

## Нелинейная динамика и происхождение познавательной способности интеллектуальных систем

© Ю.Т. Каганов, М.Б. Оселедчик

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Появление человека современного типа, формирование его мозга и комплекса познавательных способностей в процессе эволюции не является линейным процессом, а суть продукт сложного взаимодействия огромного количества постоянно изменяющихся условий среды обитания, генетических мутаций, появляющихся социальных отношений и системы знания как условия успешного выживания. Этот процесс описывается средствами современных физико-математических теорий, связанных с идеями самоорганизации сложных нелинейных динамических систем. Одним из факторов быстрого развития мозга и интеллекта стал так называемый культурный драйв — механизм автокаталической коэволюции когнитивных способностей, социального обучения и культуры. Культурный драйв обязательно сопровождается активным развитием речи и речевых механизмов как способов передачи и получения информации. Гибкий, многоплановый и сложный язык общения дал возможность распределения информации внутри социума, что позволило быстро увеличить ее количество. При появлении языка как некоей знаковой системы возникают семиотические механизмы, описываемые семантикой, синтаксисом и прагматикой. Важнейшей задачей человека, участвующего в коммуникации, становится задача порождения смысла, а также его восприятия в получаемых сообщениях. Это дало еще больший толчок развитию человеческого интеллекта. В конечном счете все это привело к возникновению человеческого мозга современного типа и когнитивной революции, которая значительно ускорила появление современных способов мышления и познания как системы сформировавшихся аттракторов, детерминирующих способы и формы интеллектуальной реакции на изменения природной и социальной среды, облегчающих пользование накопленными и распределенными в социуме знаниями и помогающих быстро реконфигурировать имеющееся знание и производить новое.*

**Ключевые слова:** *человеческий интеллект, когнитивная революция, мозг современного типа, культурный драйв, самопорождение смысла, аттракторы, автокаталическая коэволюция, распределение знания, речевая коммуникация, психолингвистические границы*

Основная цель данной статьи — выяснить, какова связь понятия «интеллект» и современных физико-математических представлений в области нелинейных динамических систем.

Авторы данной работы сформулировали следующие задачи:

- рассмотреть связь процессов самоорганизации и информации в сложных динамических системах;
- дать определение интеллекта с точки зрения синергетики и теории диссипативных систем;
- провести анализ процесса порождения смысла и иерархии языков в биологических и квазибиологических системах;

• осуществить анализ эволюционных и социокультурных особенностей человеческого интеллекта.

В 1970-х годах сформировалась новая парадигма науки, которая стала научной концепцией, основанной на понятии сложности систем. Эта концепция базировалась на идеях самоорганизации сложных нелинейных динамических систем. Исторически она возникла в виде трех основных направлений:

1) синергетики, автором которой был специалист в области физики твердого тела (лазеров) — немецкий физик Герман Хакен [1];

2) теории диссипативных систем, которую разрабатывал бельгийский физик Илья Романович Пригожин, получивший Нобелевскую премию за работы в области неравновесной нелинейной термодинамики [2];

3) теории гиперциклов, предложенной австрийским физико-химиком Манфредом Эйгеном, работавшим в области химической кинетики и также получившим Нобелевскую премию. Его работы были посвящены проблеме происхождения предбиологических систем [3].

Введем основные понятия теории сложных нелинейных систем [4].

Во-первых, это понятие аттрактора — притягивающего множества.

Аттрактором называется математически предельное множество (особая точка, цикл, тор и т. д.), для которого набор всех траекторий, асимптотически приближающихся к этому множеству, открыт.

Во-вторых, понятие бифуркации — разветвления решения динамического уравнения.

С изменением параметров динамической системы аттракторы могут меняться. При этом в результате изменений некоторых параметров могут произойти качественные изменения и их существенная перестройка. Например, устойчивый фокус может смениться предельным циклом. Такие значения параметров носят название бифуркационных, а сама перестройка называется бифуркацией.

В-третьих, понятие устойчивости и границы между регулярной и хаотической динамикой.

Критерием границы между регулярной динамикой и динамическим хаосом является устойчивость системы к малым возмущениям. Такой подход приводит к необходимости определения хаотического поведения через чувствительную зависимость системы к начальным условиям и использованию показателей Ляпунова и энтропии в качестве критериев динамического хаоса.

Динамическая система — это множество элементов, для которого задана функциональная зависимость между временем и положением в фазовом пространстве каждого элемента системы. Данная математическая абстракция позволяет изучать и описывать эволюцию систем во времени.

Состояние динамической системы в любой момент времени описывается множеством вещественных чисел (или векторов), соответствующих определенной точке в пространстве состояний. Эволюция динамической системы определяется детерминированной функцией, т. е. через заданный интервал времени система принимает конкретное состояние, зависящее от текущего. Динамические системы могут проявлять себя как в дискретном, так и в непрерывном представлении.

Помимо указанных представлений динамических систем необходимо также классифицировать их как линейные и нелинейные. Линейные системы проявляют относительно простые свойства своего поведения, в то время как нелинейные системы обладают широким спектром свойств, позволяющих им формировать сложные структуры динамики поведения. Еще одним важным свойством динамических систем является наличие диссипации энергии. Это дает возможность классифицировать их по другим характеристикам. Отсутствие диссипации энергии характеризует динамическую систему как консервативную. Альтернативой консервативной динамической системы является диссипативная динамическая система.

Нелинейная динамика диссипативных систем в определенном смысле более разнообразна, чем динамика консервативных систем. Здесь встречаются такие инвариантные множества, как устойчивые и неустойчивые стационарные точки и предельные циклы, многомерные притягивающие торы, соответствующие устойчивому квазипериодическому поведению с несоизмеримыми частотами. Математический образ хаотических колебаний диссипативных систем — странный аттрактор.

Странный аттрактор — это некоторое сложно устроенное множество в фазовом пространстве, к которому притягиваются почти все траектории из его окрестности, а на самом множестве движение имеет экспоненциально неустойчивый характер.

Основным признаком системы со сложным поведением траекторий является существование грубого предельного множества, состоящего из траекторий седлового типа, в котором всюду плотны постоянные движения и везде есть плотная траектория. Такие множества называются гиперболическими.

Наиболее универсальный критерий существования данных множеств связан с гомоклинической орбитой Пуанкаре — двояко асимптотической траекторией к седловому постоянному движению, по которой его устойчивое и неустойчивое многообразия пересекаются без касания.

Наличие такой структуры гарантирует существование в любой ее малой окрестности одномерного гиперболического множества, но неустойчивого. По этой причине бифуркации, связанные с появлением

или исчезновением гиперболического множества, получили общее название гомоклинических. Первые попытки описания таких множеств принадлежат великому французскому математику Анри Пуанкаре еще в конце XIX в. Он представил методы, которые в XX в. были развиты как методы символической динамики [5].

В 1935 г. Г. Биркгоф впервые применил символическую динамику для кодировки траекторий вблизи гомоклинической орбиты. С. Смейл применил ту же технику при построении так называемой подковы — простой модели хаотической динамики. «Подкова Смейла» оказала существенное влияние на теорию хаоса, так как этот пример является типичным, а методы символической динамики оказались тем инструментом, который позволяет описать природу детерминированного хаоса.

Основная идея метода — описание динамики системы с помощью допустимых последовательностей символов (допустимых слов) из конечного набора символов (алфавита).

Множество возможных состояний системы (фазовое пространство) разбивается на конечное число ячеек. Каждая ячейка соответствует «символу», при этом в каждый момент времени появляется тот символ, который соответствует текущему состоянию системы.

Аттракторы представляют собой устойчивые структуры, которые можно интерпретировать как слова, построенные на символах, составляющих их фазовое пространство. Их зависимость от воздействия внешней среды определяется изменением параметров динамических систем, что влечет за собой возникновение бифуркационных процессов и формирование новых аттракторов.

Такой подход дает возможность понять суть процессов формирования информации и возникновения семантики. Иерархия целей, которые формируют динамические процессы, определяет иерархию различных видов и уровней информации.

Д.С. Чернавский [6] давал следующее определение: информация есть запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных. Процесс запоминания, исходя из такого определения, можно интерпретировать как формирование аттракторов.

Теперь рассмотрим понятие количества информации: оно было введено Клодом Шенноном в 1948 г. для измерения информации при передаче сообщений на примере передаваемых текстов. Количество информации в сообщении, содержащем  $N$  символов, по К. Шеннону, составляет:

$$I_N = -N \sum_{i=1}^M p_i \log_2 p_i,$$

где  $M$  — число букв в алфавите;  $p_i$  — вероятность встречаемости  $i$ -й буквы в языке, на котором написано сообщение.

Ценность информации определяется целью:

$$V = \log_2 \frac{P}{p},$$

где  $V$  — ценность информации, зависящая от получаемой информации, которая способствует достижению цели;  $P$  — вероятность достижения цели после получения информации;  $p$  — вероятность достижения цели до получения информации.

Априорная информация  $p$  зависит от полного количества информации, т. е.  $p = 2^{-I}$ .

Апостериорная информация  $P$  определяется тем, насколько она приближает к цели. Она может быть как больше, так и меньше  $p$ .

Согласно Ю.М. Лотману, под семиотикой следует понимать науку о коммуникативных системах и знаках, используемых в процессе общения.

Семиотика выделяет три основных аспекта изучения знаков и знаковой системы:

- 1) синтаксис (синтактика) изучает внутренние свойства систем знаков безотносительно к их интерпретации;
- 2) семантика рассматривает отношение знаков к обозначаемому;
- 3) прагматика исследует связь знаков с «адресатом», т. е. проблемы интерпретации знаков теми, кто их использует, их полезности и ценности для интерпретатора.

Семантика возникает тогда, когда воздействие внешней среды оценивается системой на основе некоторой шкалы, определяемой целью. В результате формируется система аттракторов, которая определяет поведение системы.

В свою очередь аттракторы создают реакцию системы на внешние воздействия, что и характеризует ее прагматику.

Иерархическая структура аттракторов образует систему уровней языков, состоящих из различного типа символов. При этом на каждом уровне имеется своя символика, определяемая той средой, в которую погружена система аттракторов, и соответственно той семантикой, которая определяется этой средой.

Взаимодействие между языками происходит путем создания иерархии структур системы аттракторов.

Основная проблема формирования интеллектуальных систем — это самопорождение смысла [7].

Смысл возникает в результате взаимодействия динамической системы и окружающей среды, при котором в результате самоорганизации система аттракторов более низкого уровня (элементы языка более низкого уровня) формирует аттракторы более высокого уровня (элементы языка более высокого уровня). Этот аттрактор соответствует состоянию системы, которое позволяет ей сохранять свою

качественную определенность («жизнь») при взаимодействии с окружающей средой. В результате при изменении состояния внешней среды меняются параметры динамической системы, что порождает цепочки бифуркаций в динамической системе, а это, в свою очередь, ведет к изменению состояния динамической системы на более высоком уровне и соответствующей реакции на действие окружающей среды, позволяющей ей адаптироваться к этим изменениям.

Структура аттракторов на самом верхнем уровне определяет характер будущих реакций, необходимых для адекватного ответа на воздействие внешней среды. В этом состоит смысл построения картины мира у сложной нелинейной динамической системы. Это осуществляется на основе создания языковых структур верхнего уровня, отражающих, с одной стороны, наиболее важные для системы свойства окружающей среды, а с другой — позволяющих формировать необходимые реакции для «выживания» этой системы в окружающей среде.

Если, учитывая перечисленное выше, попытаться определить понятие «интеллект» (очевидно, что это понятие — одно из самых загадочных и ускользающих от точного определения), то одно из определений выглядит следующим образом: интеллект можно назвать способность высокоорганизованных систем к построению моделей окружающего мира и в связи с этим прогнозированию будущих событий (созданию моделей будущего) с учетом иерархии целей, которые эти системы порождают, и формированию адекватной реакции на эти события.

Под высокоорганизованной системой понимается как биологическая система любого уровня (от живой клетки до многоклеточного организма), так и искусственная система, обладающая указанными свойствами.

Чем человеческий интеллект отличается от интеллекта других высокоинтеллектуальных животных? Для понимания того, что такое человеческий интеллект, необходимо исследовать:

- динамику процессов мозга как сложную иерархическую систему взаимосвязанных подсистем;
- формирование языков мозга и их связь и взаимодействие с внешней средой;
- целесообразность поведения в связи с филогенезом и эволюционными, экологическими и социокультурными процессами.

Коннекционистский подход к этому вопросу основан на реализации параллельной обработки распределенных паттернов активации, использовании статистических свойств, а не логических правил.

Динамический подход — на результатах теории динамических систем, включающих такие понятия, как аттрактор, бифуркация, синхронизация, резонанс.

Эмерджентный подход — на учете взаимодействия когнитивной системы со средой и формирования иерархии языков как системы самоорганизации и возникновения семантической информации.

Человек в процессе своего филогенетического развития приобрел способность строить модели окружающего мира и прогнозировать события за пределами собственной жизни. Это было существенным приобретением, так как позволяло расширить возможности выживания коллектива отдельных индивидов. Здесь кроются корни науки и религии.

Рассмотрим историческую канву событий. Сегодня фактически любой сложный организм является продуктом длительнейшего процесса эволюции. При этом эволюционный процесс не происходил по каким-то заранее намеченным планам и схемам. Эволюция всегда идет по пути проб и ошибок, она опирается не на волевые решения, а на случайные изменения в геноме и естественный отбор.

Многочисленные археологические находки последних лет, исследования антропологов, генетиков и других специалистов постепенно позволяют нарисовать общую картину, дающую понимание происхождения человека современного вида, формирования его мозга и его познавательных способностей. «Коллектив ведущих генетиков и палеоантропологов из Великобритании и Германии опубликовал обзор новейших данных, проливающих свет на генетическую историю человечества. Авторы выделяют в формировании современного человеческого генофонда три ключевых этапа, по каждому из которых много данных, но мало окончательных ответов. Первый этап — сложная история обособления предков сапиенсов от неандертальцев и денисовцев (1,0–0,3 млн лет назад), второй — формирование генетического разнообразия сапиенсов в Африке (300–60 тысяч лет назад), третий — широкое расселение сапиенсов в Евразии и Австралии и последние контакты с другими видами людей, в первую очередь такими, как неандертальцы и денисовцы (60–40 тысяч лет назад). Ни на одном из этих этапов генетические истоки современного человечества не удается привязать к какой-то конкретной “колыбели”, например, к тому или иному региону в пределах Африки. Имеющиеся данные пока совместимы не с одним, а с несколькими альтернативными эволюционными сценариями» [8].

Важно подчеркнуть, что уже изначально этот процесс не был и не мог быть линейным. Появившиеся на свет предки *sapiens* малыми группами постепенно разбрелись в поисках лучших условий обитания по территории всего африканского континента и потом за его пределы, попадая в разные климатические зоны, преодолевая самые разнообразные трудности и решая проблемы биологического выживания. Об этом свидетельствуют найденные учеными многочислен-

ные стоянки с остатками скелетов и артефактами разного вида, разбросанные по территории всего континента.

Большое значение в этом процессе имело постоянное изменение климата на современной территории пустыни Сахары. Периоды влажности превращали Сахару на десятки тысяч лет в цветущую саванну с огромным количеством рек, растительности и животных. В этот период разбросанные на огромной территории малые группы людей могли общаться друг с другом и, соответственно, обмениваться генетическим материалом, тем самым передавая приобретенные в процессе приспособления к окружающей среде мутации.

Затем наступали периоды засухи, которые приводили к очередной долговременной изоляции групп людей друг от друга и от остальных обитателей континента. У членов этих замкнутых групп постепенно возникали новые мутации и генные модификации, которые передавались и накапливались внутри группы. Передача этих изменений происходила только после очередного увлажнения климата, которое давало возможность физического общения между до этого времени изолированными группами людей и как их миграции внутри Африки, так и выхода за ее пределы.

Интересно проследить эволюцию мозга от палеоантропов (2,5–2,7 млн лет назад) до современного человека. Австралопитеки отличались размером мозга относительно современных им приматов лишь незначительно. Он составлял примерно 500–550 см<sup>3</sup>. В дальнейшем, от палеолита до неолита, он увеличивался, дойдя у неандертальцев приблизительно в среднем до 1550–1600 см<sup>3</sup> (иногда называют даже цифры 1800–1900 см<sup>3</sup>).

Следует отметить, что, несмотря на процесс цефализации — эволюционную тенденцию к централизации нервной системы и развитию головы и мозга, характерный для всей биологической эволюции, мозг человека кроманьонского типа уменьшался, дойдя в среднем до 1400–1450 см<sup>3</sup> (разумеется, у современных людей также может быть достаточно большой мозг, достигающий 2000–2200 см<sup>3</sup>, как например у И.С. Тургенева или А. Эйнштейна, но это скорее отклонения от нормы).

Мозг современного человека приспособлен для жизни в достаточно специализированной среде. Мозг неандертальца был ориентирован на существование в очень разнообразных условиях. При этом он должен был быть универсальной системой принятия решений для возможности выживания. «Необыкновенно быстрое по эволюционным меркам увеличение мозга у наших предков, по мнению ряда исследователей, объясняется “культурным драйвом” — гипотетическим механизмом самоподдерживающейся сопряженной эволюции когнитивных способностей, социального обучения и культуры» [9].



Как показали исследования, в среднем мозг современного человека приблизительно в течение последних 25 тысяч лет продолжал уменьшаться. Казалось бы, современный человек умнее неандертальца и, соответственно, мозг у него должен быть крупнее. Почему происходит уменьшение?

Основная причина — в социализации человека современного типа (наследника кроманьонцев) и большей способности к обучению и передаче важной информации от одного поколения другому. Изначально когнитивные способности у людей современного типа — умение узнавать новое, запоминать, общаться — были не столь велики, но примерно между 70 и 30 тысячами лет назад произошла когнитивная революция — появились новые способы думать и общаться с использованием словесного языка. Причины когнитивной революции непонятны, скорее всего случайные генетические мутации изменили настройки мозга *sapiens*. Результатом этой когнитивной революции стало широкое расселение *sapiens* по всему миру, появляются лодки, масляные лампы, лук со стрелами, иглы для шитья одежды, ювелирные изделия, произведения искусства, свидетельства существования религии, торговли и социального расслоения [10, с. 29–31].

Это связано прежде всего с появлением речи и возможности передачи информации от одного индивида другому. Вероятно, речью обладали и неандертальцы, однако, как показали исследования, в которых анализировались изменения строения гортани неандертальцев и кроманьонцев, кроманьонцы приобрели значительно более продвинутое способности к артикуляции, что позволило им выйти на новый уровень умения обобщать и формировать абстрактное мышление. Главное преимущество человеческого языка — его гибкость, многогранность и многоплановость.

«Соединяя в различные комбинации небольшое количество звуков и жестов, мы можем сочинить неисчерпаемое количество предложений с самыми разными смыслами. Это значит, что мы можем воспринимать, хранить и передавать невероятное количество информации об окружающем мире» [10, с. 31]. В результате этого обстоятельства информация стала распределенной. Современный человек становится владельцем лишь небольшой части той информации, которой владеет человечество как единый социум.

Дальнейшее развитие мыслительной способности человека связано с появлением письменности, печати и, наконец, современных информационных технологий.

Вернемся к истории и антропологии. «Найденные в Африке человеческие черепа возрастом от 300 до 150 тысяч лет морфологически очень разнообразны, хотя материальная культура “африканского среднего каменного века”... была сходной в разных регионах. Возможно, это значит, что передовые по тем временам культурные

достижения распространялись по всей Африке и успешно осваивались разными человеческими популяциями независимо от того, насколько “архаично” или “современно” выглядели эти люди» [8].

Значимый результат многочисленных исследований состоял в следующем: «Изучение древних черепов показало, что важен не только размер мозга, но и его форма. Насколько можно судить по имеющимся находкам, современная морфология черепа окончательно сформировалась не ранее 200–150 тысяч лет назад» [8].

Наши предки отличались огромной индивидуальной изменчивостью внутри популяции. Как результат соединения множества разнообразных генных изменений разных групп людей нашего вида, примерно 35 тысяч лет назад окончательно сформировался череп современного человека и соответственно физически сформировался его мозг в том виде, который ему свойственен до нашего времени. Мозг современного типа стал физической основой проявления множества познавательных способностей современного человека.

«Мозг современных людей приобретает свою характерную округлую форму в последние месяцы внутриутробного развития и в первый год после рождения. В развитии нашего мозга есть особая “фаза глобуляризации”, которой нет у человекообразных обезьян и неандертальцев. Глобуляризация сопровождается быстрым ростом объема мозга и ускоренным формированием нейронных связей. Повидимому, именно в это время формируются важнейшие структурные и функциональные особенности мозга, определяющие наши отличия от других гоминид» [11].

Почему это оказалось столь существенным? Ответ, вероятно, таков: «Исследователи убеждены, что форма мозга, особенно на ранних этапах глобуляризации, менялась не потому, что перекраивались другие части головы, а потому, что сам мозг подвергался реорганизации... по мере того как мозг приобретал все более округлые очертания, поведение наших предков становилось все более “современным”» [11].

В чем состояла причина такого роста мозга? Существует следующая точка зрения: «...рост мозга у рода *Номо* поддерживался в течение двух миллионов лет культурным драйвом, который работал исключительно эффективно благодаря двум обстоятельствам.

Во-первых, культура, которая начала складываться у ранних *Номо*, была комплексной: она включала как общественно полезные, так и индивидуально полезные мемы. Благодаря этому культурный драйв продолжал работать, невзирая на возможные колебания уровня межгрупповой конкуренции.

Во-вторых, средства социального обучения, которые начали развиваться у *Номо*, были особенными. Возможно, наши предки уже очень давно начали общаться друг с другом с помощью каких-то знаков, символических жестов или “протослов”, каких-то абстрактных,

комбинируемых поведенческих актов, которые несли информацию о вещах, не обязательно присутствующих здесь и сейчас» [11].

И если грубая культура, которая поддерживалась благодаря этим своеобразным методам социального обучения, давала большое преимущество в выживании и размножении тем, кто ею успешно овладел, то должен был идти интенсивный отбор за совершенствование этих методов, которые «“выжимали” из обезьяньего мозга наших предков буквально все, на что тот был способен, а сильный отбор на их совершенствование неизбежно приводил к росту мозга в череде поколений» [11].

«При подходящих условиях у социального вида может начаться автокаталитическая коэволюция мозга и культуры. “Подходящие условия” включают, во-первых, некий необходимый минимум способностей к социальному обучению. Во-вторых — и это главное — вид должен попасть в такую социальную и экологическую ситуацию, в которой станет возможным периодическое изобретение разнообразных, очень выгодных (для индивида или для группы) и достаточно сложных вариантов поведения, которые могут передаваться путем социального обучения. Причем дело тут не столько в изобретательности, сколько именно в социоэкологической ситуации: она должна быть такой, чтобы спонтанно изобретаемые мемы имели хороший шанс оказаться очень выгодными» [11].

Специфика нашего вида состояла в том, у него возникло в высшей степени опасное для других видов эволюционное приспособление: способность к тонкому абстрактному мышлению и общению. Человек нашего вида научился планировать и договариваться, соблюдать иерархию и распределять роли. Это сделало его по-настоящему страшным инструментом войны и позволило истребить представителей других видов в кровопролитных перманентных боевых действиях.

Можно также предположить, что необыкновенно быстрый рост мозга в антропогенезе, открывший впоследствии уникальные (и, конечно, никем не предвиденные) возможности для развития цивилизации, был своего рода эволюционным несчастным случаем.

Культурный драйв слишком силен, чтобы позволить мозгу эволюционировать каким-то более сбалансированным образом, например, путем структурной реорганизации и тонкой подстройки нейронных сетей под конкретные когнитивные функции. На такую тонкую эволюционную работу нужно больше времени, и отбор должен быть более мягким. В реальности отбор был настолько силен, что подхватывал аллели, улучшающие когнитивные функции чуть ли не любой ценой, поэтому в результате мозг увеличился до невероятных разме-

ров. Культурный драйв — подходящий механизм для создания мощного непрекращающегося отбора на усиление когнитивных функций.

«Впервые термин “культурный драйв” в смысле, похожем на нынешний, использовал выдающийся генетик Аллан Уилсон (Allan Wilson), чьи пионерские работы по ДНК-генеалогии легли в основу концепции “митохондриальной Евы”, породившей так много криво-толков. В статье *The Molecular Basis of Evolution*, опубликованной в 1985 г. в журнале *Scientific American*, Уилсон предположил, что развитие когнитивных способностей, в том числе способностей к социальному обучению и культурной передаче поведенческих признаков, может ускорять биологическую эволюцию. Умные животные чаще изобретают новые варианты поведения и эффективнее передают поведенческие инновации сородичам через социальное обучение. Культурные традиции, меняя поведение животных, тем самым создают и новые направления отбора, что может способствовать ускорению эволюции. По Уилсону, культурный драйв объясняет, почему морфологическая эволюция крупных и умных животных с медленной сменой поколений, таких как хоботные, идет быстрее, чем у многих низших организмов, хотя поколения у слонов сменяются гораздо медленнее. Слоны умные, они часто изобретают новые варианты поведения и время от времени сохраняют их как культурные традиции. Поэтому у слонов чаще меняется направленность отбора, и их морфология в результате меняется быстрее, чем у безмозглых амёб или двустворчатых моллюсков.

Идея культурного драйва получила дальнейшее развитие в работах Лаланда и других исследователей, которые ее переосмыслили, сделав акцент на том, что коэволюция социального обучения, когнитивных способностей и культуры может быть автокаталитической (самоподдерживающейся). В простейшем виде предполагаемый механизм выглядит так: эволюция социального обучения и когнитивных способностей → поведенческие инновации чаще закрепляются в виде культурных традиций, культура становится богаче → у сородичей можно научиться большему числу различных навыков; способности к социальному обучению становятся более полезными; более сложное и гибкое поведение ставит перед индивидами новые когнитивные задачи и “вызовы” → отбор на еще более эффективное социальное обучение и когнитивные способности → еще более богатая культура и т. д.» [9].

Дополнительными усилителями сопряженной эволюции мозга и культуры могли быть петли положительной обратной связи, проходящие через рост численности населения и продолжительности жизни. Оба эффекта имели место, например, если культурное развитие вело к снижению смертности. Это давно предполагалось и подтверждено моделированием.

Наконец, моделирование показало, что без острой межгрупповой конкуренции отрастить большой мозг все-таки трудно, а еще труднее развить культуру, не слишком замусоренную паразитными мемами. Культурный групповой отбор успешно контролирует содержимое мемфонда, способствуя распространению общественно полезных мемов и сдерживая распространение мемов паразитических и индивидуально выгодных. Индивидуальный отбор не справляется с подобными задачами, потому что мемы, в отличие от генов, распространяются горизонтально, что делает культуру в большей степени групповой, чем индивидуальной характеристикой.

Рассмотрим некоторые особенности механизма культурного драйва с исторической, когнитивной и логико-лингвистической точек зрения.

«Едой, материалами и одеждой потребности людей не исчерпывались: они повсюду искали знаний. Чтобы выжить, требовалось мысленно составить и хранить подробную карту местности. Ежедневные поиски пищи могли быть результативными лишь тогда, когда собиратели располагали информацией о природных циклах всех растений и повадках всех животных. Им нужно было знать, какие виды пищи наиболее сытны, от каких можно заболеть, а какие, наоборот, исцеляют. Они следили за временами года и запоминали явления, указывающие на приближение грозы или засухи. Люди изучали каждый ручей, каждое дерево, каждую пещеру и все места, где добывался кремний. Учились делать каменные ножи, чинить разорванную одежду, ставить силки на кроликов, спасаться от лавины, укуса змеи и нападения голодного льва... На овладение таким множеством знаний и навыков уходило годы учения и практики... Иными словами, древний человек обладал гораздо более подробными, разнообразными и глубокими знаниями о своей среде обитания, чем ныне его потомки... Выживание в древности требовало величайшего интеллекта» [10, с. 61, 62].

Получается, что общий объем накопленных к настоящему времени знаний гораздо больше, чем в древности, но запас знаний древнего индивида как правило значительно больше запаса знаний нашего конкретного отдельно взятого современника. Для нашего предка получение и порождение знания служило способом физического выживания. Откуда изначально берется это знание? Из повседневного практического опыта и наблюдений. И здесь принципиальное значение приобрела референциальная функция — функция означения: способность человека дать название, имя объекту, процессу или состоянию объекта и отношениям между объектами. А следующая задача состояла в передаче этих названий и имен другим членам сообщества, т. е. в коммуникации необходимо было применять в первую очередь речевые механизмы, опирающиеся на имеющиеся знания

(как артикулируемые, так и неартикулируемые, имплицитные) и использующие высказывания, соединяющие в своей форме объекты и их свойства или состояния. Таким образом реализовывалась коммуникативная функция.

Для того чтобы такая речевая коммуникация была действительно эффективной, у членов сообщества должна была присутствовать языковая компетенция: с точки зрения Хомского, использование языка — это всегда включение предсуществующих компетенций в ситуацию опыта или диалога. Таким образом, эффективное участие индивида в коммуникации по необходимости предполагало наличие общей когнитивной базы: общего набора знаний, уже имеющихся в данном социуме. И этот набор знаний обязательно обладает определенными психо-лингвистическими границами.

Следует отметить еще одну важную особенность развивающегося познавательного процесса. Любой субъект познания всегда стремится нарушить объективированное состояние знания и его психолингвистические границы: любой познавательный процесс выходит за существующие рамки знания, ибо познавательный процесс является непрерывным, а объекты и их комплексы, на которые он обращен, постоянно оказываются еще более сложными и многогранными, чем это было познано до сих пор. Таким образом происходит резкий рост количества информации, рассчитываемого по формуле Шеннона, и ее ценность в данном случае в первую очередь прагматическая.

Тогда получается, что любой субъект речевого общения одновременно пребывает в двух планах существования: с одной стороны, он участник временных, неустойчивых событий речи, с другой — он, как субъект сформированного языка, вневременный коррелирует значения, т. е. ограничен актуальными значениями имен данного языка [12, с. 175]. Проблема здесь состоит в том, что речь часто переходит к неопределенным областям, так как познающий субъект сталкивается с новыми свойствами предметных областей, которые еще не получили своего имени. При этом выявляются неиспользованные возможности, скрытые до этого момента в познавательной практике. Это влечет за собой обновление состава знаков (имен) и расширение языковой компетенции агента данного языка. Объектные и экзистенциальные условия создания выражения стимулируют процесс нового смыслопорождения. Можно утверждать, что смысл — это имплицитный горизонт высказывания (Н. Мулуд).

Главное свойство знания — его прагматическая надежность. Если знание надежно, то надежно и действие, осуществляемое на его основе [12, с. 175]. Но действие является в своей сущности логическим выводом из знания. Следовательно, в этом когнитивном багаже должна наличествовать эффективная логика с правилами преобразования, позволяющая осуществлять такие надежные выводы.

Важное замечание: способы рассуждения находят свое оправдание в принимаемой системе семантики. Таким образом, можно утверждать, что логический вывод в той или иной семантической системе — это всегда комплекс исторически сложившихся аттракторов, детерминирующих способы рассуждения.

Следовательно, нужен носитель знаний и логики. Это исторически сформировавшийся естественный язык данного сообщества, обладающий сложным семантическим полем.

«Действительный язык представляет собой нечто большее, чем совокупность синтаксических или семантических правил. Он образует “среду”, где эти правила образуются или преобразуются. Кроме того, функции языка, осуществляемые с целью разграничения полей означаемого, сочетаются с другими функциями, посредством которых смысл производится и воспроизводится в контекстах коммуникации. И наконец, понимание языка как кода, налагаемого на материал информации или выражения, — это в конечном счете имплицитная предпосылка структурирования всей семантической области» [12, с. 327].

В заключение следует отметить, что эволюция человека современного типа изначально не была линейным процессом. Она прекрасно описывается в терминологии нелинейной термодинамики.

Человечество развивается в изолированных малых группах, накапливает положительные мутации, а затем при контакте с представителями других групп обменивается с ними накопленным генофондом. Эти группы накапливают биологические и культурные достижения, которые затем активно распространяются среди всех членов популяции.

Эволюция привела к формированию черепа современного человека, что как следствие физически сформировало мозг современного типа. Именно такой мозг стал основой развития определенного набора познавательных способностей.

Эти процессы дали эффект автокаталитической коэволюции мозга и культуры.

Таким образом, данный процесс изначально не был и не мог быть линейным. Мозг в его современном строении стал интегральным энергетическим результатом эволюции различных групп людей и диффузии накопленных ими генных модификаций. Соответственно, развившийся комплекс когнитивных способностей человека, его интеллект, язык, способы смыслопорождения и смысловосприятия — результат нелинейного динамического развития сообществ людей современного типа, которое выработала, в свою очередь, под влиянием развития и накопления знания нелинейно изменяющуюся динамическую систему аттракторов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта проведения научных исследований на тему «Этно-социальная идентичность на стыке культур в изменяющейся социальной реальности на постсоветском пространстве» (проект № 21-511-07002).*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хакен Г. *Синергетика*. Москва, Мир, 1980, 404 с.
- [2] Гленсдорф П., Пригожин И. *Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций*. Москва, Мир, 1973, 280 с.
- [3] Эйген М., Шустер П. *Гиперцикл: Принципы самоорганизации макромолекул*. Москва, Мир, 1982, 270 с.
- [4] Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. *Основы теории сложных систем*. Москва, Ижевск, НИЦ РХД, 2007, 620 с.
- [5] Боуэн Р. *Методы символической динамики*. Москва, Мир, 1979, 245 с.
- [6] Чернавский Д.С. *Синергетика и информация (динамическая теория информации)*. Москва, Едиториал УРСС, 2004, 288 с.
- [7] Хакен Г. *Информация и самоорганизация*. Москва, КомКнига, 2005, 248 с.
- [8] Марков А.В. Происхождение человечества в свете новых данных палеоантропологии и генетики. *Элементы*. URL: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433769/Proiskhozhdenie\\_chelovechestva\\_v\\_sвете\\_novykh\\_dannykh\\_paleoantropologii\\_i\\_genetiki?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com](https://elementy.ru/novosti_nauki/433769/Proiskhozhdenie_chelovechestva_v_sвете_novykh_dannykh_paleoantropologii_i_genetiki?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com) (дата обращения 04.04.2021).
- [9] Марков А.В. Козволюция мозга и культуры — вероятный механизм становления человеческого разума. *Элементы*. URL: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433657/Koevolutsiya\\_mozga\\_i\\_kultury\\_veroyatnyy\\_mekhanizm\\_stanovleniya\\_chelovecheskogo\\_razuma](https://elementy.ru/novosti_nauki/433657/Koevolutsiya_mozga_i_kultury_veroyatnyy_mekhanizm_stanovleniya_chelovecheskogo_razuma) (дата обращения 06.04.2021).
- [10] Харари Ю.Н. *Sapiens. Краткая история человечества*. Москва, Синдбад, 2019, 512, с.
- [11] Марков А.В. Изучение древних черепов показало, что важен не только размер мозга, но и его форма. *Элементы*. URL: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433192/Izuchenie\\_drevnikh\\_cherepov\\_pokazalo\\_что\\_vazhen\\_ne\\_tolko\\_razmer\\_mozga\\_no\\_i\\_ego\\_forma](https://elementy.ru/novosti_nauki/433192/Izuchenie_drevnikh_cherepov_pokazalo_что_vazhen_ne_tolko_razmer_mozga_no_i_ego_forma) (дата обращения 05.04.2021).
- [12] Мулуд Н. *Анализ и смысл*. Москва, Прогресс, 1979, 348 с.

Статья поступила в редакцию 16.09.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Каганов Ю.Т., Оселедчик М.Б. Нелинейная динамика и происхождение познавательной способности интеллектуальных систем. *Гуманитарный вестник*, 2021, вып. 4. <http://dx.doi.org/10.18698/2306-8477-2021-4-736>

**Каганов Юрий Тихонович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Теоретическая информатика и компьютерные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: [yurijkaganov@gmail.com](mailto:yurijkaganov@gmail.com)

**Оселедчик Михаил Борисович** — д-р филос. наук, профессор кафедры «Философия» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: [Balu13@yandex.ru](mailto:Balu13@yandex.ru)



## **Nonlinear dynamics and the origin of the cognitive ability of intelligent systems**

© Yu.T. Kaganov, M.B. Oseledchik

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The emergence of a modern human being, the formation of his brain and a complex of cognitive abilities in the process of evolution is not a linear process, but the result of a complex interaction of a huge number of constantly changing environmental conditions, genetic mutations, emerging social relations and knowledge systems as conditions for successful survival. This process is described by means of current physical and mathematical theories associated with the ideas of self-organization of complex nonlinear dynamical systems. One of the factors in the rapid development of the brain and intelligence has become the so-called cultural drive — the mechanism of the autocatalytic co-evolution of cognitive abilities, social learning and culture. Cultural drive is necessarily accompanied by the active development of speech and speech mechanisms as ways of transmitting and receiving information. A flexible, multidimensional and complex communication language allowed distributing information within society, which made it possible to quickly increase its amount. With the appearance of language as a kind of sign system, semiotic mechanisms arise, described by semantics, syntax and pragmatics. The most important task of a person participating in communication is the task of generating meaning, as well as its perception in received messages. This gave an even greater impetus to the development of human intelligence. Ultimately, all this led to the emergence of the modern human brain and the cognitive revolution, which significantly accelerated the emergence of modern ways of thinking and cognition, as a system of formed attractors that determine the ways and forms of intellectual response to changes in the natural and social environment, facilitating the use of knowledge accumulated and distributed in society and assisting to quickly reconfigure knowledge and produce new one.*

**Keywords:** *human intelligence, cognitive revolution, modern brain, cultural drive, self-generation of meaning, attractors, autocatalytic coevolution, distribution of knowledge, speech communication, psycholinguistic boundaries*

### REFERENCES

- [1] Haken H. *Synergetics*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag Publ., 1978 [In Russ.: Haken H. *Sinergetika*. Moscow, Mir Publ., 1980, 404 p.].
- [2] Glansdorff P., Prigozhin I. *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuation*. London, Wiley Publ., 1971, 306 p. [Glansdorff P., Prigozhin I. *Termodinamicheskaya teoriya struktury, ustoychivosti i fluktuatsiy*. Moscow, Mir Publ., 1973, 280 p.].
- [3] Eigen M., Schuster P. *The Hypercycle. A Principle of Natural Self-Organization*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag Publ., 1979 [In Russ.: Eigen M., Schuster P. *Gipertsikl. Printsipy samoorganizatsii makromolekul*. Moscow, Mir Publ., 1982, 270 p.].
- [4] Loskutov A.Yu., Mikhaylov A.S. *Osnovy teorii slozhnykh system* [Principal theory of complex systems]. Moscow, Izhevsk, NITs Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika Publ., 2007, 620 p.
- [5] Bowen R. *Metody simvolicheskoy dinamiki* [Methods of symbolic dynamics]. Moscow, Mir Publ., 1979, 245 p. [In Russ.]

- [6] Chernavsky D.S. *Sinergetika i informatsiya (dinamicheskaya teoriya informatsii)* [Synergetics and information (dynamic information theory)]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2004, 288 p.
- [7] Haken H. *Information and Selforganization*. Springer-Verlag Publ., 2006 [In Russ.: Haken H. Informatsiya i samoorganizatsiya. Moscow, KomKniga Publ., 2005, 248 p.].
- [8] Markov A.V. Proiskhozhdenie chelovechestva v svete novykh dannykh paleoantropologii i genetiki [The origin of humanity in the light of new data from paleoanthropology and genetics]. *Elementy* [Elements]. Available at: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433769/Proiskhozhdenie\\_chelovechestva\\_v\\_sвете\\_novykh\\_dannykh\\_paleoantropologii\\_i\\_genetiki?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com](https://elementy.ru/novosti_nauki/433769/Proiskhozhdenie_chelovechestva_v_sвете_novykh_dannykh_paleoantropologii_i_genetiki?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com) (accessed April 4, 2021).
- [9] Markov A.V. Koevolyutsiya mozga i kultury — veroyatnyy mekhanizm stanovleniya chelovecheskogo razuma [Co-evolution of the brain and culture is a likely mechanism for the formation of the human mind]. *Elementy* [Elements]. Available at: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433657/Koevolyutsiya\\_mozga\\_i\\_kultury\\_veroyatnyy\\_mekhanizm\\_stanovleniya\\_chelovecheskogo\\_razuma](https://elementy.ru/novosti_nauki/433657/Koevolyutsiya_mozga_i_kultury_veroyatnyy_mekhanizm_stanovleniya_chelovecheskogo_razuma) (accessed April 6, 2021).
- [10] Harari Yu.N. *Sapiens. A Brief History of Humankind*. McMillan and Stewart Publ., 2014 [In Russ.: Harari Yu.N. Sapiens. Kratkaya istoriya chelovechestva. Moscow, Sindbad Publ., 2019, 512 p.].
- [11] Markov A.V. Izuchenie drevnikh cherepov pokazalo, chto vazhen ne tolko razmer mozga, no i ego forma [The study of ancient skulls has shown that not only the size of the brain is important, but also its shape]. *Elementy* [Elements]. Available at: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433192/Izuchenie\\_drevnikh\\_cherepov\\_pokazalo\\_chto\\_vazhen\\_ne\\_tolko\\_razmer\\_mozga\\_no\\_i\\_ego\\_forma](https://elementy.ru/novosti_nauki/433192/Izuchenie_drevnikh_cherepov_pokazalo_chto_vazhen_ne_tolko_razmer_mozga_no_i_ego_forma) (accessed April 5, 2021).
- [12] Mulud N. *Analiz i smysl* [Analysis and meaning]. Moscow, Progress Publ., 1979, 348 p. [In Russ.]

**Kaganov Yu.T.**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Theoretical Informatics and Computer Technologies, Bauman Moscow State Technical University.  
e-mail: yurijkaganov@gmail.com

**Oseledchik M.B.**, Dr. Sc. (Philos.), Professor, Department of Philosophy, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: Balu13@yandex.ru