

Репликаторно-этологическая теория семантической информации: от гена к нёму

А. С. Бурундуков¹, А. Л. Дроздов^{1,2 *}

¹Дальневосточный федеральный университет
ул. Суханова, 8, Владивосток 690050, Российская Федерация
e-mail: aleksandr.burundukov2012@mail.ru

²Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН
ул. Пальчевского, 17, Владивосток 690041, Российская Федерация
e-mail: anatoliyld@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена разработке основ РЕПЛИКАТОРНО-ЭТОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (РЭТСИ), открывающей новые перспективы формализации теории информации, совместимой с концепцией глобального эволюционизма (ГЭ), способной охватить различные аспекты возникновения и эволюции семантической информации, объяснить механизмы появления логики поведения животных, а также формирование эпигенетических каналов передачи информации, породивших культуру, язык, мифологию и религию, философию и науку. В РЭТСИ используются концепции глобального эволюционизма, функциональных систем (ФС), искусственных нейронных сетей (ИНС) и искусственного интеллекта (ИИ), и идея полимодальности информационных уровней. Согласно РЭТСИ, информация, в отличие от материи и энергии: 1) не универсальна, так как не существует в неорганическом мире; 2) не является сохраняющейся величиной, т. е. не существует закона сохранения информации; 3) представляет собой сетевой феномен, проявляющий себя на нескольких иерархических уровнях: гено-регуляторном (интерактом одноклеточных и гормональная система многоклеточных), нейро-этологическом и семиотическом; 4) полимодальна, так как на каждом иерархическом уровне имеет различные носители и специфические формы кодирования, обработки и использования; 5) индивидуальна для каждого организма, но благодаря коммуникации способна порождать сложные формы коллективного поведения от бактериальных сообществ и эусоциальных животных до человеческого общества. РЭТСИ исходит из триединства форм существования информации: «репликатор-раздражимость-реакция». Репликатор — это программа самосборки функциональной системы (ФС), способной 1) поддерживать свою целостность при взаимодействии с внешней средой (самосохранение) на время, достаточное для того, чтобы 2) воспроизвести копии порождающего систему репликатора, или новые репликаторы на основе мутаций или комбинаций старых. Первым, биохимическим репликатором, стал *ген* — базовый элемент живой материи, а первой функциональная система, разделившая мир на внешнюю и внутреннюю среду — организм. Ген-репликатор и такие биологические информационные процессы как «раздражение» и «реакция» разнесены по разным иерархическим уровням: генетическая информация записана на молекулах ДНК, т. е. ей соответствует молекулярный уровень, в то время как сенсорная (перцептивная) и поведенческая информация функционирует на супрамолекулярном, организменном уровне, в простейшем случае соответствующем клетке.

Взаимодействие между одноклеточными организмами осуществляется посредством химических сигналов, воздействующих на генные переключатели и может проявляться в такой форме коллективного поведения, как бактериальный кворум (QS).

Прогрессирующая сложность биологических объектов основана на симбиогенезе и неизбежности возникновения двух типов ошибок. На уровне репликатора это ошибки при

* Авторы: Дроздов Анатолий Леонидович, д-р биол. наук, гнс, Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, проф., ДВФУ; e-mail: anatoliyld@mail.ru; Бурундуков Александр Сергеевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, e-mail: aleksandr.burundukov2012@mail.ru.

копировании информации (дубликация и полиплоидизация), а на уровне функциональных систем организма — использование ФС для решения задач, непредусмотренных функциональным репертуаром (экзаптация). В результате симбиогенеза появились эукариоты, открывшие перспективы для эволюции многоклеточных организмов, при этом вторичные метаболиты, обнаруженные у одноклеточных грибов и бактерий, становятся фитогормонами — сигнальными молекулами в межклеточной коммуникации и важнейшими регуляторами жизнедеятельности и роста растений. На нейро-этологическом уровне в результате клеточной специализации животные выходят на новый уровень обработки информации: функцией нейронов становится быстрая передача возбуждения от рецепторов к эффекторам, что позволило животным перейти к локомоции. Образование нейронных сетей (НС) приводит к появлению кратковременной и долговременной памяти. Процесс цефализации привел к усложнению поведенческого репертуара животных, но если вначале поведение определялось набором спинальных безусловных рефлексов с нейрогормональной регуляцией, то образование ассоциативных зон и неокортекса у высших животных, а также формирование условных рефлексов, сделало их поведение настолько сложным, что оно вышло из под генетического контроля и потребовался новый, внегенетический канал передачи информации на базе подражания и обучения. Физиологической основой нового эпигенетического канала трансляции стали зеркальные нейроны, обнаруженные у приматов и некоторых птиц, благодаря которым сформировался второй, этологический репликатор — *мем*, заложивший фундамент культуры и социальных форм существования материи. После мутации гена FOXP2 в результате ген-мемной коэволюции, возникновения зон Брока и Вернике и языка, означающих переход от образного к словесно-логическому мышлению и превращения информации из сигнала в сообщение, вербализации сознания, вызвавшей нарушение амфидекстральной симметрии, обработка информации выходит на интереснейший *семантический уровень* и в результате исторического развития общества становится многоуровневым феноменом, наделенным различными формами суггестивности (вера, рациональность, наблюдение, эксперимент, математические вычисления и доказательства, компьютерное моделирование). Третьим, цифровым репликатором, ассоциирующимся с искусственной жизнью может стать *нем* (производное от фамилии Дж. фон Неймана) — универсальный саморазмножающийся с помощью встроенного 3D-принтера автомат.

В работе рассмотрены причины необратимости эволюции и прогрессирующей сложности организмов, приведены две блок-схемы этологических алгоритмов для объяснения логики поведения животных через механизм регуляторного функционирования нейронных сетей, возникновение сверхсложных систем и иерархической структуры уровней обработки информации в контексте ГЭ, обсуждается исключительная роль теоретической биологии в предстоящем синтезе естественнонаучного и гуманитарного знания.

Ключевые слова: биохимический репликатор, глобальный эволюционизм, искусственный интеллект, нейронные сети, теория семантической информации, функциональные системы, этологические алгоритмы.

Даже мимолетное знакомство с развитием науки XX в. убеждает в неизбежности перехода ее от неклассической в постнеклассическую стадию. Задолго до разделительного рубежа — середины 70-х гг. — формируется комплекс дисциплин, заложивший основания постнеклассики. Линейная неравновесная термодинамика Л. Онзагера (*Lars Onsager*) [1], теория диссипативных структур И. Пригожина (*Ilya Prigogine*) [2] и синергетика Г. Хакена (*Hermann Haken*) сняли с теории эволюции вековое заклятие второго начала термодинамики. Проблема взлома немецких систем потокового шифрования и оперативной расшифровки сообщений привела к созданию первых электронных компьютеров Colossus (1943) и Colossus Mark II (1944), а также разработке теории информации Шеннона-Уивера. В результате попыток согласования работы зенитной установки и радиолокатора родилась кибернетика. Развиваемая с 30-х гг. общая теория систем Л. Берталанфи (*Ludwig von Bertalanffy*), исследование операций, которое возникло в результате решения задач повышения эффективности бомбометания и

планирования военных операций, системный анализ, системная инженерия, системная динамика Дж. Форрестера (*Jay Wright Forrester*) стали основой нового направления — системологии, или теории сложных и сверхсложных систем. Главными задачами постнеклассической науки становятся математизация комплекса биосоциальных дисциплин, разработка биоинформатики, компьютерного моделирования биологических процессов, предвещающих наступление «золотого века» биологии, когнитивистики, робототехники, объединение естествознания, технологии и гуманитарного знания.

Фундаментальные проблемы эволюции: сознание, информация, поведение и прогрессирующая сложность

Сформулируем основные проблемы, ставшие актуальными на постнеклассическом этапе развития науки, которым посвящена наша работа.

1. Проблема сознания. Впервые за две с половиной тысячи лет тесно связанная с проблемой информацией проблема сознания из неразрешимой при помощи логики философской головоломки превратилась в злободневную биокибернетическую задачу, от решения которой зависит научный статус психологии, будущее проблемы свободы воли и связанных с этой проблемой этической и юридической казуистики (крючкотворства), выбор дальнейших направлений развития нейрофизиологии, социальных наук, когнитивистики, информатики и разработок по искусственному интеллекту (ИИ), а также, что немаловажно, финансирование.

2. Проблема информации. Очевидно, что кардинальным затруднением, препятствующим созданию теоретической биологии и этологии, синтезу математической биологии, биоинформатики, биокибернетики с биосемиотикой¹, и шире — современного естествознания и гуманитарных дисциплин, является проблема информации. Главная причина провала всех попыток эпистемической² интервенции методов теории информации Шеннона-Уивера, доказавшей свою плодотворность и эффективность в техноинформатике, на биологию и гуманитарные науки очевидна: теорией информации она не является, потому что фактически это — статистическая теория связи. А так как семантика³ переданного сообщения не входит в сферу компетентности теории связи, то ни статистическая, ни комбинаторная теория информации в принципе неспособны дать адекватную

¹Биосемиотика (от др.-греч. βίος – жизнь и σημεῖον – знак, признак) – наука, исследующая свойства знаков и знаковых систем, используемых в живых клетках, организмах и сообществах для передачи сигнала и коммуникации.

²Эпистемология (от др.-греч. ἡ πίστις – наука, научное знание, достоверное знание и λόγος – слово) – термин, употребляемый для обозначения теории познания. Словосочетание *эпистемическая интервенция* для обозначения применения концепций и методологии одной науки в предметной области другой использовал социолог В. Вахштайн в своей лекции «Эпистемические интервенции: столкновение когнитивных стилей» от 04.11.2012: <http://postnauka.ru/lectures/19605>

³Семантика (от др.-греч. σηματικός – обозначающий) – раздел лингвистики, изучающий смысловое значение высказываний.

экспликацию⁴ таким терминам как «смысл», «цель», «ценность информации» и пр., без которых невозможна разработка математического основания ни биологии, ни гуманитарных дисциплин. Даже восхваляемое Д. С. Чернавским [3] и чаще других цитируемое кастлеровское определение «Информация есть случайный и запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных» [4], более пригодное для генератора случайных чисел, чем для биологических объектов, не способно охватить всех форм проявления информации в биологии, хотя бы потому, что распространяется лишь на животных, обладающих памятью. За рамками этого определения оказывается и генетическая информация, и информационные процессы в организмах одноклеточных, растений, грибов и многоклеточных низших животных. Бесплезным как для экспериментаторов, так и теоретиков, оказалось и эклектично-философское определение: «Феномен информации есть многостадийный, необратимый процесс становления структуры в открытой неравновесной системе, начинающийся со случайного запоминаемого выбора, который эта система делает, переходя от хаоса к порядку, и завершающийся целенаправленным действием согласно алгоритмам или программам, отвечающим семантике выбора» [5]. Основной задачей статьи является разработка концептуального каркаса репликаторно-этологической теории семантической информации (РЭТСИ), способного охватить все аспекты возникновения и эволюции информации, совместимого с концепцией глобального эволюционизма (ГЭ), и открывающего перспективы формализации теории семантической информации.

3. Логические структуры и поведение животных. Серьёзной проблемой биологии является искоренение пережитков антропоморфизма, когда сложные формы поведения животного пытаются объяснить, приписывая животному чисто человеческие аффекты, желания, мысли, сознание и логику поведения. Но как объяснить сложное поведение даже самых простых организмов, не впадая при этом в антропоморфизм?

4. Прогрессирующая сложность эволюционирующих объектов Вселенной, организмов и социальных структур. Ещё одной интригующей проблемой глобальной эволюции является раскрытие причин необратимости времени, самоорганизации и увеличения количества информации, а также механизмов, обеспечивающих возрастание сложности неорганических объектов мироздания, живых организмов и социальных систем нашей Вселенной.

Используемые в РЭТСИ концепции

1. Парадигма глобального эволюционизма. В 90-х гг. XX-го века в результате синтеза представлений физики элементарных частиц, космологических теорий нестационарной Вселенной, теории диссипативных структур И. Пригожина и синергетики Г. Хакена, эволюционной эпистемологии Кэмпбелла-Поппера [6] и унифицирующей парадигмы Э. Янча [7] сформировалась концепция ГЭ (универсальной истории, Мегаистории, Big History и пр.), которая представляется

⁴ Экспликация (от лат. explicatio – объяснение, развертывание) – замещение неточного понятия более точным.

естественным концептуальным фоном, внешним метатеоретическим⁵ критерием соответствия, который должен дополнять внутреннюю непротиворечивость теорию семантической информации.

2. Концепция функциональных систем (ФС). Выдающийся советский физиолог П. К. Анохин 1) исследовал функции лобных долей мозга в процессах афферентного синтеза и организации поведения, 2) установил существование обратной афферентации (первый экспериментально зафиксированный эффект обратной связи), 3) сформулировал представление о целенаправленности действий организма на получение результата, 4) выдвинул идею опережающего отражения [8]. Теория функциональных систем Анохина выявила полную несостоятельность бихевиористских и необихевиористских концепций, а также кардинальное отличие поведения организма от действий самой интеллектуальной машины.

3. Технологии искусственных нейронных сетей (ИНС) и ИИ. Концепцию ФС органично дополняют комплементарные ей теории и технологии (ИНС), реализующие коннективистскую парадигму ИИ. Принципиальное отличие теории ИНС от теории автоматов заключается в способности сетей к 1) распознаванию образов и обучению на основе алгоритма обратного распространения ошибки (персептрон Румельхарта); 2) самопрограммированию (самообучающаяся карта Кохонена), являющемуся информационным аналогом синергетической самоорганизации; 3) обобщению, кластеризации (сети Кохонена) и компрессии данных [рекуррентные сети (RNN), машина Больцмана], а также формировании абстрактных понятий и ассоциативной (сеть Хопфилда, RAAM) и гетероассоциативной памяти (сеть Коско); 4) аппроксимации, нейроуправлению динамическими объектами (сеть Элмана) и прогнозированию [сети радиально-базисных функций (RBF), адаптивного резонанса (ART3), с нечёткой логикой (Fuzzy ART), а также последнее, третье поколение ИНС — импульсные, или спайковые нейронные сети (ИмНС, PNN — Pulsed neural networks, SNN — Spiking neural network)], открывающему перспективы технического воплощения нейрофизиологического акцептора результатов действий П.К. Анохина и развития на этой основе у нейронных экспертных систем аналога психологической интуиции и творческого воображения.

4. Идея полимодальности информационных уровней. Теория ФС построена для млекопитающих и может быть использована для описания поведения птиц, но за пределами предметной области концепции оказалась большая часть организмов и механизмов обработки информации и даже сам *Homo sapiens*, т. к. в концепции П. К. Анохина не учтено существование фонологической петли обработки вербальной информации. Для разработки более широкой биоинформационной концепции можно воспользоваться трехуровневой схемой В. И. Корогодина, который предложил различать: 1) генетическую, 2) поведенческую и 3) логическую информацию [9], уточнив, дополнив и расширив эту схему.

⁵Метатеория (от др.-греч. μετά – между, после, через) – логическая теория, анализирующая методы, структуру и свойства другой теории, называемой предметной или объектной.

Предлагаемые решения фундаментальных проблем

1. Оппозиция «материя-сознание». Изложение принципов РЭТСИ начнём с предлагаемого нами решения древнейшей метафизической проблемы сознания, расколовшей «любомудров» античности на два непримиримых лагеря — материалистов и идеалистов. В своих взглядах на природу сознания обе стороны жёстко отстаивали монизм⁶, несмотря на то, что побеги плюрализма уже появились на возделанном ими поле натурфилософии. Эта непримиримость, по-видимому, коренилась в политическом противостоянии родовой аристократии и нового торгово-ремесленного сословия. Лишь почти через две тысячи лет Р. Декарт попытался разрешить эту ментальную коллизию, сформулировав концепцию дуализма. Предложенная младшим современником Декарта Б. Спинозой двухаспектная теория сознания, являвшаяся, по сути, попыткой восстановления монизма на новых основаниях, исходила из идеи существования некой первичной субстанции, которая сама по себе не является ни физической, ни психической, но проявляет себя либо как материя, либо как сознание. В XIX веке авторитетнейшим адептом этой концепции был У. Джеймс (традиционное написание — Джемс). Учение Спинозы было развито Б. Расселом и получило название нейтрального монизма, однако оно не приобрело признания ни в научных, ни философских кругах в силу полной неопределённости этой первичной субстанции. С нашей точки зрения, которую можно назвать радикальным материализмом, монизм может быть восстановлен путём включения в метафизическую оппозицию «материя-сознание» третьего участника — «действие». В результате получим схему, изображённую на рисунке 1.

Символ троицы — три лепестка, напоминающие авиационный пропеллер, графически иллюстрируют тезис о том, что материя первична, а сознание — результат биологической эволюции, начавшейся с появления первой клетки — вторично, производно. Кольца, соединяющие триаду «материя-сознание-действие», символизируют иерархическую структуру организации живой и социальной материи. Линии со стрелками означают циклические процессы: против часовой стрелки — осознаваемые, по — нет. Для клетки это метаболический (внутренняя) и клеточный (внешняя окружность) циклы. Для организма — перцептивный⁷ и когнитивный⁸ циклы. Согласно У. Найссеру, перцептивный цикл начинается с сенсорного восприятия актуального окружения животного и формирования в его сознании схемы актуального окружения, которая направляет перцептивные исследования (действия), в результате чего животное выбирает устраивающее его актуальное окружение. Далее над перцептивным поведением надстраивается когнитивный цикл. Потенциально доступная информация о реальном мире формирует когнитивную карту мира как совокупность схем актуального окружения и связанных с ним возможностей.

⁶Монизм (от др.-греч. *μόνος* — один, единственный) — сведение многообразия явлений мира к одному началу, единой первооснове всего сущего. Противоположность монизма — дуализм, признающий два независимых начала, и плюрализм, исходящий из множественности начал.

⁷Перцепция (от лат. *perceptio* — восприятие, представление) — чувственное восприятие предметов окружающего мира. Перцептивный — имеющий отношение к чувственному восприятию.

⁸Когнитивный — связанный с познанием, или когницией (от лат. *cognition* — познание, узнавание).

Когнитивная карта направляет локомоции и действия, служащие удовлетворению биологических потребностей животного [10]. Из множества биосферных циклов упомянем онтогенетический и эволюционный. Ещё большее количество циклических процессов связывает антропосферу, объединяющую множество социальных групп; например, изображённые циклы могут соответствовать экономическому и циклам военных конфликтов.

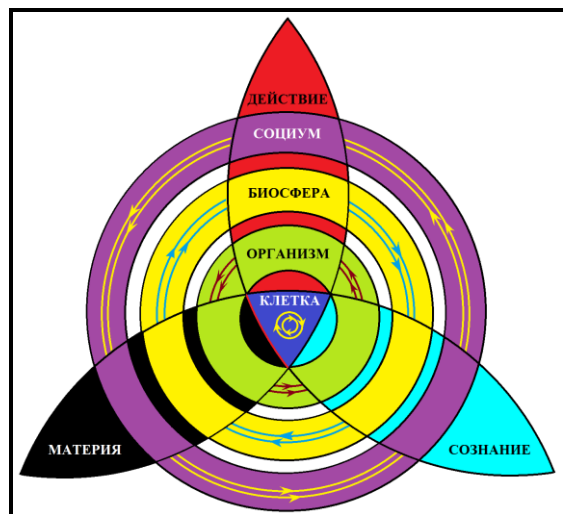


Рис. 1. Метафизическая триада материя-действие-сознание.

Fig. 1. The metaphysical (ontological) triad of matter-consciousness-action.

2. Принципы РЭТСИ. Оставив метафизические эмпирии безответственным спекуляциям философов, опустимся на нижние уровни организации живой материи, прихватив с собой идею триадичности, которую теперь необходимо наполнить биоинформационным содержанием. С точки зрения РЭТСИ, для этого нам необходимо заменить термин «сознание» более широким термином «раздражение», а «действие» сменить на «реакцию». Но так как «информация есть информация, а не материя и не энергия» [11], нам для построения РЭТСИ необходимо отказаться от лепестка «материя», подыскав необходимую замену этого фундаментального метафизического термина столь же фундаментальным биологическим. Очевидно, что для биологии таким термином является «ген». Таким образом, фундаментальную информационную триаду в биологии представляет нераздельное и неслиянное триединство «ген-раздражимость-реакция». В последней главе книги «Эгоистичный ген» Р. Докинз ввёл понятие «мем», являющийся фундаментальной основой внегенетически передаваемой через подражание культурной информации [12]. Общим термином, объединяющим и «ген» и «мем» является термин «репликатор», которым мы будем пользоваться далее. Биохимический репликатор-ген и такие информационные процессы как «раздражение» и «реакция» разнесены по разным иерархическим уровням: генетическая информация записана на молекулах ДНК, т. е. ей соответствует молекулярный уровень, в то время как сенсорная (перцептивная) и поведенческая информация функционирует на супрамолекулярном, организменном уровне, в простейшем случае

соответствующем клетке. Предельно упрощённая схема взаимодействия живой клетки с окружающей средой представлена на рисунке 2.

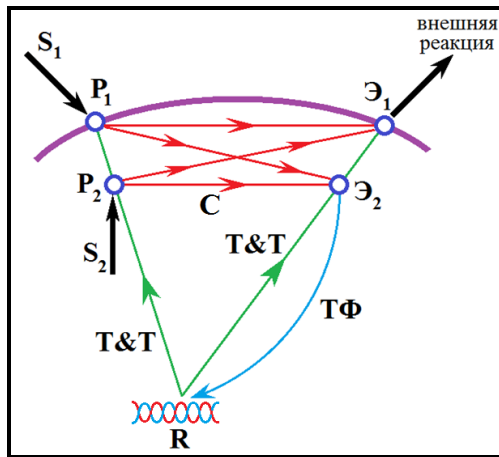


Рис. 2. Информационная триада репликатор-раздражимость-реакция.

Fig. 2. The information triad of replicator-irritability-reaction.

Символом С обозначены сигналы, S_i — стимулы, P_i — рецепторные трансмембранные белки, E_i — эффекторы, R — биохимический репликатор (ген), ТФ — транскрипционный фактор, Т&Т — процессы транскрипции и трансляции. Индекс 1 относится к наружной клеточной мембране, 2 — к цитоплазматическим белкам и органеллам.

Итак, *репликатор* — это программа самосборки функциональной системы (ФС), способной 1) поддерживать свою целостность при взаимодействии с внешней средой (самосохранение) на время, достаточное для того, чтобы 2) воспроизвести копии порождающего систему репликатора, или новые репликаторы на основе мутаций или комбинаций старых. Первым, химическим репликатором, стал *ген* — базовый элемент живой материи, а первой функциональной системой, разделившей мир на внешнюю и внутреннюю среду (*milieu extérior et intérieur*) — *организм*. Исключениями являются неорганизменные инфекционные агенты: вирусы (*Viruses*) — ДНК- и РНК-репликаторы, вириоды (*Viroids*) — РНК-репликаторы и прионы (*Prions*) — конформационные белковые репликаторы. На организменном, супрагенетическом уровне требование гомеостатичности ФС как обязательного условия самосохранения, тождественного условию поддержания потока вещества и энергии через ФС, неизбежно приводит к возникновению *раздражимости* — физиологической основы существования двух форм информации: 1) раздражения — возбуждения внутренней среды, называемую *сенсоэффektorной* информацией (все остальные формы информации — результат её обработки на более высоких иерархических уровнях), вызывающей 2) реакцию организма как целого объекта — основу *этологической* информации, частным случаем которой является *коммуникативная* информация. Остаточное возбуждение организма становится физиологической основой *памяти*. Раздражитель, приводящий к реакции локомоции, усиливающей интенсивность возбуждения (положительная обратная связь), называется *аттрактантом*. Раздражитель, приводящий к реакции избегания, снимающей возбуждение (отрицательная обратная связь), называется *репеллентом*. Аттрактант и репеллент образуют простейшее одномерное семантическое пространство (бинарную семантику), превращающее **любой** живой организм в *целенаправленную систему*.

В отличие от материи и энергии информация: 1) не универсальна, так как не существует в неорганическом мире; 2) не является сохраняющейся величиной, т. е. не существует закона сохранения информации; 3) полимодальна, так как на

каждом иерархическом уровне имеет различные носители и специфические формы представления; 4) индивидуальна для каждого организма, вплоть до появления второго репликатора.

3. Логика поведения и регуляторные сети. Рассмотрим два примера, экспериментально демонстрирующие логичность поведенческих реакций некоторых животных.

1. Эксперименты по изучению выбора десятиногим пресноводным раком *Procambarus clarkii* одной из двух защитных стратегий в зависимости от скорости движения тени [13].

Молодой голодный рак единственный раз в эксперименте (для исключения привыкания) помещался в аквариум с проточной водой, несущей запах пищи (Рис. 3).

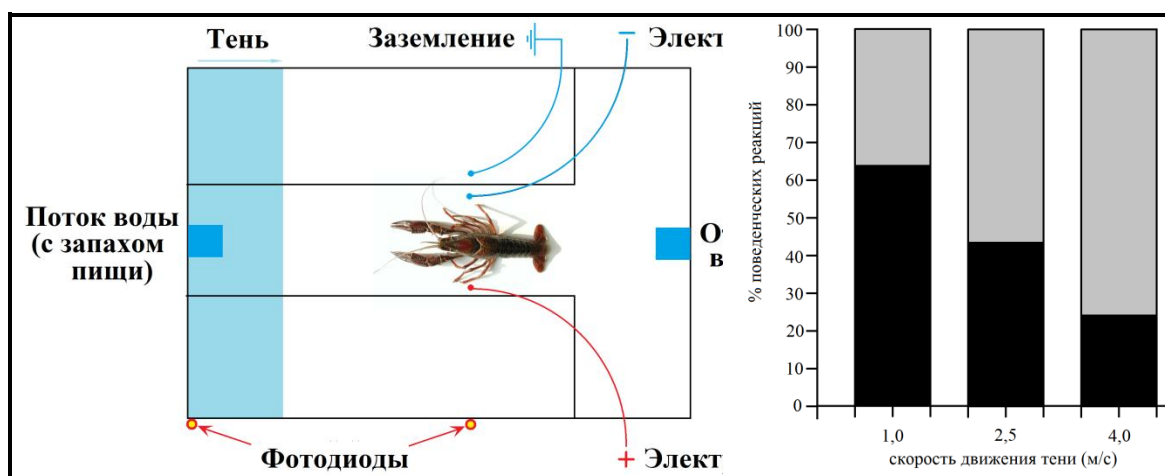


Рис. 3. Экспериментальная установка для изучения выбора раком *Procambarus clarkii* одной из двух защитных стратегий (слева) и результаты экспериментов (справа) по У. Лидену [13].

На графике тёмным цветом выделена реакция отскока, светлым — замирания.

Fig.3. The experimental arrangement for investigation of *Procambarus clarkia* crayfish's choice either or two protective strategies (left) and the results of the experiments by W.H. Liden (right). On the plot dark-grey color corresponds to jump backwards reactions, and light-grey — to dying down reactions [13].

Возбуждение двух гигантских нейронов (MG, medial giant interneurons) рака регистрировался двумя электродами. Выяснилось, что решение рака ударить хвостом и отпрыгнуть назад от вожденной пищи или замереть зависит от скорости перемещения тени: при малой скорости он отпрыгивал, при высокой — замирал. Рациональность выбора стратегии с человеческой точки зрения очевидна — быстрое перемещение тени не даёт шансов спастись бегством. Но каким образом рак приходит к этому выводу? По условиям эксперимента нами построена блок-схема этологического дизъюнктивного алгоритма (Рис. 4).

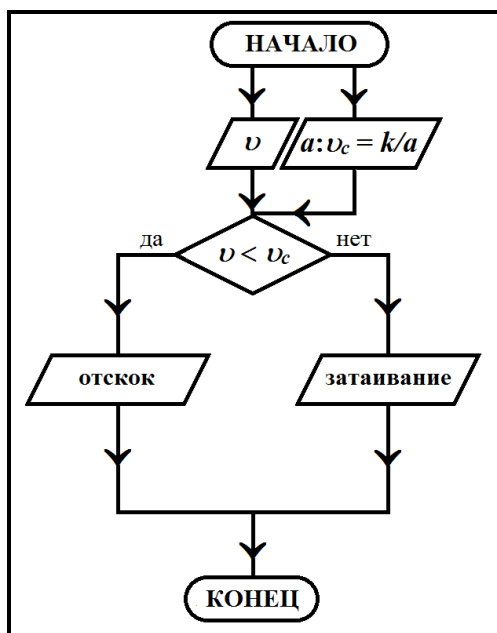


Рис. 4. Блок-схема этологического дизъюнктивного алгоритма в логике поведения ракообразного *Procambarus clarkii*.
 Fig.4. The block diagram of ethological disjunctive algorithm in *Procambarus clarkii* behavior logic.

2. Эксперименты по изучению транзитивности⁹ логики поведения аквариумной рыбки из семейства африканских цихлид *Astatotilapia burtoni* [14]. Испытуемой рыбке-«зрителю» *a* демонстрировали четыре попарные схватки самцов a_i с a_{i+1} ($i = 1, 2, 3, 4, 5$), причём каждый последующий боец был слабее предыдущего. После этого «зрителя» *a* помещали в среднюю часть разделённого стеклом на три секции аквариума, а в две другие подсаживали уже известных *a* драчунов a_i и a_j в произвольных комбинациях. Для того, чтобы выбрать безопасного соседа, *a* было необходимо использовать транзитивность отношения «сильнее» и определить, кто из двух подсадных рыбок является слабейшей, то есть сделать заключение, обведённое прямоугольником. На рисунке 5 эллипсом обведено условие $i < j$, известное экспериментаторам, но неизвестное самцу цихлиды *A. burtoni*, над которым производится эксперимент.

Особенно убедительным примером транзитивности этологической логики цихлид *Astatotilapia burtoni* является эксперимент с использованием самцов a_2 и a_4 , которые имели равное число побед и поражений. Чем можно объяснить столь логичное поведение не знакомых с логикой рыбёшек при решении задачи, с которой даже человеческие дети начинают справляться лишь с 4-5 лет?

Очевидно, что количество подобных занимательных экспериментов можно увеличивать неограниченно, были бы только на это гранты. Количество перейдёт в качество только тогда, когда мы сможем, наконец, моделировать эти процессы на компьютерах и целенаправленно менять поведение животных в интересах

⁹ Транзитивность – свойство отношения между двумя элементами множества. Отношение называется транзитивным на множестве X , если для любых трех элементов множества a, b, c выполнение отношений aRb и bRc влечет выполнение aRc , т. е. отношение R транзитивно, если $\forall a, b, c \in X, aRb \& bRc \Rightarrow aRc$.

людей. Но как же объяснить сложное поведение животных, не прибегая к антропоморфизму?

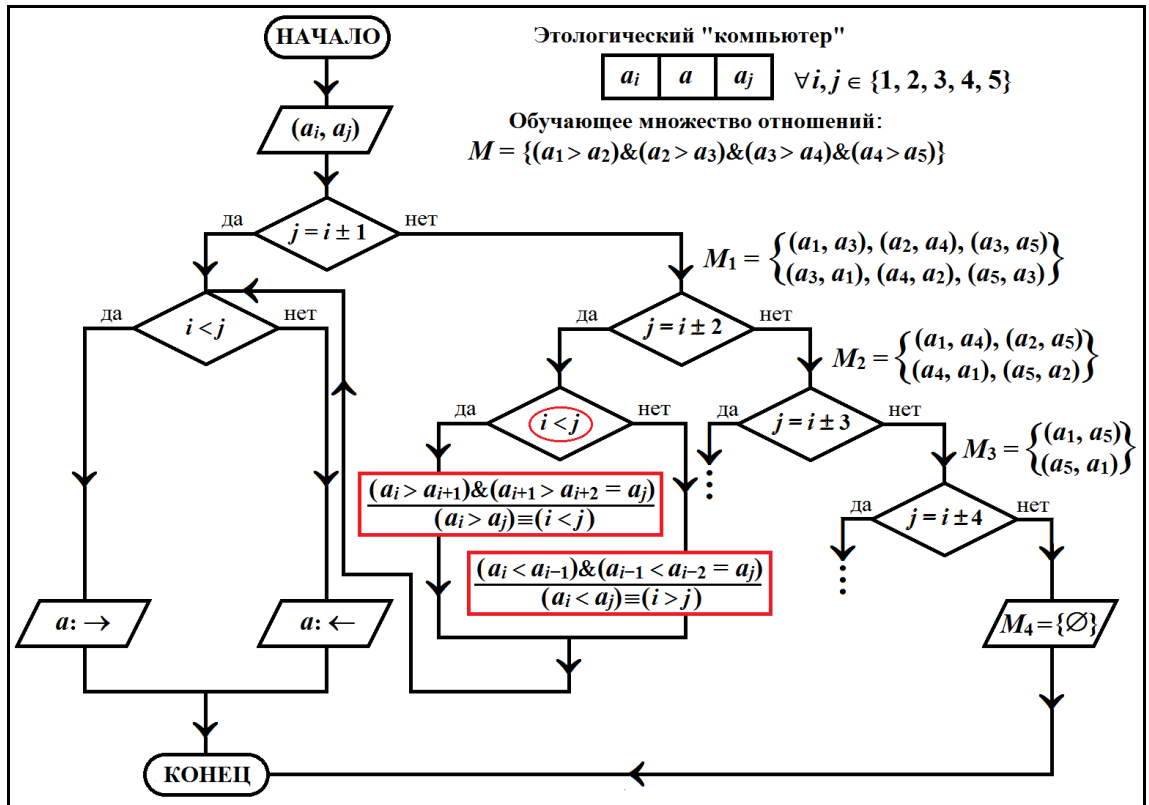


Рис. 5. Блок-схема этологического алгоритма, демонстрирующая транзитивность логики поведения рыбки *Astatotilapia burtoni* из семейства Цихловых. Построена нами по результатам [14].

Fig. 5. The ethological algorithm block diagram, which demonstrates a logic transitivity of *Astatotilapia burtoni* behavior [after 14].

По нашему мнению, решение этой проблемы является довольно простым. За миллиарды лет до появления формальных логик первые одноклеточные организмы уже обладали генно-регуляторными сетями. Информация — сетевой феномен — и стимул, внешний или внутренний, кодируется рецепторными белками, обрабатывается генно-регуляторными сетями и реализуется в ответной реакции организма, запрограммированной на генетическом уровне. Неадекватная реакция не является адаптивной, организм гибнет, а вместе с ним исчезают и «нелогичные» формы реакции. Появление нейронов у многоклеточных организмов привело к появлению нейронных сетей, поведение стало более сложным, но принцип элиминации неадаптивных форм реакции остался неизменным. Так что информация, вопреки Г. Кастлеру [4], не «запомненный выбор», а адаптивная реакция.

Топология нейронных сетей, обрабатывающих сенсоэффекторную информацию, формирует множество логик, проявляющихся в поведенческих реакциях. Привлечение концепций ФС и искусственных нейронных сетей позволило перейти от реактивной парадигмы (нео)бихевиоризма к парадигме активности и объяснить происхождение логики поведения животных.

4. Прогрессирующая сложность. Наше объяснение прогрессирующей сложности объектов и процессов в нашей Вселенной довольно традиционно. Нарушение *CP*-симметрии¹⁰ слабым взаимодействием привело к феномену необратимости времени, проявляющемуся на различных иерархических уровнях организации материи, а также монотонному увеличению информации. Обычно выделяют три «стрелы времени»: космологическую, связанную с расширением Вселенной, термодинамическую, ассоциируемую с ростом энтропии в замкнутых системах и психологическую, устанавливающую отношения «раньше-позже» в наших воспоминаниях о прошедших событиях. По нашему мнению, введение психологической стрелы времени является неоправданным, а вместо неё необходимо констатировать существование многих биологических стрел на разных уровнях — эволюционной, связанной с необратимостью генетических мутаций, биоинформационной, воплощённой в центральной догме молекулярной биологии и заключающейся в однонаправленной передаче информации от ДНК к белкам, метаболической, онтогенетической, обязанной своему происхождению программе развития многоклеточного организма от эмбриогенеза к его смерти и т. д. С точки зрения РЭТСИ, психологическая стрела является следствием онтогенетической и возникает как побочный эффект с появлением памяти при эволюции нейронных сетей.

Возникновение в результате самоорганизации сложных систем, структур и процессов в неорганическом мире обычно связывают с термодинамической неравновесностью, которая появляется вместе с рождением мощных эмиссионных систем — звёзд, квазаров и т. д. Такие системы и процессы изучаются теорией диссипативных структур И. Пригожина и синергетикой Г. Хакена, а сами процессы самоорганизации называют диссипативными. В последнее время интерес исследователей все больше привлекают процессы самоорганизации, возможные и при термодинамическом равновесии или вблизи него, такую самоорганизацию называют консервативной. Возможность количественного описания процессов самоорганизации в сложных нелинейных открытых системах представилась после формулировки *S*-теоремы, доказанной Ю. Л. Климонтовичем в 1983-84 гг. Оказалось, что процессы самоорганизации сложных нелинейных систем вдали от равновесия сопровождаются уменьшением энтропии, в то время как в равновесных условиях энтропия остаётся максимальной. Для стационарных потоков вблизи равновесия самоорганизация происходит в условиях

¹⁰ *C* – зарядовое сопряжение, *P* – зеркальное отражение.

максимальной энтропии при минимальной скорости производства энтропии. S-теорема Климонтовича позволяет связать автокатализ полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) биохимических процессов в зонах геохимических барьеров с возникновением гиперциклов Эйгена и появлением самоприспосабливающихся, затем самонастраивающихся, далее — саморазвивающихся и, наконец — самореплицирующихся адаптивных РНК-систем. Переход от РНК- к ДНК-миру и стал рождением жизни в форме бактерий и архей, а образование замкнутых циклов обмена биогенными элементами (С, О, Н, Са, N, К, Р, Mg, S, Cl, Na, Fe) между продуцентами (автотрофы) и консументами с редуцентами (гетеротрофы) — возникновением биосферы.

Перейдём к вопросу о постоянном росте сложности организмов и форм их поведения. Известно шесть способов изменения информации на генетическом уровне: 1) мутации в белок-кодирующих областях генов, 2) мутации в регуляторных областях генов, 3) амплификация (дупликация, полиплоидизация), 4) перекомбинирование белков и фрагментов генов за счёт мобильных элементов, 5) горизонтальный перенос генов, 6) симбиогенез [15]. Очевидно, что несинонимичные мутации в белок-кодирующих областях генома не способны напрямую увеличить сложность организмов, т. к. приводят просто к заменам одного белка гомологичным. Значимость и влияние пяти остальных механизмов изменения информационной ёмкости репликатора на усложнение организмов менялись в процессе эволюции.

Горизонтальный перенос генов (ГПГ, НТГ или LGT) доминировал на ранних этапах эволюции прокариот 3,5 млрд. лет назад и, вероятно, оказал некоторое влияние на эволюцию одноклеточных эукариот. Переносчиками ксенологичной ДНК в процессах ГПГ у прокариот могли являться вирусы-бактериофаги при трансдукции, плазмиды при конъюгации, свободные ДНК при трансформации — поглощении клеткой свободной молекулы ДНК и встраивания её в геном. Существует предположение, что мобильные генетические элементы (МГЭ, MGE), появившиеся в самый начальный период возникновения жизни, усложняясь в процессе эволюции, и, освободившись из родительской клетки, превратились в вирусы, способные инвазировать другие прокариотические клетки, увеличивая в их геноме число МГЭ. Средством борьбы прокариотов с вирусами стала РНК-интерференция. Мобильные генетические элементы, такие как транспозоны (инсекционные элементы, ДНК-транспозоны, ретротранспозоны), плазмиды, бактериофаги и интроны второй группы долгое время считались «генетическими паразитами», понижающими приспособленность организмов, пока не выяснилось, что они придают геному такое важное эволюционно свойство как пластичности, а древние млекопитающие даже «приручили» ретротранспозон *Sushi-ichi*, и использовали один из его генов *Peg10* в качестве главного регулятора развития плаценты. Вклад ГПГ в эволюцию биосферы неуклонно уменьшался, но через 1,2 млрд. лет после практически

полного прекращения этих процессов, сам собой захлопнувшийся ящик Пандоры был распечатан и искусственный горизонтальный перенос генов стал мощным инструментом в арсенале генной инженерии при производстве генетически модифицированных организмов (ГМО).

Огромный скачок в усложнении организмов произошёл 1,2 млрд. лет назад, когда в результате симбиогенеза появились первые одноклеточные эукариоты. Согласно одной из гипотез, происхождение ядра связано с усилением горизонтального переноса генов от археоподобных предков нуклеоплазматического компонента эукариот к эубактериям. Другая гипотеза объясняет возникновение ядра внедрением метаногенной археобактерии в клетку миксобактерии, в пользу чего говорит схожесть гистонов эукариот и некоторых архей. С начала XXI в. обсуждается гипотеза вирусного эукариогенеза, основанная на сходстве генетического аппарата эукариот и вирусов, а именно линейной структуре ДНК и её тесной связи с белками. Практически уже не вызывает сомнения, что митохондрии — потомки аэробных бактерий, родственных риккетсиям, а жгутики и реснички произошли от симбиотических спирохет. Фотосинтезирующие бактерии, поселившиеся в гетеротрофных клетках протистов, стали хлоропластами, превратив клетку-хозяина в автотрофную одноклеточную водоросль. Важнейшим достижением стала компартиментализация — разделение цитозоли при помощи мембран на компартменты-органеллы, что позволило эукариотической клетке выполнять различные метаболические процессы одновременно (параллельно). Но, вероятно, основным приобретением симбиогенеза, обусловившим дальнейшее увеличение сложности эукариот стало образование из МГЭ интронов. МГЭ прокариот были «самосплайсирующими» элементами, т. е. могли сами вырезать себя из мРНК для того, чтобы не влиять на трансляцию белка. У эукариот функцию сплайсинга стали выполнять специальные молекулярные машины — спласосомы. Согласно теории поздних интронов, они возникли и были инсертированы в геном уже после разделения про- и эукариот. В пользу этой гипотезы свидетельствует факт отсутствия сплайсосомных интронов у прокариот. В результате у эукариот сформировался процесс альтернативного сплайсинга, ставший основной причиной грандиозного видового разнообразия организмов этого домена и молекулярно-генетической основой преадаптации, о которой речь пойдёт ниже.

Молекулярно-генетической основой возникновения многоклеточных эукариот стало усложнение и иерархическая организация генно-регуляторного аппарата, завершившееся появлением гомеозисных генов и микро РНК, контролирующих процессы роста и дифференцировки в процессе онтогенеза. Гомеозисные гены животных принадлежат семейству *Нох*-генов. Количество *Нох*-генов растёт с увеличением сложности организмов. Так, у гребневиков и кишечнополостных их всего 4, у предка билатериев 8, а у млекопитающих уже 48. В состав гомеозисных генов входит гомеобокс — последовательность из 180

пар нуклеотидов, которым при трансляции в белке соответствует домен из 60 аминокислот, называемая гомеодоменом. Последовательность нуклеотидов в гомеобоксе настолько консервативна, что при замене регуляторных генов дрозофилы соответствующими гомеозисными генами курицы онтогенез мухи протекает вполне нормально. Трансляция генетической информации порождает каскад переключений транскрипционных факторов по цепочке: гены материнского эффекта → гены *gap* и *pair-rule* → гомеозисные гены → реализаторные гены (здесь стрелками обозначены включения генов). Реализаторными генами называются гены, которые регулируются белками, содержащими гомеобокс. Открытие гомеозисных генов привело к радикальному пересмотру значения гомологии и механизмов параллельной эволюции в эволюционной биологии. До 1994 г. считалось, что глаза независимо возникли в животном мире не менее 40 раз, так как анатомия разных типов глаз сильно варьируется. Поэтому полной неожиданностью стало открытие У. Геринга, установившего, что один тот же ген *rx-6* отвечает за формирование глаза дрозофил, мышей и людей.

Открытие гомеозисных генов поставило перед молекулярной генетикой важнейшую задачу объяснения увеличения генетической информации. Раскрыть главный генетический механизм, обеспечивающий увеличение сложности организмов по ходу эволюции биосферы удалось американскому генетику и эволюционному биологу японского происхождения С. Оно. В 1970 г. он опубликовал книгу, в которой причиной биологической эволюции назвал процесс дупликации генов [16]. Дупликацией называется разновидность хромосомных перестроек, при которой участок хромосомы оказывается удвоенным. Причиной этого процесса может стать неравный кроссинговер, ошибки при гомологичной рекомбинации, ретротранспозиции и пр. Удвоение генетического материала приводит к тому, что одна из копий, которую можно назвать ультраконсервативной, обеспечивает функционирование организма, в то время как ускоренно мутирующая резервная копия становится стохастическим конструктором для синтеза новых белков и поиска новых функций (неофункционализм). В пользу теории Оно говорит близость ряда генов по нуклеотидному составу, кодирующих разные белки, такие как трипсин и химотрипсин, гемоглобин и миоглобин и ряд других, появившихся в результате субфункционализации, т. е. разделения функций между «старыми» и «новыми» белками. В этом случае дупликация позволяет снять адаптивный конфликт и оптимизировать каждый ген для выполнения своей функции. Наряду с дупликацией отдельных участков хромосомы возможна и полногеномная дупликация — полиплоидизация, возникающая из-за нерасхождения хромосом при мейозе. В эволюции хордовых были обнаружены две полиплоидизации генома. Считается, что первая полногеномная дупликация произошла незадолго до, а вторая сразу после разделения бесчелюстных и челюстноротых, которое произошло примерно 530 млн. лет назад.

На уровне многоклеточных организмов возникает новый механизм изменения функционального репертуара органов животных, названный А. Дорном (*Felix Anton Dohrn*) принципом смены функций органов в процессе эволюции и переименованный Л. Кено (*Lucien Cuenot*) в преадаптацию. По мнению С. Гулда (*Stephen Jay Gould*), термин «преадаптация» имеет чересчур телеологический характер, поэтому они, ничего не меняя в концепции Дорна, ввели ещё один синонимичный термин — экзаптация. Но, как бы её ни называть, теория Дорна предложила механизм смены функций органов в процессе эволюции и позволила разрешить парадокс образования органов, конечная функция которых первоначально не имела никакой приспособительной ценности. Открытие альтернативного сплайсинга, интронов и экзонов позволило выявить молекулярно-генетическую основу преадаптации. Например, альтернативный сплайсинг позволяет путём рекомбинации функционирующих фрагментов ДНК оперативно приступить к синтезу новых белков без изменения исходного ДНК-кода. Если учесть, что более 90% ДНК людей не являются белоккодирующими, становится ясно, какое огромное количество генетической информации может быть активировано для возникновения новых признаков путём небольших изменений ДНК в генно-регуляторной области.

Яркими примерами экзаптации одноклеточных могут служить молекулярные машины, такие как бактериальный жгутик и митохондриальные транслоказные комплексы (ТОМ-ТИМ-комплексы), которые произошли в результате сборки (самосборки?) нескольких белков, до этого выполнявших другие функции.

Функциональная специализация клеток многоклеточного организма привела к появлению нейронов, а их взаимодействие стало причиной появления кратковременной и долговременной памяти [17]. Память превратила ощущения в восприятие, а развитие многоуровневой системы обработки зрительного восприятия в результате экзаптации породила мышление [18], которое позволило животным перейти от безусловно-рефлекторного поведения к условному. Появление зеркальных нейронов стимулировало возникновение игрового поведения, эмоционального сопереживания, а также открыло возможность передачи индивидуального опыта потомству и членам зоосоциальной группы внегенетическим путём — посредством подражания (мемов), ставшего основанием культуры. Мутация гена FOXP2 в процессе ген-культурной коэволюции, возникновение зон Брока и Вернике и развитие артикуляционного аппарата привели к формированию второй сигнальной системы и образованию общества.

Таким образом, прогрессирующая сложность биологических объектов основана на неизбежности возникновения двух типов ошибок. На уровне репликатора это ошибки при копировании информации (дубликация), а на уровне функциональных систем организма — ошибочное использование ФС для решения задач, непредусмотренных функциональным репертуаром (экзаптация).

Совокупность перечисленных механизмов ответственна за усложнение структур и функций в процессе биологической и социальной эволюции.

Иерархическая структура уровней обработки информации

В контексте концепции ГЭ нам представляется целесообразным дополнить трёхчленную иерархическую структуру информационных уровней В. И. Корогодина ещё одним уровнем — доинформационным (нулевым, преинформационным), который объединяет два подуровня — энтропийный и неэнтропийный. Энтропийный (космологический) подуровень важен для понимания причин и последствий каскада спонтанных нарушений симметрий (вспомним определение информации, данное Г. Кастлером), породивших наш материальный мир, а неэнтропийный подуровень нужен, чтобы подчеркнуть значение неравновесных (синергетических) процессов и необходимость условия постоянного оттока энтропии из локальной области материального мира (энтропийный насос) в процессе возникновения информации, условия, которое не выполняется для остальной части неорганического мира. Мы не отождествляем неэнтропию и информацию, а рассматриваем её как необходимое условие возникновения генетической информации. Генетический уровень Корогодина мы назовём генно-регуляторным и разделим на два подуровня — клеточный и гормональный. Гормональный подуровень необходим для того, чтобы учесть новый, по сравнению и с предыдущим клеточным и последующим нейронным уровнем, тип химической сигнализации (для растений и грибов это фитогормоны), при помощи которой многоклеточный организм реагирует на изменение внешних условий без наличия нервной системы. Принимая во внимание представление А. И. Карамяна о существовании пяти критических этапов развития мозгового обеспечения поведения в эволюции позвоночных [19], мы предлагаем назвать уровень поведенческой информации Корогодина нейроэтологическим и разделить его на четыре категории организации нейронных сетей: диффузную, сетчатую, радиальную и билатеральную. Билатеральную же категорию, в свою очередь, предлагается разделить на девять фракций (подуровней) по типу доминирующего центра и уровням интеграции нервной системы: стволовую (ортогон), узловую (или сложную ганглионарную), трубчатую (спинальный уровень интеграции), бульбomezэнцефалическую, мезэнцефалоцеребеллярную, диэнцефалотелэнцефальную, стриарную, стриокортикальную и неокортикальную. Такая дифференциация однородного уровня поведенческой информации Корогодина позволяет качественно изобразить «лестницу рефлексов», отражающую возрастание роли условных рефлексов в поведении животных от первичноротых к приматам и человеку, что невозможно сделать, если считать этот уровень неструктурированным. Мы не будем называть социоинформационный уровень вслед за Корогодиным логическим, а предпочтём именовать его семиотическим по той простой причине, что логическими операциями не ограничивается функциональный репертуар информационных процессов этого уровня. На семиотическом уровне мы выделим три подуровня

— лингвистический, рационально-логический и математический. Кроме того, расширяя идею Корогодина об автокаталитических и гетерокаталитических аспектах информации на семиотическом уровне, мы предлагаем рассматривать в качестве системы, обеспечивающей генерацию, сохранение и саморепликацию ценной информации все-таки не технику, а культуру. Это позволяет органично включить в нашу схему концепцию Р. Докинза о втором репликаторе — меме, возникновение которого связывают с появлением зеркальных нейронов.

В результате мы получаем иерархическую структуру уровней обработки информации, представленную на рисунке 6.

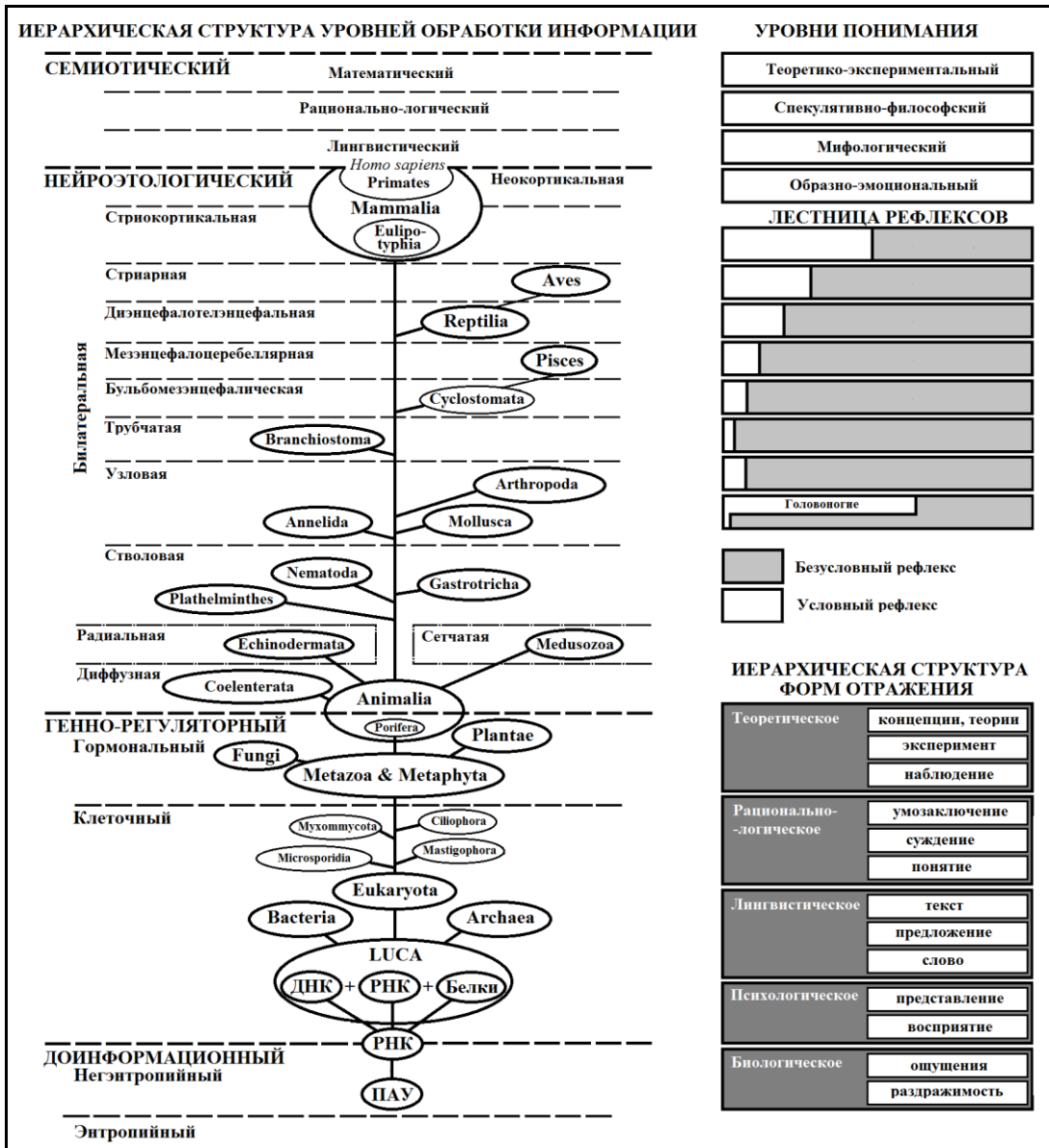


Рис. 6. Иерархическая структура уровней обработки информации.
Fig.6. The hierarchical structure of information processing levels.

Отметим некоторое подобие этой структуры иерархии уровней знаковых систем, принятой в биосемиотике, в которой различают следующие уровни: 1) молекулярно-биологический (генетический код); 2) внутриклеточный (сигнальные пептиды); 3) межклеточный (медиаторы, иммунные взаимодействия); 4) внутриорганизменный (гормоны, условно-рефлекторные реакции); 5) межорганизменный (телергоны, феромоны, аттрактанты).

[<http://biospace.nw.ru/biosemiotika/main/biosem.htm>].

Глобальный эволюционизм в контексте РЭТСИ

Доинформационный уровень. На раннем космологическом (энтропийном) этапе компактификация n -мерного суперпространства привела к разделению 4-мерного пространства-времени и материи.

Охлаждение расширяющейся Вселенной вызвало каскад спонтанных нарушений симметрий, завершившийся образованием четырёх фундаментальных взаимодействий, трёх поколений кварков и лептонов, а также необратимостью времени. В результате рекомбинации протонов и электронов электромагнитное излучение отделилось от вещества, длина джинсовской волны¹¹ упала в $10^{13,5}$ раз, что послужило толчком к формированию крупномасштабной структуры Вселенной, образованию галактик и появлению звёзд первого поколения. В дисках спиральных галактик возникает галактический цикл вещества, возвращающий в новые циклы звездообразования обогащённое тяжёлыми элементами вещество, расплывлённое после взрывов сверхновых.

Поэтому в звёздных системах последующих поколений могут формироваться планеты с силикатной литосферой, а наличие на их поверхности жидкой воды в условиях термодинамической неравновесности приводит к образованию диссипативных структур, в том числе гидрологического и геохимического циклов. На границах геохимических барьеров происходит выделение энергии, за которую начинают «конкурировать» автокатализаторы, образовавшиеся из полициклических ароматических углеводородов, которые возникли на поверхности частиц космической пыли. В результате химической эволюции мир ПАУ сменил РНК-мир, на базе которого зародился ДНК-мир, т. е. появился **первый репликатор**, ускоривший геохимические реакции примерно в 10^{17} раз, что сделало его одним из главных факторов геологической эволюции Земли.

Генно-регуляторный уровень

Клеточный подуровень. Генно-регуляторная сеть в молекулярной биологии, отвечающая за все взаимодействия в клетке, как между белковыми молекулами, так и между генами, называется интерактомом. Адаптивная реакция одноклеточного организма на изменение внешней или внутренней среды сводится

¹¹ Длиной волны Джинса $\lambda \approx v_s \sqrt{\pi / G \rho}$, где v_s – скорость звука, G – гравитационная постоянная, а ρ – плотность газа, называется критическая длина акустической волны, выше которой возмущения плотности газа приводят к гравитационной неустойчивости и образованию крупномасштабных космических структур.

к таксисам и кинезам и/или регулированию метаболизма через экспрессию генов. Стимул, полученный белком-рецептором (G-protein-coupled receptors, GPCRs) за счёт присоединения лиганда и преобразованный в сигнал, в первом случае передаётся цитоплазматические сигнальными белками (CheA, CheY, CheW и CheZ у бактерий) на эффекторы — реснички, цирри (слитые реснички) для ползания, жгутики, сократительные фибриллы (мионемы), а во втором случае через сигнальные пути активирования протеинкиназ (индукторов и репрессоров) путём присоединения к ним фосфатных групп завершается передачей сигнала транскрипционным факторам (ТФ), осуществляющим поиск соответствующего сайта связывания или энхансера¹² и прикреплением к нему, что приводит либо к активизации, либо подавлению транскрипции гена. Наиболее хорошо изучены внутриклеточные сигнальные пути PI3K-Akt, JAK-STAT, NF-κB, гетеротримерных G-белков, Ras-MAPK/ERK, Wnt, Hedgehog, Fas и сигнальный каскад, активирующий программу конъюгации дрожжей [20]. Недавно международной группе генетиков удалось целенаправленно изменить поведение бактерий *E. coli*, встроив несколько генов, составляющих два функциональных модуля обработки информации [21].

Взаимодействие между одноклеточными осуществляется посредством химических сигналов, воздействующих на генные переключатели, и может выражаться в таких сложных формах коллективного поведения (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Dictiostellium discoideum* и др.), как альтруизм, эгоизм, паразитизм, каннибализм и пр. Так коллективное поведение социальных амёб *Dictiostellium discoideum* координируется в условиях недостатка пищи производством цАМФ, вызывающим индуцированный отклик в виде секреции этого вещества и направленное движение клеток по градиенту концентрации (хемотаксис). Ряд реорганизаций (мелкомасштабной клеточной кластеризации, крупномасштабной волновой агрегации, формирования струйных потоков, сортировки дифференцирующихся клеток в агрегате, выделения морфологической оси и формообразования псевдоплазмодия) приводит к формированию плодового тела и образованию спор. *N*-ацил гомосерин лактон (*N*-AHLs) — сигнальная молекула, используемая бактериями в процессах достижения бактериального кворума (QS, quorum sensing). Координирует групповое поведение бактерий путём переключения с гена жгутиков на ген пилей для образования биоплёнки. Существует гипотеза, что *N*-AHLs локально изменяют поверхностное натяжение, вызывающее образование потоков Марангони¹³, что влияет на процессы роения и подвижности бактерий. Примерами участия *N*-AHLs в межбактериальной коммуникации и формировании

¹² Энхансер (англ. enhancer – усилитель) – небольшой участок ДНК, который после связывания с ним ТФ стимулирует транскрипцию с основных промоторов гена или группы генов.

¹³ Поток Марангони – явление переноса вещества вдоль раздела двух сред, возникающее из-за градиента поверхностного натяжения.

чувства кворума являются процессы изменения вирулентного фактора бактерий *Salmonella enteritidis* и регулирования биolumинесцентного белка люциферазы бактериями *Aliivibrio fischeri*. Синегнойная палочка *Pseudomonas aeruginosa* для коммуникации использует более сложную взаимосвязанную трёхкомпонентную систему QS - lasRI, rhlRI и PQS, каждая из которых производит свои сигнальные молекулы. Коммуникация между анаэробами и *Pseudomonas aeruginosa* оказывает влияние на регуляцию генов последних и их QS.

Гормональный подуровень. Некоторые неиграющие особой физиологической роли вторичные метаболиты, обнаруженные у одноклеточных грибов и бактерий становятся сигнальными молекулами в межклеточной коммуникации и важнейшими регуляторами жизнедеятельности и роста растений — фитогормонами (абсцизины, ауксины, цитокинины, гибберрелины, этилен, брассиностероиды, жасмонаты, полипептидные гормоны, крезацин, олигосахариды и пр.),

Эмбриогенез и онтогенез растений, формирование меристем, корневой системы, сосудов, фотоморфогенез, филлотаксис, развитие цветков и соцветий контролируется гомеозисными генами, содержащими MADS-боксы. В основе генно-регуляторной системы растений лежит раздражимость, обусловленная структурными и функциональными изменениями мембран под действием внешних (температура, свет, влажность почвы), и внутренних (фитогормоны, сахара, минеральные элементы) факторов, а непосредственный контроль за развитием органов и тканей осуществляют ТФ.

Нейро-этологический уровень. Ещё одним ярким примером экзаптации тот факт, что у губок, не имеющих нервной системы, выявлена значительная доля комплекса нейромедиаторов [22]. Животные начинают использовать *Нох*-гены для «блочного программирования» алгоритмов онтогенеза и микроРНК для его регулирования, морфогены, организаторы (Шпемана, кишечника, мышечный, кортикальный и пр.). В результате дальнейшей клеточной специализации животные выходят на новый уровень обработки информации, при этом GPCRs становятся основой физиологических процессов в клетках-рецепторах, а функций нейронов становится быстрая передача возбуждения от рецепторов к эффекторам, что позволило животным перейти к локомоции. Образование нейронных сетей (НС) приводит к появлению кратковременной и долговременной памяти, нейромолекулярный механизм которой был установлен в экспериментах Э. Кандела с сотрудниками при изучении формирования условного рефлекса у аплизии [17]. Оказалось, что возбуждение модулирующего нейрона увеличивает содержание протеинкиназы А в сенсорном нейроне, что приводит к снижению порога его срабатывания (кратковременная память). Когда же концентрация протеинкиназы А превышает критическое значение, она проникает в ядро сенсорного нейрона и активирует транскрипционный фактор CREB, который вызывает разрастание синапса сенсорного нейрона вблизи моторного (долговременная память). Этот универсальный механизм лежит в основе

процессов восприятия (восприятие = память + внимание, выраженное в перцептивных действиях), позволяющих разделить объект и фон и являющихся нейрофизиологическим основанием наглядно-действенного мышления и самообучения животного. Гормональное регулирование усовершенствовалось с появлением специализированных желёз животных.

Диффузная, сетчатая и радиальная организация НС Coelenterata=Radiata, Medusozoa, Echinodermata обеспечивает довольно примитивный поведенческий репертуар. Поэтому появление билатерий (Bilateria) ознаменовало существенный эволюционный прорыв. Стволовая НС обеспечила расцвет червей (Plathelminthes=Platyhelminthes, Gastrotricha, Nematoda), а появившаяся у аннелид (Annelida) узловая НС достигла совершенства у головоногих моллюсков (Cephalopoda) и эусоциальных насекомых — муравьёв (Formicidae), термитов (Isoptera), пчёл (Anthophilous), шмелей (Bombus). Их важнейшим приобретением стала разномодальная дистантная чувствительность, стимулировавшая появление принципиально нового качества многоклеточного организма — упреждающей адаптации и превратившее *реактивный* организм в *активный*. Нейрофизиологическим субстратом этого превращения стали две петли обратной связи — рефлекторное кольцо [23] и акцептор результатов действий [8], запустившие механизм опережающего отражения и позволивший животному прогнозировать события на основании собственного опыта. Надглоточный узел из парных ганглиев головоногих моллюсков так сложно устроен, что его называют мозгом; вполне вероятно, что они являются самыми разумными животными среди беспозвоночных. Физиологической основой сложного поведения общественных насекомых стал сильно развитый нейрогемальный орган — протоцеребрум с увеличенной парой грибовидных тел, в которых сосредоточены координирующие и высшие ассоциативные центры НС, при этом сложную социальную систему обеспечила развитая система коммуникации.

Дальнейший прогресс головоногих был невозможен ввиду непродолжительности жизни отдельной особи, а эусоциальных насекомых, кроме того, из-за ограниченных коммуникативных возможностей химической сигнализации и языка танца пчёл, отсутствия индивидуального опыта и ограниченная прочность хитинового покрова, ставшая непреодолимым барьером на пути дальнейшей цефализации.

Новые эволюционные перспективы открылись с появлением хордовых (Chordata). У круглоротых (Cyclostomata) появляется гематоэнцефалический барьер. У рыб (Pisces) нейрогормональные клетки выделились в специализированный отдел ЦНС — промежуточный мозг, а гормональная регуляция поведения сочеталась с функциональным преобладанием зрения. Крыша среднего мозга стала центром сравнения раздражений различных модальностей. Жизнь в трёхмерной среде и электрорецепция многих рыб привела к развитию мозжечка и появлению стратифицированных структур ассоциативно-аналитического типа в

заднем мозге. У пелагических акул (*Megachasma pelagios*, *Alopias pelagicus*) мозжечок разросся так, что накрыл собой остальные структуры и приобрёл складки. Мозг амфибий (*Amphibia*) характеризуется реакцией на раздражитель по принципу доминантности, отсутствием ассоциативного центра и долговременной памяти; медленность гормональной регуляции и быстрота неврологической порождают конфликты при быстрой смене форм поведения; центром принятия решений и хранения индивидуального опыта является среднемозговой центр, возникший в результате опережающего развития зрения и органов боковой линии. Нейрофизиологические инновации рептилий (*Reptilia*) связаны с рефлекторно-ассоциативным средним мозгом и долговременной памятью, которые предоставили возможность накопления индивидуального опыта и самообучения, заложив основы ассоциативного поиска решений. Развитый в результате жизни пресмыкающихся в каменноугольных завалах мозжечок принял участие в накоплении индивидуального опыта, памяти, наглядно-действенного мышления и формирования устойчивых условных рефлексов. Согласно гипотезе В. Д. Глезера «зрение = конкретное мышление», т. е. мышление возникло на основе нейронных структур, сформировавшихся для обработки зрительной информации [18]. В поведении рептилий впервые решающую роль стала играть семантика сигнала, а не сам сигнал или его интенсивность.

Следующий шаг на пути прогрессивной цефализации сделан птицами (*Aves*), у которых высшим ассоциативным центром и основной зоной хранения индивидуального опыта стал стриатум (гиперстриатум), позволивший им освоить несложную инструментальную деятельность и игровую активность. Наиболее яркими примерами интеллектуальных способностей птиц считаются способности обучения певчих птиц пению, сложные брачные ритуалы, копирования человеческой речи попугаями (*Psittacidae*), умение врановых (*Corvidae*) решать сложные задачи, способность к счёту, которая развита у птиц лучше, чем у многих млекопитающих. Грачи (*Corvus frugilegus*) оказались столь же умны при изготовлении и использовании орудий, как шимпанзе, а новокаледонский ворон (*Corvus moneduloides*) освоил культурно передаваемую технику изготовления орудий, которые может забирать с собой для дальнейшего использования. Однако единственной птицей, прошедшей зеркальный тест на самосознание, оказалась обыкновенная сорока (*Pica pica*).

Млекопитающие (*Mammalia*) приобрели новую систему нервных структур — пирамидный путь (*tractus pyramidalis*), поддерживающий сложную и тонкую координацию движений, который достигает наибольшего развития у обезьян (*Primates*) и, особенно, у человека и сыгравший исключительную роль в переходе наших предков к бипедии. Большая часть пирамидных клеток (клеток Беца) иннервирует мелкие мышцы, ответственные за тонкие дифференцированные движения пальцев, мимику и речевой акт. Наличие дополнительной моторной области в цитоархитектоническом поле Бродмана 6 было установлено лишь у

сухоносых приматов (Haplorhini). Предположительно, клетки этой области участвуют в планировании последовательностей действий. Добавочный эмоциональный контур обработки информации формируется за счёт взаимодействия норадренергической, дофаминергической, серотонинергической и холинергической систем, а также рядом нейропептидов, включая эндоморфины. «Эмоциональный мозг» (лимбическая система с прилегающим ядром) совместно с «когнитивным мозгом» (ассоциативной корой) инициируют программирование двигательного акта, осуществляемое мозжечком, базальными ганглиями, моторной корой и таламусом, а программа запускает генераторы двигательной активности ствола мозга и спинного мозга [24].

В настоящее время существует большое число конкурирующих классификаций и теорий эмоций: двухфакторная теория эмоций С. Шехтера [25], десятикомпонентная система К. Э. Изарда [26], язык аннотаций и представления эмоций (EARL) выделяет 48 эмоций [27], древовидные структуры в разное время предлагались П. Шейвером [28] и У. Пэрротом [29], восьмилепестковое «колесо эмоций» предложил Р. Плутчик [30], куб эмоций построил Х. Лёвхейм [31] и т. д. В любом варианте дополнительные эмоциональные измерения существенно увеличили размерность и структуру семантического пространства: если семантический мир амёбы (*Amoeba*) одномерен, то образное мышление высших животных на основе представлений (представление = восприятие + воображение) формирует в многомерном семантическом пространстве разветвлённые семантические сети, однако сложный сенсорный образ мира, объединяющий представления объектов и их свойств с пространственными, временными, ассоциативными и каузальными отношениями возникают лишь у хищных (Carnivora) и приматов. Используемое психологами трёхмерное семантическое пространство коннотативных значений Ч. Осгута — аналог трёхмерной теории эмоций В. Вундта, У. Джеймса, Г.Э. Мюллера и предельно редуцированный образ многомерного семантического пространства. Д. Рид акцентирует внимание на сильную зависимость интеллектуальных способностей животного от объёма кратковременной рабочей памяти (ОКРП), которая у шимпанзе и бонобо ≤ 3 , что не позволяет им мыслить рекурсивно. Сопоставляя коэффициент энцефализации и ОКРП, Рид выделил 7 уровней технологии изготовления орудий. Начиная с первого, вполне доступного низшим обезьянам, при котором для изготовления палки достаточно обломать сучки (ОКРП чуть больше 2), через третий — олдувай (ОКРП чуть больше 3) и шестой — леваллуа (ОКРП ≈ 6 ; 700 тыс. л. н.), к седьмому (ОКРП ≈ 7 ; 50 тыс. л. н.) [32]. Последние уровни связаны с формированием фонологического контура обработки информации. По В. Д. Глезеру глубинные структуры обработки зрительного образа связаны и с мышлением, и с языком. Парадигматическая функция речи локализована в нижневисочной коре, являющейся конечным пунктом формирования зрительного образа, а синтагматика предметных номинаций и предикативная синтагматика,

предположительно, связаны с разными отделами мозга — теменной и лобной корой соответственно [18]. Идея глубинных структур была использована в генеративных и трансформационных грамматиках Н. Хомского, глубинных падежах и концепции FrameNet Ч. Филлмора, эмерджентной грамматике П. Хоппера. Генетическая связь языка и наглядно-действенного мышления подтверждается исключительной ролью глагола в предикативной синтагматике.

Второй репликатор. Процесс цефализации привёл к усложнению поведенческого репертуара животных. Если вначале их поведение определялось набором спинальных безусловных рефлексов с нейрогормональной регуляцией, то образование ассоциативных зон и неокортекса у высших животных, а также формирование условных рефлексов, сделало их поведение настолько сложным, что оно вышло из под генетического контроля и потребовался новый, внегенетический канал передачи информации на базе подражания и обучения.

Физиологической основой нового эпигенетического канала трансляции стали зеркальные нейроны, обнаруженные у приматов и некоторых птиц, благодаря которым сформировался второй, этологический репликатор — *мем*, заложивший фундамент культуры и социальных форм существования материи. Культура стала функциональной системой, обеспечивающей сохранность мемов. После мутации гена FOXP2 в результате ген-мемной коэволюции, возникновением зон Брока и Вернике и языка, означающих переход от образного к словесно-логическому мышлению и превращение информации из сигнала в сообщение, вербализации сознания, вызвавшей нарушение амфидекстральной симметрии, обработка информации выходит на *интерсубъективный семиотический уровень*. В результате исторического развития общества обработка информации становится многоуровневым феноменом, наделённым различными формами суггестивности (вера, рациональность, наблюдение, эксперимент, математические вычисления и доказательства, компьютерное моделирование). Треугольник Огдена-Ричардса в теории референций Фреге-Чёрча, устанавливающий отношения между именем, денотатом и десигнатом, может служить иллюстрацией появления алгоритма перекодирования мышления с образного на вербальный уровень. Высокая скорость «мутаций» мема обеспечила существенно более быстрые темпы культурной эволюции, на 5-6 порядков превышающие скорость биологической эволюции. Преодолев генно-регуляторный и нейро-этологический уровни, обработка информации достигает уровня семиотических структур, распадающийся на три подуровня. Лингвистический подуровень (*L*) становится основой мифологического и религиозного мировоззрения; рационально-логический (*L*, Λ) — философского, а математический (*L*, Λ , *M*) — научного. Интерсубъективные семиотические системы стали прообразами и статичного идеального мира Платона и эволюционирующего третьего мира К. Поппера.

История науки сохранила огромное количество соперничающих концепций, авторы которых, исходя из разнообразных посылок, пытались разработать теории возникновения и эволюции социальных систем, государств и цивилизаций: этнологический, антропологический, формационный и социологический подходы, функционализм, экстернализм и интернализм, технологический детерминизм, клиодинамика и мир-системный анализ. Существенно меньшее количество теорий посвящено возникновению мифологии, философии и науки.

Скомбинируем формационный подход, технологический подход Р. Н. Адамса, концепцию мифогенеза А. Ф. Лосева, гипотезу возникновения философии А. Н. Чанышева и авторскую гипотезу появления и эволюции науки. В результате получим следующую схему. Долгое время социальная эволюция *Homo sapiens* сдерживалась небольшим числом (5-80) членов родовой общины, живущей собирательством и охотой. Так как «... понимание заключается в сведении одного типа реальности к другому» (К. Леви-Стросс), то единственно возможным способом объяснения природы и мира в те времена было перенесение на них наиболее понятных кровно-родственных отношений, в результате чего и природа и весь мир предстали в виде универсальной общинно-родовой формации, а это и есть мифологическое мировоззрение [33].

Неолитическая революция позволила увеличить плотность населения, и племя смогло объединить уже сотни человек, положив начало профессиональной специализации и имущественной дифференциации, развитию мифологических и религиозных представлений, а вождества смогли аккумулировать коллективную энергию уже около 1000 человек.

Эпоха бронзы породила города-государства с числом жителей порядка 10 тыс. человек, а затем и государства с численностью населения 50 тыс. и более. Важнейшим изобретением этого времени стала письменность. На базе грамматики с осознанием транзитивности отношений гипонимии и гиперонимии возникла логика, которая стала основанием философии.

Железный век стал свидетелем появления империй и рождения философии в Китае, Индии и древней Греции. Согласно гипотезе А. Н. Чанышева, философия, как антипод мифологии, возникла в железном веке с появлением денежного обращения и образования зажиточного городского торгово-ремесленного сословия, которому для обоснования претензий на власть потребовалось новое мировоззрение и идеология [34].

Согласно нашей концепции, ответом аристократов на интеллектуальный вызов купцов и ремесленников стало рождение науки в античной Греции, чему способствовало уникальное сочетание внешних и внутренних факторов [35]. На развалинах античного мира сформировался новый феодальный мир, в котором вера потеснила знания, но на его закате в эпоху Ренессанса возродился интерес к

рациональному осмыслению мира, ставший провозвестником рождения экспериментальной науки.

Буржуазные революции утвердили капитализм, породили индустриализацию экономики и институциализацию науки. В эпоху классики естествознание пришло к антагонизму механической и полевой картин мира, который в начале неклассической эпохи усугубился релятивизмом и квантовой физикой, но в самом конце благополучно завершился суперунификацией, полностью реализовавшей научно-исследовательскую программу геометризации физики, инициированную У. К. Клиффордом [36].

Главной задачей постнеклассической эпохи стало исследование сложных биологических и социальных систем, процессов диссипативной и консервативной самоорганизации, перспектив гиперунификации полученных знаний с суперсинтезом и финальной панунификации технического, естественнонаучного и гуманитарного знания (Рис. 7).

Заключительной стадией развития ГЭ должна стать *панунификация* — синтез естественнонаучного (вместе с техническим) и гуманитарного знания, означающий завершение эпохи становления научного мировоззрения. Большая история обречена приступить к решению проблемы двух культур Ч. Сноу, преодолевая финальным синтезом раскол знания, намеченный ещё софистами, противопоставившими *νῆμος* и *φύσις*, который превратился в бездонную пропасть ко второй половине XX века.

Хорошо известно, что в основе эволюции науки лежат два взаимодополнительных процесса, с одной стороны это все более детальная дисциплинарная дифференциация, порождающая новые частные проблемы и методики их разрешения, а с другой — синтез, интеграция, унификация научного знания, обеспечивающая связность, непротиворечивость и системность научной картины мира. С возникновением теории диссипативных структур И. Р. Пригожина, синергетики Г. Хакена унифицирующей парадигмы Э. Янча [7] и формированием идей ГЭ трансдисциплинарные проблемы постнеклассического этапа развития науки могут быть рассортированы с использованием хронологического принципа, когда на временной шкале фиксируется время появления тех или иных структур или процессов.

В окрестностях начала временной шкалы, в интервале $0-10^{-10}$ с, расположена предметная область единых теорий физики элементарных частиц [теория Вайнберга-Салама, квантовая хромодинамика (QCD), теории Великого объединения (GUT's), теории супергравитации (SUGRA), теории суперструн, супербран, М-теории и теории Всего Сущего (ToE)] и ультрарелятивистской космологии, занимающихся созданием моделей Большого взрыва и последующего каскада спонтанных нарушений симметрий, в результате которых возникла наша Вселенная. В этой области «первых мгновений» в процесс трансдисциплинарной унификации вовлечены лишь физика и космология и путь к суперунификации, направленный влево по шкале быстро выходит за границы

экстремального хронотопа¹⁴ уже для GUT's. Апологией теориям GUT's, SUGRA, М-теории и ТоЕ, лишаящимся статуса научности, может служить лишь негибкая верность их творцов бессмертным идеям пифагореизма-платонизма, да робкая надежда, что выступающие в роли строгих судей, следователей и адвокатов физики-экспериментаторы найдут-таки косвенные свидетельства истинности неverifiedируемых на сегодняшний день теорий, зарегистрировав, например, самые лёгкие суперчастицы.

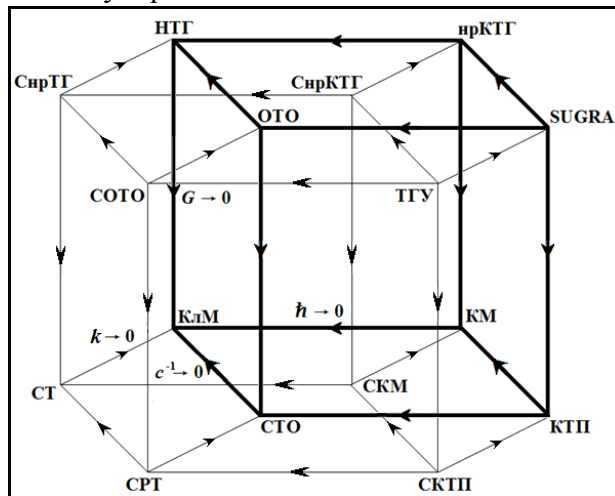


Рис. 7. Куб теорий Зельманова (жирные линии) и тессеракт топосов гиперунифицированных теорий. Сокращения на рисунке: НТГ — ньютоновская теория гравитации, нрКТГ — нерелятивистская квантовая теория гравитации, ОТО — общая теория относительности, SUGRA (ТОЕ) — супергравитация (теория всего сущего), КЛМ — классическая механика, КМ — квантовая механика, СТО — специальная теория относительности, КТП — квантовая теория поля, СнрКТГ — статистическая нерелятивистская квантовая теория гравитации, СнрТГ — синергетическая нерелятивистская теория гравитации, СОТО — статистическая общая теория относительности (термодинамика черных дыр), ТГУ — теория гиперунификации, СТ — синергетическая теория, СКМ — статистическая квантовая механика, СКТП — статистическая квантовая теория поля, СРТ — статистическая релятивистская теория, c — скорость света, G — ньютоновская гравитационная постоянная, \hbar — постоянная Планка k — постоянная Больцмана.

Fig.7. Zelmanov's cube of theories (bold lines) and topoi tesseract of hyperunified theories (fine lines). Abbreviations on the diagram: НТГ — Newtonian theory of gravitation, нрКТГ — nonrelativistic quantum theory of gravitation, ОТО — general theory of relativity, SUGRA (TOE) — supergravity (Theory of Everything), КЛМ — classical mechanics, КМ — quantum mechanics, СТО — special relativity, КТП — quantum theory of fields, СнрКТГ — statistical nonrelativistic quantum theory of gravitation, СнрТГ — synergetic nonrelativistic theory of gravitation, СОТО — statistical general theory of relativity, ТГУ — theory of hyperunification, СТ — synergetic theory, СКМ — statistical quantum mechanics, СКТП — statistical quantum theory of fields, СРТ — statistical special relativity, c — speed of light, G — gravitational constant, \hbar — Planck Constant, k — Boltzmann Constant.

В средней части шкалы, раскинувшейся аж на 14,42 млрд. лет, локализованы фундаментальные проблемы звёздной космогонии и эволюции, формирования и эволюции Земли, глобальной тектоники плит,

¹⁴ Под экстремальным хронотопом (от греч. $\chi\rho\acute{o}\nu\omicron\varsigma$ — время и $\tau\acute{o}\lambda\omicron\varsigma$ — место) мы понимаем всю доступную измерениям часть Вселенной заключенную в масштабные пространственно-временные границы $10^{-27} < r < 1,36 \cdot 10^{26}$ м и $10^{-36} < t < 10^{17}$ с, или $10^7 < r < 8,44 \cdot 10^{60} l_p$ и $10^7 < t < 8,44 \cdot 10^{60} t_p$ в планковских единицах [37, 38].

палеоклиматологии, возникновения жизни и эволюционной биологии, антропо- и глоттогенеза и т. д., причём в начале этого интервала доминируют проблемы отдельных естественнонаучных дисциплин, например, для описания гравитационного коллапса гигантских молекулярных облаков достаточно одной механики, но с приближением к настоящему времени доля комплексных междисциплинарных проблем неуклонно возрастает, так для создания астрофизических моделей эволюции звёзд необходимо опираться на астрономические наблюдения, представления ядерной физики, и общей теории относительности (ОТО), для разработки геофизических моделей нужно учитывать данные геологии, минералогии, литологии, биологии и палеонтологии, сейсмологии, гидрологии, геохимии и пр., построение эволюционной биологии немыслимо без генетики, биохимии, гистологии, нейро- и обычной физиологии, социобиологии, этологии, климатологии и всего комплекса геофизических дисциплин, а в самом конце шкалы, в интервале последних 10–12 тыс. лет, Большая история просто обречена приступить к решению проблемы синтеза естествознания и гуманитарного знания путём создания автоматизированных глобальных экспертных систем и компьютерного моделирования климатических, экологических, экономических, политических и социальных процессов. Проблемы выхода за пределы экстремального хронотопа здесь нет, но возникает сложнейшая проблема оценки адекватности моделей исторического процесса реальным историческим событиям, решение которой невозможно без активного вовлечения в исследования всего корпуса естественных, технических и гуманитарных наук, а это и есть панунификация.

Отметим, что со временем первоначальный жёсткий универсализм в левой части рисунка 8 разваливается в результате каскада спонтанных нарушений симметрий, практически тождественный фатализму ньютоновский детерминизм разрушается лавиной бифуркаций синергетики и теории диссипативных структур, а появление первого живого организма означает не только возникновение информации, но и зарождение индивидуализма, принципиального отличия его не только с объектами неорганического мира, но и с себе подобными организмами.

Это позволяет по-новому взглянуть на проблемы детерминизма, свободы выбора человеком и перспективы математической формализации его поведения. В организме человека около 600 скелетных мышц, то есть для того, чтобы описать, как происходит движение человека с точки зрения биомеханики, необходимо задать векторную функцию $\mathbf{R}(t)$ в области $D \in \mathbf{R}^{600}$. Понятно, что функция $\mathbf{R}(t)$ не может быть единственной даже для одного человека, т. к. движение из положения 1 в положение 2 может быть совершено огромным количеством способов, тем более, она не может быть универсальной для всех людей ввиду того, что процесс самоорганизации безусловных рефлексов индивидуален. Ещё более затруднительным представляется вопрос, почему происходит то или иное движение, так как для его решения с точки зрения нейрофизиологии необходимо знание состояния мозга, состоящего из 86 млрд.

нейронов и его коннектом¹⁵, а также привычки, знания, убеждения, идеалы и т. д. индивида. Если отождествлять свободу с индетерминизмом, человек свободен, т. к. его движения, мысли и поступки невозможно формализовать в виде системы уравнений, решением которых будет $R(t)$. Поэтому роль математики в описании поведения индивида и коллективов людей ограничивается стохастическими алгоритмами да формализацией логики поведения.

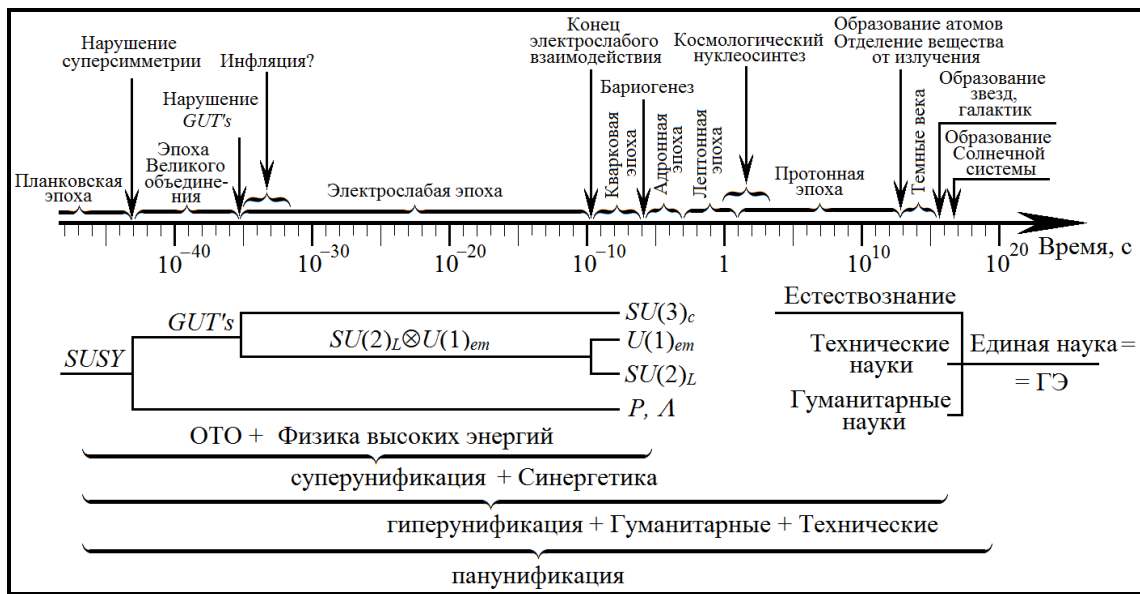


Рис. 8. Супер-, гипер- и панунификация научного знания.
Fig. 8. Super-, hyper-, and panunification of scientific knowledge.

Третий репликатор и искусственная жизнь. С. Блэкмор сформулировала проблему «третьего репликатора». Если вся биосфера стоит на основе единственного химического репликатора — гена, а культура и, шире, антропосфера — на основе семиотического репликатора, получившего название «мем», то могут ли в результате эволюции появиться репликаторы более высоких уровней? Свои мрачные алармистские прогнозы автор связывает с интернетом и цифровыми технологиями [39]. Так или иначе, третий репликатор ассоциируется с искусственной жизнью (*alife*). Термин «искусственная жизнь» можно понимать, по крайней мере, в трёх смыслах. В материальном мире (*in re*) это 1) биохимическая «аналоговая» жизнь на основе искусственного репликатора — синтезированного *in vitro* в лабораторных условиях ДНК (*Mycoplasma laboratorium* — проект искусственной жизни, Синтия Джона Вентера Крейга); 2) кремниевая цифровая жизнь саморазмножающихся автоматов фон Неймана в результате развития робототехники и боидов с использованием алгоритмов роевого и коллективного интеллекта. В виртуальном мире (*in silico*) это 3) виртуальная

¹⁵ Коннектом — вся структура связей в нервной системе животного. Коннектом червя *Caenorhabditis elegans*, чья нервная система состоит всего из 302 нейронов и 7000 соединений между ними был описан в 1986, однако рассчитывать на составление коннектома человека в обозримом будущем не приходится.

цифровая жизнь на основе искусственной химии (OpenWorm — международный проект по созданию компьютерной модели круглого червя — свободноживущей нематоды *Caenorhabditis elegans* на клеточном уровне). По мнению авторов, единственным достойным кандидатом на роль третьего репликатора является *нем* (производное от фамилии Дж. Фон Неймана) — универсальный саморазмножающийся с помощью встроенного 3D-принтера автомат, способный реализовать мечту Ф. Дайсона, высказанную в книге «Нарушая покой Вселенной» [40] о превращении антропосферы из геологического фактора эволюции Земли в фактор космический в результате антропо-немного симбиоза.

Принципиальное отличие третьего репликатора от предыдущих характеризуются: 1) отсутствием родительских особей, т. к. сборка может проводиться коллективно, а также отсутствием индивидуальной программы развития *hard ware* от простого к сложному, т. е. 2) отсутствием процесса онтогенеза, т. к. собранный и загруженный *soft ware* объект будет способен немедленно исполнять свои обязанности, минуя продолжительную стадию детства; 3) отсутствием механизма мутаций, т. к. все функциональные системы вполне могут контролироваться тестированием; 4) отсутствием индивидуальности и смерти, т. к. любой индивидуальный опыт немедленно становится общественным; 5) наличие генерального плана и будущих функций объекта сборки (телеономизм), отсутствующих у предшествующих репликаторов; 6) адаптацией к изменяющимся условиям не путём случайного отбора, а сознательным изменением генерального плана функциональных систем коллективным интеллектом. Общим же с эусоциальными системами животных может быть 7) весьма вероятная узкая специализация функциональных систем как в сообществах муравьёв, ос, пчёл и термитов, но несравненно превосходящих их интеллектом и потенциальными возможностями действий. Симбиоз человека с подобными техническими системами-сообществами способен создать «третью природу» и наделить человека уже не геологической, а космической силой.

Конечно, информации не существует в неорганическом мире, но спроектировав и создав такой автомат из абиогенных материалов, а затем, вложив в его память программу жизненного цикла, человечество смогло бы с помощью немов решать проблемы космических масштабов, например, задачи терраформирования планет, строительства вокруг Солнца диска Андерсона, сферы Дайсона, структур Крисвелла и прочих астроинженерных сооружений. А, ступив уже в XX веке на скользкую дорожку трансгуманизма, человечество, осознав эволюционную (биологическую) неизбежность исчезновения вида *Homo sapiens*, возможно, предпочтёт животным экзистенциальным радостям существования в брэнной органической оболочке эйфорию интеллектуальных озарений и когнитивного творчества в личине немоидов эры постгуманизма, вечно вкушающих плоды с древа познания: «... οὐ θανάτω ἀποθανεῖ σθε. ἢ δεῖ γὰρ ὁ θεὸς ὅτι ἐν ἡῖν ἡμέρᾳ φάγητε ἀπ' αὐτοῦ διανοιχθήσονται ὑμῶν οἱ

ὄφθαλμοί καὶ ἔσεσθε ὡς θεοὶ γινώσκοντες καλὸν καὶ πονηρόν»¹⁶. Этот шаг и мог бы стать рождением третьего репликатора.

Закключение

В этой работе мы попытались сделать следующее.

- 1) Доказать, что информация является сетевым феноменом, проявляющим себя на нескольких иерархических уровнях: генно-регуляторном, состоящим из клеточного и гормонального подуровней, нейро-этологическом и семиотическом. Вне генно-регуляторных, нейронных и коммуникативных сетей информации не существует. На первом уровне информация представлена в форме химического сигнала, на втором — электрического (спайк), на третьем — в форме сообщения (вербального, графического и т. д.).
- 2) Объяснить наличие разнообразных логик поведения у всех биологических объектов, начиная с простейших: «логика поведения возникла на три-четыре миллиарда лет раньше появления силлогистики и логиков».
- 3) Выявить причины возрастающей сложности неорганических структур и биологических объектов с эволюцией Вселенной.
- 4) Построить иерархическую структуру уровней обработки информации от сигнальных путей белков в интерактоме клетки до использования семиотических (лингвистических, логических и формально-математических) методов получения знаний.
- 5) Наметить перспективы синтеза естественнонаучных, гуманитарных и технических наук в процессе финальной панунификации человеческого знания.
- 6) Замкнуть глобальный когнитивный цикл и предложить метатеоретический критерий верификации/фальсификации концепций, гипотез, научных теорий на базе самореференции знания. К сожалению, в конечном счёте, мы будем вынуждены на основании соответствия всему самосогласованному корпусу научных знаний принимать на *веру* экспериментально неподтверждаемые утверждения о явлениях и процессах, лежащих за пределами экстремального хронотопа, таких как Big Bang, суперструны, ТоЕ, GUT's, космологическая инфляция и пр.

Литература

1. Onsager L. Reciprocal relations in irreversible processes, «Physical Review», 1931, v. 38, № 12, pp. 2265–2279.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. — М.: Мир, 1979. 512 с.
3. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: динамическая теория информации. — М.: Либроком, 2001. 304 с.
4. Кастлер Г. Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967, 91 с.
5. Мелик-Гайказян И.В., Мелик-Гайказян М.В., Тарасенко В.Ф. Методология моделирования нелинейной динамики сложных систем. — М.: Физматлит, 2001. 272 с.
6. Современная западная философия: Словарь. — М.: Политиздат, 1991. 414 с.
7. Jantsch E. Unifying principles of evolution // In “The Evolutionary Vision”, 1981. P. 83–116.
8. Анохин П.К. Избранные труды: Кибернетика функциональных систем. — М.: Медицина, 1998. 400 с.

¹⁶ С греческого — "...нет, не умрете, но знает Бог, что в день, в который вы вкусите их, откроются глаза ваши, и вы будете, как боги, знающие добро и зло" (Книга Бытия. 3:4-5).

9. Корогодин В.И., Корогодина В.Л. Информация как основа жизни и целенаправленных действий // В сб. "Причинность и телеономизм в современной естественнонаучной парадигме". М.: Наука, 2002. С. 189–212.
10. Neisser U., *Cognitive Psychology*. New York: Appleton–Century–Crofts, 1967. 351 p.
11. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 1983. 344 с.
12. Докинз Р., *Эгоистичный ген*. – М.: CORPUS, 2013. 512 с.
13. Liden W.H., Phillips M.L., Herberholz J. Neural control of behavioural choice in juvenile crayfish // *Proceedings of the Royal Society B*. 2010. V. 277, N 1699. P. 3493–3500.
14. Grosenick L., Clement T.S., Fernald R.D. Fish can infer social rank by observation alone // *Nature*. 2007. V. 445. P. 429–432.
15. Марков А., Наймарк Е. Эволюция. Классические идеи в свете новых открытий. М.: АКТ: CORPUS, 2014. 656 с.
16. Ohno S. *Evolution by gene duplication*. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1970. 160 p.
17. Кандель Э., В поисках памяти. – М.: CORPUS, 2011. 736 с.
18. Глезер В.Д. Зрение и мышление. – С-Пб.: Наука, 1993. 284 с.
19. Карамян А.И. Эволюция конечного мозга позвоночных. – Л.: Наука, 1976. 253 с.
20. Peisajovich S.J., Garbarino J.E. Wei P., Lim W.A. Rapid diversification of cell signaling phenotypes by modular domain recombination // *Science*. 2010. V. 328. P. 368–372.
21. Liu C., Fu X., Liu L., et al. Sequential establishment of stripe patterns in an expanding cell population // *Science*. 2011. V. 334. P. 238–241
22. Nur S. et al., A Post-Synaptic Scaffold at the Origin of the Animal Kingdom // *PLoS One*. 2007. V. 2, no. 6. P. e506.
23. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М.: Наука, 1990. 466 с.
24. Mogenson G.J., Jones D.L, Yim CY. From motivation to action: functional interface between the limbic system and the motor system // *Progress in Neurobiology*. 1980. V. 14. P. 69–97. PMID 6999537 DOI: 10.1016/0301-0082(80)90018-0
25. Schachter S., Singer J., 1962. Cognitive, Social and Physiological Determinants of Emotional State. *Psychological Review*, 69, pp. 379–399.
26. Izard C. *Human Emotions*. New York: Plenum, 1977, 495 p.
27. HUMAINE Emotion Annotation and Representation Langue. *Emotion-research.net*. Retrieved June 30, 2006.
28. Shaver P., Schwartz J., Kirson D., O'connor C., 1987. Emotion knowledge: further exploration of a prototype approach // *Journal of Personality and Social Psychology*. 52 (6), 1061 p.
29. Parrot W., 2001. *Emotions in Social Psychology. Key Readings in Social Psychology*. Philadelphia: Psychology Press. ISBN 978-0863776830.
30. Plutchik R., 1991. *The Emotions*. University Press of America, 110 p.
31. Lövhheim H., 2012. A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters. *Med Hypotheses*, 78, p. 341–348.
32. Read D.W. Working Memory: A Cognitive Limit to Non-Human Primate Recursive Thinking Prior to Hominid Evolution // *Evolutionary Psychology*. 2008. V. 6. P. 676–714.
33. Лосев А.Ф., *История античной философии в конспективном изложении*. – М.: Мысль, 1989. 204 с.
34. Чанышев А.Н. *Философия Древнего мира*. – М.: Высшая школа, 2001. 703 с.
35. Бурундуков А.С., Дроздов А.Л., Казанский Б.А. Палеонтологический парадокс – гордиев узел глобального эволюционизма. – LAP, Саарбрюккен (Германия), 2016. 301 с.
36. Clifford W.K., 1885. *The Common Sense of the Exact Sciences*. Kegan, Paul, Trench, 315 p.
37. Бурундуков А.С. *Концептуальные структуры знания*. – Владивосток: ДВГТПУ, 2002. 465 с.
38. Бурундуков А.С. *Фундаментальные структуры. Эмпирические системы*. – Владивосток: Дальнаука, 2005. 304 с.
39. Блэкмор С. Третий репликатор эволюции: гены, мемы – что дальше? // *Нью-Сайентист (New Scientist)*. 2009. Вып. 2719, 31 июля. // <https://magpie73.livejournal.com/1255219.html> (20.05.2018). (in Russ.)
40. Dyson F.J., 1979. *Disturbing the Universe*, Basic Books, New York. 292 p.

Replicator-Ethological Theory of Semantic Information: From the Gene to Neme

A. S. Burundukov¹, A. L. Drozdov^{1,2}

¹*Far Eastern Federal University, Vladivostok 690050, Russian Federation*
e-mail: aleksandr.burundukov2012@mail.ru;

²*National Scientific Center of Marine Biology, Vladivostok 690041, Russian Federation*
e-mail: anatolyld@mail.ru

Abstract

The article is devoted to the development of the foundation of the replicator-ethological theory of semantic information (RETSI), which opens new prospects for the formalization of information theory compatible with the concept of global evolutionism (GE), capable of embracing various aspects of the emergence and evolution of semantic information, explaining the mechanisms of the emergence of the logic of animal behavior, and also the formation of epigenetic channels for the transmission of information that gave birth to culture, language, mythology and religion, philosophy and science.

RETSI uses the concepts of global evolutionism, functional systems (FS), artificial neural networks (INS) and artificial intelligence (AI), and the idea of multimodality of information levels. According to RETSI, information, unlike matter and energy: 1) is not universal, as it does not exist in the inorganic world; 2) is not a conserved quantity, i.e. there is no law for the preservation of information; 3) represents a network phenomenon that manifests itself on several hierarchical levels: gene-regulatory (the interactome of unicellular and hormonal system of multicellular), neuro-ethological and semiotic; 4) is polymodal, since at each hierarchical level it has different carriers and specific forms of coding, processing and use; 5) is individual for every organism, but thanks to communication it can generate complex forms of collective behavior from bacterial communities and eusocial animals to human society. RETSI proceeds from the triunity of the forms of information existence: "replicator-irritability-reaction". A replicator is a self-assembly program for a functional system (FS) capable of (1) maintaining its integrity when interacting with the external environment (self-preservation) for a time sufficient to (2) reproduce copies of the system-generating replicator, or new replicators based on mutations or combinations of old ones.

The first, biochemical replicator, was the gene, - the basic element of living matter, and the first functional system that divided the world into external and internal environments - the body. The gene-replicator and such biological information processes as "irritation" and "reaction" are separated in different hierarchical levels: the genetic information is written on DNA molecules, i.e. it corresponds to the molecular level, while sensory (perceptual) and behavioral information functions on the supramolecular, organismic level, in the simplest case, the corresponding cell.

Interaction between single-celled organisms is carried out by means of chemical signals affecting gene switches and can manifest itself in a form of collective behavior, such as the bacterial quorum (QS). The progressive complexity of biological objects is based on symbiogenesis and the inevitability of the occurrence of two types of errors. At the level of the replicator, these are errors in the copying of information (duplication and polyploidization), and at the level of the functional systems of the organism - the use of FS to solve problems not intended by the functional repertoire (exaptation). As a result of symbiogenesis, eukaryotes appeared that opened up prospects for the evolution of multicellular organisms, while secondary metabolites found in unicellular fungi and bacteria become phytohormones - signaling molecules in intercellular communication and the most important regulators of vital activity and plant growth.

At the neuro-ethological level, as a result of cellular specialization, animals enter a new level of information processing: the function of neurons is the rapid transfer of excitation from the receptors to the effectors, which allowed the animals to pass on locomotion. The formation of neural networks (NN) leads to the appearance of short-term and long-term memory. The process of cephalization led to a complication of the behavioral repertoire of animals, but if at first the behavior was determined by a set of spinal unconditioned reflexes with neurohormonal regulation, the formation of associative zones and neocortex in higher animals, and the formation of conditioned reflexes, made their behavior so complex that it came out of under genetic control and a new, non-genetic channel for transmitting information on the basis of imitation and learning was required. The physiological basis of the new epigenetic translation

channel was the mirror neurons found in primates and some birds, thanks to which a second, ethological replicator - meme, laid the foundation of culture and social forms of existence of matter. After the mutation of the FOXP2 gene as a result of meme-genetic coevolution, the appearance of the Broca and Wernicke zones and the language meaning the transition from figurative to verbal-logical thinking and the transformation of information from a signal into a message, the verbalization of consciousness, which caused amphi-dextral symmetry breaking, information processing goes on intersubjective semiotics level and as a result of the historical development of society becomes a multi-level phenomenon endowed with various forms of suggestiveness (faith, rationality, observation, experiment, m thematic computing and evidence, computer simulation).

The third, digital replicator associated with artificial life can be neme (derived from the surname J. von Neumann) - a universal self-replicating automat with the built-in 3D printer.

The reasons for the irreversibility of evolution and the progressing complexity of organisms are considered, two block diagrams of ethological algorithms are given to explain the logic of animal behavior through the mechanism of the regulatory functioning of neural networks, the emergence of supercomplex systems and the hierarchical structure of levels of information processing in the context of the GE, discusses the exclusive role of theoretical biology in the forthcoming synthesis of natural and humanitarian knowledge.

Key words: biochemical replicator, global evolutionism, artificial intelligence, neural networks, the theory of semantic information, functional systems, ethological algorithms.

References

1. Onsager L., 1931, Reciprocal relations in irreversible processes, *Physical Review*, vol. 38, no. 12, pp. 2265–2279.
2. Nicolis G., Prigogine I., 1977, Self-organization in nonequilibrium systems: from dissipative structures to order through fluctuations, 491 p., Wiley, New York. (in Russ.)
3. Chernavsky D. S., 2002, *Sinergetika i informatsiya: dinamicheskaya teoriya informatsii* [Synergetics and Information. Dynamics information theory], 300 p., Librokom, Moscow. (in Russ.) (in Russ.)
4. Quastler H., 1964. *The Emergence of Biological Organization*. 83 p., Yale Univ. Press.. Yale. (in Russ.)
5. Melik-Gaykazyan I. W., Melik-Gaykazyan M. W., Tarasenko W. F., 2001. *Metodologiya modelirovaniya nelineynoy dinamiki slozhnykh sistem* [Simulation methodology of complex system nonlinear dynamics], 272 p., Fizmatlit, Moscow. (in Russ.)
6. *Sovremennaya zapadnaya filosofiya: Slovar'*, 1991, [Modern western philosophy: Dictionary], 414 p., Politizdat, Moscow. (in Russ.)
7. Jantsch E., 1981, Unifying principles of evolution, *The Evolutionary Vision*, pp. 83–116.
8. Anokhin P. K., 1998, *Izbrannyye trudy: Kibernetika funktsional'nykh sistem* [Cybernetics of functional systems: Selected works], 400 p., Medicine, Moscow. (in Russ.)
9. Korogodin V. I., Korogodina V. L., 2002, Informatsiya kak osnova zhizni i tselenapravlennykh deystviy [Information as a basis of life and purposeful actions], in *Prichinnost' i teleonomizm v sovremennoy yestestvennonauchnoy paradigme* [Causality and teleonomism in the modern paradigm], pp. 189–212, Nauka, Moscow. (in Russ.)
10. Neisser U., 1967, *Cognitive Psychology*, 351 p. Appleton-Century-Crofts, New York.
11. Wiener N., 1948, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and Machine*, 194 p. (Hermann & Cie) & Camb. Mass. (MIT Press), Paris. (in Russ.)
12. Dawkins R., 1976, *The Selfish Gen*. 496 p., Oxford University Press, Oxford. (in Russ.)
13. Liden W.H., Phillips M.L., Herberholz J., 2010, Neural control of behavioural choice in juvenile crayfish, *Proceedings of the Royal Society B.*, vol. 277 (1699), pp. 3493–3500.
14. Grosenick L., Clement T.S., Fernald R.D., 2007, Fish can infer social rank by observation alone, *Nature*, vol. 445, pp. 429–432.
15. Markov V.A., Naimark H., 2014, Evolyutsiya. Klassicheskiye idei v svete novykh otkrytiy [Evolution. Classical ideas in the light of new discoveries], 656 p., ACT: CORPUS, Moscow. (in Russ.)
16. Ohno Susumu, 1970, *Evolution by gene duplication*, 160 p., Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin. ISBN 0-04-575015-7.
17. Kandel' E. R., 2006. *V poiskakh pamyati* [In Search of Memory], 736 p., CORPUS, Moscow. (in Russ.)

18. Glezer V.D., 2011, *Zreniye i myshleniye* [The Sight and Mentality], 284 p., Nauka, Sankt-Petersburg. (in Russ.)
19. Karamyan A. I., 1976, *Evolyutsiya konechnogo mozga pozvonochnykh* [The Evolution of Vertebrate's Cerebrum], 253 p., Nauka, Leningrad. (in Russ.)
20. Peisajovich S.J., Garbarino J.E. Wei P., Lim W.A., 2010, Rapid diversification of cell signaling phenotypes by modular domain recombination, *Science*, vol. 328, pp. 368–372.
21. Liu C., Fu X., Liu L., et al., 2011, Sequential establishment of stripe patterns in an expanding cell population, *Science*, vol. 334, pp. 238–241
22. Onur S. et al., 2007, A Post-Synaptic Scaffold at the Origin of the Animal Kingdom, *PLoS One*, 2(6): e506.
23. Bernshtein N.A., 1990, *Ocherki po fiziologii dvizheniy i fiziologii aktivnosti* [The features on movement and activity Physiology], 446 p. Nauka, Moscow. (in Russ.)
24. Mogenson G.J., Jones D.L., Yim C.Y., 1980, From motivation to action: functional interface between the limbic system and the motor system, *Progress in Neurobiology*, 14, pp. 69–97. PMID 6999537 DOI: 10.1016/0301-0082(80)90018-0
25. Schachter S., Singer J., 1962, Cognitive, Social and Physiological Determinants of Emotional State, *Psychological Review*, 69, pp. 379–399.
26. Izard C., 1977, *Human Emotions*, 495 p., Plenum, New York.
27. *HUMAINE Emotion Annotation and Representation Langue EARL: Proposal*, viewed 20 May 2018, from <http://www.greenpeace.org.au/ge/farming/canola.html>.
28. Shaver P., Schwartz J., Kirson D., O'connor C., 1987, Emotion knowledge: further exploration of a prototype approach, *Journal of Personality and Social Psychology*, 52 (6), pp. 1061–1086.
29. Parrott, W. Gerrod, 2001, *Emotions in Social Psychology. Key Readings in Social Psychology*. 378 p., Psychology Press, Philadelphia. ISBN 978-0863776830.
30. Plutchik R., 1991, *The Emotions*. 110 p University Press of America.
31. Lövhelm H., 2012, A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters, *Med Hypotheses*, 78, p. 341–348.
32. Read D.W., 2008, Working Memory: A Cognitive Limit to Non-Human Primate Recursive Thinking Prior to Hominid Evolution, *Evolutionary Psychology*, vol. 6, pp. 676–714.
33. Losev A.F., 1989, *Istoriya antichnoy filosofii v konspektivnom izlozhenii* [History of ancient philosophy in summary], 204 p. Misl, Moscow. (in Russ.)
34. Chanishev A.N., 2001, *Filosofiya Drevnego mira* [Ancient philosophy], 703 p. Vysshaya shkola, Moscow. (in Russ.)
35. Burundukov A.S., Drozdov A.L., Kazansky B.A., 2016. *Paleontologicheskiy paradoks – gordiyev uzel global'nogo evolyutsionizma* [The paleontological Paradox – Gordian Knot of global Evolutionism], 299 p., LAP, Saarbrücken. (in Russ.)
36. Clifford W.K., 1885, *The Common Sense of the Exact Sciences*, 315 p., Kegan, Paul, Trench, New York.
37. Burundukov A.S., 2002, *Kontseptual'nyye struktury znaniya* [The conceptual Structures of Knowledge], 465 p., DVGTRU, Vladivostok. (in Russ.)
38. Burundukov A.S., 2005, *Fundamental'nyye struktury. Empiricheskiye sistemy* [The fundamental Structures: empirical Systems], 304 p., Dalnauka, Vladivostok. (in Russ.)
39. Blackmore S., 2009, Tretiy replikator evolyutsii: geny, memy – chto dal'she? [Evolution's third replicator: Genes, memes, and now what?], *New Scientist*, issue 2719, 31 July 2009, viewed 20 May 2018, from <https://magpie73.livejournal.com/1255219.html>. (in Russ.)
40. Dyson F.J., 1979, *Disturbing the Universe*, 292 p., Basic Books, New York.

Статья принята для публикации 20 мая 2018 г.