

Шеромов Лев Александрович  
Доктор технических наук, профессор  
Пенсионер,  
03.00.00 – Общая биология

## НАЧАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ЭВОЛЮЦИИ

Аннотация. Эволюция Жизни обусловлена действием дискретных алгоритмов самоорганизации. В наследственной информации обнаружен комплекс из четырех таких алгоритмов: размножения и отбора, накопления опыта, восстановления испорченной информации, накопления и распределения энергии. Исходя из этого, дано объяснение неравной изменчивости различных структур организма, топологической изменчивости, необратимости и возможности эволюции в целом.

Ключевые слова: самоорганизация, биологические системы, эволюция Жизни.

Annotation. The evolution of life is due to the action of discrete self-organizing algorithms. In the hereditary information, a complex of four such algorithms was found: reproduction and selection, accumulation of experience, recovery of corrupted information, accumulation and distribution of energy. Based on this, an explanation is given for the unequal variability of various body structures, topological variability, irreversibility, and the possibility of evolution in general.

*Keywords:* self-organization, biological systems, evolution of life

## ВВЕДЕНИЕ

Моя практическая работа с компьютерными экспертными системами привела к необходимости поиска минимального комплекса алгоритмов, необходимого и достаточного для самоорганизации **автоматов** (*определения*

*терминов помещены в конце статьи*). Но при изучении известных результатов научных исследований теории автоматов, общей теории систем и теории самоорганизации [3, 4] такие алгоритмы не удалось найти.

В то же время, перед глазами находится огромное количество таких самоорганизующихся систем. Это биосфера. Можно ли в ней найти эти алгоритмы?

Сформировалась ясная задача – выделить среди многих алгоритмов (циклов в биологии) такой их минимальный комплекс, который обеспечил начало эволюции на Земле.

Удалось разделить эту задачу на две части:

1. Не противоречат ли друг другу эволюция в биосфере и закон о необратимости явлений реального мира (второй закон термодинамики о естественном нарастании энтропии)?

2. Каким образом организмы из поколения в поколение накапливают и сохраняют информацию, полезную для выживания?

Исследование этих проблем оказалось очень интересным и привело меня к новым научным результатам в области знаний, где я непосредственно работаю. По моему мнению, полученные результаты имеют некоторую пользу и для биологии. Я предлагаю для обсуждения очень краткое изложение этих результатов специалистам по теории эволюции и всем другим читателям, интересующимся захватывающей проблемой возникновения Жизни на Земле. Я не биолог, и поэтому старался быть очень осторожным в своих выводах. Эти выводы имеют общий характер, т.е. пригодны для других (не биологических) систем.

## 1. Обобщение закона о необратимости явлений реального мира.

Существует феноменологический второй закон термодинамики, который утверждает необратимость термодинамических процессов в системах, не обменивающихся теплотой с внешней средой, т.е. **энтропия** таких систем всегда растет. Это есть непреложный факт.

Но в природе есть множество систем, которые имеют другую структуру, другие характерные особенности. Это, например, биологические системы, технические системы и все остальные «не термодинамические» системы. Все они, конечно, состоят из более или менее хаотично движущихся молекул, но имеют свои, более сложные закономерности, которые и определяют их сущность. Мы имеем в виду свойство эмерджентности, т.е. возможность возникновения специфических закономерностей в системе, не вытекающих из свойств элементов, из которых она состоит. Но, очевиден факт, что во всех, без исключения, системах и в других объектах реального мира необратимость также присутствует. Например, любой индивидуальный объект в природе стареет, разрушается, изнашивается. На первый взгляд, исключения составляют атомы и молекулы стабильных химических веществ. Но и тут нет уверенности. Они, может быть, тоже разрушатся, но для этого нужен очень большой промежуток времени, на котором возникнут такие внешние условия, которые преодолют их стабильность.

Но некоторые комплексы элементов – системы идут в противоположном направлении, развиваются, эволюционируют, накапливают информацию, со временем делаются все сложнее и сложнее – отдаляются от хаоса. Хочется сказать, что энтропия в них снижается, но подождем; рассмотрим сначала причину роста энтропии в реальном мире.

Начнем с простого примера. Многократно подбрасывая монету, мы опытным путем приходим к заключению, что вероятность выпадения “орла” или “решки” равна 0,5. Почему так происходит? Может быть, мы не знаем

некоторых тонких физических закономерностей этого явления, которые позволяют точно рассчитать это число. Оказывается, мы в принципе не можем этого сделать. Попытка идеализации модели подбрасывания монеты, т. е. ее начального положения, геометрической формы, механизма подбрасывания и т. д. не приводит к решению этой проблемы. Для идеального опыта можно написать уравнения движения монеты. Но и они не помогут. Мы встречаемся с неопределенностью. При подбрасывании мы толкаем монету вверх; но она будет находиться во время действия силы в неустойчивом равновесии (как палка, вертикально поставленная на палец) и наклонится в любую сторону с одинаковой вероятностью.

В принципе все известные природные явления можно описать математическими уравнениями (построить модели). Но эти уравнения обычно могут иметь неустойчивые решения: нули в знаменателе дробей, разрывы функций или их производных и т.п. И эти неопределенности *всегда проявляются в эксперименте*. Характерный пример – турбулентность[7].

Исторически эта проблема существования случайных явлений в Природе, в первую очередь, в термодинамике, прояснялась с большим трудом, с привлечением великих ученых: Л. Больцмана, А. Пуанкаре, А. Эйнштейна, Д. Гиббса и т.д. Эта история подробно описана в книге [11]. Поэтому, если мы примем, что в Природе существует множество неопределенных явлений, результат которых неоднозначен, то нетрудно доказать неизбежность естественного нарастания энтропии. Для этого надо принять следующую аксиому.

Любая материальная система, существуя во времени рано или поздно попадает в такое состояние, из которого она может перейти в одно из возможных состояний с некоторой вероятностью. Этим утверждается, что в

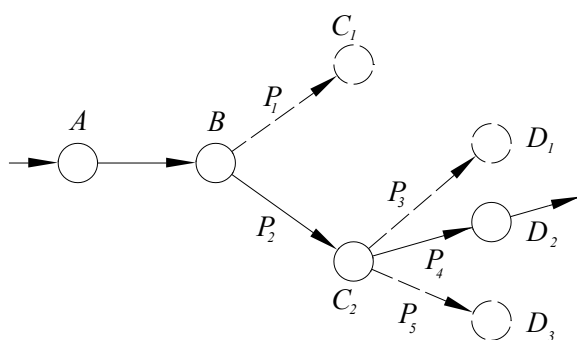


Рис. 1. Возникновение точек бифуркации

Природе существуют вероятностные явления.

Рисунок иллюстрирует сказанное (стрела времени направлена вправо). Материальная система пришла в состояние  $A$ , и

далее однозначно переходит в состояние  $B$ . Но из этого состояния система имеет возможность перейти в одно из состояний  $C$  (точка бифуркации) с различной вероятностью ( $P_1$  или  $P_2$ ). На рисунке она перешла в состояние  $C_2$ . Это состояние опять оказалось точкой бифуркации, и из него возможен переход в одно из трех состояний  $D$ , опять определенными вероятностями ( $P_3$ ,  $P_4$  или  $P_5$ ) и так далее. Конечно, точки бифуркации возникают через некоторое время, в зависимости от конкретной системы и ее окружения. Если теперь перенести рассмотренную ситуацию в реальный сложный мир, где эти вероятностные переходы встречаются многократно, и не ограничивать время, то мы приходим к явлению необратимости естественных процессов в Природе. В примере с подбрасыванием монеты мы как раз имеем точку бифуркации.

Из этого рисунка видно, что беспорядок (хаос) нарастает, растет неопределенность реального состояния системы. Вероятность осуществления некоторого состояния после каждой точки бифуркации падает. Кроме того, *вернуться назад во времени невозможно (необратимость)*. Получается, что этот возврат придется делать при условии, что система перешла после точки бифуркации именно в то состояние, из которого мы хотим вернуться назад. Но ведь она могла перейти и в другое состояние. Математически обратный

переход можно выразить формулой, но только с применением понятия условной вероятности. То есть попасть точно назад, нет никакой гарантии. Это и есть *закон о необратимости природных явлений*. Вторым законом термодинамики является частным случаем этого, более общего закона.

Достаточно принять эту аксиому, то далее, известная формула Клода Шеннона для энтропии может быть выведена строго математически (см. приложение).

Формула Шеннона:

$$S = -k \sum_{i=1}^N P_i \log_a P_i$$

где  $S$  - энтропия,

$P_i$  – вероятности возможных состояний системы ( $i = 1, 2, \dots, N$ ),

$k$  и  $a$  – произвольные постоянные.

В теории информации  $k = 1$ ;  $a = 2$ .

В термодинамике эта формула аналогична, но  $k$  – постоянная Больцмана,  $a$  – основание натуральных логарифмов, сумма заменена на интеграл и введено понятие термодинамической вероятности. Последнее несоответствие возникло исторически; принципиального различия между термодинамической и обычной (как у Шеннона) математической вероятностями нет. Л. Больцман вывел формулу для термодинамической энтропии раньше Шеннона (на 60 лет), но последний, получил ее заново и для более общего случая. Это подтверждает универсальный характер понятия энтропии. Нет принципиальной разницы между информационной и термодинамической энтропией.

Но при выводе формулы Больцмана использовалось понятие изолированной термодинамической системы, а при выводе формулы Шеннона такого ограничения не накладывалось. Это несоответствие кажущееся и связано с тем, что термодинамика исторически всегда была связана с

системами ограниченными по массе и объему. Это позволяло делать конкретные выводы и практические расчеты. Аналогична ситуация и с изолированными системами. Например, расчеты вероятностей гораздо проще делать, ограничив число молекул в них. «Анализ процессов, происходящих в изолированной системе, представляет интерес в большой мере потому, что в пределе любую изолированную систему и окружающую среду можно мысленно рассматривать как единую изолированную систему» [6]. Поэтому не приходится сомневаться в том, что необратимость присутствует не только в термодинамических системах.

Вывод этой формулы сделан при учете только самых простых и общих предпосылок (рис. 1). При этом не вводились никакие энергетические ограничения. Поэтому из этой формулы следует, что **энтропия всегда растет, в любых материальных системах**. Причем расчет по этой формуле показывает, что скорость возрастания энтропии тем выше, чем ближе друг к другу вероятности перехода из точки бифуркации в возможные состояния. *В соответствии с этой формулой энтропия никогда не может снижаться.*

## 2. Самоорганизация биологических систем

Обсудим теперь процесс самоорганизации в биологических системах. Предыдущий вывод о неизбежности роста энтропии в любых системах нам не помешает. Была бы энергия. Нам необходимо найти некий «механизм», который обеспечил бы самоорганизацию биологических объектов, и *обеспечил бы компенсацию неизбежного роста энтропии.*

Сделаем мысленный эксперимент. Возьмем небольшой ящик и набросаем туда кусочки проволоки, свитые в виде пружинок разного диаметра и длины. Расположение их будет хаотично. Но давайте встряхивать ящик, имитируя действие внешней среды. Пружинки моментально зацепятся друг за друга и, через некоторое время мы получим единственное тело, состоящее из

сцепившихся пружин. Это, конечно, нельзя назвать порядком, но энтропия явно снизилась. Это уже не беспорядок. Эксперимент можно усложнить, специально изготовив отдельные тела со многими зацепами и углублениями на поверхности, которые подходили бы друг к другу, как ключ к замку. Если теперь опять потрясти ящик, то уже будет интересно заглянуть внутрь. Там могут оказаться далеко не простые тела.

А теперь перейдем к молекулам! Соберем некоторые химические вещества, из которых могли бы образоваться органические молекулы в один сосуд и посмотрим, что получится. Можно и сильно потрясти наш состав, т.е. подогреть сосуд. Можно добавить и другие возбуждающие факторы. Мы пришли к поразительному эксперименту Стэнли Миллера. Заметьте, мы не отвергаем второй закон. Просто весь остальной мир находится под действием случайных явлений и энтропия там растет. У нас тоже не избежать этого. В первом примере надо подождать, когда пружинки распадутся от ржавчины.

В опыте Миллера образовались сложные вещества из простых. Атомы *защелкнулись* в сложные органические молекулы («зацепились друг за друга»). Разрушить их можно только преодолев некоторый энергетический порог.

Вывод таков. Порядок, определенность могут увеличиться локально и на некоторое конечное время без привлечения к объяснению этого явления второго закона термодинамики. Такое возможно только для дискретных явлений. Сущность этих явлений заключается в том, что при переходе некоторой системы из одного состояния в другое необходимо затратить энергию. Вероятности состояний системы после таких «переключений» всегда равны единице или нулю. Точки бифуркации отсутствуют.

Эти явления широко распространены в природе.

Сделаем ещё один шаг. На древней Земле и при огромном располагаемом времени, могли образоваться не только сложные органические молекулы, но и определенные последовательности неодинаковых химических реакций, вызывающих одна другую [5, 9]. *А это уже алгоритмы, цепи*



*последовательных реакций химических веществ.* Эти цепи могут замкнуться. Получится цикл, кольцевой алгоритм, который также дискретен и функционирует во времени. Такие алгоритмы есть и для неорганических веществ (синергетика). Для их разрушения опять нужно преодолеть некоторый порог энергии.

В организмах и в их связях с внешней средой присутствует множество алгоритмов. Некоторые из них образовались при зарождении Жизни и явились её основой, другие – прошли путь эволюции, т.е. появлялись в её процессе (фотосинтез, терморегуляция и т.д.) [1, 4].

Мы теперь можем сделать фундаментальный вывод. Так как алгоритмы дискретны, то в некотором диапазоне условий окружающей среды они не подвержены случайностям. Эти условия не могут изменить алгоритм. Они могут только уничтожить его. Следовательно, **алгоритмы противостоят закону о необратимости явлений реального мира.** Но алгоритмы есть последовательности некоторых действий, которые тем или иным образом могут влиять на окружающую среду. *О снижении энтропии далее нет смысла говорить, так как рассматриваемые явления не имеют точек бифуркации.*

**Поэтому можно поискать среди множества алгоритмов, действующих в организмах, такие, которые обеспечили эволюцию жизни на Земле.**

Но, очевидно, диапазон внешних условий, в которых биохимические алгоритмы могут существовать, значительно меньше, чем, например, для атомов и молекул стабильных химических веществ (вода!). Тем более что случайные изменения внешней среды всегда присутствуют. Они могут быть настолько сильны, что изменят ход реакций. Таким образом, мы приходим к выводу, что рано или поздно спонтанно образовавшийся алгоритм последовательных химических реакций прервется – следствие неизбежного роста энтропии.

Но, все-таки, есть выход из этой "смертельной" ситуации. Мы должны иметь много систем, которые могут копировать друг друга. Такие системы

могут быть рассредоточены в пространстве и, следовательно, случайные отклонения условий внешней среды будут влиять на них неодинаково. Время цикла их размножения должно быть меньше среднего времени срыва существующих в них алгоритмов. За это время некоторые из них успеют скопировать самих себя.

### 3. Алгоритм размножения и отбора

Но такой алгоритм известен и открыт Дарвином и Уоллесом. Вся живая природа находится под действием алгоритма размножения и отбора [2, 4, 5, 12]. Распишем его по отдельным действиям. 1. Акт размножения. 2. Борьба родившегося организма за существование во внешней среде. 3. Эта среда отбрасывает тех, кто не выдержал этой борьбы или кому не повезло (как говорил Дарвин). 4. Переход к первому пункту. Цикл замкнулся. Конечно, все отдельные пункты алгоритма должны быть выполнены вместе с заключенными в них многочисленными биохимическими явлениями, присущими биологическим системам.

Эта последовательность действий была известна и до Дарвина, но только он понял, что *она есть основная составляющая механизма эволюции*. Наследственность прямо заключается в этом алгоритме. А изменчивость происходит вследствие неизбежных случайных явлений. В реальных организмах, на биохимическом уровне, структура этого алгоритма известна.

Таким образом, мы приходим к выводу, что *только множество одновременно существующих систем (организмов, автоматов и проч.) может эволюционировать*, используя этот алгоритм; может преодолевать, компенсировать естественный рост энтропии.

Алгоритм размножения и отбора легко обобщить на любые самоорганизующиеся системы. Например, он автоматически действует в

социальных системах. Невозможно найти хотя бы один факт, когда эволюционировали бы системы, которые не имеют этого алгоритма.

*Часто естественный порядок этого алгоритма воспроизводится неточно. Говорят, что выживают самые приспособленные (сильнейшие) и дают наибольшее количество потомков. **На самом же деле выживают все, кроме самых неприспособленных.** Эту существенную особенность естественного отбора подчеркивали еще классики дарвинизма.*

Полученные изменения закрепляются в поколениях организмов естественным или искусственным отбором. Заметим факт, что изменчивости подвержены в основном количественные параметры наследственной информации: масса тела, его пропорции в целом или отдельных элементов (конечностей, органов и т. п.). По примеру многих исследователей эти изменения мы называем *топологическими*. Непрерывным преобразованием мы можем мысленно изменить, например, руки в лапы, в ноги. Но качественные, скачкообразные изменения, к которым мы относим появление или исчезновение алгоритмов функционирования, очень редки.

Но один *этот алгоритм недостаточен для эволюции* с нашей точки зрения и, по мнению многих известных биологов и генетиков (Th. Morgan и т.д.). Он не всегда отбирает более сложные системы и не создает условий для накопления в организмах важной информации, которая необходима для выживания следующих поколений.

Творческая роль естественного отбора заключается только в том, что он отбирает системы, которые могут противостоять большему числу внешних разрушающих факторов и способны жить при большем диапазоне их изменения. Но очевидно и то, что приводящие в беспорядок наследственную информацию внешние факторы равновероятно воздействуют на любой ее ген. Поэтому гибель более или менее сложных организмов равновероятна, и в целом биосфера не может накапливать информацию, т. е. эволюционировать. Это противоречие известно [12].

#### 4. Алгоритм накопления опыта

Анализируя научные труды по биологии, и используя собственные наблюдения, я пришел к выводу, что изменчивость различных структур индивидуальных организмов не одинакова. Мы легко можем построить иерархию степени изменчивости их наследственной информации, от абсолютно неизменных элементов, присутствующих у всех организмов на Земле (например, алгоритм синтеза белков, энергетические циклы и т.д.), до элементов, которые постоянно меняются в такт с изменениями окружающей среды. Это, например, изменения покровительственной окраски (бабочка *Biston betularia* [12]), удивительная приспособляемость некоторых микроорганизмов к антибиотикам и насекомых к инсектицидам и т. п.

В любом организме легко проследить не одинаковую степень изменчивости его различных органов и систем. Например, при искусственном отборе можно довольно просто вывести молочную или мясную породу скота, но не с тремя глазами или двумя хвостами! Обширный опыт искусственного и естественного отборов позволяет формально **рассортировать изменчивость наследственной информации по своеобразным уровням жесткости запоминания информации в наследственной памяти**. Закрепляясь в организмах, некоторая часть информации из поколения в поколение как бы опускается на более глубокие (более жесткие) уровни памяти, становится менее изменчивой.

Аналогичное явление наблюдается в онтогенезе, что особенно заметно на примере высших животных. Организм учится в течение всей жизни. При этом получаемая из внешней среды информация явно упорядочивается. Более ценная для выживания информация запоминается надолго; бесполезная информация быстро забывается.

Отсюда следует вывод. *Во всех организмах наследственная информация защищена от изменчивости в разной степени, в зависимости от ее ценности для выживания последующих поколений.*

Безразличная для выживания наследственная информация также сохраняется. Характерный пример – пять пальцев на конечностях. Естественный отбор по числу пальцев (четыре или шесть) невозможен; это кажется очевидным. А существующие объяснения этого явления с использованием естественного отбора кажутся недостаточными (натянутыми).

Описанные выше предположения могут быть конкретизированы как алгоритм, который я назвал алгоритмом накопления опыта. Формулируется он так. *Если в системе произошли изменения и они благоприятны или безразличны для нее, что выявит первый алгоритм, то они остаются в ней и с течением времени становятся менее и менее доступными для последующих изменений.*

Необратимость и направленность эволюции легко объясняются с помощью алгоритма накопления опыта. Он определяет большую вероятность усложнения, чем упрощения организмов, обеспечивает накопление информации. Видимые топологические упрощения (рудименты и т. п.) не изменяют системной сложности организмов. Исчезновение из организма алгоритмов (системное упрощение) очень маловероятно, так же как и их появление, так как такие резкие изменения в организме должны произойти одновременно с изменениями во внешней среде, причем в соответствующем направлении. Эволюция биосферы идет по пути последовательного усложнения организмов и необратима вследствие действия этого алгоритма.

Действительно. Возьмем для примера группу одинаковых простых организмов, живших в начале эволюции в некотором ареале. Допустим, этот ареал по внешним причинам разделился на две части с различными условиями обитания. Организмы тоже разделятся на две группы и начнут приспосабливаться к этим условиям, изменяться. Но прошлая наследственная информация остается в генах. Как то измениться, или исчезнуть она не может, так как обеспечивала жизнеспособность организмов до начала изменений. То

есть новая наследственная информация всегда добавляется к старой. Как-то отбросить, упростить прошлую информацию, может быть и не нужную в новых условиях обитания, природа не может, так как это можно сделать только целенаправленно. У нас же строго доказано, что не случайных изменений наследственной информации не может быть. Но наши организмы могут и далее расходиться по нишам своего обитания, добавляя все новую и новую наследственную информацию. Этот процесс уведет их не только к новым видам, но и более крупным таксонам.

Но, как говорят, эволюция иногда идет к упрощению. Его поддерживает естественный отбор. Алгоритм накопления опыта не допускает упрощений, так как надо знать, что упрощать; конкретно, какие гены убирать из наследственной информации. Это совершенно невероятная ситуация. Так что все упрощения только внешние, топологические изменения пропорций тела или других свойств организма. Может быть, какая-нибудь кость скелета таза китообразных полностью исчезла в процессе «упрощения», но в геноме она наверняка осталась, так как природа «слепа» (Р. Докинз) и не может знать то, что надо отбросить.

Но при попытке формального применения этого алгоритма к организмам возникает следующая проблема. Если условия окружающей среды не меняются, то для изменчивости нет причин. Опыт жизни многих поколений организмов, которые оказались в таких условиях, постепенно стабилизирует всю наследственную информацию, в том числе, и на высоких (менее жестких) уровнях памяти, где ранее она была достаточно изменчива. Тогда при начавшихся переменах в окружающей среде организмы, которые потеряли изменчивость, не могут к ним приспособиться и гибнут. Примеры массовой гибели организмов в истории эволюции общеизвестны. Но все организмы, без исключения, подвержены действию алгоритма накопления опыта, и, очевидно, их предки также попадали в стабильные условия внешней среды. А этот алгоритм запрещает увеличение изменчивости. Следовательно,

изменчивость всех организмов со временем должна уменьшаться. В действительности это явно не так. Поэтому, если мы утверждаем, что этот алгоритм действует в биосфере, то мы должны понять, как организмы «обходят» это противоречие.

Удивительно, но Природа давно нашла выход из этого затруднения, «перемешивая» некоторую часть наследственной информации при размножении организмов, «соединяя опыт» существования разных организмов в разных условиях. Это, несомненно, увеличит изменчивость. Например, широко известен факт резкого улучшения приспособительных реакций организмов, размножающихся половым путем. Особенно это заметно, если их предки жили в различных, отдаленных популяциях. Известны и другие, биохимические механизмы случайного «перемешивания» наследственной информации, например, кроссинговер и т. д. Поэтому в действительности этот алгоритм значительно сложнее и лишь в принципе соответствует простейшей последовательности, описанной выше.

К тому же, существует факт, когда некоторые свойства организмов не меняют степени изменчивости из поколения в поколение или даже увеличивают ее. Например, те же пропорции тела у собак наверняка сохранялись огромное число поколений, когда они еще не были приручены человеком. Но оказалось, что их легко изменить искусственным отбором. Это противоречие, скорее всего, кажущееся, так как есть возможность, опять же при помощи алгоритма накопления опыта, закрепить информацию о том, что некоторые структуры организма ужесточать нельзя. Такая потребность может возникнуть, например, при нестабильных условиях окружающей среды.

Приходит на ум следующая техническая аналогия. Возьмем для примера легковой автомобиль, который является продуктом производства социальных систем (фирм, заводов), где наши начальные алгоритмы эволюции действуют также неотвратно, как и в природе. Легко заметить уровни памяти в конструкции этой машины. Например, на глубоких уровнях памяти: лежат

смазка трущихся частей, применение резьбовых соединений и колес. Они есть во всех, без исключения, автомобилях. Менее стабилен тип двигателя (дизель, бензиновый, электрический) и его расположение (впереди, сзади). Это свойство находится в стадии становления. Прошла много стадий усовершенствования подвеска колес. Но явно никогда окончательно не определится внутренняя отделка салона, внешний вид и цвет автомобиля. *Опыт подсказывает*, что здесь изменчивость обязательно нужна.

Но существует проблема применения концепции этого алгоритма в организмах. Не известна его биохимическая интерпретация. Действительно, если различные элементы наследственной информации в разной степени доступны изменчивости, то, как это реализуется в организмах? Здесь мы не видим другого пути, кроме использования еще одного алгоритма.

## **5. Алгоритм восстановления испорченной информации**

Этот алгоритм играет вспомогательную роль и предназначен для обеспечения работы первых двух алгоритмов.

Никакая физическая преграда не сможет защитить наследственную информацию в течение длительного времени, так как внешние факторы могут быть сильны непреодолимо, тем более, что у организмов нет ничего подобного. Но в теории информации известно много алгоритмов восстановления испорченной информации; выберем простейший из них и, как кажется, наиболее подходящий [8]. Это, так называемый, алгоритм "голосования". В простейшем случае это просто многократная передача по каналу связи одной и той же информации. Например, в обычном разговоре кто-то что-то не расслышал; он просит повторить сказанное.

При реальной работе этого алгоритма информация многократно повторяется и затем периодически сравнивается и исправляется при подсчете



количества одинаковых элементов. Если это количество больше половины, то остальные элементы устанавливаются такими же.

*“Голосование”*

1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 <b>0</b> 1 1	6>1 →	1 1 1 1 1 1 1
3 3 3 3 3 3 3	3 3 3 3 3 3 3	6>0 →	3 3 3 3 3 3 3
5 5 5 5 5 5 5	5 5 5 <b>4</b> 5 5 5	6>1 →	5 5 5 5 5 5 5
9 9 9 9 9 9 9	9 9 9 9 <b>5 4</b> 9	5>2 →	9 9 9 9 9 9 9
6 6 6 6 6 6 6	6 <b>7</b> 6 6 6 6 <b>1</b>	5>2 →	6 6 6 6 6 6 6
7 7 7 7 7 7 7	7 7 7 7 <b>3</b> 7 7	6>1 →	7 7 7 7 7 7 7
3 3 3 3 3 3 3	3 3 3 3 <b>8 5 8</b>	4>3 →	3 3 3 3 3 3 3

Рис. 2. Работа алгоритма восстановления  
испорченной информации

Приведем небольшой пример для пояснения действия этого алгоритма (Рис. 2). Напишем на бумаге несколько колонок (не менее трех) одинаковых цифр, например номер телефона. Эти колонки располагаются так, чтобы их строки совпали. Заменим часть цифр случайным образом, т. е. испортим информацию. На рисунке испорченная информация (второй столбик цифр) выделена. Затем цифры сравним в строках. Если одинаковых цифр в строке больше половины, то остальные исправляются в соответствии с ними. Информация восстанавливается. Легко подсчитать вероятность случайной порчи более половины элементов строки. Она резко уменьшается с увеличением числа наших одинаковых колонок. При повторении информации более десяти раз эта вероятность становится настолько малой, что можно говорить лишь о ее логарифме.

Присутствие этого алгоритма в реальном мире, несомненно. Действительно, в человеческом обществе информация многократно повторена и регулярно сравнивается. Алгоритм работает автоматически, и мы не думаем о возможной потере ценной информации. Она повторена в различного рода записях (в книгах и т. д.), в памяти отдельных людей. Известное выражение о "неистребимой силе Жизни" также связано с этим алгоритмом. И, наоборот, в истории известно немало примеров, когда какая-нибудь ценная

технологическая идея передавалась только от отца к сыну и рано или поздно терялась.

Мы берем на себя смелость предположить, что такой алгоритм есть в биохимических структурах организмов и, видимо, воплощен в структуре хромосом. Если в ДНК наследственная информация многократно повторена [13], то при многократном свертывании при укладке ДНК в хромосому одинаковые участки легко могут оказаться друг против друга, что необходимо для их сравнения (Рис. 2). Они могут быть сопоставлены и затем исправлены, например специальным ферментом.

Косвенные подтверждения этому таковы:

1. Известно, в ДНК одинаковая информация записана многократно. Число повторений одинаковых генов достигает многих тысяч [13] (проблема избыточной ДНК).

2. Некоторые регуляторные механизмы генома [13], при новом осмыслении их с учетом необходимости работы этого алгоритма, могут оказаться предназначенными именно для его осуществления.

3. Исходя из принципа работы алгоритма накопления опыта, жизненно важная наследственная информация о всех предыдущих ступенях эволюции организма сохранена в нём, и в то же время редупликация ДНК и синтез белков описываются в известной нам литературе как однократный процесс, без всякого контроля информации. Это вызывает большие сомнения, потому что вероятность ошибок в таких процессах чрезмерно велика. Известный механизм восстановления испорченной последовательности нуклеотидов [1] также не выдерживает критики в смысле большой вероятности появления повторных ошибок. Алгоритм восстановления испорченной информации предполагает тысячекратное повторение.

4. В эмбриональном развитии организм повторяет эволюцию [4]. И это следует из алгоритма накопления опыта. При этом вероятность ошибки, потери отдельных ее этапов, должна быть еще меньше. Присутствие и

соответствующее действие алгоритма голосования уменьшает вероятность таких ошибок практически до нуля. В соответствии с известными опытными данными в эмбриональном развитии сохраняются не все этапы эволюции. Это очень маловероятно. Они не пропущены, а топологически уменьшены (быстро проходят во времени) и поэтому не заметны. Нужны новые, более тщательные эксперименты. Вероятность таких "скачков", конечно, существует, но она очень мала.

5. Алгоритм голосования хорошо согласуется с алгоритмом накопления опыта. Чем информация древнее, тем большее число раз она повторена, и, следовательно, менее изменчива. Количественные соотношения этого процесса требуют дополнительного изучения. При этом могут быть найдены конкретные механизмы взаимодействия этих алгоритмов и их биохимическая сущность.

6. Добавление в наследственную информацию новых генов (генная инженерия) изменяет организмы и часто очень резко. Но эти изменения в большинстве своем нестабильны, и исчезают после смены нескольких поколений при возвращении животных или растений в естественные условия обитания. Если существование алгоритма голосования в организмах принять как истину, то это явление объясняется тем, что в наследственную память было добавлено недостаточное количество одинаковых генов. Известно также [1, 10], что редупликация (репликация) ДНК происходит не последовательно по всей ее цепи, а фрагментами (например, фрагменты Оказаки, репликоны), следовательно, существует возможность их повторения.

7. Может быть, использование этого алгоритма природой связано с процессом роста организма в онтогенезе, с образованием формы различных его органов. Число повторений одинаковых генов может кодировать продолжительность размножения клеток того или иного органа. Вероятность этой возможности велика, так как используется известный принцип, но по новому назначению. Влияние внешней среды на эти процессы не исключается.

8. Рассмотрим старую проблему о возможности переноса в наследственную информацию особенностей индивидуального организма. Чарльз Дарвин не исключал влияния на наследственность упражнений или неупражнений отдельных структур организма в онтогенезе, но затем, при развитии генетики, это влияние было игнорировано, так как механизм передачи новых данных в наследственную информацию при жизни организма не был найден. Однозначно доказано [см. например, 11], что при синтезе белков в процессе постройки организма информация может передаваться только с ДНК, обратного пути нет, т. е. информация не может быть передана от внутренней среды организма в его наследственную память (центральная догма молекулярной биологии). Но как быть с топологическими изменениями? Они осуществляются мелкими шагами, плавно и направленно, например, преобразование пальцев конечностей копытных животных. У них есть все пять пальцев, но работают только один (лошадь) или два (корова, свинья), остальные “недоразвиты”. При одиночном малом шаге постоянного их упражнения при жизни организма маловероятно, что сработает естественный отбор, так как такие изменения почти безразличны для выживания.

Если же принять концепцию алгоритма голосования, то это явление объясняется просто. При редупликации ДНК под давлением среды организма (например, с помощью гормонов), вынужденного все время напрягать или, наоборот, не напрягать какой-нибудь орган, соответствующие участки ДНК повторяются (не изменяясь!), переходя при размножении в наследственную память. Это приводит к топологической изменчивости. Даже в онтогенезе при детренировке, например, мышц они уменьшаются в размерах, но ведь их клетки все время заменяются новыми. Как же эти новые клетки запомнили состояние старых? Значит, есть механизм запоминания этого состояния. Конкретный механизм изменения числа одинаковых генов в онтогенезе пока не известен, но он, несомненно, существует.

Но появление качественно новой наследственной информации таким путем невозможно, например, нового алгоритма функционирования (фотосинтез и т. п.), так как необходимо появление новых генов, а не изменение количества существующих. Реальный механизм работы этого алгоритма в организмах, несомненно, более сложен, как и в случае алгоритма накопления опыта, и только в принципе должен соответствовать примитивному циклу исправления информации "при голосовании".

## **6. Алгоритмы накопления энергии**

Необходимость алгоритмов накопления энергии в самоорганизующихся системах очевидна. Организмы всегда ищут энергию во внешней среде. Она запасается, распределяется по различным органам и подсистемам, устанавливаются определенные дискретные уровни ее потенциала. Несколько алгоритмов накопления энергии в биологических системах известны, и довольно хорошо изучены [1, 12], поэтому не будем занимать внимание читателя их описанием, и примем их как один, комплексный алгоритм.

**Таким образом, четыре алгоритма, описанные выше, необходимы и достаточны для начала процесса самоорганизации.** При этом в начале эволюции они могли быть гораздо примитивней, чем в наше время.

Интересно проследить последующую эволюцию алгоритмов, построив дерево алгоритмов, возникших на определенных этапах эволюции, аналогичное известному филогенетическому дереву эволюции структур организмов. Это, по моему мнению, уточнило бы существующую классификацию организмов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не трудно видеть, что применение концепции начальных алгоритмов самоорганизации к биологическим системам не противоречит законам генетики и центральной догме молекулярной биологии. Самая первая жизнеспособная структура, с которой началась эволюция, обязательно должна иметь все эти алгоритмы. Затем, на следующих этапах эволюции, возникли другие биохимические циклы.

Только после возникновения этого комплекса алгоритмов первобытные жизненные структуры смогли сопротивляться спонтанному разрушающему воздействию внешней среды, получили возможность последовательно усложняться. С этого момента началась эволюция.

Из предлагаемой концепции следует, что на всем эволюционном пути потеря наследственной информации организмов, которые сохранились к настоящему времени, почти невозможна. Поэтому существует возможность (в будущем), полностью расшифровав их геномы, последовательно отделять часть информации, которая повторена меньшее число раз, и восстановить всю цепь предков данного вида, например, человека.

Простейший алгоритм размножения и отбора многократно реализован на компьютере. Легко создать компьютерную программу для всего комплекса предложенных алгоритмов [5]. В компьютере "условия окружающей среды" изменять очень просто. Такой численный эксперимент существенно помог бы получить экспериментальное подтверждение возможности спонтанного возникновения Жизни и дальнейшей эволюции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология // в 3-х томах, под ред. Сопера Р. – М.: Мир, 1990.
2. Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора – С.-П.: Наука, 1991.
3. Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979.
4. Докинз Р. Самое грандиозное шоу на Земле. – М.: Астрель, 2012.
5. Докинз Р. Эгоистический ген. –М.: АСТ: CORPUS, 2013.
6. В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. Техническая термодинамика М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.6: Гидродинамика – М.: Наука, 1988.
8. Левонтин Р. Генетические основы эволюции. - М.: Мир, 1978.
9. Lehninger A.L. Principles of Biochemistry. D.L. Nelson and M.M. Cox, 2008
10. Мусил Я., Новакова О., Кунц К. Современная биохимия в схемах. - М.: Мир, 1981.
11. Пригожин И.Р., Стенгерс И. Порядок из хаоса, М., Прогресс, 1986.
12. Солбриг О., Солбриг Д. Популяционная биология и эволюция. - М.: Мир, 1982.
13. Франк-Каменецкий М. Д. Самая главная молекула. - М.: Наука, 1983.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Словарь терминов

Уточним некоторые термины, которые имеют неодинаковое толкование в различных науках. Определим их значение, которое используется в нашей статье.

**Автомат** – устройство, которое работает по программе и выполняет некоторые задачи (действует) без непосредственного участия человека (или под его контролем).

**Алгоритм** – это некоторая последовательность действий над материальными объектами или системами, выстроенная в причинно-следственную цепь. Это определение распространяется на природные и технические системы в отличие от кибернетического понятия, определяющего порядок решения некоторой задачи. При этом граница между причиной и следствием всегда существует. Это выгодно отличает алгоритм от биологического цикла, где обычно не видно границ между явлениями, из которых он состоит.

**Самоорганизация** – есть спонтанный (самопроизвольный, автоматический) процесс усложнения структуры и функционирования системы при взаимодействии её с внешней средой и потреблении энергии.

**Система.** Установившегося описания этого термина нет, хотя интуитивно ясно, что в реальной природе это *комплекс отдельных материальных элементов, взаимодействующих друг с другом во времени*. Этим определением мы и пользуемся. Связи между элементами системы могут изменяться со временем по интенсивности или качеству, то есть по изменению сущности (например, переключение). *Состояние системы* определяется несколькими параметрами, которые можно измерить.

Следует заметить, что в нашем определении системы нет ограничений на сущность ее элементов и связей между ними; биологические системы не выделяются среди других существующих систем материального мира.



*Энтропия* – мера необратимости природных процессов во времени, беспорядка и дезорганизации в системе, неопределенности её состояния. В термодинамике энтропия есть функция данного состояния системы, определяемого известными параметрами (давлением, температурой и проч.). **Энтропия не есть явление или субстанция, а лишь вероятностная мера неопределенности состояния системы.** Энтропия всегда относительна, может быть определена, вычислена только для двух последовательных состояний системы. В этом смысле энтропия аналогична времени. Это не касается частного случая термодинамической энтропии. Энтропия в принципе безразмерна, так же как и вероятность, но общая формула для неё (см. приложение) допускает введение размерности, которая зависит от языка описания системы. Термин «язык описания» подразумевается в кибернетическом, информационном смысле.

*Термины: самоорганизация и эволюция приняты идентичными в этой статье.*