

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ РОСТ СЛОЖНОСТИ СИСТЕМ. ЧАСТЬ 1. ПОЭТАПНОЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ

EVOLUTIONARY GROWTH OF THE COMPLEXITY OF SYSTEMS. PART 1. GRADUAL STRUCTURE FORMATION

A. Gribkov

Summary: This article is the first part of the research, which reveals the inner content of the process of increasing the complexity of systems. Based on the existence of isomorphisms the article argues for the gradual development of the universe. Examples of stage development realization on different levels of the universe, for systems of significantly different scales and nature are considered. From the analysis of the problem of the origin of life we make a reasoned conclusion about the lack of alternative of stage-by-stage development. The mathematical proof of the efficiency of multistage structurization is given, which increases its probability many times. The ontological essence of staged structural formation has been defined which consists in the appearance of new qualities at the achievement of certain discrete quantitative values and in the fixation of these qualities.

Keywords: evolution, gradualism, structurization, probability, origin of life.

Грибков Андрей Армович

доктор технических наук, главный научный сотрудник,
Московский государственный технологический
университет «СТАНКИН»
andarmo@yandex.ru

Аннотация: Статья представляет собой первую часть исследования, раскрывающего внутреннее содержание процесса роста сложности систем. Исходя из существования изоморфизмов в статье аргументируется поэтапный характер развития мироздания. Рассмотрены примеры реализации поэтапного развития на различных уровнях мироздания, для систем существенно различающихся масштабов и природы. Из анализа проблемы зарождения жизни делается аргументированный вывод о безальтернативности поэтапного развития. Приводится математическое доказательство эффективности поэтапного структурообразования, многократно повышающего его вероятность. Определена онтологическая суть поэтапного структурообразования, которая заключается в появлении при достижении определенных дискретных количественных значений новых качеств, а также в закреплении этих качеств.

Ключевые слова: эволюция, поэтапность, структурообразование, вероятность, зарождение жизни.

Введение

Одной из характерных черт, определяющих картину бытия, является существование изоморфизмов – явления подобия форм и законов, проявляющееся на разных уровнях бытия, в различных предметных областях. Из существования изоморфизмов следуют выводы, которые играют определяющую роль в формировании картины бытия и понимании эволюции формирующих его материальных структур.

Для последующего размышления нам потребуется использовать понятия бытия и мироздания, которые имеет смысл дополнительно уточнить. Когда говорят о бытии, обычно имеют в виду предмет изучения онтологии – все существующее, как оно есть независимо от познания. Другими словами, бытие – это все то, что существует (в мире).

Понятие мироздания однозначно не определено. Обычно его считают тождественным понятию мир, вселенная. В рамках религиозного представления данное определение уточняется: мироздание – это мир как гармоничная целостная система (созданная Богом и управляемая Божественным Промыслом). По мнению автора

данной статьи, мироздание – это то, как существует мир. Под выражением «как существует» следует понимать «здание мира» – все многообразие форм и законов, которые формируются в мире в процессе структурообразования, т.е. последовательного формирования систем за счет включения в них новых элементов и образования новых связей. Таким образом, понятие мироздание является очень близким понятию бытия, но говоря о мироздании мы делаем акцент на структуре, наличии определенного порядка, организации, формируемых в процессе структурообразования.

Повторяемость форм и законов свидетельствует о том, что качественно мироздание (как и бытие) не является бесконечно сложным. Действительно, в бесконечно сложном мире ничто не может повторяться, все объекты, процессы должны быть уникальны во всех своих свойствах. Исходя из диалектического закона перехода количественных изменений в качественные можно констатировать, что если мироздание качественно не является бесконечно сложным, то оно (как система, образованная из элементов) определяется конечным количеством элементов. При этом необходимо оговориться, что речь идет не обо всем мироздании, а только о части (ограниченной области) бытия, неважно, насколько она

велика, взаимодействие элементов которой порождает наблюдаемые формы и законы.

Исследования, проведенные автором [1], показывают, что наблюдаемому изоморфизму форм и законов соответствует многоуровневое построение мироздания. Каждый объект, процесс в мироздании представляет собой результат поэтапного структурообразования из более простых объектов, определяемых более простыми законами и имеющими более простые формы. Структурообразование от уровня к уровню регулируется всегда одними и теми же простыми законами, укладывается в одни и те же несложные формы. Сложные формы и законы в силу своей сложности редки, неустойчивы и не играют существенной роли в структурообразовании.

Многообразие форм и законов мироздания, которые мы повсеместно наблюдаем, является следствием многоуровневой организации бытия. При этом на каждом из уровней организации бытие познаваемо и подчиняется одним и тем же простым законам.

Поэтапный характер эволюционных процессов

Изучение эволюционных процессов, наблюдаемых в природе [2], демонстрирует повсеместное распространение поэтапного развития, характерное как для длительных процессов, охватывающих большое разнообразие видов и форм (например, эволюции аквабиосферы [3]), так и развитие отдельных видов (например, муравьев [4]). Кроме того, поэтапность характерна также для эволюционных процессов в неживой природе, в том числе в развитии технических, производственных, экономических [5] и политических систем.

Вся последовательность формирования все более сложных структур в материальном мире, начиная с элементарных частиц и заканчивая человеком, представляет собой поэтапные изменения, при которых свойства от этапа к этапу изменялись ступенчато, причем на каждом этапе имела место фиксация свойств, обеспечивающая способность сформировавшейся структуры сохранять свою устойчивость. Из элементарных частиц формируются атомы, обладающие устойчивостью; из атомов – молекулы, в том числе макромолекулы, также обладающие устойчивостью; из различных сочетаний органических и неорганических молекул формируются микроорганизмы и более сложные биологические объекты, в том числе животные и человек, которые также обладают устойчивостью как виды и как индивиды.

Поэтапный характер развития наблюдается и в менее масштабных эволюционных процессах. В качестве примера такого эволюционного процесса можно привести развитие растений, которое представляло собой последовательность из шести этапов. На первом этапе цианобактерии эволюционировали в водоросли; далее, на втором этапе, по мере освоения суши, водоросли эволюционировали в различные мхи, из которых на третьем этапе сформировались риниофиты (в настоящее время вымерли), а из них, на четвертом этапе, – папоротники, хвощи, плауны. Шестым этапом развития стали семенные растения, которые преодолели зависимость от воды при размножении.

Примером менее масштабного по сложности, но не по физическому масштабу, является эволюция протозвезд (превращения протозвезды в звезду). Этапы эволюции протозвезды включают в себя: обособление фрагмента облака с его уплотнением, при котором за счет силы гравитации к формирующемуся облаку притягивается вещество из окружающей среды; быстрое сжатие, при котором возникающее от сжатия и нагрева излучение уносит лишнее тепло, протозвезда в определенный момент времени становится непрозрачной и сжатие замедляется; медленное сжатие, при котором протозвезда получает осевое сжатие и нагревается еще больше. Далее, если масса звезды достаточно велика (более 10% от массы Солнца), то в ее ядре запускается термоядерная реакция, и она становится звездой.

Одним из наиболее показательных примеров, выявляющих безальтернативность поэтапного развития даже для сравнительно небольших (по масштабам эволюционных изменений) процессов, является проблема зарождения жизни. Проблема зарождения жизни находится в фокусе мировой науки и религии не первое тысячелетие. В современной формулировке проблема сводится к тому, что с точки зрения теории вероятностей для случайного образования таких органических молекул, как ДНК или РНК, требуется время, несоизмеримо большее, чем возраст Земли, равный по последним оценкам 4.5 млрд. лет. Между тем, следы простейших микроорганизмов обнаруживаются в породах, имеющих возраст от 4.1 до 3.5 млрд. лет. Это значит, что для формирования простейших живых организмов на Земле потребовалось всего 400 млн. лет [6].

Количественные оценки вероятности случайного образования простейших организмов существенно различаются в зависимости от методики расчета, устанавливаемых ограничений и допущений. Например, известный расчет Е. Кунина дает оценку вероятности случайного зарождения хотя бы одной системы трансляция–репликация за весь период времени после Большого взрыва на уровне 10–10¹⁸ [7]. Эта вероятность настолько мала, что случайное возникновение жизни можно считать невозможным.

Альтернативная версия зарождения жизни связана с репликаторами – неклеточными формами жизни, которые могут образовываться путём сложных биохимических процессов.

Альтернативная версия зарождения жизни связана с репликаторами – неклеточными формами жизни, которые могут образовываться путём сложных биохимических процессов.

ских реакций и превращений из «первичного бульона» органических и неорганических соединений. Одной из наиболее проработанных является версия неферментативной репликации РНК [8]. Достоверной количественной оценки вероятности зарождения жизни через появление репликаторов не существует, однако предполагается, что она существенно выше, чем для клеточных форм жизни. При этом, вероятно, указанной длительности 400 млн. лет для этого недостаточно. Существенные сомнения вызывает даже возможность случайного зарождения такой жизни за весь период после Большого взрыва.

Следует заметить, что наряду с версией зарождения жизни на Земле, также существует версия панспермии [9], согласно которой жизнь зародилась где-то за пределами Земли и лишь затем была перенесена на нашу планету через космическое пространство. Против реальности данной версии свидетельствует факт отсутствия любых, даже самых простейших, микроорганизмов в метеоритах, падающих на Землю. При этом обнаружение (в ничтожных концентрациях) в метеоритах всех необходимых для формирования ДНК или РНК азотистых оснований (аденина, гуанина, тимина, цитозина и урацила) [10] не означает обнаружения жизни, как это иногда пытаются представить. Даже при локализации всех необходимых азотистых оснований в пределах малой реакционной области, формирование ДНК или РНК остается маловероятным. В результате, с высокой долей уверенности можно утверждать, что земная жизнь зародилась на Земле, а не была принесена из космоса. Кроме того, даже если версия панспермии была бы состоятельной, время, доступное для зарождения жизни, все равно остается ограниченным периодом после Большого Взрыва.

Какое же решение может иметь проблема зарождения жизни? Ответ более или менее очевиден: процесс зарождения жизни не был одномоментным, а представлял собой процесс последовательных случайных, но связанных процессов. Согласно Е. Кунину «...исключительно низкая вероятность возникновения жизни никак не означает, что это всё произошло чудом. Напротив, всё это серии нормальных химических реакций, только включающие стадии с очень низкой вероятностью...» [11].

Можно предположить, что образованию нуклеиновых кислот, способных к репликации, предшествует образование макромолекул, в которых присутствуют все необходимые для этого элементы (нуклеотиды), но они расположены произвольно. Следует отметить, что, хотя элементы в макромолекуле могут изменять свое состояние (в частности, положение), однако эти изменения подчиняются строгим правилам, определяемым химическими связями внутри макромолекулы. Дальнейшая эволюция происходит уже в макромолекуле, где вследствие случайных и неслучайных изменений (перестановок участков макромолекулы), а также фикса-

ции определенных последовательностей нуклеотидов в макромолекуле, обладающих устойчивостью, однажды складывается нуклеиновая кислота (ДНК или РНК), способная к репликации.

Существует большое разнообразие механизмов, способных значительно (порой даже многократно) повысить скорость изменений в макромолекулах, которые могут привести к появлению структур, способных к репликации. Многие из этих механизмов активно проявляются в эволюционных процессах.

Одним из таких механизмов является эффект перескакивания генов, основанный на перемещении участков (фрагментов) внутри макромолекулы. На уровне генетических изменений эффект заключается в том, что некоторые участки ДНК (гены) могут перемещаться по ней (в ходе наследования от предков к потомкам) до того положения, в котором они проявляются. Существует механизм миграции элементов – фрагментов макромолекул, изменяющих свое положение как при образовании одних молекул из других, так и в продолжении существования макромолекулы. На уровне генетических изменений мигрирующие генетические элементы (или мобильные генетические элементы) перемещаются и встраиваются в различные участки ДНК, изменяя в результате общие свойства организма. Частным случаем мобильных генетических элементов являются транспозоны, которые способны не только к изменению своего положения, но также и к размножению в пределах генома [12].

Другой генетический механизм, многократно повышающий скорость эволюции, – горизонтальный перенос генов – «...процесс, в котором организм передает генетический материал другому организму, не являющемуся его потомком» [13]. Данный механизм является одним из основных механизмов изменчивости видов. По некоторым данным, до 8% генома человека получено посредством горизонтального переноса генов от вирусов [14].

Резюмируя представленное краткое рассмотрение проблемы зарождения жизни следует констатировать, что эта проблема оказывается разрешимой, если исходить из того, что способные к репликации нуклеиновые кислоты в ходе эволюции не формировались непосредственно из азотистых оснований. Развитие (эволюция) шло постепенно, от уровня к уровню, и вероятность каждого качественного перехода была не очень мала. Такого рода иерархическое, поэтапное построение структур гораздо вероятнее, чем одноэтапное, а, следовательно, занимает несоизмеримо меньше времени.

Эффективность поэтапного структурообразования

Основой наблюдаемого многообразия форм и законов бытия является структурообразование, при котором

происходит поэтапное образования из простых структур более сложных. В качестве указанных структур могут выступать, в зависимости от уровня организации материи: элементарные частицы, физические тела, химические элементы, макромолекулы, простейшие микроорганизмы, растения, животные, физический мир, биосфера или ноосфера в целом, социум, система знаний, духовный мир индивидуума, человеческая цивилизация и т.д.

Диалектический закон перехода количественных изменений в качественные по умолчанию предполагает, что указанный переход происходит не постоянно, а при достижении определенных дискретных количественных значений, т.е. поэтапно (или ступенчато).

При этом необходимым свойством качественных изменений системы является возможность их закрепления, связанная с появлением новой структурной организации, нового процесса или связей, формирующих дополнительный механизм устойчивости. Без указанного закрепления поэтапный характер изменений утрачивает свои преимущества в обеспечении развития, становится неотличим от плавного развития. Следовательно, онтологическая суть поэтапного структурообразования сводится к появлению при достижении определенных дискретных количественных изменений новых качеств, а также к закреплению этих качеств. Дальнейшее структурообразование осуществляется уже с учетом существования структур с указанными качествами.

Поэтапный характер структурообразования делает вероятность формирования сложных систем несоизмеримо более высокой по сравнению с вариантом формирования сразу окончательной структуры. Это может быть аргументировано математически.

Рассмотрим упрощенную модель структурообразования. Пусть имеется квазиоднородная среда, образованная элементами. В единице объема среды имеется в среднем n элементов. Среда близка по свойствам к идеальному газу. Образование структуры будет происходить при одновременном нахождении N элементов в пределах области объемом U .

Поскольку среда имеет свойства идеального газа, то дисперсия числа частиц в области объемом U составит $\sqrt{U \cdot n}$, а среднеквадратичная флуктуация, соответственно $\sqrt{U \cdot n}$. Вероятность того, что количество элементов в объеме U больше или равно N , определится следующим образом:

$$P = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_{\max}} e^{-x^2/2} dx; \quad x_{\max} = \frac{N - Un}{\sqrt{Un}}$$

Рассмотрим теперь двухэтапное структурообразование. Пусть вначале происходит образование структур

1-го уровня, включающих в себя N_1 элементов. Допустим, что это образование происходит в пределах области с объемом

Вероятность P_1 такого образования (при условии $N_1 \ll N$) много больше P :

$$P_1 = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_{\max}} e^{-x^2/2} dx \gg P; \quad x_{\max} = \left(N_1 - n \frac{UN_1}{N} \right) / \sqrt{\frac{UnN_1}{N}}$$

Поскольку $P_1 \gg P$, то, принимая образование структур 1-го уровня необратимым, можно исключить его из рассмотрения. Таким образом, задача упрощается и сводится к определению вероятности образования из среды, состоящей из структур 1-го уровня, структур 2-го уровня (окончательных структур). Это образование происходит в пределах области с объемом U при количестве структур 1-го уровня в единице объема $n N_1/N$.

Вероятность образования структур 2-го уровня:

$$P_2 = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_{\max}} e^{-x^2/2} dx \gg P; \quad x_{\max} = \left(\frac{N}{N_1} - n \frac{UN_1}{N} \right) / \sqrt{\frac{UnN_1}{N}}$$

если $N_1/N \ll 1$.

Итак, как можно видеть, поэтапная эволюция обеспечивает существенно большую вероятность образования структур. При этом, чем больше число этапов k (но $k \ll N$), тем выше вероятность структурообразования.

Заметим, что, оценивая вероятность образования структуры, также можно учесть вероятность структурообразования на всех предыдущих уровнях.

Рассмотрим условный пример с двухэтапным структурообразованием. Пусть $n = 10$, $U = 10$, $N = 144$, $N_1 = 12$. Сравним вероятность структурообразования за один этап и за два этапа (как произведения вероятностей образования на первом и на втором этапах) с учетом приведенных выше формул x_{\max} для P, P_1 и P_2 :

$$P = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{4.4} e^{-x^2/2} dx = 1.08 \times 10^{-5};$$

$$P_1 \cdot P_2 = \left(1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{12.7} e^{-x^2/2} dx \right)^2 = 4.16 \times 10^{-2} \gg P.$$

Как можно видеть, поэтапность структурообразования многократно (в данном условном примере с двумя этапами и сравнительно небольшим числом элементов – в 4 тыс. раз) повышает вероятность образования структур.

Заключение

На основе представленного в данной статье исследо-

вания можно сделать следующие основные выводы:

1. Существование изоморфизмов – явления подобия форм и законов, проявляющееся на разных уровнях бытия, в различных предметных областях, — свидетельствует о конечной сложности мироздания, а также указывает на поэтапный характер структурообразования, формирующего многообразие форм бытия.
2. Поэтапный характер присущ всем значимым процессам развития как в неживой, так и в живой природе, а также техническим, экономическим, социальным, информационным и другим системам.
3. Существуют огромное число примеров, которые показывают эффективность, а в ряде случаев (например, при зарождении жизни) безальтернативность поэтапного развития.
3. Основой наблюдаемого многообразия форм и законов бытия является структурообразование, при котором происходит поэтапное образование из простых структур более сложных. Онтологическая суть поэтапного структурообразования сводится к появлению при достижении определенных дискретных количественных изменений новых качеств, а также к закреплению этих качеств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибков А.А. Обоснование и формализация эволюционного способа познания // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Познание», 2022, №12, с. 94-99.
2. Красилов В.А. Этапность эволюции и её причины // Русский орнитологический журнал, 2014, том 23, Экспресс-выпуск 1053. С. 3011-3028.
3. Попов А.В. Основные этапы эволюции аквабиосферы // Вестник Санкт-Петербургского университета, сер. 7, 2007, вып. 2. С. 59-69.
4. Длусский Г.М., Расницын А.П. Палеонтологическая летопись и этапы эволюции муравьев // Успехи современной биологии, 2007, том 127, №2, с. 118-134.
5. Туровец О.Г., В.Н. Родионова. Эволюция производственных систем в условиях становления инновационной экономики // Организатор производства, 2008, №2. С. 69-72
6. Snyder-Beattie A.E., Sandberg A., Drexler K.E., Bonsall M.B. The Timing of Evolutionary Transitions Suggests Intelligent Life Is Rare // Astrobiology, vol. 21, num. 3, 2021, pp. 265-278.
7. Кунин Е. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М.: Центрполиграф, 2014, 760 с. С. 479-483.
8. Марков А.В. В поисках начала эволюции // Природа, 2015, №1. С. 3-13.
9. Панов А.Д. Панспермия и механизмы возникновения жизни во Вселенной // Земля и вселенная, 2014, №1. С. 75-82
10. Oba Y., Takano Y., Furukawa Y., Toshiki Koga T., Glavin D.P., Dworkin J.P., Naraoka H. Identifying the wide diversity of extraterrestrial purine and pyrimidine nucleobases in carbonaceous meteorites // Nature Communications, vol. 13, numb. 2008, 2022
11. Штерн Б., Марков А., Мулкиджанян А., Кунин Е., Никитин М. Вероятность зарождения жизни // «Троицкий вариант — Наука» №6(275). С. 1-3
12. Мустафин Р.Н. Роль транспозонов в структурной эволюции геномов эукариот // Гены & Клетки, том XVI, №2, 2021. С. 23-30.
13. Щеголев С.Ю. Современные взгляды на эволюцию: о роли горизонтального переноса генов // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика, т. 21, № 4, 2013. С. 43-76.
14. Harding E.F., Russo A.G, Yan G.J.H., Waters P.D., White P.A. Ancient viral integrations in marsupials: a potential antiviral defence // Virus Evolution, vol. 7, issue 2, 2021, pp. 1-11.

© Грибков Андрей Армович (andarmo@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»