными железами (*железами внутренней секреции*) непосредственно в кровь или, в случае диффузной ЭС, одиночными эндокринными клетками в межклеточное пространство и оттуда диффундирующих в соседние клетки или в кровяное русло [77]. К классическим эндокринным органам высших животных и человека можно отнести *гипоталамус* вместе с *нейрогипофизом*, *аденогипофиз*, *щитовидную* и *паращитовидные железы*, часть *поджелудочной железы*, *половые железы*, *надпочечники*, *эпифиз* и *тимус* (*вилочковую железу*).

Несмотря на то, что с точки зрения эволюции передача сигналов по гуморальному пути (от лат. *humor* – жидкость) присуща уже одноклеточным и является более древней, в процессе эволюции НС у животных, как система, возникла значительно раньше, чем ЭС [78].

* Помимо задач отдыха быстрые фазы сна со сновидениями, скорее всего, необходимы мозгу для отработки различных модельных ситуаций, сценариев, в т.ч. самых необычных, что впоследствии используется для прогнозирования событий в реальной жизни [76].

[†] Наименование сигнальных веществ привязано к той системе, где они преимущественно синтезируются. В ЭС сигнальные вещества называются гормонами, в иммунной – цитокинами, в НС – нейротрансмиттерами (нейромедиаторами) и т.д. [9]

Существенный недостаток гуморального способа передачи информации при больших расстояниях – значительное запаздывание ответа относительно момента поступления сигнала. Поэтому в эволюции животного мира эндокринная способность клеток в первую очередь была использована в нейронах: нейроны специализируются, как уже указывалось ранее, в сущности на быстром выделении на большом расстоянии в межклеточную среду (синаптическую щель) специальных сигнальных веществ (нейромедиаторов) в ответ на приход импульса возбуждения к телу нейрона. Благодаря длинным аксонам нейронов и передаче по ним электрических импульсов, НС обеспечивает быстрое реагирование на стимулы любых удаленных органов многоклеточных животных.

В то же время для многих функций, в т.ч. для поддержания гомеостаза организма, скорость реакции не столь критична, а важна именно системность ответа на сигнал разными клетками и органами одновременно. Поэтому эндокринная регуляция не исчезла, развивалась параллельно и в тесной взаимосвязи с НС. 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, т.е. начали работать как эндокринные. Возникновение обособленных органов внутренней секреции произошло позже и было связано, видимо, с дальнейшим совершенствованием механизмов интеграции функций организма [77]. 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 животного начинает контролироваться в значительной степени еще и выделяемыми гормонами и становится более гибким, более мотивированным и целенаправленным.

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, отвечающей за деятельность внутренних органов, кровеносных и лимфатических сосудов [6]. Нейросекреторная деятельность гипоталамуса, в свою очередь, испытывает сильное влияние высших отделов ГМ, особенно *лимбической системы* (см. далее), миндалевидных ядер, гиппокампа, эпифиза [9]. 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.

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 секреторирующих серотонин клеток (известных как клетки Ретциуса (*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-триптами), 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 [8].

У позвоночных вклад ЭС в общий процесс управления организмом менее 50 %, но он, все же, тоже достаточно высок [29]. 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) [6]. 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 ГМ и влияет на переход состояний сон/бодрствование [9]. Эндогенные морфины (сокращенно *эндорфины*) могут «отключать» сознание от ощущения боли, вызывать ощущения удовольствия, спокойствия, радости [6, 10]. В концепции управления работой НС важное значение имеют и такие нейрогормоны как *дофамин*, *вазопрессин*, *окситоцин* и др. [45].

Однако нервная и эндокринная системы могут действовать не только вместе, но и порознь. Функционирование ЭС, в отличие от НС, кроме всего прочего направлено во многом еще и на «стратегическое» управление долговременными процессами: рост, размножение, гомеостаз жизненно важных систем и всего организма [9]. Особенно сильное влияние ЭС на поведение, мышление и другие процессы в организме проявляется в период полового созревания, когда происходит активная выработка половых гормонов [6]. Даже так называемая половая принадлежность ГМ определяется во многом тем, какие гормоны воздействуют на него в большей степени в послеродовом периоде, в период взросления и на протяжении всей жизни [10]. Известна разница в психологии восприятия, мышления и поведения у мужчин и женщин [42]. Но никак нельзя обойти вниманием и мотивационное (целеполагающее) для организма действие половых гормонов в период полового созревания и активной половой жизни, меняющее, зачастую, весь привычный образ жизни особи и ее общее мировосприятие, картину мира [10, 13, 29].

С точки зрения филогенеза уже у членистоногих выявляются сильно развитые нейросекреторные 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 кишечнополостных, имеется нейросекретия 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 с учетом изменений окружающей среды и обстановки (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 долговременного управления, включая мотивацию поведения, а высвобождающиеся «валентности» НС начинают более эффективно использоваться для повышения оперативности управления и развития высших ассоциативных функций.

Как упоминалось ранее, уже на уровне ракообразных для выполнения всех присущих им поведенческих актов необходимо наличие в их НС внутренней модели внешнего мира. Некое внутреннее «я» должно с помощью датчиков внешних сигналов (органов чувств) оценивать внешнюю ситуацию, сравнивать текущее положение дел с внутренней имеющейся моделью, с планом действий и выдавать сигналы исполнительным органам. Более того, согласно идеи группы Иваницкого [56-58] в такой оценке положения дел и при принятии решения о действии/бездействии должно присутствовать и личностное, эмоциональное отношение к ситуации, выводящее нас на более высокоуровневое понятие *ощущения*.

В нейропсихологии под ощущением понимают достаточно простой психический феномен, который некоторые ученые относят к так называемому «первичному сознанию», куда причисляют и *эмоции* [10, 42]. В исследование эмоций выдающийся вклад внес русский ученый П.Симонов [79]. 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 [10],

следует, что эмоции, так же, как и ощущения, возникают в результате сравнения в ГМ двух информационных потоков – внешнего и внутреннего [80].

При алгоритмическом формализованном описании эмоций сегодня разработчики ИИ опираются, в основном, на модели, созданные психологами (модели ОСС, KARO и др.) [81, 82]. Для описания эмоций используются несколько переменных: ожидаемость, полезность, вероятность события и т.д. Однако такой подход правомерен, на наш взгляд, только для описания эмоций «низшего эшелона» – простейших сенсорных *чувств-ощущений* (голода, полового удовлетворения, холода, насыщения, боли, жажды), возникающих в ГМ 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 (виляние хвостом собаки) как дополнительный способ невербальной передачи информации о личностном отношении к происходящему [81]. 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. Особенно ярко это проявляется у отдельных представителей женского пола [10]. В таких эмоциональных состояниях, как раздражение, обида, испуг, грусть, ярость, ревность и т.п. мотивация и результат рассудочной деятельности ГМ будет отличаться от ситуации эмоционального вдохновения, сопереживания, радости. Следовательно, эмоции во многом являются мотивом поведения, элементом управления в живых системах [83], недостающим элементом целеполагания в робототехнике и ИИ.

Общей принятой в нейропсихологии и нейрофизиологии теории эмоций сегодня не существует. Более или менее из сказанного выше сегодня известно только про простые эмоции «низшего эшелона», про *чувства-ощущения*. Но уже про такие высокоуровневые эмоции «среднего эшелона» как ненависть, зависть, ревность, привязанность, печаль, т.е. про более сложные *чувства-переживания* известно куда меньше. Совсем же мало можно что-либо сказать сегодня про высшие интеллектуальные эмоции, про *чувства-осознания*: морального удовлетворения, гордости, уважения, ответственности, стыда. Такие эмоции образуются комплексно, в том числе в зависимости от опыта, образования, воспитания. Тем не менее, сегодня в нейробиологии известно, что *все эмоции – продукт работы НС*, в первую очередь ГМ [6]. Наиболее важные из мозговых структур, имеющие отношения к эмоциям, в совокупности называются *лимбическая система* [9] (Табл. 1). Миндалина, например, 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 моста и ствола ГМ. Участвуют в эмоциях и некоторые области коры (иногда говорят о *лимбическом кольце коры* [9]). 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 поведенческая активность, развивается опасная покорность, повышенное сексуальное влечение. С развитием лимбической системы проявляется и забота о потомстве. Известны опыты по полному удалению коры ГМ у новорожденных хомячков [10]. 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 [6]. Едва ли можно говорить, что черепаха проявляет сложные эмоции, хотя простейшие сенсорные чувства (голод, боль) ей должны быть присущи. Но как, по каким внешним признакам исследователю выяснить, какие эмоции (если они вообще наличествуют) в данный момент

* Следовательно, кстати, кора для выполнения этих простейших функций не является необходимой.

испытывает, к примеру, галапагосская черепаха? Обычно наличие эмоций мы отмечаем, воспринимая невербально передаваемую нам эмоциональную информацию – по улыбке, по жестам, интонации. Строение тела у черепахи иное, чем у млекопитающих, 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 секретируемые вещества, служащие для оповещения других особей о возникновении нештатной ситуации (о вторжении в улей, о нападении на особь и т.п.) [84]. Но испытывает ли само насекомое, их выделяющее, чувство тревоги, или оно только «хладнокровно» сигнализирует о необходимости запуска той или иной стратегии коллективного поведения – непонятно.

Все анатомические части и функции лимбической системы практически сходны у всех млекопитающих [10]. 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 как минимум многие другие млекопитающие помимо человека могут испытывать уже достаточно сложные эмоции. Проявление эмоций, рождающихся в недрах их НС от совокупности простейших ощущений, сопровождается выработкой соответствующих гормонов, далее управляющих их сложным, целенаправленным поведением. 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*) [29]. 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 ГМ, с опытом, образованием и воспитанием может генерировать внутри себя уже очень сложные эмоции. Но и у человека они также посредством, в том числе, и гуморальной регуляции, осуществляют дополнительное управление всеми органами и системами организма, включая ГМ. 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, видимо, 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 жизненном опыте.

Таблица 1.

Основные отделы и анатомические структуры головного мозга человека

Строение и функции головного мозга человека (общие положения)			
<i>Эмбриогенетический отдел</i>	<i>Морфофункциональный отдел</i>	<i>Основные анатомические структуры</i>	<i>Функции</i>
<i>Передний мозг (Prosencephalon)</i>	<i>Конечный мозг (Telencephalon)</i>	Базальные ганглии (Nuclei basales)	<i>Системно-регуляторная: контроль соматических и вегетативных функций Участие в осуществлении интегративных процессов высшей нервной деятельности (обучение, память и др.)</i>

	Промежуточный мозг (Diencephalon)	Кора головного мозга (и гиппокамп как ее часть) (Cortex cerebri)	<p>Высший центр соматических, вегетативных и ассоциативных функций. Древняя кора - высший центр обонятельной системы. Старая кора (и в ее составе – гиппокамп) отвечает за мотивации, эмоции и память. За всё остальное отвечает новая кора (у млекопитающих большая часть ее выполняет ассоциативные функции) Реализация высшей нервной деятельности</p> <p>Сознание и рассудочная деятельность</p>
		Обонятельные луковицы и обонятельные тракты (Bulbi olfactorii u tractus olfactorii)	Периферическая и проводниковая части обонятельного анализатора
		Мозолистое тело, передняя комиссура и свод мозга (corpus callosum, comissura anterior, fornix)	Проводниковая: взаимосвязь полушарий конечного мозга; свод выполняет ту же функцию для половин обонятельного анализатора
		Сетчатка глаз (согласно эмбриогенезу относится к переднему мозгу) (Retina) Зрительные мозговые тракты (II головные нервы) (Nervi optici)	Периферическая и проводниковая части зрительного анализатора, периферический центр обработки зрительной информации
			Проводниковая
		Таламус (Thalamus)	Первичная обработка сенсорной информации (вторичная - зрительной и слуховой)
		Гипоталамус (и гипофиз как подчиненная структура) (Hypothalamus)	<p>Подкорковый центр обонятельной системы</p> <p>Участие в процессах запоминания</p> <p>Подкорковый центр вегетативной нервной системы (отвечает за гомеостаз организма)</p> <p>Системно-регуляторная (и рефлекс, и гормоны): высший центр регуляции эндокринных функций, объединяет нервные и эндокринные регуляторные механизмы в единую нейроэндокринную систему</p>
		Эпиталамус (и, как его часть,	Проводниковая

		шишковидное тело-эпифиз) (Epithalamus)	Системно-регуляторная (гормон): контроль суточного биоритма
Средний мозг (Mesencephalon)	Средний мозг* (Mesencephalon)	Четверохолмие (Corpora quadrigemina)	Проводниковая Первичная обработка зрительной и слуховой информации, реализация ориентировочного рефлекса, управление движениями глаз
		Ножки мозга (Pedunculi cerebri)	Системно-регуляторная (по принципу рефлекса): регуляция тонуса мускулатуры, поддержание позы Проводниковая
Первичный задний (ромбовидный) мозг (Rhombencephalon)	Собственно задний мозг (Metencephalon)	Мост (Варолиев мост)* (Pons)	Проводниковая
		Мозжечок (Cerebellum)	Системно-регуляторная (в основном по принципу рефлекса): координация движений (в том числе произвольных), регуляция равновесия тела и тонуса скелетной мускулатуры, реализация и координация двигательных программ
	Продолговатый мозг* (Myelencephalon или Medulla oblongata)	Продолговатый мозг* (Myelencephalon или Medulla oblongata)	Рефлекторная: пищевые рефлексы (глотание, рвота), защитные рефлексы (кашель, чихание) Системно-регуляторная (по принципу рефлекса): контроль за пищеварительной системой, тонусом сосудов, сердечной деятельностью, дыханием, тонусом скелетной мускулатуры Проводниковая: связь спинного мозга с вышележащими отделами головного мозга
Жирным шрифтом обозначены отделы, входящие в лимбическую систему.			
*Продолговатый мозг, мост и средний мозг вместе называют стволом мозга; иногда в это понятие включают также мозжечок и промежуточный мозг.			

Обсуждение и заключение

По мнению известного математика и физика Р. Пенроуза [85], сознание не может быть сведено к вычислениям, так как живой мозг отличается от компьютера тем, что способен *понимать*. На этом же важнейшем аспекте – на проблеме понимания – заостряют внимание и авторы книги «Об интеллекте» [36]. Что значит понять? Они приводят пример: понимание сущности сложения, допустим, что у ребенка появится в результате каких-то его действий вместо одной конфеты две или больше происходит у него намного раньше, чем он научится считать. И ребенок уже с 1,5-2-х лет с удовольствием при случае поспешит приумножить свои конфеты. Т.е. ГМ ребенка легко оперирует арифметикой без конкретных

математических категорий (понятий) «один» «плюс» «один» «в сумме» «больше» «один», которые он, возможно, впервые услышит только в школе. Его мозг просто встраивает этот жизненный опыт в его внутреннюю модель (картину) мира задолго до появления навыков в арифметике. Соответственно, напрашивается предположение, что *понимание есть процесс непротиворечивого встраивания новых сведений в существующую модель мира у субъекта*. У каждого субъекта в деталях внутренняя картина внешнего мира индивидуальна, уникальна, поэтому мы и говорим об индивидууме. Если новые сведения (информация) встроились в эту модель, можно говорить, что они *поняты* этим конкретным субъектом. Для других эти сведения могут остаться непонятными. Отсюда следует, что сопоставление вновь поступившей информации с прошлым опытом и имеющейся моделью мира, ее тестирование на непротиворечивость и корректировка модели при необходимости – большая содержательная часть нашего сознания и мышления. Однако не только этим отличается наш ГМ от компьютера и программ ИИ. Мозг, как мы теперь видим, во-первых, не единственная система управления у нас в организме, а, во-вторых, он работает на совершенно иных принципах – на принципах биохимических процессов. Есть даже гипотеза, что он может реализовывать в принципе невычислимые процедуры [85]. Никакие компьютеры и программы ИИ не имитируют биохимические процессы в НС, не моделируют выделение гормонов и нейромедиаторов, не воспроизводят (даже виртуально) кровоснабжение, дыхание и питание нейронов ГМ, поэтому говорить о моделировании работы и функционирования ГМ методами вычислительных алгоритмов и ИИ неправомерно. Максимум можно говорить о попытке построения функционально аналогичных систем управления и принятия решения, выполняющих схожие с ГМ интеллектуальные функции (и то далеко не все на сегодня), но другими методами.

В мозге все зарождается с простейшего рефлекса стимул-ответ. Нервная сеть вырабатывает некий адекватный ответ на всякий внешний и внутренний стимул (вызов, сигнал, новую информацию). Объединяясь в нервную сеть, в ганглии, отдельные нейроны так кооперируются в своей работе, что начинают вырабатывать достаточно сложные рефлекторные ответы, например, формируют условные рефлексы. Для выработки простейших условных рефлексов даже сложный ГМ не является необходимым, достаточно региональных ганглиозных узлов. Известен, например, опыт с тараканом, лишенным головы и подвешенным над ванночкой с солевым 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 – научится избегать «неприятностей» [72]. Это значит, что память и условные рефлексы у него формируются не только в ГМ. Вообще, как мы видим, в эволюции НС просматривается ключевая роль ганглиозных узлов – элементов обобществления и кооперации нейронов. Увеличение количества и взаимосвязей ганглий приводит, несомненно, к более высокому уровню «разумного» поведения и развития животных. Это отчетливо видно на примере ракообразных. Однако, на наш взгляд, сколько-нибудь системного понимания общих функциональных принципов организации и работы ганглиозных узлов в целом сегодня пока нет. Много ли мы знаем о базовых принципах работы одного ганглиозного узла? Все ли узлы у всех животных структурно и функционально одинаковы, или есть их разные структурно-функциональные разновидности? Можно ли их классифицировать и изучить структурно и функционально?

Хотя во многих руководствах по нейрофизиологии природа кортикальных колонок и модульной структуры ГМ, доказанная Маунткаслом, позиционируется в целом неизвестной, взгляд с точки зрения филогенеза на их происхождение наталкивает на предположение, что колонки – результат цефализации НС. Наиболее вероятно они – эволюционировавшие и объединившиеся в единую новую структуру множественные ганглиозные узлы. Во всяком случае, порядок количества нейронов в них – сотни – соответствует порядку количества нейронов в ганглиях многих беспозвоночных. Если это так, если все кортикальные колонки – стереотипные простейшие ганглии, то единый принцип функционирования мозга по единому фундаментальному механизму – механизму рефлекторного ответа (вне зависимости от морфологических деталей и функциональной специализации разных зон

ГМ) получает дополнительное подтверждение. Но тогда какой базовый, фундаментальный и единый механизм (алгоритм) работы ганглий в принципе может существовать, чтобы при простом объединении множества стереотипных ганглиозных узлов в одну единую структуру – в ГМ – обеспечить такое разнообразие высших интегративных, в том числе и когнитивных функций? Во всяком случае, для современного программного обеспечения интегральных роботов такая универсализация алгоритмических процедур, когда объединение множества стереотипных подпрограмм в одну единую программу дает качественно новый «интеллектуальный» скачок, пока не достижима.

Развитие интеллектуальных способностей человека во многом связано с развитием его речи и возможностью обучать потомство – внегеномный способ передачи потомству приобретенных признаков (знаний) в противовес геномной «запрограммированной» наследственности. Анатомически, строение ГМ всех млекопитающих одинаково. Разница только в соотношении размеров отдельных областей неокортекса, коры и подкорковых структур, а также в их функциональной развитости. Анатомически область Брока есть у всех млекопитающих, но, естественно, ее функционал зависит от интенсивности и глубины «вербального общения» животного в семье и/или стае. Однако, как теперь известно, функциональное и топографическое развитие синаптических связей происходит на протяжении всей жизни индивида и сильно связано с интенсивностью понятийного общения и обучения в наиболее чувствительные периоды первых лет жизни. 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. Тем не менее, на вторую часть вопроса логично было бы попробовать ответить отсутствием знакового общения и научения для этого ребенка в его чувствительные периоды жизни. Но почему любое млекопитающее животное не может быть обучено человеком? Попробуем высказать свое собственное предположение: возможно именно потому, что обучает человек, а не аналогичное животное! Человек обучает на основе понятных ему (человеку) движений, жестов, звуков, категорий. Их нет в инстинктивном арсенале животного, а его чувствительные периоды иногда очень коротки. Вот если бы маленькое животное обучало бы аналогичное ему взрослое животное, не обязательно биологический родитель, но (представим себе) умное и умеющее обучать, то тогда и эффект, возможно, был бы качественно другим. Возможно, дело не столько в анатомии или физиологии, сколько в эволюционном развитии системы. Если так, открывается заманчивая перспектива исследований по искусственному «эволюционному» отбору, чтобы попробовать вывести за 100-1000 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 не только. Детеныши «умных» родителей, лишённые обучения и разнообразного общения в их чувствительный период, не проявляют выдающихся способностей. Следовательно, дело еще и в обучении. Поэтому, искусственному отбору в исследованиях на выведение обучающей породы животных должны подвергаться животные, наиболее способные обучать свое потомство. Как только это распознать?

Но это для животных, а для роботов и программ ИИ? Должны ли быть обязательно применены к ним принципы развития нервной и эндокринной систем животных и человека? Ответа тоже пока нет. Интуитивно представляется, что обучать каждого робота как человека по 10-15 лет – глупость. Программы, базы данных и знаний, как генетический код, можно передавать «по наследству», совершенствуя их каждый раз для нового поколения роботов. Но мотивацию деятельности роботов в виде неких «эмоций» вводить смысл есть. Основа сознательной, разумной деятельности ГМ – анализ временных последовательностей входящих внешних сигналов, сравнение их с внутренней моделью мира и эталонами понятий этой модели, предсказание развития ситуации и ее эмоциональная оценка. Как видим, ключевой, центральный элемент здесь – *внутренняя понятийная модель мира индивида*. Во взаимодействии с ней внешние сигналы

переводятся в ощущения, происходит понимание ситуации, ее классификация, личностная оценка и прогнозирование ее развития. С учетом изложенных фактов можно выдвинуть тезис, что в программном обеспечении робота ключевым элементом должна стать его внутренняя модель мира. Более того, по аналогии с филогенезом НС и ЭС, можно высказать гипотезу, что внутренняя модель мира робота также должна постепенно «эволюционным путем» формироваться от самой простой версии к более сложной. Т.е. может существовать (или должна существовать) некоторая элементарная и самодостаточная модель мира, которая в дальнейшем с помощью обучения и собственного опыта робота может дорабатываться и развиваться внутри робота до уровня реалистичной полномасштабной модели. Память и прогнозирование ситуации должны стать в этом процессе определяющими инструментами, а вычислительные ресурсы компьютера в смысле выполнения математических вычислений и решений уравнений должны быть задействованы по минимуму. Неокортекс в своей повседневной деятельности не решает уравнений и не проводит строгих математических вычислений. Он, согласно последним данным нейрофизиологии, инвариантно (понятийно) запоминает ситуацию, прогнозирует ее развитие во времени и сравнивает автоассоциативно с энграммами, хранящимися в памяти. Все это происходит рефлекторно, высшие интегративные функции ГМ реализуются за счет корпоративной работы большого количества развитых ганглиозных узлов. Можно ли такие же функции реализовать на системе с другой структурной организацией, на компьютере, или для этого необходима именно структурная схема НС с ганглиями – вопрос пока открытый.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №14-08-01127а.

Примечания:

1. Asada M., Hosoda K., Kuniyoshi Y., Ishiguro H., Inui T., Yoshikawa Y., Ogino M., Yoshida C. Cognitive developmental robotics: a survey // *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 2009, V.1, I.1, P. 12–34.
2. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
3. Рогаткин Д.А., Лапитан Д.Г. Роботы: неминуемое нашествие. // *Химия и жизнь*, 2013, №3, с. 34-39.
4. Осипов Г.С. Лекции по искусственному интеллекту. М.: Либроком, 2014. 272 с.
5. Eliasmith C., Stewart T.C., Choo X., Bekolay T., Wolf T., Tang Y., Rasmussen D. A Large-Scale Model of the Functioning Brain // *Science*, 2012, V. 338, P. 1202–1205.
6. Грин Н. Биология. В 3-х т., Т.2/ Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. // Пер. с англ. под. Ред. Р. Сонера. 2-е изд. М.: Мир, 1996. 325 с.
7. Козлов В.И. Анатомия нервной системы. / Учебное пособие для студентов/ Козлов В.И., Цехмистренко Т.А. М.: Мир, 2008. 208 с.
8. От нейрона к мозгу: Пер. с англ. Изд. 2-е / Николлс Дж., Мартин А., Валлас Б., Фукс П. М.: ЛКИ, 2008 672 с.
9. Гайтон А.К. Медицинская физиология. / Гайтон А.К., Холл Дж. Э. / Пер. с англ под ред. В.И. Кобрина. М.: Логосфера, 2008. 1296 с.
10. Блум Ф. Мозг, разум, поведение. / Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л. / Пер. с англ. к.б.н. Годиной Е.З. М.: Мир, 1988. 248 с.
11. Шарова И. Х. Зоология беспозвоночных. М.: Владос, 2002. 592 с.
12. Зоология беспозвоночных. Т.1: От простейших до моллюсков до артропод. / Под ред. Вестхайде В., Ригера Р. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 444 с.
13. Ичас М. О природе живого: механизмы и смысл. / Пер. с англ. М.: Мир, 1994. 496 с.
14. Staras K., Kemenes G., Benjamin P.R. Electrophysiological and behavioral analysis of lip touch as a component of the food stimulus in unconditioned feeding of the snail *Lymnaea* // *Journal of Neurophysiology*, 1999, V.81, I.3, P. 1261-1273.
15. Alkon D. *Memory Traces in the Brain*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 204 p.

16. Takahashi M., Ishida T., Traub O., Corson M.A., Berk B.C. Mechanotransduction in Endothelial Cells: Temporal Signaling Events in Response to Shear Stress // *Journal of Vascular Researches*, 1997, V.34, I.3, P. 212-219.
17. Lewis J.E., Kristan W.B. A neuronal network for computing population vectors in the leech // *Nature*, 1998, V.391, P. 76-79.
18. Roberts A., Bush B.M.H. Coxal Muscle Receptors in the Crab: The Receptor Current and some Properties of the Receptor Nerve Fibres // *Journal of Experimental Biology*, 1971, V.54, P. 515-524.
19. Kandel E.R. *Behavioral Biology of Aplysia*. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 463 p.
20. Ходжаян А.Б. О некоторых морфофункциональных преобразованиях нервной, эндокринной систем и органов чувств в филогенезе беспозвоночных и позвоночных / Учебно-методическое пособие для студентов 1-го курса СтГМА. / Ходжаян А.Б., Федоренко Н.Н., Краснова Л.А. Ставрополь: СтГМА, 2008. 89 с.
21. Головин А.А., Гладков Ю.А. Механический аналог гусеницы // *Проблемы механики современных машин: Материалы международной конференции*, Т.1. Улан-Удэ: ВСГТУ, 2000. с. 154-159.
22. Хофштэттер К. В. Креветки и раки в аквариуме. М.: АКВАРИУМ, 2008. 120 с.
23. Белоусов Л.В. Основы общей эмбриологии. М.: МГУ, 2005. 368 с.
24. Обухов Д.К. Современные представления о развитии, структуре и эволюции неокортекса конечного мозга млекопитающих животных и человека. // В кн.: Вопросы морфологии XXI века. Выпуск 1. Сборник научных трудов, посвященный 100-летию кафедры медицинской биологии СПбГМА им. И.И. Мечникова. СПб.: СПбГМА им. И.И. Мечникова, Издательство ДЕАН 2008. с. 200-233.
25. Обухов Д.К. Эволюционная морфология конечного мозга позвоночных. СПб.: Знак, 1999. 220 с.
26. Карменян А.И. Эволюция конечного мозга позвоночных. Л.: Наука, 1976. 253 с.
27. Зорина З. А. Ученые в поисках разума // *Троицкий вариант*, 2013, №11. с. 10.
28. Резник Л.Р. Мысли без слов // *Химия и жизнь*, 2014, №4. с.41-45.
29. Жуков Д. Стой, кто ведёт? Биология поведения человека и других зверей. В 2-х томах, М.: Изд-во «Альнина – нон – фикш». 2013.
30. Weir A.A.S., Chappell J., Kacelnik A. Shaping of Hooks in New Caledonian Crows // *Science*, 2002, V.297, I.5583. p. 981.
31. Hunt G. R. Manufacture and use of hook-tools by New Caledonian crows // *Nature*, 1996, V.379. p. 249-251.
32. Крушинский Л.В. Биологические основы рассудочной деятельности: Эволюционный и физиолого-генетический аспекты поведения. Изд.3. М: URSS, 2009. 272 с.
33. McComb K., Moss C., Durant S. M., Baker L., Sayialel S. Matriarchs as repositories of social knowledge in African elephants // *Science*, 2001, V. 292. P. 491-494.
34. Черников А.М., Клещенко Е.В. Конрад Лоренц о животных и людях // *Химия и жизнь*, 2013, №11. с. 40-43.
35. Черниговская Т.В. Зеркальный мозг, концепты и язык: цена антропогенеза // *Физиологический журнал им. И.М. Сеченова*, 2006, т.92, №1. с. 84-99.
36. Хокинс Дж. Об интеллекте. / Хокинс Дж., Блейкли С. / Пер. с англ, М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. 240 с.
37. Обухов Д.К. Современные представления о развитии, структуре и эволюции неокортекса конечного мозга млекопитающих и человека // *Вестн. СПбГУ*, 2005, № 6. с. 200-223.
38. Краснощекова Е.И. Модульная организация нервных центров. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007.
39. Обухов Д.К. Развитие идей А.А. Заварзина о строении и эволюции экранных центров ЦНС позвоночных и человека на современном этапе // *Вестник СПбГУ*, 2005, вып. 3. № 3. С. 52–60.
40. Mountcastle V.D. The columnar organization of the neocortex // *Brain*, 1997, V. 120, P. 701–722.

41. Маунткасл В. Организующий принцип функции мозга – элементарный модуль и распределенная система // В кн. Разумный мозг. М.: Мир, 1981.
42. Хомская Е.Д. Нейропсихология: 4-е изд. СПб.: Питер, 2005. 496 с.
43. Андреева Н.Г. Эволюционная морфология нервной системы позвоночных. / Андреева Н.Г., Обухов Д.К. СПб.: Лань, 1999.
44. Nieuwenhuys R. The myeloarchitectonic studies on the human cerebral cortex of the Vogt–Vogt school, and their significance for the interpretation of functional neuroimaging data // *Brain Structure and Function*, 2013, V.218, I.2. P. 303-352.
45. Шкурко А.В. Человеческий мозг и социальное поведение // *Химия и Жизнь*, 2013, №11. с. 36-39.
46. Rizzolatti G., Craighero L. The mirror-neuron system // *Annual Review of Neuroscience*, 2004, V. 27 P. 169–192.
47. Decety J., Lamm C. The role of the right temporoparietal junction in social interaction: How low level computational processes contribute to metacognition // *Neuroscientist*, 2007, V.13. P. 580-593.
48. Koenigs M., Young L., Adolphs R., Tranel D., Cushman F., Hauser M., Damasio A. Damage to the prefrontal cortex increases utilitarian moral judgements // *Nature*, 2007, V.446. P. 908-911.
49. Van Essen D.C., Glasser M.F., Dierker D.L., Harwell J. Cortical parcellations of the macaque monkey analyzed on surface-based atlases // *Cerebral Cortex*, 2012, V.22. P. 2227–2240.
50. Van Essen D. C. Cartography and connectomes // *Neuron*, 2013, V.80. P. 775-790.
51. Сапин М.Р. Анатомия человека. / Сапин М.Р., Билич Г.Л. М.: Высшая школа, 1989.
52. Stuss D.T. Principles of frontal lobe function. / Stuss D. T., Knight R. T. (ed.). Oxford: Oxford University Press, 2013.
53. Haigh A., Brown D.J., Meijer P., Proulx M.J. How well do you see what you hear? The acuity of visual-to-auditory sensory substitution // *Frontiers in Psychology*, 2013, I.4. P.330.
54. Sampaio E., Maris S., Bach-y-Rita P. Brain plasticity: 'visual' acuity of blind persons via the tongue // *Brain research*, 2001, V.908, I.2. P. 204-207.
55. Обухов Д.К. Современные представления о развитии, структуре и эволюции неокортекса конечного мозга млекопитающих и человека // *Вестник СПбГУ*, 2005, №. 6. С. 200-223.
56. Иваницкий А.М. Главная загадка природы: как на основе процессов мозга возникают субъективные переживания // *Психологический журнал*. 1999. Т.20. В.3. С. 93-104.
57. Иваницкий А.М. Сознание и мозг // *В мире науки*, 2005, №11, с. 3-10.
58. Иваницкий А.М. Информационные процессы мозга и психическая деятельность. / Иваницкий А.М., Стрелец В.Б., Корсаков И.А. М.: Наука, 1984. 200 с.
59. Косяков Ю.Б. Мой мозг. Строение, принципы работы, моделирование. М.: Синтег, 2001. 164 с.
60. Пенроуз Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики / Пер. с англ. под ред. Малышенко В.О. // Изд. 2-е, испр. М.: Едиториал УРСС, 2005. 400 с.
61. Chomsky N. *New Horizons in the Study of Language and Mind*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
62. Апресян Ю.Д. Исследования по семантике и лексикографии. Т.1: Парадигмика. М.: Языки славянских культур, 2009. 568 с.
63. Худяков А.А. Понятийные категории как объект лингвистического исследования // Сб. научн. трудов «Аспекты лингвистических и методических исследований» Архангельск: ПГУ им. М.В.Ломоносова, 1999.
64. Кассирер Э. *Философия символических форм*. Т.1. М.; СПб.: Университетская книга, 2002.
65. Комарова З.И., Дедюхина А.С. Методологические и методические основы изучения категории партиитивности в современном языкознании // *Вестник Пермского Университета*, 2010, вып. 2. с. 35-41.
66. Есперсен О. *Философия грамматики*. М.: Иностран. Лит., 1958.
67. Кальной И.И., Сандулов Ю.А. *Философия для аспирантов: Учебник*. / Под ред. И.И. Кальной. 3-е изд., стер. СПб.: Издательство «Лань», 2003.

68. Fodor J. *The Mind Doesn't Work That Way: The Scope and Limits of Computational Psychology*. Cambridge: The MIT Press. 2001.
69. Dunbar R.I.M. Coevolution of neocortical size, group size and language in humans // *Behavioral and Brain Sciences*, 1993, V.16. P. 681-735.
70. Шорз Т. Спасите новые нейроны // *В мире науки*, 2009, №6. с. 41-47.
71. Gould E., Beylin A., Tanapat P., Reeves A., Shors T.J. Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation // *Nature neuroscience*, 1999, V.2, I.3. P. 260-265.
72. Роуз С. Устройство памяти: от молекул к сознанию / Пер с англ. Ю.В. Морозова. М.: Мир, 1995. 384 с.
73. Талько А.Н. Справочник ветеринара. Руководство по оказанию неотложной помощи животным. СПб.: Питер, 2012. 256 с.
74. Квинтен Д. Болезни декоративных птиц. М.: "Аквариум ЛТД, ГИППВ", 2002. 208 с.
75. Popper K. C., Eccles J. C. *The Self and Its Brain: an argument for interactionism*. Berlin: Springer International, 1986.
76. Вейн А.М. Сновидения. / Вейн А.М., Корабельникова Е.А. М.: Эйдос-медиа, 2003. 224 с.
77. Камкин А.Г. Фундаментальная и клиническая физиология. / Камкин А.Г., Каменский А.А. М.: Академия, 2004. 1072 с.
78. Ходжаян А.Б. О некоторых морфо-функциональных преобразованиях нервной, эндокринной систем и органов чувств в филогенезе беспозвоночных и позвоночных / Учебно-методическое пособие для студентов 1-го курса СтГМА. / Ходжаян А.Б., Федоренко Н.Н., Краснова Л.А. Ставрополь: СтГМА, 2008. 89 с.
79. Симонов П.В. Лекции о работе головного мозга. Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности. М.: Институт психологии РАН, 1998. 96 с.
80. Фоминых И.Б. Эмоции как аппарат оценок поведения интеллектуальных систем // Труд 10-й Национальной конференции по искусственному интеллекту «КИИ – 2006», Т.2. М.: Физматлит, 2006.
81. Ребрун И.А., Сидоров К.В., Филатова Н.Н., Ханеев Д.М. Модель проявления эмоций в естественной речи // Труды 14-ой Национальной конференции по искусственному интеллекту «КИИ-2014». Т.2. Казань: РИЦ «Школа», 2014. с. 112-121.
82. Ortony A. *The cognitive structure of emotion*. / Ortony A., Clore G.L., Collins A. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
83. Анохин П.К. Эмоции // В кн.: Большая медицинская энциклопедия, т. 35. М.: Медгиз, 1964.
84. Иванов В.Д. Феромоны насекомых // *Соросовский образовательный журнал*, 1998, №6. С. 29-34.
85. Пенроуз Р. Тени разума. В поисках науки о сознании. Часть 1. Понимание разума и новая физика. Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2003. 368 с.

References:

1. Asada M., Hosoda K., Kuniyoshi Y., Ishiguro H., Inui T., Yoshikawa Y., Ogino M., Yoshida C. Cognitive developmental robotics: a survey // *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 2009, V.1, I.1, P. 12–34.
2. Yurevich E. I. *Osnovy robototekhniki*. 2-e izd., pererab. i dop. SPb.: BKhV-Peterburg, 2005. 416 s.
3. Rogatkin D.A., Lapitan D.G. Roboty: neminuемое nashestvie. // *Khimiya i zhizn'*, 2013, №3. s. 34-39.
4. Osipov G.S. *Leksii po iskusstvennomu intellektu*. М.: Librokom, 2014. 272 s.
5. Eliasmith C., Stewart T.C., Choo X., Bekolay T., Wolf T., Tang Y., Rasmussen D. A Large-Scale Model of the Functioning Brain // *Science*, 2012, V. 338, P. 1202–1205.
6. Grin N. *Biologiya*. V 3-kh t., T.2/ Grin N., Staut U., Teilor D. // Per. s angl. pod. Red. R. Sonera. 2-e izd. М.: Mir, 1996. 325 s.
7. Kozlov V.I. *Anatomiya nervnoi sistemy*. / Uchebnoe posobie dlya studentov/ Kozlov V.I., Tsekhmistrenko T.A. М.: Mir, 2008. 208 s.
8. *Ot neirona k mozgu*: Per. s angl. Izd. 2-e / Nikolls Dzh., Martin A., Vallas B., Fuks P. М.: LKI, 2008 672 s.

9. Gaiton A.K. Meditsinskaya fiziologiya. / Gaiton A.K., Khol Dzh. E. / Per. s angl pod red. V.I. Kobrina. M.: Logosfera, 2008. 1296 s.
10. Blum F. Mozg, razum, povedenie. / Blum F., Leizeron A., Khofstedter L. / Per. s angl. k.b.n. Godinoi E.Z. M.: Mir, 1988. 248 s.
11. Sharova I. Kh. Zoologiya bespozvonochnykh. M.: Vlados, 2002. 592 s.
12. Zoologiya bespozvonochnykh. T.1: Ot prosteishikh do mollyuskov do artropod. / Pod red. Vestkhaide V., Rigera R. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. 444 s.
13. Ichas M. O prirode zhivogo: mekhanizmy i smysl. / Per. s angl. M.: Mir, 1994. 496 s.
14. Staras K., Kemenes G., Benjamin P.R. Electrophysiological and behavioral analysis of lip touch as a component of the food stimulus in unconditioned feeding of the snail *Lymnaea* // *Journal of Neurophysiology*, 1999, V.81, I.3, P. 1261-1273.
15. Alkon D. Memory Traces in the Brain. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 204 p.
16. Takahashi M., Ishida T., Traub O., Corson M.A., Berk B.C. Mechanotransduction in Endothelial Cells: Temporal Signaling Events in Response to Shear Stress // *Journal of Vascular Researches*, 1997, V.34, I.3, P. 212-219.
17. Lewis J.E., Kristan W.B. A neuronal network for computing population vectors in the leech // *Nature*, 1998, V.391, P. 76-79.
18. Roberts A., Bush B.M.H. Coxal Muscle Receptors in the Crab: The Receptor Current and some Properties of the Receptor Nerve Fibres // *Journal of Experimental Biology*, 1971, V.54, P. 515-524.
19. Kandel E.R. Behavioral Biology of Aplysia. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 463 p.
20. Khodzhayan A.B. O nekotorykh morfofunktional'nykh preobrazovaniyakh nervnoi, endokrinnoi sistem i organov chuvstv v filogeneze bespozvonochnykh i pozvonochnykh / Uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov 1-go kursa StGMA. / Khodzhayan A.B., Fedorenko N.N., Krasnova L.A. Stavropol': StGMA, 2008. 89 s.
21. Golovin A.A., Gladkov Yu.A. Mekhanicheskii analog gusenitsy // Problemy mekhaniki sovremennykh mashin: Materialy mezhdunarodnoi konferentsii, T.1. Ulan-Ude: VSGTU, 2000. s. 154-159.
22. Khofshtetter K. V. Krevetki i raki v akvariume. M.: AKVARIUM, 2008. 120 s.
23. Belousov L.V. Osnovy obshchei embriologii. M.: MGU, 2005. 368 s.
24. Obukhov D.K. Sovremennye predstavleniya o razvitiy, strukture i evolyutsii neokorteksa konechnogo mozga mlekopitayushchikh zhivotnykh i cheloveka. // V kn.: Voprosy morfologii XXI veka. Vypusk 1. Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennyi 100-letiyu kafedry meditsinskoi biologii SPbGMA im. I.I. Mechnikova. SPb.: SPbGMA im. I.I. Mechnikova, Izdatel'stvo DEAN 2008. s. 200-233.
25. Obukhov D.K. Evolyutsionnaya morfologiya konechnogo mozga pozvonochnykh. Spb.: Znak, 1999. 220 s.
26. Karmenyan A.I. Evolyutsiya konechnogo mozga pozvonochnykh. L.: Nauka, 1976. 253s.
27. Zorina Z. A. Uchenye v poiskakh razuma // *Troitskii variant*, 2013, №11. s. 10.
28. Reznik L.R. Mysli bez slov // *Khimiya i zhizn'*, 2014, №4. s.41-45.
29. Zhukov D. Stoi, kto vedet? Biologiya povedeniya cheloveka i drugikh zverei. V 2-kh tomakh, 2013. M.: Izd-vo «Al'nina – non – fiksh».
30. Weir A. A. S., Chappell J., Kacelnik A. Shaping of Hooks in New Caledonian Crows // *Science*, 2002, V.297, I.5583. p. 981.
31. Hunt G. R. Manufacture and use of hook-tools by New Caledonian crows // *Nature*, 1996, V.379. p. 249-251.
32. Krushinskii L.V. Biologicheskie osnovy rassudochnoi deyatel'nosti: Evolyutsionnyi i fiziologo-geneticheskii aspekty povedeniya. Izd.3. M: URSS, 2009. 272 s.
33. McComb K., Moss C., Durant S. M., Baker L., Sayialel S. Matriarchs as repositories of social knowledge in African elephants // *Science*, 2001, V. 292. P. 491-494.
34. Chernikov A.M., Kleshchenko E.V. Konrad Lorents o zhivotnykh i lyudyakh // *Khimiya i zhizn'*, 2013, №11. s. 40-43.
35. Chernigovskaya T.V. Zerkal'nyi mozg, kontsepty i yazyk: tsena antropogeneza // *Fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2006, t.92, №1. s. 84-99.

36. Khokins Dzh. Ob intellekte. / Khokins Dzh., Bleikslis S. / Per. s angl, M.: OOO «I.D. Vil'yams», 2007. 240 s.
37. Obukhov D. K. Sovremennye predstavleniya o razvitii, strukture i evolyutsii neokorteksa konechnogo mozga mlekopitayushchikh i cheloveka // Vestn. SPbGU, 2005, № 6. c. 200-223.
38. Krasnoshchekova E. I. Modul'naya organizatsiya nervnykh tsentrov. SPb.: Izd-vo SPbGU, 2007.
39. Obukhov D. K. Razvitie idei A. A. Zavarzina o stroenii i evolyutsii ekrannykh tsentrov TsNS pozvonochnykh i cheloveka na sovremennom etape // Vestnik SPbGU, 2005, vyp. 3. № 3. S. 52-60.
40. Mountcastle V. D. The columnar organization of the neocortex // Brain, 1997, V. 120, P. 701-722.
41. Maunkasl V. Organizuyushchii printsip funktsii mozga – elementarnyi modul' i raspredelennaya sistema // V kn. Razumnyi mozg. M.: Mir, 1981.
42. Khomskaya E.D. Neiropsikhologiya: 4-e izd. SPb.: Piter, 2005. 496 s.
43. Andreeva N. G. Evolyutsionnaya morfologiya nervnoi sistemy pozvonochnykh. / Andreeva N. G., Obukhov D. K. SPb.: Lan', 1999.
44. Nieuwenhuys R. The myeloarchitectonic studies on the human cerebral cortex of the Vogt-Vogt school, and their significance for the interpretation of functional neuroimaging data // Brain Structure and Function, 2013, V.218, I.2. P.303-352.
45. Shkurko A.V. Chelovecheskii mozg i sotsial'noe povedenie // Khimiya i Zhizn', 2013, №11. s. 36-39.
46. Rizzolatti G., Craighero L. The mirror-neuron system // Annual Review of Neuroscience, 2004, V. 27. P. 169-192.
47. Decety J., Lamm C. The role of the right temporoparietal junction in social interaction: How low level computational processes contribute to metacognition // Neuroscientist, 2007, V.13. P. 580-593.
48. Koenigs M., Young L., Adolphs R., Tranel D., Cushman F., Hauser M., Damasio A. Damage to the prefrontal cortex increases utilitarian moral judgements // Nature, 2007, V.446 P. 908-911.
49. Van Essen D.C., Glasser M.F., Dierker D.L., Harwell J. Cortical parcellations of the macaque monkey analyzed on surface-based atlases // Cerebral Cortex, 2012, V.22. P. 2227-2240.
50. Van Essen D. C. Cartography and connectomes // Neuron, 2013, V.80. P. 775-790.
51. Sapin M.R. Anatomiya cheloveka. / Sapin M.R., Bilich G.L. M.: Vysshaya shkola, 1989.
52. Stuss D.T. Principles of frontal lobe function. / Stuss D. T., Knight R. T. (ed.). Oxford: Oxford University Press, 2013.
53. Haigh A., Brown D.J., Meijer P., Proulx M.J. How well do you see what you hear? The acuity of visual-to-auditory sensory substitution // Frontiers in Psychology, 2013, I.4. P.330.
54. Sampaio E., Maris S., Bach-y-Rita P. Brain plasticity: 'visual' acuity of blind persons via the tongue // Brain research, 2001, V.908, I.2. P. 204-207.
55. Obukhov D.K. Sovremennye predstavleniya o razvitii, strukture i evolyutsii neokorteksa konechnogo mozga mlekopitayushchikh i cheloveka // Vestnik SPbGU, 2005, №. 6. S. 200-223.
56. Ivanitskii A.M. Glavnaya zagadka prirody: kak na osnove protsessov mozga voznikayut sub"ektivnye perezhivaniya // Psikhologicheskii zhurnal. 1999. T.20. V.3. S. 93-104.
57. Ivanitskii A.M. Soznanie i mozg // V mire nauki, 2005, №11, s. 3-10.
58. Ivanitskii A.M. Informatsionnye protsessy mozga i psikhicheskaya deyatelnost'. / Ivanitskii A.M., Strelets V.B., Korsakov I.A. M.: Nauka, 1984. 200 s.
59. Kosyakov Yu.B. Moi mozg. Stroenie, printsipy raboty, modelirovanie. M.: Sinteg, 2001. 164 s.
60. Penrouz R. Novyi um korolya: O komp'yuterakh, myshlenii i zakonakh fiziki / Per. s angl. pod red. Malysheiko V.O. // Izd. 2-e, ispr. M.: Editorial URSS, 2005. 400 s.
61. Chomsky N. New Horizons in the Study of Language and Mind. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
62. Apresyan Yu.D. Issledovaniya po semantike i leksikografii. T.1: Paradigmika. M.: Yazyki slavyanskikh kul'tur, 2009. 568 s.

63. Khudyakov A.A. Ponyatiinye kategorii kak ob"ekt lingvisticheskogo issledovaniya // Sb. nauchn. trudov «Aspekty lingvisticheskikh i metodicheskikh issledovaniy» Arkhangel'sk: PGU im. M.V.Lomonosova, 1999.
64. Kassirer E. Filosofiya simvolicheskikh form. T.1. M.; SPb.: Universitetskaya kniga, 2002.
65. Komarova Z.I., Dedyukhina A.S. Metodologicheskie i metodicheskie osnovy izucheniya kategorii partitivnosti v sovremennom yazykoznanii // Vestnik Permskogo Universiteta, 2010, vyp. 2. s. 35-41.
66. Espersen O. Filosofiya grammatiki. M.: Inostr. Lit., 1958.
67. Kal'noi I. I., Sandulov Yu. A. Filosofiya dlya aspirantov: Uchebnik. / Pod red. I.I. Kal'nogo. 3-e izd., ster. SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2003.
68. Fodor J. The Mind Doesn't Work That Way: The Scope and Limits of Computational Psychology. Sambridge: The MIT Press. 2001.
69. Dunbar R.I.M. Coevolution of neocortical size, group size and language in humans // Behavioral and Brain Sciences, 1993, V.16. P. 681-735.
70. Shorz T. Spasite novye neirony // V mire nauki, 2009, №6. s. 41-47.
71. Gould E., Beylin A., Tanapat P., Reeves A., Shors T.J. Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation // Nature neuroscience, 1999, V.2, I.3. P. 260-265.
72. Rouz S. Ustroistvo pamyati: ot molekul k soznaniyu / Per s angl. Yu.V.Morozova. M.: Mir, 1995. 384 s.
73. Tal'ko A.N. Spravochnik veterinara. Rukovodstvo po okazaniyu neotlozhnoi pomoshchi zhyvotnym. SPb.: Piter, 2012. 256 s.
74. Kvinten D. Bolezni dekorativnykh ptits. M.: "Akvarium LTD, GIPPV", 2002. 208 s.
75. Popper K. C., Eccles J. C. The Self and Its Brain: an argument for interactionism. Berlin: Springer International, 1986.
76. Vein A.M. Snovideniya. / Vein A.M., Korabel'nikova E.A. M.: Eidos-media, 2003. 224 s.
77. Kamkin A.G. Fundamental'naya i klinicheskaya fiziologiya. / Kamkin A.G., Kamenskii A.A. M.: Akademiya, 2004. 1072 s.
78. Khodzhayan A.B. O nekotorykh morfo-funksional'nykh preobrazovaniyakh nervnoi, endokrinnoi sistem i organov chuvstv v filogeneze bespozvonochnykh i pozvonochnykh / Uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov 1-go kursa StGMA. / Khodzhayan A.B., Fedorenko N.N., Krasnova L.A. Stavropol': StGMA, 2008. 89 s.
79. Simonov P.V. Lektsii o rabote golovnogo mozga. Potrebnostno-informatsionnaya teoriya vysshei nervnoi deyatel'nosti. M.: Institut psikhologii RAN, 1998. 96 s.
80. Fominykh I.B. Emotsii kak apparat otsenok povedeniya intellektual'nykh sistem // Trud 10-i Natsional'noi konferentsii po iskusstvennomu intellektu «KII – 2006», T.2. M.: Fizmatlit, 2006.
81. Rebrun I.A., Sidorov K.V., Filatova N.N., Khaneev D.M. Model' proyavleniya emotsii v estestvennoi rechi // Trudy 14-oi Natsional'noi. konferentsii po iskusstvennomu intellektu «KII-2014». T.2. Kazan': RITs «Shkola», 2014. s. 112-121.
82. Ortony A. The cognitive structure of emotion. / Ortony A., Clore G.L., Collins A. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
83. Anokhin P.K. Emotsii // V kn.: Bol'shaya meditsinskaya entsiklopediya, t. 35. M.: Medgiz, 1964.
84. Ivanov V.D. Feromony nasekomykh // Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal, 1998, №6. S. 29-34.
85. Penrouz R. Teni razuma. V poiskakh nauki o soznanii. Chast' 1. Ponimanie razuma i novaya fizika. Izhevsk: Institut komp'yuternykh tekhnologii, 2003. 368 s.

УДК 007.5::681.5:[612.8+612.4]

Три взгляда на современные данные нейронаук в интересах интеллектуальной робототехники

¹Дмитрий А. Рогаткин

²Дмитрий А. Куликов

³Александра Л. Ивлиева

¹⁻³ ГБУЗ МО “Московский областной научно-исследовательский клинический институт (МОНКИ) им. М.Ф. Владимирского”, Российская Федерация
129110, Москва, ул. Щепкина, 61/2.

¹Доктор технических наук, зав. лабораторией

E-mail: rogatkin@monikiweb.ru

²Кандидат медицинских наук (физиология), Ученый секретарь МОНКИ

³Младший научный сотрудник, биолог

Аннотация. Приводятся результаты анализа данных научной литературы по современному пониманию филогенеза, анатомо-физиологических особенностей строения и принципов функционирования головного мозга человека и животных в приложении к задачам создания интеллектуальной робототехники. Подчеркивается, что в основе управления в живых системах лежит не только нервная, но и эндокринная система. Развитие интеллектуальных способностей млекопитающих напрямую не связано с анатомическим строением этих систем, т.к. их анатомическое строение у всех млекопитающих одинаково. Наиболее вероятно, что ключевую роль в развитии рассудочной деятельности и сознания играют внутривидовое знаковое общение, обучение, а также способность индивидуума формировать свою внутреннюю модель мира и ее (модели) функциональные возможности.

Ключевые слова: робот, мозг человека, анатомия, филогенез, рассудочная деятельность, нейрон, рефлекс, нервная система, ганглий, эндокринная система, неокортекс, принцип функционирования.