

РОЛЬ САМООРГАНИЗАЦИИ И ХАОТИЧНОСТИ В ЭВОЛЮЦИОННОЙ АДАПТАЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

М.В. Рагульская

Институт земного магнетизм и распространения радиоволн им. Пушкова РАН

e-mail: mary@izmiran.ru

Введение

В докладе автора «Кто управляет Вселенными?» на конференции «СППР-2006» [1] обсуждались космологические аспекты рождения, функционирования и смерти Вселенных, проблема темной энергии - темной материи, а также заданности свойств нашего мира соотношениями базовых физических констант. Напомню, что доклад заканчивался абзацем: «Остается открытым вопрос, сколь маловероятен процесс естественной реализации всей цепочки развития материи, необходимой для появления человечества:

(Маловероятная Вселенная, рожденная из флуктуаций (случайных шумов) «кипящего вакуума») - (Цепочка флуктуационных переходов, на уровне ошибок измерения сформировавшая имеющуюся вокруг нас систему атомов, химических элементов, привычных Галактик и родную Солнечную систему) - (Случайный шумовой переход из неорганической материи в органическую и развитие жизни на Земле) – (Возникновение человека и далее более мелкие проблемы выживания и развития человечества, многократно обсуждавшиеся в научной литературе)

Автор жестко стоит на материалистических естественнонаучных позициях и считает, что реализация даже столь маловероятной цепочки событий возможна естественным путем, и что задача ученого – выявить взаимосвязанность в закономерностях функционирования различных уровней такой системы...»

В представляемом в этом году докладе обсуждается вторая часть цепочки, а именно: выявление закономерностей возникновения и закрепления результатов случайного шумового перехода из неорганической материи в органическую (т.е. проблема возникновения жизни) и процесс эволюционной адаптации живых систем через структурирование хаоса и самоорганизацию, вплоть до возникновения и организации социума и формирования политической карты современной Европы.

Эволюция мира и происхождение жизни

Найденные этапы в эволюции материи позволяют ответить на вопросы: когда, где и как произошла жизнь во Вселенной и на Земле? **Когда?** Не ранее появления первых звезд, т. к. кроме водорода и гелия до этого момента не было необходимых строительных химических элементов жизни – углерода, кислорода, азота. **Где?** Для земной жизни – в Солнечной системе в первые 600 млн. лет от начала ее формирования. В противном случае должен был бы существовать механизм переноса огромных масс биологических соединений от звезды к звезде, что весьма проблематично с точки зрения эволюции звезд и процессов в межзвездной среде. **Как?** В непрерывном поэтапном процессе эволюционной самоорганизации материи [2].

В физической терминологии **самоорганизация происходит в открытой системе при изменении квазиравновесных внутренних или внешних параметров с потерей устойчивости. В неустойчивом состоянии усиливаются хаотические флуктуации и появляется широкий спектр возможности новых состояний.** Самоорганизация может идти с усложнением структуры исходной системы или с ее разрушением. Последовательность этапов макросостояний самоорганизации составляет процесс эволюции открытых систем и развития в природе. Эффективность отдельного этапа самоорганизации, определяемая как отношение массы новой системы к массе исходного

вещества, составляет всего несколько процентов. Так, для Большого взрыва она оценивается в 4%, для термоядерного синтеза элементов массивнее гелия – около 2%, и т.д. При увеличении массы порожденной системы выше 10-30% идет разрушение последней. Так для биологических иерархических пищевых цепей действует закон 10%-ного предельного значения биологической продуктивности Л. Линдемана. Отсюда возникает вопрос: сколько нужно взять исходного сырья и материалов, чтобы получить находящиеся на поверхности Земли порядка 10^{14} кг сухого вещества по углероду? Сколько стадий синтеза подобных биополимеров нужно запланировать? Если предположить в качестве оценки 10 стадий с весьма высоким выходом продукта в 10% на каждой, то необходимое количество исходного вещества составит 10^{24} кг. Т.е. больше существующей массы Земли на 10^{23} кг! Из этого следует несколько выводов:

1. Число стадий самоорганизации от химических элементов к простейшим биологическим РНК не может быть больше нескольких единиц.
2. В добиологическом синтезе первичных органических элементов участвовали массы исходного вещества, на порядки превышающие количество простых соединений на поверхности земли и в ее коре.
3. Для достижения большой эффективности выхода реакций химического синтеза на первичных этапах должны были быть каталитическими с включением твердой фазы с хорошо развитой поверхностью.

Но на Земле, по-видимому, одновременно эти условия не выполнялись никогда. Для абиогенного синтеза первичных органических соединений больше всего подходят условия в «космическом каталитическом реакторе» протопланетного диска ранних стадий организации Солнечной системы. Поэтому вопрос об абиотическом синтезе первичного пребиотического вещества, скорее всего, найдет свое решение в астрофизике или астрохимии.

Ранние стадии биологической эволюции.

Современная биосфера основана на соединениях углерода. Углерод - уникальный элемент, обеспечивающий в силу своего промежуточного положения в таблице Менделеева одновременное **разнообразие, устойчивость и изменчивость** органических соединений. К тому же, только органические соединения на основе углерода могут образовывать гетерополимеры, выполняющие роль **хранителей и носителей информации**, и способные к комплиментарной авторепродукции, в процессе которой происходит **тиражирование и дальнейшее распространение информации**. В процессе исторического создания таких систем можно выделить 3 этапа: 1) флуктуационные хаотические самообразования биологически важных молекул (сахаров, липидов, аминокислот и нуклеотидов) в предбиологический период; 2) самопроизвольное скопление этих молекул в пространстве и их поликонденсация для образования полимеров; 3) возникновение биологической системы и организация в ней процессов фиксации и передачи ценной информации (именно на этом этапе происходит выбор единого для всего живого на Земле генетического кода и возникновение простейших существ, способных к идентичной перезаписи заложенной генетической информации с использованием этого кода и одновременным увеличением числа носителей информации) [3].

В нашей биосфере носителями информации являются полинуклеотиды: ДНК и РНК. При этом ДНК выполняют функции хранения информации и передачи ее потомкам, а РНК участвует в биосинтезе белков (трансляции и транскрипции). Белки, в свою очередь, обеспечивают реализацию программ поведения, заложенную в ДНК. Дело в том, что **функция хранения информации и функция реализации информации** существенно различны и даже дополнительные. Как ни парадоксально, но чем лучше обеспечено

хранение информации (программы действий), тем труднее заставить систему выполнить работу, заложенную в этой программе. Так, в обществе роль «носителя и хранителя информации» играют книги, диски и библиотеки, а «реализатора информации» – заводы с соответствующим технически грамотным персоналом, способным изъять нужную информации из хранилища.

На каждом из этапов эволюции биосферы дарвинисты наталкивались на сопротивление математиков, которые простыми расчетами из теории вероятности показывали, что в условиях случайности выбора единичных связывающихся атомов и отсутствия предопределенности видового отбора ни один из этапов естественной эволюции не мог успеть совершиться за время существования Земли. Однако появление науки «синергетики» и развитие знаний о самоорганизации хаоса помогло обойти эту трудность. Оказалось, что в сложных открытых диссипационных системах не существует равновероятного бесконечного количества вариантов развития [4]. В системе реализуется лишь несколько состояний, проявляющихся в виде аттракторов траекторий движения в фазовом пространстве, переход между которыми возможен через точки бифуркации. А само существование сложной системы есть непрерывный переход между возможными состояниями или неустойчивое балансирование вблизи границы такого перехода, где внешние поля играют роль управляющего сигнала, смещающего вероятность развития системы в том или другом направлении [5].

Также выяснилось, что сложные системы реализуют свою эволюцию не тупым равновероятностным перебором всех возможных комбинаций исходных строительных элементов (порядка 200-1000), а строят конечную конструкцию из небольшого количества первично-структурированных композиций (блоков) исходных элементов (порядка 6-10). В этом случае число возможных вариантов конечного строения системы существенно уменьшается. А значит, существенно уменьшается и время, необходимое для построения системы, и эволюция биосферы укладывается во временные рамки существования нашей планеты, не противореча теории вероятности. Причем для достижения необратимости во времени этот процесс происходит не одномоментно и непрерывно, а через последовательность нескольких принципиально различных этапов. «Блочный» и «этапный» принцип развития оказался также оптимальным и для построения различных разновидностей человеческого общества. Таким образом, именно уникальное свойство живых систем «запоминания и тиражирования информации» с одной стороны, введение необратимости биологического и социального времени, и возможность «перестановки исходных блоков» с другой стороны, обеспечивают одновременную устойчивость и хаотическую изменчивость живых систем в процессе самоорганизации.

Организация социума и выбор однозначности конечного решения.

С позиций синергетики процессы образования Галактик и Солнечной системы из облака космической пыли, процессы слипания химических элементов в первые прообразы ДНК, РНК и белков, процессы самоорганизации колоний клеток и самоорганизации человеческого общества являются практически идентичными и описываются сходными математическими уравнениями. Из однородной массы первичных элементов за счет хаотических флуктуаций возникает неоднородное распределение плотности, и эта неоднородность при наличии благоприятных условий усиливается со временем. Процесс похож на формирование твердой упорядоченной кристаллической структуры соли из хаотического жидкого соляного раствора, когда за счет повышенного электростатического напряжения на заостренных концах молекул следующие молекулы налипают именно на эти концы и тем самым только усиливают общую заостренность формируемой структуры. При возникновении живых организмов процесс приобретает новые формы за счет конкуренции отдельных кластеров - клеток, биологических видов, социальных каст или

наций, - стремящихся распространить **свою генетическую информацию и управленческие модели выживания** на все доступное пространство. Как уже было сказано, в этих процессах самоорганизации не существует бесконечного числа возможных и равновероятных состояний. А ограниченное число возможных состояний не пересекаются в своей реализации. Т.е. принципиально НЕЛЬЗЯ реализовать милые человечеству утопические социальные идеи: собраться умным людям, отобрать все лучшее из различных социальных систем и построить наконец идеальное общество. Нет, построить можно. Но такой «социальный микс-выродок», к сожалению, будет нежизнеспособным и быстро развалится через катастрофический сценарий обновления системы, стремясь к ближайшему устойчивому состоянию- аттрактору. Это все равно, как попытаться «перемешать» в единый мир Вселенные с различными физическими законами.

Наличие нескольких возможных (и почти равно - оптимальных) состояний системы неизбежно ставит вопрос: каким образом в процессе развития в точке бифуркации реализуется выбор однозначного конечного состояния? Ведь выбор происходит из практически равных. К сожалению, именно здесь область предсказуемости самоорганизации заканчивается и вступает в свои права хаотичность. И в конечном результате реализуется «возможно не лучший, но один из возможных оптимальных вариантов развития». И, как всегда в природе, у явления есть 2 стороны: да, отбираются не «самые-самые» варианты, но, благодаря наличию хаотической стадии и возможности реструктурирования внутри нее, в процессе развития у любого выраженного кластера носителей информации практически до окончательного формирования системы сохраняется шанс на выживание и распространение своего влияния на всю систему вне зависимости от силы, численности, ресурсов и начальных условий.

Так в работе [6] рассмотрена математическая модель исторического развития Европы, в которой нации рассматривались в качестве выделенных кластеров носителей специфической информации. Оказалось, что на формирование политической карты в период стабильно- прогнозируемого развития основное влияние оказывают географический рельеф местности, доступная длина возможной миграции населения, образующая роль городов, и степень агрессивности нации по отношению к соседям. В критические, хаотические периоды неизбежно возрастала роль духовности общества и отказа личных интересов перед интересами нации, что повышало шансы нации на выживание. Интересно, что по расчетам, после всеобщего этапа раздробленных княжеств в единые государства неизбежно должны были объединиться Франция, Испания, Англия (без Шотландии и Ирландии), Пруссия и Россия. Из-за разнородности рельефа единая Германия не возникала достаточно долго, до тех пор, пока в модели искусственно не были увеличены параметры значимости единого немецкого языка и агрессивности по отношению к соседям.

Выводы

Итак, процессы возникновения и развития сложных систем, от Галактик и социума до уровня клеток, подчиняется одним и тем же сценариям самоорганизации из шумовых флуктуаций и описывается сходными математическими уравнениями. В процессе поэтапного развития на каждом этапе в системе возможна реализация лишь нескольких состояний, проявляющихся в виде аттракторов траекторий движения в фазовом пространстве, переход между которыми возможен через точки бифуркации. **Существование всех уровней биосферы, как сложной системы, есть непрерывный переход между возможными состояниями или неустойчивое балансирование вблизи границы такого перехода.** Такое балансирование обеспечивает одновременно решение нескольких задач управления системой:

1. Через локальную неустойчивость и возможность внутреннего переструктурирования обеспечивается общая устойчивость системы к кратковременным внешним воздействиям большой амплитуды, которые в случае жесткой системы привели бы к ее слому.
2. Локальная неустойчивость обеспечивает чувствительность системы к долговременному воздействию внешних сигналов малой амплитуды и дает возможность эволюционной подстройки под повторяющиеся изменения окружающей среды.
3. При существовании двух близких состояний системы, шум, амплитуда которого сравнима с потенциальным барьером между этими состояниями, способствует реализации более устойчивого из состояний.
4. **Шумовые флуктуации** играют роль дополнительного информационного слоя, в котором происходит **генерация ценной информации или рецепция ее из потока, идущего извне**, в соответствии с реализацией минимаксного принципа распределения ресурсов и энергии биосистемы.
5. Наличие хаотичности и неопределенности в выделенных состояниях системы позволяет биологическим системам реализовать алгоритм построения сложного суждения о принятии конкретного решения по самоуправлению на основе более простых вводных суждений не на базе классической формальной логики, а **на базе многозначных логик**. При недостатке исходной информации в двоичной системе возможно ложное распознавание сигнала. **Наличие шума, амплитуда которого выше потенциального барьера между близкими состояниями системы, позволяет поддерживать систему в неопределенном энергетически мало затратном состоянии вплоть до получения (или генерации) дополнительной информации для принятия оптимального управляющего решения.**

По-видимому, чередование детерминированности и хаотичности является непрямым условием реализации управления сложных систем с элементами самоорганизации. Т. е. при решении задач управления типа «1 функция или набор близких функций – 1 система управления» выгоднее организация запаздывающего внешнего управления полностью детерминированной системой на основе обратной связи (по отклонению и т.п.). В задаче же создания многофункциональных универсальных систем управления природа изначально вводит в сложную систему элемент хаотичности и управление «передается на места». При этом управление каждый раз «чуть-чуть ошибается», но эта хаотическая ошибка способствует генерации новой информации и перестройке внутри системы, и позволяет сложной системе самой гибко подстраиваться под изменяющиеся внешние условия.

Работа поддержана грантом Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине».

Литература

1. М.В. Рагульская. Кто управляет Вселенными? СППР-2006, стр.40-43.
2. В.Н. Снытников. Абиогенный допланетный синтез пребиотического вещества. Вестник РАН, 2007, т.77, №3, с.218-226.
3. С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. Синергетика и прогнозы будущего. - Москва, УРСС, 2004.
4. Д.С. Чернавский. Динамическая теория информации.- Москва, УРСС, 2004.
5. Д.С. Чернавский и др. Стратегическая стабильность. 2002, №1, с.60-66.
6. В.Н. Бинги, А.Б. Рубин. Фундаментальная проблема магнитобиологии. Биомедицинские технологии и радиэлектроника, 2007, №2-4, с.63- 75.