

РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ  
Секция «Информатика и радиоэлектроника»

Д. М. Платонов, И. Д. Платонов

**Информационная  
феноменология жизни**

Часть I

Внутриклеточные информационные  
отношения

МОСКВА  
2018

12+

**Иван Даниилович Платонов  
Даниил Михайлович Платонов  
Информационная  
феноменология жизни.  
Часть I: Внутриклеточные  
информационные отношения**

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=35749691](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=35749691)  
SelfPub; 2018*

**Аннотация**

Рассматриваются вопросы информационной феноменологии организации «живой материи». Обсуждение ведется на фоне описания развития современных информационных систем, опирающихся на компьютерные технологии, и в настоящее время практически охватившие все уровни общественных отношений. Затрагиваются аспекты единства и противоречия технико-физической реализации компьютерных систем и их программного обеспечения, и на этом фоне некоторые представления о единстве и противоречии «души» и «тела» в живой природе, определенные в этом случае биохимической структурой живой материи и информационными отношениями на основе генетической информации.

# Содержание

Некоторые ассоциации вместо введения	6
Подход к формированию феноменологической модели системы.	14
Некоторый феноменологический анализ систем	24
Фрактальность	33
Синергетическая организация и антропный принцип	41
Информация	48
Системность	49
Передача информации	52
Алфавит	55
Кодирование	58
Модуляция	66
Организация и управление передачей информации	70
Память	74
Тиражируемость	80
Вычислительная техника и вычислительные системы	89
Микропроцессоры и персональные компьютеры	99
Феноменологическая структуризация	102

вычислительных ресурсов и их сетевая организация	
Феноменологический подход к концепциям эволюции информационных систем.	108
Празжизнь	116
Системный катализ	126
Фрактальная структуризация	129
Хиральность	135
Информационные отношения	140
Программное управление с разделением программ и «данных»	145
Формирование «элементной базы и схемотехники» природных биотехнологий	150
Стандартизация информационных отношений	155
Кодирование	160
Формирование элементов инфраструктуры hardware	168
Начало жизни и прокариоты (Procarvota)	174
Краткий обзор становления компьютерных технологий.	178
Начало жизни	191
Прокариоты (Procarvota) и эволюция	205
Формирование прокариотной Жизни	206
Информационная архитектура прокариот	224
Структуризация программной информации	233
Прокариотная биосфера	242

Эукариотные клетки (Eucaryota)	256
Мультипрограммность компьютеров.	268
Информационное обеспечение жизни эукариотных клеток.	283
Диплоидность – парадигма структурной организации генетической информации эукариот	305
Митоз	330
Рибосома	341
Хромосомы	361
Оперативная (операционная) память	374
Регламент доступа к генетической информации	392
Эукариотная пространственная стратификация процессов синтеза нуклеиновых кислот.	398
Процессинг и формирование программной информации синтеза белков.	407
Митохондрии	415
Специализация эукариотных клеток для организации многоклеточных организмов	420
Заключение	431
Приложения	433
Приложение 1	433
Приложение 2	442
Именной указатель	445

**Даниил Платонов,  
Иван Платонов  
Информационная  
феноменология жизни.  
Часть I: Внутриклеточные  
информационные  
отношения**

**Некоторые ассоциации  
вместо введения**

*Науки о духе должны, исходя от наиболее общих понятий учения о методе и испытывая их на своих особых объектах, прийти до определенных приемов и принципов в своей области, совершенно так же как это сделали в свое время науки естественные. Не тем мы окажемся истинными учениками великих естественнонаучных мыслителей, что перенесем найденные ими методы в нашу область, а тем, что наше познание применится*

*к природе нашего предмета и что мы по отношению к нему будем поступать так, как они по отношению к своему. Natura parendo vincitur<sup>1</sup>. Первейшим отличием наук о духе от естественных наук служит то, что в последних факты выступают извне, при посредстве чувств, как единичные феномены, между тем как для наук о духе они непосредственно выступают изнутри, как реальность и как некоторая живая связь.*

*Вильгельм Дильтей*

*Все, что достойно того,  
И дважды сказать не постыдно.*

*Эмпедокл*

Жизнь – понятие, которое является предметом пристального внимания человечества на протяжении всей его истории. Как много по этому вопросу суждений! Но один из важнейших, на наш взгляд, аспектов – это единство и противоречие «души» и «тела». Вряд ли есть в мире человек, который не задумывался бы об этом. Естественно мы не берем на себя смелость сказать, что на этот вопрос существует в настоящее время исчерпывающий ответ. Но в середине XX столетия человечество создало электронные вычислительные машины (компьютеры), развитие которых своеобразно высветило аспект единства и противоречия технико-физической реализации компьютеров (*hardware*) и их программного обеспе-

<sup>1</sup> Латынь: Природу побеждает тот, кто ей повинуетя.

чения (*software*). В обоих случаях мы сталкиваемся с материальной и нематериальной субстанциями. Нет ли здесь аналогии? Вопрос заманчивый и, не делая поспешных выводов, мы пытаемся порассуждать на эту тему.

Имея определенный опыт работы с вычислительной техникой и информационно-вычислительными системами, мы предлагаем некоторые гипотезы аналогий информационных феноменологических аспектов развития живой природы и компьютерных систем. К сожалению мы не владем аппаратом (методом), позволяющим формально и безапелляционно доказать приемлемость той или иной гипотезы. Именно поэтому мы представляем нашу работу фактически в виде очерков<sup>2</sup>. Приводимые качественные рассуждения, на наш взгляд, позволят отойти от ряда сложившихся стереотипов и стимулировать процессы познания живого мира в несколько ином ракурсе. Тщим себя надеждой, что это может послу-

---

<sup>2</sup> В некотором смысле это по духу перекликается с концепциями Л.А. Заде из калифорнийского университета при введении теории нечетких множеств. *«Тот факт, что с помощью только логики и анализа нельзя создать новые идеи даже в прошедши долгого времени, уже давно стал своего рода аксиомой в области системотехники, имеющей дело с синтезом и оптимизацией крупных систем. Для этого разрабатываются различные эвристические методы... Научная методология требует логической строгости, но проблемы доказательства не вызывают энтузиазма. Причины этого явления в науке и технике, по-видимому, заключаются в том, что предпосылки и гипотезы, также как, в прочем, и аксиомы в математике, сами по себе нелогичны. Подобные проблемы решаются в настоящее время благодаря опыту и интуиции специалистов»*. Прикладные нечеткие системы. Под редакцией Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно. Перевод с японского Ю.Н.Чернышов. – М.: Мир, 1993.



жить некоторым подходом к гармонизации развития процессов информатизации, охвативших весь мир. К такому суждению нас подталкивает вся история развития науки. Именно качественная смена парадигмы позволяла в различных отраслях науки выходить на новые рубежи знаний. Мы были бы счастливы, если бы наши гипотезы, даже путем их отрицания, способствовали бы этому.

Термин *феноменология*<sup>3</sup> используется нами в его первоначальном, естественном значении без прямого соотнесения его с философской интерпретацией И.Канта, Ф.Брентано и феноменологического философского направления школ Э.Гуссерля, К.Твардовского, Ж.-П.Сартра и др.

И все же, нужно отметить, что влияние этих школ в определенной степени повлияло на авторов в выборе подхода исследований. По крайней мере, нам представляется ассоциация с позицией Э.Гуссерля: «*как таковая, феноменология начинается с редукции внешнего мира*». Это, так сказать, первый узловый момент гуссерлевской феноменологии. В соответствии с ней демонстрация необходимости редукции внешнего мира, так называемое "*трансцендентальное ероше*", осуществляется посредством анализа естественной установки и характеристики субъективности с позиций интенциональной природы сознания. Его декларация, что

---

<sup>3</sup> От греческого *φαινόμενον* – то, что кажется, что видится, от *φαίνεσθαι* – небесные явления, [к *φαίνο* – свечу(сь), являю, показываю] и *λόγος* – слово, суждение, беседа, тема.

*«...дедуктивная теоретизация в феноменологии исключена», сразу же дополняется продолжением этой фразы: «но косвенные заключения в ней прямо не запрещены; поскольку, однако, выводы феноменологии должны быть дескриптивными, чисто приспособленными к имманентной сфере, то умозаключения и всякого рода лишённые наглядной зримости приемы обладают в феноменологии лишь методическим значением, то есть они должны вести нас навстречу тому, что должно превратить в данность движущееся следом прямое созерцание сущности».*

Развитие современной фундаментальной и прикладной науки, возможно благодаря прагматической доминанте, в основном ориентировано на построение адекватной онтологической интерпретации возрастающего уровня научного познания. **Онтология**<sup>4</sup> – раздел философии, в котором рассматриваются всеобщие основы и принципы бытия, его структура и закономерности. На наш взгляд, онтологическая парадигма, в свою очередь, ориентированная в основном на экстенциональные свойства (связанные с объемом понятий и истинностным значением этих суждений), преднамеренно ограничена в возможностях представления интенциональных (связанных с содержанием понятий и смыслом этих суждений) свойств в интерпретации научного знания. Отдавая должное значимости онтологической парадигмы, приходится констатировать указанную ее ограниченность особен-

---

<sup>4</sup> От греческого *όν* – род, *όντος* – сущее и *λόγος*.

но на современном этапе из-за мощного пресса информатизации, оперирующей в значительной степени с нематериальными субстанциями не только в сфере науки, но и в структуре всего бытия человеческого общества.

Рассмотрение процессов информатизации (не только на современном этапе, но и на протяжении всей истории существования жизни на земле) как симбиоза категорий материальных объектов и нематериальных представлений о них вынуждает, на наш взгляд, обратиться к феноменологической парадигме с целью попытки выявления содержания и сущности трансформаций в ходе эволюции форм такого симбиоза. *Феноменологическая парадигма ориентируется нами на представление некоторой совокупности объектов и порождаемых ими отношений как явления, выделяющегося из всего многообразия состояний природы.*

Естественно эти представления нельзя оторвать от наших субъективных ощущений. Чтобы приблизить читателя к эмоциональному состоянию авторов, которое и вызвало попытку создания очерков, мы посчитали целесообразным вначале напомнить некоторые современные научные положения которые, на наш взгляд, способны инициировать несколько по-новому взгляд на окружающую нас жизнь. К тому же эти сведения в определенной степени отражают, пусть не формально, но все же, некоторый методологический базис, на который опираются авторы в своих рассуждениях.

Ранее уже упоминалось о некоторых философских шко-

лах, но более значимы для авторов были результаты, так или иначе связанные с информационными системами. Рассматриваемые в очерках явления, по крайней мере, методологически в значительной степени переплетаются с понятиями *система* и *системный подход*. основоположниками современной интерпретации этих понятий, которые получили широкое распространение в различных исследованиях живой и неживой природы, а также в теории различных искусственных систем можно считать группу Л.Берталанфи, которая в 30-х годах XX столетия предложила методологию комплексного анализа явлений на основе формальных моделей поведения систем.

Среди многих новых идей системного подхода при исследовании сложных природных явлений все большую значимость приобретает понятие фрактала, введенное в начале второй половины XX столетия франко-американским математиком Б.Мандельбротом из Исследовательского центра им. Томаса Уотсона (Thomas J. Watson Research Center) при IBM (International Business Machines, США). Современная математика обнаружила проявление фрактальных множеств в решениях весьма многих задач.

Другим направлением, в котором получены результаты, на наш взгляд оправдывающие саму постановку представляемых рассуждений, является синергетика. Исследования в этой области позволяют найти направления выведения из ареала «высшего промысла», например, такие вопросы, как

антропный принцип и корреспондирующие с этими взглядами обще методологические подходы к эволюции живой природы.

И, наконец, достижения информатики и вычислительной техники, которые на глазах преобразуют наш мир, являясь, возможно, основой эры ноосферы на Земле.

Попробуем кратко представить некоторые результаты указанных научных направлений не в строгой их научно-обоснованной формальной интерпретации, а в некоторой совокупности ассоциаций, обусловленных авторским эмоциональным восприятием.

# **Подход к формированию феноменологической модели системы.**

Рассмотрение, в преддверии дальнейших исследований, вопросов, связанных с построением системной модели, кажется авторам целесообразным в целях показа подходов к методологии, на основе которой происходят дальнейшие рассуждения.

Попытки строгого определения понятия системы до сих пор не принесли желаемых результатов, что, на наш взгляд, подчеркивает фундаментальность этого свойства организации в природе вместе с другими фундаментальными атрибутами нашего представления о ней. С другой стороны, это, по-видимому, связано и с тем, что для каждого направления исследований, в определенной мере, необходима собственная интерпретация представления системы.

При построении и анализе систем обычно выделяют два аспекта: внешнее представление системы, связанное с увязкой ее с окружающей средой (будем называть такое представление трансцендентным), и внутреннее (имманентное) представление о содержании системы. В связи с этим одним из возможных подходов, по крайней мере, для первого качественного приближения, может явиться феноменологи-

ческий анализ, парадигмой которого являются два аспекта: **взаимоотображение** системы и среды и их **межграницные отношения**.

Можно отметить общую тенденцию включения влияния внесистемных объектов непосредственно в модель системы на определенных этапах ее исследования. Например: внешний интерпретатор для прагматического анализа семиотических систем (А.Черч); измеритель для систем квантовой физики, приводящий к принципу неопределенности Гейзенберга; показатели эффективности в структуре метасистемы для сложных технократических структур (Д.Конторов, Ю.Голубев-Новожилов) и ряд других известных подходов, которые устраняют, либо регламентируют неопределенности сугубо имманентного описания систем. Более того, даже в классической постановке теории динамических систем жестко оговаривается представление внешней среды, например, в виде множества допустимых входных воздействий, выходным отображением и направленностью времени. В отношении информационных систем, например, академик Академии Криптографии РФ профессор С. П.Расторгуев подчеркивает: *«Весь жизненный путь информационной системы, способной к обучению<sup>5</sup>, неразрывно связан с определением себя относительно отношений к окружающим субъектам и объектам, а также (иногда) к самой себе».*

Возможно, одним из наиболее сильных формальных ос-

---

<sup>5</sup> Другими словами – “открытой системы”.

нований дуализма представления системы трансцендентными и имманентными аспектами является теорема К. Гёделя «О неполноте». В своей статье, содержащей доказательство теоремы о неполноте, К. Гёдель замечает: *«Это обстоятельство не связано с какой-либо специфической природой этих систем, напротив, оно имеет силу для очень широкого класса формальных систем, к которым, в частности, принадлежат все системы, получающиеся из упомянутых двух посредством присоединения к ним конечного числа аксиом, если только это присоединение не приводит к тому, что доказуемым становится какое-либо ложное предложение»*<sup>6</sup>. В этом смысле любые модели, включая построенные на феноменологической основе, по своей формальной сути полностью совпадают с упомянутыми К.Гёделем классом формальных систем, вследствие чего на них обоснованно распространяется тезис о неполноте представления на основе лишь имманентных аспектов.

Формирование взаимоотображений системы и среды связано, в первую очередь, с определением границы системы. Нетривиальность этой процедуры определяется во многом неопределенностью самого фундаментального понятия «система». Например, в классическом определении динамической системы ее атрибутом является множество допустимых

---

<sup>6</sup> В данном случае речь идет об аксиоматическом подходе построения формальных систем Principia Mathematica и аксиом Цермело – Френкеля для теории множеств, развитых в дальнейшем Дж. фон Нейманом.



входных воздействий, но ведь это атрибут внешней среды. Точно так же понятие границы системы размывается при попытке ее определения через понятие эффективности, что приводит к необходимости рассмотрения структуры метасистемы, которая, в свою очередь, порождает следующий цикл неопределенности.

В реальных условиях можно считать, что имеется некоторое идентифицирующее свойство, позволяющее выделять систему  $S$  из окружающей среды. Назовем это свойство *границей системы*. Сейчас речь не идет о самом правиле выбора этого свойства. Главное, что такое свойство является фундаментальным феноменологическим атрибутом системы. По-видимому, здесь проявляются некоторые аналогии эксклюзивности понятий фундаментальных абстрактных категорий, к которым, несомненно, относится и понятие «система». Некоторая близость проблемы дефиниции в этом случае, на наш взгляд, возможно, наблюдается с развитием такого фундаментального понятия математики, как *множество* в некоторый новый уровень абстракции, представленной в математической «Теории категорий».

Приведем в этом плане некоторые выдержки из замечательного учебника «Основы теории категорий» отечественных математиков М.Цаленко, и Е.Шульгейфера из Московского государственного университета. «Характерной чертой современной математики является изучение математических объектов вместе с отображениями этих объек-

тов друг в друга, согласованными со структурой объектов: теория множеств немыслима без отображения множеств, топология немыслима без непрерывных отображений, алгебра немыслима без гомоморфизмов алгебраических систем и т.д. Обычно объекты образуют категорию<sup>7</sup>... В то время как Теория множеств имеет дело с объектами, называемыми **классами**, для которых определено бинарное отношение принадлежности  $\in$  ( $A \in B$  читается: **A** есть элемент **B**)<sup>8</sup>..., то, в отличие от этого, **категория** состоит из класса, элементы которого называются объектами, и класса, элементы которого называются морфизмами»<sup>9</sup>.

В нашем рассмотрении оставим в стороне вопросы полноты определения понятия «система». Остановимся лишь на введенном понятии **границы системы**. Такая стратификация порождает два указанных традиционных системных подхода, отражающих внутренний (имманентный – **Im**) и внешний (трансцендентный – **Tr**) аспекты представления системы.

Внешнее, прагматическое восприятие системы трансцендентным наблюдателем обычно связывается с возможностями ее взаимовлияния с внешней средой. В информационных

---

<sup>7</sup> На наш взгляд это можно отнести к любой формализуемой теории.

<sup>8</sup> Это, в определенной степени, отражает главное феноменологическое свойство теории множеств, естественно в сопровождении существенного аксиоматического обрамления с целью исключения возможных парадоксов.

<sup>9</sup> На наш взгляд именно этот дуализм является принципиальной феноменологической особенностью абстракций теории категорий.

системах такое представление ассоциируется с *проблемной областью* функционирования системы. Обозначим такое представление системы  $S_{TT}$  (чисто трансцендентный взгляд). В какой-то степени одной из интерпретаций такого представления системы является понятие «черного ящика», при котором внешнему наблюдателю доступны лишь входные и выходные величины, а внутреннее устройство и процессы, протекающие в системе, неизвестны.

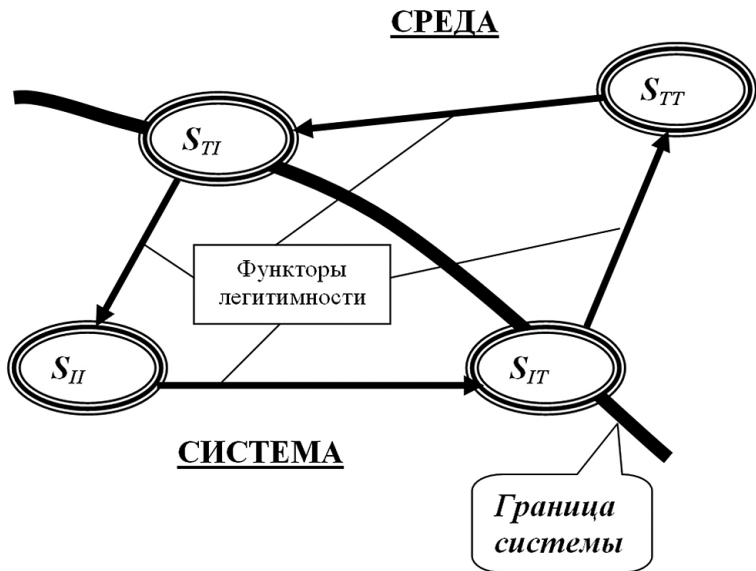
Реальное воплощение системных возможностей осуществляется на основе представления и реализацией трансцендентным наблюдателем перечня конкретных процедур, обеспечивающих согласованность процессов, протекающих во внешней среде, непосредственно с элементами системы. Это, как бы взгляд из внешней среды сквозь границу системы с целью реализации необходимого взаимодействия. Обозначим такое представление системы  $S_{TT}$  (взгляд трансцендентного наблюдателя сквозь границу системы). Такое представление можно соотнести с понятием *архитектуры*.

Непосредственная морфология и структура системы со спецификацией ее объектов и их отношений определяет ее внутреннее (имманентное) содержание. Обозначим это представление  $S_{II}$ . Достаточно часто интерпретация этого представления связывается с понятием структуры системы. Здесь возможно просматривается ассоциация с математическим понятием структуры как частично упорядоченного множества. Одним из видов интерпретации такого представ-

ления системы является понятие «белого ящика», при котором наблюдателю полностью доступно описание внутренне-го устройства и процессов, протекающих в системе.

«Самоощущение» системы по отношению её жизни в окружающей среде представляет собой как бы взгляд изнутри системы сквозь ее границу на внешний мир. Обозначим эту форму представления системы  $S_{IT}$ . Интерпретация этого представления может быть весьма различна даже для одной конкретной системы, но обычно для реальных систем она тем или иным способом связана с «жизнеобеспечением» (в частности, энерго– или ресурсообеспечением) системы и с проблемами «экологической совместимости» функционирования системы в окружающей среде. Это естественно для любых открытых систем, жизнедеятельность которых по каким-либо показателям обеспечивается или поддерживается за счет привлечения внешних ресурсов окружающей среды. Для искусственных систем, особенно для организационно и общественно значимых, в частности в бизнесе, это представление в значительной степени ассоциируется с понятием и представлением «*миссии*» системы. Целью этого класса систем является не только и не столько обеспечение существования и жизнеспособности системы, а активное воздействие на окружающую среду, которое определяется именно *миссией* этих систем. Именно императив миссианства является предпосылкой и основой создания, формирования и организации их жизнедеятельности.

Таким образом, совокупность композиций имманентного и трансцендентного аспектов порождает феноменологическое многообразие модели представления систем:  $S = \{S_{TT}; S_{TI}; S_{II}; S_{IT}\}$ .

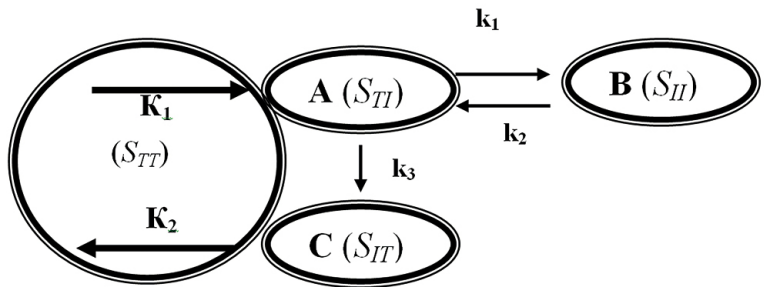


Феноменологическое многообразие модели представления системы на основе композиции представлений внешнего (трансцендентного) и внутреннего (имманентного) наблюдателей.  $S_{TT}$  – модель внешнего, прагматического восприятия системы трансцендентным наблюдателем (модель «черного ящика»).  $S_{II}$  – непосредственная морфология системы со

спецификацией ее объектов и их отношений, определяющая ее внутреннее (имманентное) содержание. Достаточно часто интерпретация этого представления связывается с понятием структуры системы (модель «белого ящика»).  $S_{II}$  – взгляд из внешней среды сквозь границу системы с целью реализации необходимого взаимодействия (ассоциируется с архитектурой системы).  $S_{IT}$  – «самоощущение» системы по отношению её жизни в окружающей среде, представляющее собой как бы взгляд – модель, изнутри системы сквозь ее границу на внешний мир.

Отметим, что приведенная стратификация феноменологической модели систем отражает лишь «скелет» системных отношений. Содержательное наполнение каждой формы представления системы основывается на конкретных факторах, связанных, как с вопросами воплощения системы, так и с целью создания модели. Действительно, какую-либо конкретную систему (не абстрактную, т.к. любая абстракция это уже, по сути дела, некоторая модель) невозможно представить во всей ее полноте некоторой ограниченной конкретно-содержательной моделью. Любая модель отражает лишь отдельные стороны системы, выбранные принципиально для этого процесса моделирования. Именно поэтому конкретное наполнение рассмотренных форм представления системы определяется целью моделирования, исходя из которой, создаются необходимые абстракции.

Это можно проиллюстрировать на примере классической модели простой открытой системы, рассмотренной Л.Берталанфи.



Интерпретация модели простой системы Л.Берталанфи в представлениях феноменологической модели. Компонент **A** вводится в систему и превращается в результате обратимой реакции в **B**; одновременно с этим путем необратимой реакции происходит катаболизация и полученный продукт **C** в конечном счете выводится из системы.  $K_1$ ,  $K_2$  – константы ввода и вывода;  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – константы реакции. Данная модель в общих чертах соответствует, например, протеиновому обмену в живом организме, где **A** – аминокислоты, **B** – протеины, **C** – продукты физиологического выделения.

Кажущийся концептуально созерцательный характер феноменологической модели системы в ряде случаев может быть доведен до аналитического применения. Возможно-

сти этого, например, возникают, когда введенные компоненты феноменологического многообразия конкретной системы можно представить с помощью математического понятия «*категория*». Обаятельность такого представления связана с тем, что в отличие от математической модели теории множеств, в теории категорий аксиоматически задаются представления о классах объектов и морфизмов, отражающих отношения между объектами. Это перекликается с представлением мира в ипостасях материальной части и некоторого нематериального (например, информационного) описания отношений элементов материальной структуры. Примеры такого представления систем активно рассматриваются отечественными исследователями, некоторый спектр которых, например, приведен в дважды переиздававшейся монографии Л. Т. Кузина: «Основы кибернетики».

## **Некоторый феноменологический анализ систем**

Как подчеркивал английский математик П. Т. Джонстон, одной из принципиальных особенностей теории категорий является то, что она принимает “морфизм” (отношения между объектами), как первичное понятие на одном уровне с понятием “объект”. При несомненном различии философского и математического определения категорий, в методологическом отношении обращает на себя внимание тот факт,



что сам по себе принцип категориального представления о предмете познания предопределяет много общего, развиваемого в теории познания, понимания механизмов формирования этого представления. Формирование категориального феноменологического представления системы, как и в теории познания, осуществляется одновременно с формированием категории представления системы субъектом, при этом для фиксированного феноменологического представления все необходимые свойства системы оказываются однозначно определенными категорией представления.

Интересным свойством формализации «условий жизни» системы в рамках феноменологического описания является присутствие в ней потенциальных возможностей исследования эволюции и коэволюции систем в условиях имманентной и трансцендентной изменчивости. Для живых систем это связано с процессами онто- и филогенеза. Для искусственных систем это ассоциируется с процессами, которые в последнее время связываются с понятием «*strategic up grade*», определяющий реальные процессы реструктуризации системы в её жизненном цикле. Достаточно часто можно наблюдать ситуации, при которых реструктуризация какого-либо уровня феноменологической стратификации системы может приводить к катастрофической развязке, т.е. к реальной или формальной гибели системы, а может и не приводить к такой ситуации. Вследствие этого, не смотря на внутренние или внешние причины возникновения ре-

структуризации каких-либо системных уровней, возможно обеспечение продолжения существования системы. Например, распространение видов может сопровождаться реструктуризацией трансцендентного уровня, но за счет мобилизации внутренних потенций имманентного уровня обеспечивается жизнеспособность вида в новых условиях.

Другим примером является имманентная реструктуризация. И в этом случае возможны варианты, когда потенциальные возможности внешних слоев феноменологической стратификации системы обеспечивают условия ее жизни. Это – возникновение нового вида. Хотелось бы отметить, что тезис реструктуризации порой более естественен, на наш взгляд, чем концепция эмерджентности – спонтанного создания качественно новых системных образований. Ни история развития искусственных систем, ни представления об эволюции живого мира не дают нам в явном виде таких феноменов именно с точки зрения спонтанности возникновения нового качества. В реальных условиях явление эмерджентности – скачкообразного появления нового качества, обычно является следствием реализации вполне легитимных ситуаций на основе избыточных потенциальных возможностей каждого феноменологического уровня системы. Можно, пожалуй, в этом смысле отметить, что реструктуризация – это представление о содержательной стороне преобразования имманентных аспектов, в то время как эмерджентность суть трансформации трансцендентных представлений.

Наряду с вопросами устойчивости условий существования и развития систем естественно встает проблема завершения их жизненного цикла. Понятие «жизненного цикла» уже давно переключалось из сферы биологии в проблематику искусственных технических систем. Не подтверждает ли это лишней раз феноменологическое единство системного подхода, которое было высказано уже его основателем Л.Берталанфи. По-видимому, понятие жизненного цикла для реальных открытых систем является обязательным атрибутом и феноменологически фундаментально для них так же, как и понятие границы системы. В обще созерцательном плане можно отметить, что возможно именно в этом понятии отражаются единство и противоположность материального воплощения систем и системных отношений.

Завершение жизненного цикла системы, также как и в предыдущих рассуждениях, может быть связано с вопросами реструктуризации различных уровней феноменологической стратификации систем. Нам представляется интересным отметить два аспекта: завершение жизненного цикла отдельного образца системы (особи, индивидуума) и определенного класса систем (например, биологического вида). В обоих случаях возможны имманентные и трансцендентные причины, но акценты и феноменологическая интерпретация гибели образца и класса систем, на наш взгляд, различны.

Исключим из рассмотрения ситуации абсолютных катастроф, при которых происходит полная деструктуризация

того или иного уровня феноменологической стратификации систем. Очевидно, что в этом случае представление о системе теряет полностью смысл вследствие отсутствия, по крайней мере, представления о ее границе, как фундаментальном свойстве системы. Представим наше мнение о возможных сценариях окончания жизненного цикла образцов и классов систем.

Если существуют непреодолимые причины реструктуризации имманентного уровня  $S_{II}$  феноменологической стратификации, которые не могут быть компенсированы потенциальными возможностями поддержания легитимности системных отношений за счет других уровней, то каждый образец системы гибнет, но класс систем сохраняется (персонализированная деградация представителей системного класса). Этой ситуацией для технических систем занимаются, практически, все инженерные и производственные силы общества. Методологическая основа этой проблематики в рассматриваемом феноменологическом ракурсе заложена в наибольшей степени, пожалуй, в теории надежности. Для биологических систем это предмет деятельности всей совокупности биологических наук и медицины.

Реструктуризация любых других уровней феноменологической стратификации, которая не может быть компенсирована потенциальными возможностями поддержания легитимности системных отношений, приводит к неминуемой гибели класса систем.

Выделим здесь уровни  $S_{IT}$  и  $S_{II}$  феноменологической стратификации систем, реструктуризация которых, на наш взгляд, является основой формирования экологической проблематики. По всей видимости, и большинство медицинских проблем обусловлено реструктуризацией именно этих уровней. Для искусственных систем, к которым можно причислить и общественное обустройство, по-видимому, реструктуризация межграничных уровней  $S_{IT}$  и  $S_{II}$  феноменологической стратификации систем является полем деятельности по проблематике безопасности в широком смысле этого понятия.

Отметим для технических систем последствия реструктуризации уровня  $S_{IT}$  феноменологической стратификации систем. Даже в условиях возможной потенциальной компенсации реально происходящей реструктуризации, например, для технических систем возникает эффект, так называемого, «морального старения». Преодоление этого феномена связывают обычно со «стратегией up grade», обеспечивающей без разрушения системы ее перевод в состояние необходимого уровня общесистемной легитимности.

Одной из проблем моделирования систем является обеспечение полноты представления реальной системы её моделью. Эта проблема особенно обостряется при исследовании гетерогенных систем, компоненты которых участвуют одновременно в обеспечении и выполнении различных процессов, связанных с функционированием (жизнью) системы.

Подход категориального описания моделей системы в определенной степени обеспечивает возможности построения многообразия категориальных описаний, упорядочение которых определяется функторными отношениями. Подобный же подход возможен как при дифференциации, так и при интеграции системных объектов. Такая конвергенция модельного описания систем подчеркивает определенную симметрию систем на разных уровнях их декомпозиции по произвольным факторам дифференцирования и независимо от масштаба представления системы.

Актуальность системного подхода на основе феноменологической модели при рассмотрении Живой природы, на наш взгляд, достаточно ярко иллюстрируется позицией академика Российской академии наук Г. А. Заварзина, которую он представил в докладе *«Эволюция микробных сообществ»* на теоретическом семинаре геологов и биологов *«Происхождение живых систем»* в августе 2003 г., Горный Алтай. *«...жизнь изначально дискретна и не может быть представлена в виде "супа живого вещества". Она представлена организмами. Слово прямо предполагает определенную организацию, основанную на взаимодействии компонентов. Простейший организм представлен прокариотной клеткой, включающей 4 компонента: мембрану, генофор ДНК, аппарат синтеза белка (рибосому), цитоплазму, представляющую кастрюлю, где создаются предшественники и идут*

процессы метаболизма<sup>10</sup>. Ни один компонент не может существовать без взаимодействия с другими. Отсюда жизнь и является свойством системы, в то время как отдельные компоненты несут лишь отдельные функции. Организм как носитель жизни существует лишь как составная часть "экосистемы", включающей среду обитания... Все, что не является организмом, не является живым... Если вы исследуете вот эту систему, вы должны учесть не только элементы системы, но вы должны учесть, во-первых, в какую большую систему вписывается исследуемая вами система, и второе, какие подсистемы работают внизу». Именно методология системного анализа, на наш взгляд, сподвигла академика Г. А.Заварзина к гипотезе дать операционное определение жизни «как эмерджентное свойство системы компонентов, объединенных в организм».

Приведенные рассуждения о структуре феноменологической модели систем ориентированы на методологию дальнейшего представления материала. Оценивая качественные

---

<sup>10</sup> От греческого *μεταβολισμος* – перемена: обмен веществ – совокупность процессов *анаболизма* и *катаболизма* в живых организмах. Анаболизм – от греческого *αναβολισμος* – подъём: совокупность реакций обмена веществ в организме, соответствующих *ассимиляции* (от латинского *assimilation* – уподобление, сопоставление) – образование в организме сложных органических веществ из более простых. Катаболизм – от греческого *καταβολισμος* – сбрасывание вниз: совокупность реакций обмена веществ в организме, соответствующих *диссимиляции* (от латинского *dissimilation* – расподобление) – распад сложных органических веществ, обычно сопровождающийся освобождением энергии, используемой в процессах жизнедеятельности организма.

явления развития живой природы, внимание, по возможности, уделяется всем сторонам феноменологического многообразия описания каждого этапа эволюции жизни на земле. Это, на наш взгляд, позволяет методологически поддержать, по крайней мере, в рамках представленной феноменологической модели, системность подхода при описании рассматриваемых явлений.



# Фрактальность

Одним из оснований, порождающих дискуссии об эволюции живого мира (и в определенной степени обеспечивающих живучесть теорий целенаправленности развития жизни), является кажущееся несоответствие скорости реализации процедур естественного отбора и времени существования жизни на Земле. Случайный перебор на молекулярном уровне вследствие практической бесконечности вариантов фактически исключает возможность закономерной эволюции, что создает впечатление необходимости присутствия промысла высших сил. Попытки рационального объяснения закономерностей развития не только живой природы, но и материального мира в целом не покидали человечество на протяжении всей истории.

Одним из подходов преодоления кажущегося противоречия были попытки установления некоторых общих принципов структуризации материи, на основании которых реализуются рациональные пути ее развития, существенно ограничивающие количество возможных вариантов формообразований. Наиболее значительной парадигмой такого подхода, вдохновляющей людей на всем протяжении их попыток познания мира, является идея симметрии. Говоря словами замечательного немецкого ученого Г. Вейля, внесшего, быть может, решающий вклад в современное понимание ро-

ли симметрии в науке, искусстве и философии, симметрия – в широком или узком смысле – является той идеей, посредством которой человек на протяжении веков пытался постичь и создать порядок, красоту и совершенство.

Симметрия воспринимается как фундаментальное свойство природы, с которым связаны «законы сохранения» (энергии, количества движения и др.), свойства элементарных частиц, строение атомов и молекул, структура кристаллов и т.п. Развитие физики элементарных частиц происходило под знаком все углубляющегося понимания той исключительно важной роли, которую играют свойства и принципы симметрии в строении микро– и макромира, в определении, как состава элементарных частиц, так и основных закономерностей их взаимодействий. В физику была перенесена концепция Ф.Клейна, утверждающего симметрию как образующий принцип геометрии.

Симметрия в формах биологических тел издавна вызывала пристальный интерес как одно из наиболее замечательных и загадочных явлений природы. С вопросами о биологических симметриях связаны многие направления и концепции в биологии, например, закон гомологических рядов Н. И.Вавилова, теория морфогенетического поля А. Г. Гурвича, гипотеза В. И.Вернадского о неевклидовой геометрии живого вещества, биологическая значимость реакционно диффузионной модели морфогенеза А. М.Тьюринга и др.

Принципиально новые возможности открываются при

рассмотрении биологических структур с позиций фрактальных объектов. Инвариантность по отношению к масштабу является как бы свойством «симметрии» фрактальных объектов, которая создает возможности формирования «законов сохранения», позволяющих представить их как определенный *universum*.

Английский ученый Л. Ф.Ричардсон измерял с помощью обыкновенной рулетки длину определенного участка побережья Англии. Естественно было думать, что при уменьшении шага рулетки периметры получаемых «вписанных в побережье» ломанных будут стремиться к конечному пределу, указывающему длину побережья. Однако в силу большой изрезанности побережья получаемые числа неограниченно возрастали, откуда Л. Ф.Ричардсон вывел, что «математически» побережье представляет собой не линию, а какой-то странный образ с пространственной размерностью промежуточной между 1 и 2.

Существуют и более ранние примеры описания подобных «странных» объектов. Г.Кантор с помощью простой рекурсивной (повторяющейся) процедуры превратил линию в набор несвязанных точек (так называемая Пыль Кантора). Он брал линию и удалял центральную треть и после этого повторял то же самое с оставшимися отрезками. Множество точек, оставшееся после удаления всех этих интервалов называется канторовым множеством. Оно не содержит не одного отрезка и в тоже время имеет мощность континуума. Контину-

ум<sup>11</sup> – мощность множества действительных чисел, которая обозначается введенным Г.Кантором символом  $\aleph$ . Известно, что мощность  $\aleph$  больше мощности  $0, \aleph$  счетных множеств.

Д.Пеано нарисовал особый вид линии (кривая Пеано), являющейся непрерывной кривой в смысле Жордана<sup>12</sup>, целиком заполняющей некоторый квадрат, т.е. проходящая через все его точки.

Кривая Пеано и пыль Кантора выходили за рамки обычных геометрических объектов. Они не имели четкой размерности. Пыль Кантора строилась вроде бы на основании одномерной прямой, но состояла из несвязных точек (размерность 0). А кривая Пеано строилась на основании одномерной линии, а в результате получалась плоскость. Вплоть до XX века шло накопление данных о таких странных объектах, без какой либо попытки их систематизировать. Так было, пока за них не взялся франко-американский математик Б.Мандельброт – отец современной фрактальной геометрии, который и предложил термин «фрактал»<sup>13</sup> для описания объектов, структура которых повторяется при переходе ко все более мелким масштабам.

Фрактал можно определить как объект произвольно слож-

---

<sup>11</sup> От латинского *continuum* – непрерывное.

<sup>12</sup> Жорданова кривая, геометрическое место точек  $M(x, y)$  плоскости, координаты которых удовлетворяют уравнениям:  $x=\varphi(t)$ ,  $y=\psi(t)$ , где  $\varphi$  и  $\psi$  – непрерывные функции аргумента  $t$  на некотором отрезке  $[a, b]$ . Иначе, Жорданова кривая есть непрерывный образ отрезка  $[a, b]$ .

<sup>13</sup> Латинское *fractus* означает «составленный из фрагментов».

ной формы, получающейся в результате простого итерационного цикла. Итерационность и рекурсивность обуславливают такие свойства фракталов, как *самоподобие* – отдельные части похожи на весь фрактал в целом. Уникальным свойством фрактальных тел является их нецелочисленная размерность, что приводит к зависимости плотности фракталов от масштаба.

Большое внимание при исследовании систем уделяется тезису, обобщенно представляемому в виде – «*целое больше суммы его частей*», что является принципиальным отрицанием механистического мировоззрения – «целое является суммой его частей». Преодоление этого противоречия возможно на основе гипотезы представления систем как фрактальных объектов, которые обладают нецелочисленной размерностью. Этим фактором объясняется зависимость плотности фрактальных объектов от их масштаба при неизменности структуры. Плотность фрактала уменьшается с увеличением его размеров. Не по тем же ли причинам при системной организации ресурса обеспечивается увеличение его качественных возможностей и стимулировании эффекта эмерджентности?

По отношению к масштабу представления фрактальные объекты обладают определенной инвариантностью, являющейся как бы их симметрией. Это создает возможности формирования определенных «законов сохранения», что созвучно с многообразием представления систем феномено-

логической моделью. Вопросы межкатегориальных отношений в определенной степени могут рассматриваться на основе введенного в математической теории категорий функтора. Свойство уменьшения плотности фрактала с увеличением его размера крайне перспективно для живых организмов. При увеличении сферы активности во внешней среде экономятся внутренние ресурсы (биомасса и связанные с ней энергетические затраты). Образно говоря, чем больше фрактальная структура, тем большее количество ресурса внешней среды связано с каждым отдельным элементом фрактала. Возможно, это обуславливает многообразие и необычность форм биологических объектов, а также проявление системных закономерностей в виде, например, гомологических рядов Н. И. Вавилова. Универсальность образований в Природе на основе фрактальной организации отмечается достаточно широко. Рассматривая проблемы естественного и искусственного интеллекта С. П. Расторгуев так характеризует его структуризацию: *«Он должен содержать в себе своё алгоритмическое самоподобие в виде множества интегрированных компонент, способных к различным видам взаимозависимой деятельности»*. Фактически на основе фрактальной структуризации материи во Вселенной академик Российской академии наук С. С. Григорян выдвинул, например, космологическую гипотезу, которая позволяет представлять феномен «Большого взрыва» как некоторое локальное явление некоторого масштаба фрактальной организации Вселен-

ной.

В качестве иллюстрации формирования фрактальных структур достаточно интересна модель фрактального роста на основе агрегации, ограниченной диффузией, предложенная Т. А. Уиттеном и Л. М. Сандером, из фирмы Exxon Research and Engineering Company. Представим себе объект – кластер, растущий следующим образом: время от времени к нему присоединяется одна молекула, так что когда частица входит в контакт с растущим объектом, она прилипает к нему и не ищет другого места, а, попросту говоря, остается на месте. Такой процесс называется агрегацией. Он представляет собой крайний пример неравновесного процесса роста, поскольку в нем совершенно отсутствует перепорядочение. Теперь предположим, что частицы диффундируют к кластеру в ходе случайного движения, т.е. последовательности шагов, длина и направление которых определяется случайным образом.

Благодаря наличию «шума», или случайной статистики, в движении частиц на поверхности образуются мелкие бугорки и ямки. Бугорки растут быстрее ямок, потому что, приходя по изломанным траекториям, частицы с большей вероятностью прилипнут к вершине бугорка или в ее окрестности. На пути в глубь ямки частица почти наверняка скорее прилипнет к стенке, чем достигнет дна. Благодаря преимущественному осаждению частиц вблизи вершины бугорка он становится круче. В результате заполнение ямок становится

все менее вероятным. Не являются ли всем известные кружева сосулек на крышах домов демонстрацией роста фрактальных объектов на основе агрегации, ограниченной диффузией?

Этот пример фрактального роста приведен для иллюстрации возможности относительной простоты процессов, создающих фрактальные структуры. Существенным здесь является не сложность процесса, а его нелинейность в смысле математического описания. Этот фактор, по-видимому, был определяющим в том, что еще задолго до Б.Мандельброта математики, рассматривающие такие структуры, окрестили их «чудовищами». В то время уровень и возможности математической науки был весьма ограничен для исследования нелинейных процессов.

Активное внедрение в математические исследования компьютерных технологий существенно сдвинуло возможности анализа нелинейных систем, стимулируя развитие направления исследований, которое получило название *синергетика*.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> От греческого *δυνεργια* – содействие, соучастие.



# Синергетическая организация и антропный принцип

Одним из побуждающих тезисов для проводимого авторами анализа, или даже императивом, явилось обсуждение, так называемого, антропного принципа. Именно, исходя из него возникла попытка рассмотрения и обсуждения причин эволюции живой природы. Антропный принцип имеет длительную мировоззренческую предысторию, начало которой теряется в истоках человеческой культуры. Идея единства человека и Вселенной разрабатывалась во многих философских и религиозных учениях. На рубеже 20-х веков эта проблема стала все больше привлекать внимание естествоиспытателей, что привело к попыткам более строгих формулировок, как самого принципа, так и концептуального фона, на котором он проявляется. Один из авторов современной интерпретации антропного принципа Б.Картер противопоставлял его безапелляционному тезису, что *«мы не должны, не имея на то оснований, предполагать, что занимаем центральное положение во Вселенной»*. Эта догма, по мнению Б.Картера, несостоятельна, если принять во внимание, что «а) необходимой предпосылкой нашего существования являются благоприятные условия (температура, химический состав окружающей среды и т. д.), б) Вселенная эволюционирует и не является пространственно однородной». Отсю-

да следует, что *«хотя наше положение не обязательно является центральным, оно неизбежно в некотором смысле привилегированное»*. В чем же состоит эта привилегированность? Большинство исследователей, занимающихся антропным принципом, имеют в виду связь процессов формирования во Вселенной сложно организованных структур (вплоть до человека) не только с локальными, но, прежде всего, с глобальными свойствами расширяющейся Вселенной. Этим подчеркивается определенная универсальность мироздания.

На основе этого антропный принцип представляется не как какое-либо мистическое обоснование появления и развития жизни на Земле, а как, в определенной степени, квинт-эссенция результатов теории синергетического анализа, касающихся вопросов эволюции открытых систем в модели современного мира. Обращая внимание на различие в глубине и сложности механизмов моделей классического системного анализа и синергетического подхода, академик Российской академии наук Н. Н.Моисеев, указывая на их связь, подчеркивал отличие эволюции синергетических систем от эффектов простой эмерджентности (спонтанного скачкообразного возникновения нового качества). Синергетический подход обуславливает возможность анализа коэволюции системы в условиях изменяющейся внешней обстановки, но наиболее принципиальное, на наш взгляд, это то, что синергетический подход дает возможность *объяснения эволюции открытых систем не как следствие реакции на измен-*

*чивость внешней среды, а как процесс развития системы на основе ее внутренних, имманентных факторов в достаточно широком диапазоне стабильности внешней среды.*

Работы школы члена-корреспондента Российской академии наук, директора Института прикладной математики имени М. В. Келдыша Российской академии наук С. П. Курдюмова по исследованию нелинейных открытых систем вскрыли процессы их самоструктуризации из первичного «хаоса» не на основе влияния внешних возбуждений, а именно вследствие нелинейности внутрисистемных процессов. Это приводит, на первый взгляд, к парадоксальному явлению: система самоусложняется, а ее структуризация приводит к снижению энтропии не за счет какой-либо внешней «воли», а именно вследствие объективных внутрисистемных (не мистических) потенций. Такое «самосовершенствование» систем вначале было обнаружено отнюдь не на живых системах, а в процессах горения и термоядерного синтеза, что позволяет оставить в покое на этом уровне влияния сверхъестественных сил.

Феноменологический аспект явления возможности имманентного системного самосовершенствования позволяет в несколько новом ракурсе взглянуть на процессы эволюции и коэволюции открытых систем. Признавая живую природу объективно существующей реальностью, следует признать, что нет каких-либо веских причин, исключающих возмож-

ность ее имманентного самосовершенствования и усложнения. Если это так, то «генератором» эволюции может выступать не внешняя среда (или ее изменчивость), а именно имманентные свойства организации живой природы. Согласование процессов жизни в живой природе и их объединений со средой порождает процессы коэволюции, которая реализуется по достаточно жестким правилам естественного отбора. Бескомпромиссность этих правил наряду с изменчивостью среды, которая вызвана как внешними гео- и космофакторами, так и влиянием самой живой природы на нашу планету, ограничивают время жизни элементов живой природы, создавая, по-видимому, условия не только поддержания процессов эволюции, но и возможно, при определенных условиях, их ускорение.

Кому-то представленная позиция может показаться очередной убогой интерпретацией автогенеза (номогенеза Л. С. Берга; витализма, берущего свое начало от Платона и Аристотеля, с его энтелехией; аристокенезом с аристокенами), либо ортоламаркизма, психоламаркизма Ламарка, с их заранее определенной причинностью, целесообразностью развития и сверхестественным жизненным началом, а возможно, наоборот, с эктогенезом, рассматривающим историческое развитие живой природы как процесс прямого приспособления организмов к среде и простого суммирования изменений, приобретаемых организмами под воздействием среды. Выбор такого суждения – право читателя. Претензия

очерков не распространяется на декларацию обустройства мира, истинной причинности и целесообразности его существования, включая живую природу. Следует подчеркнуть, что рассматриваются ситуации отсутствия внешнего волевого, целенаправленного воздействия на процессы эволюции систем и процесс коэволюции происходит лишь за счет естественных объективных факторов взаимодействия систем с окружающей средой. Именно в этих условиях, как отмечено, теория исследования систем выявила предпосылки и возможности реализации неуправляемого (в смысле конечной цели) процесса эволюции (усложнения) открытых систем и их последовательного совершенствования в результате естественного отбора, обеспечивающего коэволюцию с внешней средой.

В этом смысле антропный принцип можно интерпретировать как реализацию последовательности стадий естественной самоорганизации систем в условиях **баланса** действия диссипативных<sup>15</sup> факторов и нелинейных факторов, создающих неоднородности. Под балансом понимается состояние, при котором не происходит катастрофических бифуркаций, разрушающих достигнутую структуру системных отношений. Конкуренция между этими классами факторов – действием нелинейных обратных связей и диссипативными, рассеивающими процессами – приводит к различным режимам развития процессов в нелинейных системах.

---

<sup>15</sup> Диссипация от латинского *dissipatio* – рассеивание.

С.П.Курдюмов подчеркивает:...«*главное чудо в том, что мир устроен так, что он допускает сложное. Сложность наблюдаемой Вселенной определяется очень узким диапазоном сечений первичных элементарных процессов и значениями фундаментальных констант*». И в этом «прокрустовом ложе» осуществляются пути интеграции различных, развивающихся в разном темпе структур, образующих системные эволюционные целостности. Динамика развития сложной структуры, указывает С. П.Курдюмов: «*требует согласованного развития подструктур разного возраста и разных темпов жизни... Это должно обеспечиваться механизмами синхронизации, создающими внутреннюю, имманентную когерентность – согласование темпов жизни структур, объединенных в систему... Одним из таких механизмов является **память***».

Функция памяти может осуществляться за счет регулирования динамики протекающих процессов, что характерно для большинства физических и физико-химических процессов, обуславливающих развитие и существование Вселенной в космогоническом масштабе, который абсолютно определяется отношениями взаимодействия микрочастиц. Однако возможности процессуально динамической памяти весьма ограничены. Принципиально новые возможности возникают при переходе к информатизации процессов управления динамикой жизни систем. Информатизация управления создаст качественно новые отношения обеспечения согласования

«жизни» структур, объединенных в систему. Создаются возможности формирования практически неограниченных элементов памяти и нелинейных отношений произвольного вида на основе программного управления, а не только за счет обусловленных уже сложившейся на определенном уровне системной организации динамики процессов.

# Информация

Прежде чем начать обсуждение вопросов информационной феноменологии жизни, напомним некоторые представления непосредственно об *информации*. Мы не будем давать какое-либо из принятых определений понятия «информация», потому что, на наш взгляд, информация – это свойство природы, которое настолько обще и фундаментально, что выделяет его как самостоятельную философскую категорию представления отношений в природе. Встанем на позицию российского биофизика В. И. Корогодина из Объединенного института ядерных исследований, считающего, что *«определение информации через описание форм её проявления и её свойств представляется вполне правомочным»*.

Рассмотрим некоторые из основных свойств, присущих информации. Одними из основополагающих, на наш взгляд, являются следующие три свойства: *свойство системности*, *свойство возможности передачи информации* и *свойство тиражируемости информации*. Специфические особенности этих свойств информации являются предметом исследований самостоятельных прикладных научных направлений, в рамках которых выработаны подходы к формированию и оценке конкретных различных количественных и качественных показателей информации. Попробуем проинтерпретировать их в структуре этих свойств.



## Системность

Информации принципиально присущи системные свойства, связанные с обязательным наличием наряду с информацией, как самостоятельным объектом, таких связанных с ней объектов как *источники* информации и *потребители* (приёмники) информации. Образно говоря, информация выполняет некоторую «услугу» между «источником» и «потребителем». Только их обоюдное наличие порождает информационные отношения. В противном случае – при их обоюдном отсутствии, информация абсолютно теряет смысл, т.е. перестает существовать как содержательный объект. Отсутствие источника и потребителя информации создает ситуацию ее полного отсутствия. Таким образом, информация как категория представления формы и развития природы достаточно адекватно совпадает с феноменологической моделью системы.

Системные свойства информации проявляются не только в структуризации объектов: *источник(информация(потребитель*, но и в их жесткой системной связности в информационном смысле. Действительно, информация приобретает смысл только в том случае, когда процедуры формирования информации источником позволяют воспринимать ее потребителю. Это достигается при наличии у источника и потребителя внутренних согласованных механизмов орга-

низации процедур формирования и восприятия информации. Согласованность действия таких механизмов обеспечивается на основе выполнения некоторых соглашений, которые в совокупности с алгоритмами реализации этих соглашений составляют самостоятельный системный объект – **программное<sup>16</sup> обеспечение** функционирования источника и приемника информации. Оно является таким же обязательным атрибутом любой информационной системы, как источник и потребитель.

Вместе с тем программное обеспечение само по себе является информационным объектом, в результате чего может возникнуть впечатление некоторого парадокса: «информация создает информацию». Но такие свойства различных объектов достаточно традиционны. Например, в математической теории множеств достаточно естественно представление, что подмножество некоторого исходного множества может включать в себя исходное множество. Однако для феноменологии информационных систем это обстоятельство весьма существенно. Именно на основе его можно предположить возможность формирования системных эволюционных процессов за счет лишь имманентных факторов, без необходимости наличия каких-либо внешних (трансцендентных) целей.

Принципиальным феноменологическим свойством про-

---

<sup>16</sup> От греческого *πρόγραμμα* – распоряжение, объявление, наказ, от *πρό* – впереди *γράμμα* – запись, линия.

граммного обеспечения и, по сути дела, каждой программы является обязательное сопоставление им **императива**<sup>17</sup> **внутренней цели**: «*исполнение программы*». Таким образом, организация процессов на основе программно-го управления становится вполне детерминированной, по крайней мере, в отношении указанной цели. Это выводит системы, имеющие имманентное программное обеспечение и действующие на его основе, в отдельный специфический класс (катеґорию), для которого внешнему наблюдателю представляется их поведение как целенаправленное. Именно трансцендентная интерпретация целенаправленности систем, функционирующих на основе программ, порождает, на наш взгляд, порой не совсем адекватное представление об их генезисе<sup>18</sup>. Напомним, что императив цели: «*реализация (исполнение) программы*», – это атрибут программы и совсем не обязательно именно он является первоисточником (либо причиной) появления программы. Так, например, сложившиеся концепции и реальные версии системного программного обеспечения компьютеров третьего и четвертого поколений и персональных компьютеров в значительной степени определили цели их функционального назначения.

---

<sup>17</sup> От латинского *imperativus* – повелительный, настоятельное требование

<sup>18</sup> От греческого *γένεσις* – происхождение, возникновение; процесс образования и становления развивающегося явления

# Передача информации

В обобщенном виде «услуга», осуществляемая информацией, сводится к передаче информации от источника к потребителю. Это является принципиальным свойством информации, без реализации которого разговор об информации теряет смысл. Напомним, что передача информации может осуществляться как в пространстве, так и во времени. В реальных условиях эти процессы обычно в той или иной степени совмещаются и имеют много общего по *форме представления информации*, но каждый из них порождает свою специфическую атрибутику для реализации возможностей передачи информации. Передача в пространстве связана с динамическими объектами, такими как *сигнал*, а передача во времени со статическими объектами – *память*.

Исследования способов передачи информации в пространстве (по каналам связи) явились основой становления классической теории информации, в рамках которой выявлены и сформулированы основные свойства формы представления и передачи информации. основополагающим фактором классической теории информации является, пожалуй, парадигма воздействия окружающей среды на информационную систему при передаче информации, в частности, передача информации по каналам связи при наличии помех (шумов – термин, доставшийся в наследство от ис-

следования каналов передачи звуковой информации). Фундаментальными положениями теории информации являются введенные в ней понятия *количества* и *скорости* передачи информации при выбранном способе ее *дискретного* представления. Показано, что дискретное представление информации никоим образом не сужает общего понятия «информация». Это обосновано теоремой академика Российской академии наук В. А. Котельникова, сформулированной им в 1933г. в работе «*О пропускной способности "эфира" и проволоки*», утверждающей, что любые **реальные** непрерывные процессы могут быть представлены некоторой дискретной последовательностью без потери информации.

В математике достаточно давно разработаны различные приемы представления разных форм отношений в других формах, более удобных для применения в конкретных ситуациях. Одним из распространенных способов такого представления является разложение в ряд – феноменологически, по сути, переход от континуальной формы к дискретной форме интерпретации отношений. Одной из задач при проведении такой аппроксимации является оценка точности аппроксимации. В. А. Котельниковым доказана теорема (теорема Котельникова). *Если непрерывный сигнал  $x(t)$  имеет спектр, ограниченный частотой  $F_{max}$ , то он может быть восстановлен по его дискретным отсчетам, взятым с частотой  $f_d = 2 F_{max}$ .*

С онтологической точки зрения мы имеем дело с принци-

пиально своеобразным классом объектов. Дискретное представление информации обладает уникальной особенностью – возможность создания копий, абсолютно идентичных с точки зрения их смыслового содержания. Это принципиально не достижимо при аналоговом представлении, т.к. любое воспроизведение аналоговых сигналов доступно лишь с некоторой точностью, зависящей от свойств материальных объектов, участвующих в информационном процессе.

Интересна в этом смысле категориальная модель семантики информации, разработанная отечественным ученым В. Г. Толстовым. Концептуально-методологические основы теории представления этой модели декларируют квантовый (дискретный) характер содержательного смысла (семантики) информации, а не только ее возможностей дискретного представления с целью передачи и тиражирования.

Достигнутые к настоящему времени фундаментальные положения теории определили универсальную форму представления информации в виде *кодов*<sup>19</sup>, что обеспечивает связь информационных процессов с реальными материальными физическими процессами обработки, передачи и хранения информации.

---

<sup>19</sup> От французского *code* – система условных обозначений и названий, применяемых для передачи, обработки и хранения различной информации, от латинского *codex* – книга,

# Алфавит

Кодирование – дискретное представление информации, основано на использовании некоторого алфавита, с помощью которого по определенным правилам создаются кодовые комбинации, своим многообразием обеспечивающие уникальное представление той или иной информации. Каждый алфавит является некоторым конечным множеством элементов, которые соответствуют событиям представления информации для ее передачи в том или ином виде (в пространстве, или во времени). Для конкретной информационной системы знаки (буквы) алфавита – элементы множества, обычно соответствуют событиям представления некоторого кванта (минимальной порции) информации.

Содержательный смысл этих квантов не является предметом рассмотрения процедур кодирования. Содержательная интерпретация знаков алфавита и их последовательности является имманентным атрибутом конкретной информационной системы. Вопросами этого направления занимается наука семиотика<sup>20</sup>, которая охватывает комплекс научных теорий, изучающих различные свойства знаковых систем (естественный и разговорный языки, языки программирования, математическую, физическую, химическую и другие научные символы, и т.п.). Можно считать, что фикса-

---

<sup>20</sup> От греческого *σημείον* – знак, примета, признак

ция алфавита является как бы начальным феноменологическим уровнем представления информации. В настоящее время для современных технических систем, связанных с обработкой и передачей цифровой информации, обычно применяется двоичный (бинарный) алфавит ( $A = \{0,1\}$ ), на основе которого реализуются различные методы и системы двоичного кодирования. Выбор двоичного алфавита связан с относительной простотой электронных элементов для выполнения операций на множестве состояний 0 и 1. Реализация таких операций может быть осуществлена на однопороговых переключательных схемах, находящихся в состояниях типа: «включено»/«выключено». Создание электронных элементов, которые имеют более двух устойчивых состояний, пока что не нашло «дешевого» технического решения.

Самым распространенным алфавитом на Земном шаре является алфавит генетического кода. В 1953г. Ф.Крик и Дж.Уотсон предложили модель пространственной структуры ДНК, т.н. «двойную спираль», что позволило объяснить, каким образом генетическая информация записана в молекулах ДНК, и высказать гипотезу о механизмах ее самовоспроизведения – репликации. За это открытие авторам в 1962г. была присуждена Нобелевская премия. Во всей живой природе на Земле на уровне клеточного строения генетическая информация передается четырехзначным кодом, образуемым сахаро-фосфатной цепью молекул ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) и РНК (рибонуклеиновая кис-



лота) четырьмя видами нуклеотидов: **А** – аденин, **Г** – гуанин, **Т** – тимин (для ДНК) или **У** – уридин (для РНК), **Ц** – цитозин. При этом каждая клетка является достаточно автономной информационной системой, обладающей своего рода постоянным запоминающим устройством, организованным молекулами ДНК (своего рода «дискетами»), хранящими генетический код – программу развития живого организма. Поражает количество создаваемых природой копий программного обеспечения, поддерживающего процесс жизни живых организмов. У человека насчитывается порядка  $10^{15}$  соматических клеток, в каждой из которых имеется полная копия программного обеспечения развития всего человеческого организма. Количество «дискет» в одном человеческом организме в миллион раз превосходит численность населения на Земном шаре. Такие масштабы, по-видимому, подчеркивают потенциальные возможности информационных систем, как по масштабам, так и по их значимости в жизни живой природы.

Многообразие форм письменности и представления информации в различных системах иллюстрируют тезис о некотором надсистемном акте выбора алфавита для конкретной информационной системы. Под надсистемностью подразумевается отсутствие определяющей зависимости мощности и структуры алфавита от вида информации в конкретной информационной системе.

# Кодирование

Концепция дискретного представления информации на основе знаков некоторого конечного алфавита, как отображение событий, соответствующих определенным квантам (минимальным порциям) информации, подводит к возможности выработки меры оценки количества информации. Существуют формальные приемы отображения знаков одного алфавита с помощью знаков другого. Это обусловлено тем, что алфавиты могут быть представлены в виде конечных счетных множеств, элементы которых можно занумеровать числами натурального ряда. На основании этого взаимное отображение алфавитов достигается на основе теоретико-множественных процедур с элементами алфавитных множеств и их подмножествами. Именно **числовая** форма представления информации нашла глубокое применение в **вычислительной** технике, само название которой подчеркивает эту форму представления информации. Нам рассказывали, что до наступления эры компьютеризации классные китайские телеграфистки «на ходу» переводили иероглифы в цифровой код, лишь изредка сверяясь с таблицами перевода.

Необходимо отметить, что взаимоотображение алфавитов на основе формальных теоретико-множественных процедур не учитывает содержательной (семантической) значимости (если она имеется) алфавитных знаков. Но вместе с тем,

формализация на основе теоретико-множественного представления информации позволяет выработать единый подход к оценке количества информации при знаковой форме отображения событий, соответствующих определенным квантам (минимальным порциям) информации.

В основе всей теории информации лежит открытие, сделанное Р.Хартли в 1928 году, и состоящее в том, что информация допускает количественную оценку. Подход Р.Хартли базируется на фундаментальных теоретико-множественных, по существу комбинаторных, основаниях, а также некоторых интуитивно очевидных предположениях. Если считать, что существует множество элементов и осуществляется выбор одного из них, то этим самым сообщается или генерируется определенное количество информации. Эта информация состоит в том, что если до выбора не было известно, какой элемент будет выбран, то после выбора это становится известным.

Если множество элементов, из которых осуществляется выбор, состоит из одного единственного элемента, то его выбор предопределен, т.е. никакой неопределенности выбора нет. Это означает нулевое количество информации. Если множество состоит из двух элементов, то неопределенность выбора существует, и ее значение минимально. В этом случае минимально и количество информации, после того как совершен выбор одного из элементов. Это количество информации принято за единицу измерения и называ-

ется *бит*<sup>21</sup>. Чем больше элементов содержит множество, тем больше неопределенность выбора, т.е. тем больше заключено в нем информации. На основании этого Р.Хартли предложена мера оценки количества информации ( $H$ ), получаемой при реализации (выборе) одного из  $N$  состояний:  $H = \log_2 N$ . Эта мера является адекватной в предположении, что равновероятен выбор любого элемента из множества состояний.

В середине XX столетия К.Шеннон дал более широкую интерпретацию количественной оценки информации в сравнении с тезисами Р.Хартли. Подход К.Шеннона основывается на теоретико-вероятностном подходе. Это связано с тем, что исторически теория информации К.Шеннона выросла из потребностей теории связи, имеющей дело со статистическими характеристиками передаваемых сообщений по каналам связи. К.Шеннон обобщает представление Р.Хартли, учитывая, что различные события в общем случае не равновероятны.

В литературе часто утверждается, о неправомерности применения формулы К.Шеннона для оценки количества семантической информации. Отечественный ученый В. Г.Толстов в своих работах показал, что количество информации, определяемое по формуле К.Шеннона, является интегральной оценкой объема кванта полной и точной информации, описывающей сообщение  $x$  на уровне его представления ка-

---

<sup>21</sup> От английского *binary digit* – двоичная цифра, то есть два возможных значения. Обозначение ввел К.Шеннон.

тегориальной моделью  $M_x$ . По мнению В. Г. Толстова предлагаемый в его теории квантовой информатики подход к оценке объемов информации позволяет утверждать о возможности использования формулы К. Шеннона для оценки количества семантической информации и при этом достаточно точно установить границы ее применимости и для этого случая. Такая декларация имеет существенное феноменологическое значение с точки зрения преодоления часто обсуждаемых противоречий в количественной оценке ситуационного (событийно-вероятностного) и семантического представления информации.

Чрезвычайно важным и принципиальным является то обстоятельство, что для построения меры Р. Хартли используется лишь понятие многообразия, которое накладывает на элементы исходного множества лишь одно условие (ограничение): должна существовать возможность отличать эти элементы один от другого. В теории К. Шеннона существенным образом используется статистика и очевидно, что мера К. Шеннона асимптотически переходит в меру Р. Хартли при условии, что вероятности всех событий (состояний) равны.

Приведенные меры оценки количества информации не несут в себе представления и способов идентификации идеоморфности<sup>22</sup> знаковой формы отображения событий, соответствующих определенным квантам (минимальным порци-

---

<sup>22</sup> От греческого *ídeá* – идея, первообраз, понятие, представление и *μορφή* – форма, образ.

ям) информации. С этой точки зрения суть процедур кодирования заключается в группировании алфавитных знаков в кодовое слово так, чтобы эти слова соответствовали идиоморфизмам данной системы. При передаче по телеграфу, например, идиоморфизмами являются буквы, цифры, знаки препинания и знак пробела, а в естественных языках идиоморфизмами являются понятия, обозначаемые словами. Это качественное преобразование можно выделить в самостоятельный феноменологический уровень представления информации.

Формализация этого явления при передаче, хранении и обработке информации обычно связывается с операцией отождествления символов или групп символов одного кода с символами или группами символов другого кода. Если задано множество элементов сообщений (идиоморфизмов)  $\mathbf{B} = \{\mathbf{b}_i\}$ , где  $i = 1, \dots, N$  ( $N$  – мощность множества  $\mathbf{B}$ ), и присутствует некоторый алфавит  $\mathbf{A}$  с символами  $\mathbf{a}_{k \in \mathbf{A}}$ , где  $k = 1, \dots, m$  и  $m$  – размерность алфавита, то  $\mathbf{K}$  – множество конечных последовательностей символов  $\mathbf{a}_k$ , называемых словами в данном алфавите  $\mathbf{A}$ , называется **кодом  $\mathbf{K}$** , если множество  $\mathbf{K}$  поставлено во взаимно однозначное соответствие с множеством  $\mathbf{B}$ . Слова, входящие в множество  $\mathbf{K}$ , называются кодовыми словами (кодowymi комбинациями), а число символов в кодовых словах называется длиной кодовых слов;  $m$  – размерность алфавита  $\mathbf{A}$ , называется основанием кода  $\mathbf{K}$ .

По форме, кодирование – это структуризация последова-

тельности алфавитных знаков с целью передачи информации в пространстве или во времени или для ее преобразования. Наряду с алфавитом процедуры кодирования и соответствующие им при приеме (чтении) информации процедуры декодирования должны учитывать *направленность* кода. Очевидно, что в самом коде сведения о его направленности отсутствуют, и необходимы дополнительные системные механизмы (соглашения), обеспечивающие восприятие направленности кода.

В технических системах направленность кода регламентируются некоторыми стандартами и рекомендациями, например, государственных и международных организаций. На их основе обеспечивается возможность согласованного функционирования всей инфраструктуры связи Земного шара. Академик Латвийской академии наук Э. А. Якубайтис, описывая, например, протоколы вычислительных сетей, подчеркивает: *«Передача физических блоков информации осуществляется так, что биты принимаются в конце физического соединения в том же порядке, в каком они были переданы в начале соединения»*.

В компьютерах размер ячейки основной памяти обычно принимается равным 8 двоичным разрядам – байту. Для хранения больших чисел используются 2, 4 или 8 байтов, размещаемых в ячейках с последовательными адресами. В этом случае за адрес числа часто принимается адрес его младшего байта. Такой прием называют адресацией по младшему бай-

ту (*little endian addressing*). Он характерен, например, для микропроцессоров фирмы Intel, США, а также был характерен для ЭВМ фирмы DEC (Digital Equipment Corporation), США. Возможен и противоположный подход – по меньшему из адресов располагается старший байт. Этот способ известен как адресация по старшему байту (*big endian addressing*), характерный, например, для микропроцессоров фирмы Motorola и универсальных ЭВМ фирмы IBM. В большинстве компьютеров предусмотрены специальные инструкции для перехода от одного способа к другому.

В биологических системах последовательность считывания генетической информации регулируется механизмом *хиральности*.<sup>23</sup> Английский физик лорд Кельвин (W. Thomson), определивший понятие «хиральность» писал в 1893 г.: «Я называю геометрическую фигуру *хиральной*, если ее отражение в зеркале не совпадает с нею при наложении (подобно рукам человека)». Молекула называется хиральной, если ее пространственная конфигурация не инвариантна относительно зеркального отражения. Подавляющее большинство биоорганических соединений живой природы – хиральны. В частности: аминокислоты, сахара и нуклеотиды, участвующие в жизненных процессах живых организмов. Хиральная молекула имеет две зеркально антиподные пространственные конфигурации – левый (L) и правый (D) энантиомеры. Процесс считывания информации, как он

---

<sup>23</sup> От греческого *χειρ* – рука.



сегодня представляется биологам, чрезвычайно усложнился бы, если блоки, из которых построены считываемые и считывающие молекулы на основе нуклеиновых кислот и белков, были представлены рацемическими (хирально неупорядоченными) смесями своих мономеров.

Направленность кода также как и алфавит не определяются непосредственно типом, содержанием или какими-либо другими показателями информации. Их выбор определяется системными (или надсистемными) соглашениями и/или традициями, обычно обусловленными возможностями материальной (*hardware*) реализации необходимых способов обработки и передачи информации.

Эффективность кодирования существенным образом зависит от того, какое количество уникальных представлений возможно при фиксированных значениях мощности алфавита и длине кода. Естественно, что увеличение количества кодируемых комбинаций в заданных условиях повышает эффективность процедуры кодирования. Максимальное значение эффективности кодирования может быть достигнуто, когда обеспечивается различие любых комбинаций размещения символов алфавита с повторениями. Это эквивалентно позиционным системам счисления. Однако в реальных условиях достижение такого многообразия значений обычно не происходит. Это объясняется тем, что при передаче информации возможны искажения. Определить наличие ошибки в переданном коде можно только за счет его из-

быточности. Существуют различные способы избыточного кодирования, которые позволяют в ряде случаев не только идентифицировать наличие ошибки при передаче, но и исправить некоторые из них. Такие коды называются корректирующими.

Феноменологически, в отличие от знаков алфавита и принятого для них направления кодирования, сам процесс кодирования значительно глубже связан уже с содержательной стороной информации (например, мощность множества отображаемых идиоморфизмов). Вместе с тем процессы кодирования более глубоко охватывают и подходы к материальной реализации информационных систем, учитывая возможные воздействия различных факторов, приводящих к искажению информации.

## Модуляция

Важным феноменологическим звеном при реализации свойств передачи информации является *модуляция*,<sup>24</sup> с помощью процедур которой производится формирование *сигналов* для непосредственной передачи информации на основе изменения параметров реальных процессов, осуществляющих функцию переноса информации. С феноменологической точки зрения именно за счет модуляции происходит отображение представления информации в материаль-

---

<sup>24</sup> От латинского *modulatio* – мерность, размерность.

ные явления, т.е. обеспечивается материализация информации для ее передачи в пространстве или во времени.

Под сигналами в обиходе понимается огромная палитра явлений, связанных с изменениями состояния объектов или отдельных их атрибутов. При этом нередко сигналы отождествляются с некоторыми системами, в рамках которых эти сигналы формируются и интерпретируются. Вместе с тем, как бы не интерпретировался сигнал, на него именно по его имманентному содержанию могут оказываться воздействия, приводящие к его искажению.

Если отрешиться от бытового и расширенного представления о сигнале, то он может быть охарактеризован как динамический объект, идентифицирующий изменчивость состояния некоторой материальной формы, воспринимаемый как явление, порождающее некоторое событие. Такое представление коррелируется с положениями теории информации, основанной на теории вероятностей, оперирующей описаниями ситуаций реализации и/или возникновения тех или иных событий.

В такой постановке модуляцию можно рассматривать как способы передачи сигналов, обеспечивающие возможность реализации этих процедур при воздействии мешающих факторов. Вопросы непосредственной передачи сигналов и обнаружения их на фоне мешающих помех являются предметом исследования разнообразных прикладных научных дисциплин, что связано с широким спектром форм и способов

реализации сигналов. Наиболее общие результаты по обнаружению сигналов на фоне помех достигнуты, пожалуй, в теории проверки статистических гипотез, основы современного представления которой были заложены в 20-х годах XX столетия английскими учеными Р. А.Фишером и Э.Пирсоном,

Принципиальным при обнаружении сигналов на фоне мешающих шумов является возможность появления ошибки двух родов. Ошибка 1-ого рода – принятие ложного сигнала (сигнал не посылался, но воздействие шумов имитирует ситуацию, эквивалентную наличию сигнала), и ошибка 2-го рода – пропуск сигнала (сигнал был послан, но на приемном конце он не был обнаружен из-за воздействия шумов). Значимость (цена) этих ошибок в общем процессе передачи информации может быть не одинакова. В теории статистических решений рассматриваются различные критерии значимости этих ошибок при выборе правил обнаружения сигналов на фоне мешающих шумов.

Согласно феноменологической модели системы критерии принятия решения об обнаружении сигнала относятся к уровню  $S_{II}$ , в то время как процедуры расчета показателей для принятия решения является содержанием имманентной структуры системы уровня  $S_{II}$  феноменологической стратификации системы. Напомним, что формирование сигналов для их непосредственной передачи происходит за счет модуляции некоторых параметров процессов (*процессы пере-*

*дачи информации*), протекающих в среде, в которой осуществляется непосредственный перенос информации с помощью сигналов.

Процессы передачи информации могут иметь различную природу. При передаче в пространстве это обычно обеспечивается волновыми процессами в среде, например, электромагнитное излучение. По кабельным линиям сигналы могут передаваться и с помощью высокочастотных колебаний, и с помощью «постоянного тока». В последнее время все большее распространения получают оптические линии связи. Естественно, остается актуальным перенос информации с помощью твердых носителей (книги, магнитные ленты, дискеты, перфокарты и т.п., а так же носители генетической информации на основе химических структур). Основная функция таких носителей – память, которая позволяет перемещать информацию не только в пространстве (при необходимости), но главным образом – во времени.

При реализации любых процессов передачи информации функция модуляции сводится к формированию таких сигналов, которые наиболее контрастно выделяют их на фоне мешающих помех. Волновая природа передачи сигналов в свободном пространстве, возможно, определила при исследованиях спектральную форму описания сигналов, основанную на разложении функций в ряд Фурье по гармоническим составляющим. Именно гармоническому анализу сигналов мы обязаны, по-видимому, музыкальному термину «моду-

ляция», который в теории музыки связывается с правилами формирования модулирующих аккордов при переходе из одной тональности в другую. Обращаясь к феноменологической модели систем, можно отметить, что в отличие от сигнала, модуляция отражает в значительной степени внешние аспекты представления системы. Она глубоко связана с трансцендентными факторами, определяющими среду передачи сигналов, и на основании этого относится к «архитектурному» уровню  $S_{II}$  феноменологической стратификации системы также как и процедуры кодирования информации.

## **Организация и управление передачей информации**

В развитии современных телекоммуникационных систем и создаваемых на их основе сетях ЭВМ (например, сеть INTERNET) наряду с непосредственной передачей информации большое внимание уделяется вопросам управления и администрирования передач информации. Это связано со сложной топологией современных систем связи и большим количеством в них независимых пользователей. Для унификации и стандартизации подходов к созданию гетерогенных (неоднородных) телекоммуникационных систем с включением в их состав информационно-вычислительных систем Международной организацией стандартов (МОС) – ISO (International Standardization Organization), была предло-

жена эталонная семиуровневая модель взаимодействия открытых информационных (вычислительных) систем.

Идея этой модели заключается в представлении совокупности процедур информационного обмена в виде их упорядоченной последовательности, разделенной на ряд уровней, каждый из которых характеризуется определенной спецификацией, называемой *уровневым протоколом*. При стратификации уровней протоколов предполагается их определенная внутренняя замкнутость: на каждом уровне регламентируются процедуры, связанные с определенными показателями информационного обмена, и эти показатели индифферентны для других уровней. Такой подход обеспечивает возможность стандартизации унифицированной спецификации декомпозиции любых телекоммуникационных систем по уровням протоколов. Взаимодействие протоколов описывается межуровневыми интерфейсами, которые в значительной степени также стандартизируются. Все это, вместе взятое, позволяет проводить в рамках зафиксированных стандартов достаточно независимые разработки и создание средств любого уровня стратификации эталонной модели.

Важным феноменологическим аспектом эталонной модели является её стратификация на транспортно-коммуникационные и процессорные уровни. Первые из них ориентированы на физическую сторону передачи информации, а вторые (процессорные уровни) тесно связаны с семантикой передаваемой информации.

Если рассматривать феноменологическое представление информационных систем, имманентным содержанием которых является то – что, мы называем информацией, то рассмотренные аспекты, связанные со свойствами передачи информации представляют, в определенном смысле, *архитектуру* системы ( $S_{IT}$ ). Действительно, это спецификация интерфейсов взаимодействия внешних (трансцендентных в системно феноменологическом представлении) субъектов, на основе которой и формируется представление этих субъектов об информационной системе. Тогда, развивая феноменологический подход, противоположная феноменологическая системная категория (представление внешней среды изнутри системы –  $S_{IT}$ ) определяет содержательный (*семантический*) аспект информации.

Одним из подходов семантической интерпретации информации является её стратификация, основанная на тернарных отношениях в структуре, так называемого, *семантического треугольника Черча*. Семантическая стратификация включает: *имя* – знаковое представление предмета, объекта, явления, события (морфология); *денотат* ( или *номинат*) – определяющий обозначаемый именем предмет (синтаксис); *концепт* – представляющий выражаемый именем смысл (семантика). Такой подход полностью согласуется с феноменологической моделью системы.<sup>25</sup> «Имена» состав-

---

<sup>25</sup> *Лирическое отступление*. Именно обсуждение структуры семантического подхода в интерпретации организаций глобальных систем связи, представлен-



ляют категорию  $S_{II}$ ; «денотаты» –  $S_{II}$ ; «концепты» –  $S_{IT}$  феноменологического представления информационной системы.

Отношения этих элементов определяются *интерпретацией* (прагматика) (категория  $S_{IT}$  феноменологической модели), которая естественным образом сопоставляется с субъектом, воспринимающим и использующим конкретную информационную конструкцию (ее “интерпретатором”). Семантический подход на основе треугольника Черча переводит «интерпретацию» в надсистемное *прагматическое* представление, что в значительной степени коррелируется с представлением системы в структуре метасистемы классического системного анализа, порождая связанные с этим неопределенности. В тоже время, прагматизация этого отношения фактически пытается регламентировать представление внешней среды относительно информационной системы, что

---

ное академиком Академии Криптографии РФ Шанкиным Ю.П. на одной из конференций по искусственному интеллекту в МГУ, явилось для авторов побуждающим аргументом для развития феноменологической модели системы. В тех случаях, когда исследуются инвариантные переходы от одной произвольной интерпретации к другой, превалирует интенциональный аспект (его относят в логической семантике к теории смысла). При исследовании системы в рамках какой-либо одной интерпретации превалирует экстенциональный аспект (теория референции). Оба этих подхода при включении в них отношений интерпретатора, в свою очередь, порождают понятие *сигнификата* - область смыслового содержания, которая включает в себе характеризующую информацию об обозначаемом предмете, и надсистемное *прагматическое* представление. Последнее в значительной степени коррелируется с представлением системы в структуре метасистемы классического системного анализа

уже непосредственно заложено в феноменологической модели систем.

Представленная семантическая модель А. Черча отражает лишь лексическую составляющую семантического уровня информационных структур. Для содержательной, смысловой их интерпретации обязательным атрибутом семантического уровня является **язык**. Языки создают более сложную структурную организацию информации, обеспечивая возможности представления неограниченного количества образов (ситуаций, явлений) в существенно ограниченных объемах информации и используемого лексикона.

## Память

Передача информации во времени порождает класс качественно своеобразных объектов, обеспечивающих **хранение** информации – **память**. Проблемы реализации памяти для организации хранения информации охватывают, по крайней мере, два качественных аспекта:

- технология воплощения и функционирования элементов памяти и их структурная организация;
- информационная структурная организация хранения информационных объектов и их массивов.

В настоящее время известно большое количество способов организации хранения информации. Они основаны на различных технологиях. Например, в живой природе – на ос-

нове многообразия структур молекул органических соединений; в электронных вычислительных системах – на основе стабилизации многообразия устойчивых состояний различных физических объектов и/или процессов и т.п.

Человечество издавна занимается вопросами организации хранения информации. Переход от биологической формы хранения (человеческая память) к внешним носителям (начиная от наскальных рисунков первобытного человека до современной полиграфии) отражает, в определенной степени, эволюцию не только и не столько как развитие технологических возможностей человечества, а как совершенствование его интеллектуальной деятельности.

Информационно-содержательная организация памяти для хранения информации, как в природе, так и в человеческой среде, преследует в основном две цели. Это *быстрота* и *качество* получения информации из памяти. Конечно, в реальных условиях обычно существует вопрос некоторой минимизации затрачиваемых ресурсов, используемых для организации хранения информации, вследствие их естественной ограниченности. Но, на наш взгляд, этот фактор феноменологически менее значим, т.к. реализация его непосредственно не создает принципиально новых качественных отношений. Хотя сами по себе технологии экономии ресурсов вполне могут создавать условия для формирования предпосылок в направлении организации каких-либо качественных изменений.

Информационная структуризация памяти может осуществляться различными способами. Например, естественная последовательность упорядочения элементов информации. Так устроены книги и большинство других письменных документов на естественных языках. Наверное, такая форма организации информации для письменного общения людей связана с одноканальностью восприятия зрительных образов человеком. Да и речь мы строим по таким же принципам. Исследования генетиков после открытия ДНК как носителя генетической информации позволяют судить, что генетический «текст», по крайней мере, в пределах отдельных генов также соответствует естественной последовательности.

Подобная форма присуща и большинству искусственных языков программирования. Однако выполнение и чтение программы обычно осуществляется несколько в ином порядке. Отдельные части программы действительно выполняются в строгой естественной последовательности, но это до поры, до времени, пока в тексте программы не встретятся, так называемые «команды перехода». Они меняют порядок чтения информации. Для этого в них указывается *адрес*, с которого необходимо продолжить чтение информации.

Вообще, адресная структуризация информации представляет собой отдельный самостоятельный способ. В этом случае каждая отдельная порция информации дополняется некоторыми вспомогательными сведениями (служебная информация) – адресом, с помощью которого регламентирует-

ся положение информационных элементов (соответственно, порядок их записи и/или чтения) в общей информационной структуре. Например, адреса на письмах позволяют распределять информацию между пользователями.

Однако, для сложных информационных объектов адресная структуризация информации не всегда удобна. Действительно, адрес письма, если это не оговорено особо, не несет в себе семантической нагрузки: был ли в письме призыв о помощи, или поручение к действию – из адреса это неизвестно. Поэтому разрабатываются различные способы семантической структуризации информации. Одним из распространенных способов лексической структуризации информации являются словари и энциклопедии. Более сложная семантическая структуризация используется в справочниках и, от части, при создании архивов. Она также присуща обычно нормативным и законодательным документам.

С развитием информационно вычислительных систем на основе электронно-вычислительных машин (компьютеров) человечество в сфере искусственных приемов организации семантической структуризации информации широко использует, так называемые, *базы данных*. В них структуризация информации происходит на основе семантических отношений между различными информационными объектами.

По определению академика Академии криптографии (Россия) профессора В. В.Корнеева «*базой данных* называ-

*ется отображение предметной области в форме хранимой в памяти компьютера структурированной совокупности данных, которые характеризуют состав объектов предметной области, их свойства и взаимосвязи... Предметная область рассматривается как некоторая совокупность реальных объектов (сущностей) и связей между ними. Каждый объект обладает определенным набором свойств – атрибутов. Предметная область может включать не только физические объекты, но и сведения о процессах и абстракциях... Способ отображения сущностей, атрибутов и связей на структуры данных определяется **моделью данных**».*

Принято выделять иерархическую, сетевую и реляционную модели данных. В иерархических и сетевых моделях структуризация информации осуществляется соответственно в виде древовидных и сетевых структур отношений между объектами предметной области. Обычно эти отношения обладают некоторыми групповыми свойствами. Это, в определенной степени, обеспечивает простоту моделей, но, вместе с тем, ограничивает возможности представления индивидуальных отношений.

В 70-х годах XX века Е.Коддом была разработана реляционная модель данных, которая, несмотря на некоторые недостатки, стала доминирующей при создании компьютерных баз данных. Реляционная модель опирается на систему понятий реляционной алгебры, в основе которых лежит понятие отношений между данными, понятие, которое, как пра-

вило, задается в виде таблицы. Отношения (таблицы) могут носить семантический и прагматический характер. Каждая таблица имеет уникальное имя и отображает в виде форматного представления данных отношения определенных для этой таблицы типов объектов

Все операции над реляционной базой данных сводятся к манипуляциям с таблицами. Предполагается, что создание базы данных, поддержание ее в актуальном состоянии и обеспечение доступа пользователей и их приложений к содержащейся в ней информации осуществляется с помощью специального программного инструментария – *системы управления базами данных* (СУБД, DBMS – Data Base Management Systems). Совокупность таблиц форматного представления данных совместно с СУБД принято называть Базой данных (БД).

Для получения информации из БД пользователи направляют запросы. Запросы формулируются на специальном «языке запросов». Фактическим стандартом такого языка для современных реляционных баз данных является SQL (Structured Query Language). Этот язык имеет официальный стандарт, версии которого приняты ANSI<sup>26</sup> и ISO<sup>27</sup>.

Отличительной особенностью реляционных баз данных

---

<sup>26</sup> ANSI – American national standards institute (Американский национальный институт стандартов)

<sup>27</sup> ISO – International Standardization Organization (Международная организация по стандартам).

является то, что в основе ее модели представления данных лежит феноменологическая парадигма последовательности абстракций представления предметной области ( $S_{TT}$ ) на основе теории типов и перехода на основе концептуальной модели к физической модели и генерации схемы БД ( $S_{II}$ ) с учетом языка запросов ( $S_{II}$ ) и СУБД ( $S_{IT}$ ). Структуризация информации в реляционных базах данных производится не на основе отношений файловых структур, а за счет дифференциации типов объектов и форматного представления данных об атрибутах объектов предметной области.

## Тиражируемость

Одним из базовых уникальных феноменологических свойств информации является возможность ее бездефектного тиражирования. Пожалуй, таким свойством (и в объеме, и в качестве) не обладает ни одна другая категория объектов мироздания. В то же время, в живой природе и в истории развития человечества широко используется это свойство информации. Репликация ДНК именно как информационное копирование генетического кода – основа жизни на Земле. Книгопечатание и современные средства массовой информации. Вот примеры диапазона реализации этого информационного свойства в естественной природе и в сознательной деятельности человечества. Действительно, на всем протяжении своего существования люди настойчиво овладе-



вают методами, приемами и технологиями тиражирования информации. Эта сфера деятельности в значительной степени определяет интеллектуальный уровень общества.

Отметим попутно, по крайней мере, на наш взгляд, высокую степень корреляции расцвета цивилизаций и динамики развития информационных технологий в обществе. Мы убеждены, что эта корреляция обусловлена не просто значимостью информационного обеспечения в процессах преобразования и эволюции общественных отношений, но именно общественный уровень информационного обеспечения является задающей интенцией<sup>28</sup> расцвета и гибели цивилизаций. Мы не хотим здесь употреблять термин «основа», так как при этом обычно предполагается значимость именно некоторой материальной части.

Вместе с тем, проблематика тиражирования информации в основном прорабатывается лишь с технологических позиций, а не как фундаментальное феноменологическое свойство информации. Хотя, последние исследования генетиков придают все большую значимость этим вопросам, как непосредственно с позиций репликаций и рекомбинаций ДНК, так и с более общих представлений онто- и филогенеза, а также при изучении процессов эволюции живого мира.

Можно отметить два вида тиражирования информации: без изменения формы структуризации и организации информационных объектов и с изменением этих форм. В пер-

---

<sup>28</sup> От латинского *intention* – стремление.

вом случае мы имеем дело с традиционным представлением размножения информационных объектов, в результате которого создаются абсолютно идентичные, и по форме, и по содержанию, копии. Примеров здесь масса. Это и полиграфическое тиражирование, и перепись от руки различных текстов, запись и тиражирование информации на современных носителях информации: дискеты, магнитные ленты, оптические диски и т.д. и т.п. В природе этот вид тиражирования обуславливает в том или ином виде существование всего живого. Репликация молекул ДНК при бесчисленном количестве клеточных делений, поколение за поколением, скрупулезно сохраняет генетическое наследство живых организмов.

Инвариантами при этом виде тиражирования могут выступать некоторые составляющие формы представления минимальных информационных элементов (знаков алфавита). Это может быть, например, шрифт, для печатных и рукописных текстовых документов, или способ кодирования для тиражирования информации на различных, уже упоминавшихся, носителях. Основной информационной проблемой в этом виде тиражирования является, также как и при передаче информации, безошибочность воспроизведения копий. Ясно, что эта проблема в большей степени связана с технологией копирования. На протяжении развития человечества эти технологии как форма общественных отношений прошли путь от устных сказаний, письменности, книгопеча-

тания до современных способов и систем массовой информации (СМИ), включая такие системы распространения информации как INTERNET.

Другим видом тиражирования информации является создание копий информационных объектов идентичных по содержанию (смыслу), но различающихся лингвистическим оформлением, либо изменением правил структуризации информации на некотором «высоком» уровне ее организации. В жизни эукариотных организмов это связано с генетической рекомбинацией при размножении двуполых организмов. Считается, что эти аспекты обусловили вектор ароморфоза эукариотного надцарства живой природы, которое мы наблюдаем. Для современных информационных систем такой вид тиражирования регламентирует организацию, например, распределенных баз данных.

При поступлении в такие системы новой информации во всех локальных базах данных производятся по определенным, согласованным для всей системы правилам, так называемые, процедуры актуализации. Эти процедуры обеспечивают смысловую идентичность тиражирования информации в многообразии действующих в информационной системе распределенных локальных баз данных.

Для нас стало вполне привычным, когда, приобретая какую-либо продукцию, мы вместе с ней получаем сопровождающую документацию (описание, инструкцию по применению и т.п.) «протитиражированную» на разных языках. С этим

сходны ситуации в странах с многоязычным населением, где законодательно обусловлено тиражирование нормативных и законодательных государственных документов на нескольких языках, а также при тиражировании различных международных договоров, соглашений и других документов. Во всех этих случаях лингвистическое оформление информации не должно изменять ее смысла. Документы должны быть аутентичны, что является основной целью и проблемой этого вида тиражирования. Для информации, представленной на естественных языках общения людей, эта проблема до настоящего времени не имеет четкого однозначного решения. Впечатление, что она и не может иметь полного решения для всего многообразия человеческого творчества.

В одной из своих монографий С. П. Расторгуев связывает возможность точного копирования при сохранении оригинала с определением границы между тем, что вечно, и тем, что временно. Обосновываются достаточно категоричные теоремы: *«О невозможности получения абсолютно точной информационной копии с биологического существа»* и *«О необходимых условиях для невозможности получения абсолютно точной копии любого субъекта»*. Последний тезис связывается с изменчивостью оригинала на интервале тиражирования.

Одним из путей, по которому люди одинаковых профессий пытаются пусть не преодолеть, но все же сгладить, проблему аутентичности текстов является развитие профессио-

нальных «жаргонов», инвариантных к многоязычному многообразию. Это и запись химических формул, и медико-биологическая терминология на «мертвых» (древнегреческом и латинском) языках, и запись математических выражений и высказываний с помощью формул на основе специализированных математических знаков.

Развитие информационных систем на основе компьютерных технологий в новом ракурсе высветило проблему тиражирования информации в различном лингвистическом оформлении. Это связано с возможностями размножения программной продукции для использования ее на различных по типу организации вычислительного процесса компьютерах (в частности, различающихся по системе команд). Некоторым практическим подходом в этом направлении является создание иерархии языков программирования. Языки нижнего уровня (ассемблер) в своей лексике непосредственно отражают систему команд, используемую в конкретной вычислительной машине (машинно-ориентированные языки). В настоящее время на этих языках обычно пишутся программы служебного и утилитарного для конкретной вычислительной системы назначения. Тиражирование таких программ происходит в пределах одного типа машин. Правда, развитие современных компьютерных систем на базе микропроцессоров существенно расширило ареал их тиражирования.

В отличие от этого, языки программирования высокого

уровня абстрагируются от сведений по устройству вычислительной машины. Их специализация ориентируется на прикладную проблемную область задач, решаемых на вычислительной машине. Это позволяет им распространяться в любой среде пользователей. Если отстраниться от проблем авторского права, то любой пользователь компьютера (в техническом плане) не ограничен в возможностях применения всего арсенала кем-либо созданной программной продукции, представленной на языках высокого уровня. Этот процесс великолепно иллюстрируется в современных условиях распространением программных продуктов по сети INTERNET. Необходимым условием реализации программы, оформленной на языке высокого уровня, является наличие в собственном программном обеспечении конкретной вычислительной установки средств (трансляторы и компиляторы), обеспечивающих перевод текста программ с языка высокого уровня в последовательность команд этой вычислительной установки. Непременным условием при создании современных компьютеров является наличие в их системном программном обеспечении широкого набора средств работы с языками высокого уровня.

Развитием языков программирования высокого уровня явилось создание современных языков представления данных (не только текстовых документов, но и аудио- и видеоинформации). Это позволило замкнуть в единый информационный процесс на основе компьютерных технологий все

информационные компоненты: и программное обеспечение, и данные. По всей видимости, произошел качественный переход во всей сфере информационного обеспечения человечества. И феноменологической основой этого перехода является, пожалуй, именно резкое снятие ограничений в возможностях тиражирования информации. Созданы условия для безграничного эксперимента. При этом изменились акценты феноменологии системных отношений.

До сих пор императивом существования информационных систем человеческого общения была «воля» людей. Сейчас ситуация уже практически изменилась. Имманентные возможности таких, например, информационных «монстров» как компьютерные ресурсы, объединенные сетью INTERNET, заставляют, хотим мы этого, или не хотим, признать то, что управляемость им невысока. Более того, созданные и активно функционирующие практически глобальные информационно-поисковые системы становятся в значительной степени отрешенными в своей непосредственной деятельности по назначению от конкретной воли их создателей и операторов. Конечно, эти люди могут создать условия прекращения функционирования этих систем (правда, кто им это позволит!), но такая ситуация скорее катастрофа общественного плана – той части общества, уже достаточно представительной, которая пользуется услугами этих систем и, вряд ли, представляет, как без них обойтись. Для информационного же обеспечения человечества это всего лишь ги-

бель одной информационной особи, которая при существующих развитых средствах тиражирования непременно будет заменена другой.

Свобода эксперимента – основа эволюции. Условия качественно новых экспериментов созданы. Так что нас ждет? Это предмет футурологов. Здесь же мы должны подчеркнуть, что эволюция информационных отношений и основанных на них информационных систем на практике всегда взаимосвязана с эволюцией материальных средств, обеспечивающих передачу и тиражирование информационных объектов. Обсуждая феноменологию системного подхода для открытых систем, мы коснулись представления о «жизненном цикле», что, возможно, и создает определенную метрику процесса эволюции. Одной из иллюстраций этого могут, по-видимому, служить процессы становления и развития компьютерных технологий, которые протекают на наших глазах в необычайно сжатых, но эмпирически предсказуемых, временных масштабах. В середине XX века был создан первый электронный компьютер. Менее чем за 50 лет было создано более пяти поколений вычислительных машин. Но ведь это новые виды! Вот это темпы эволюции! В живой природе таких не сыщешь. Да и в технике тоже. Эра «персональных» компьютеров в новом ракурсе высветила феноменологический императив коэволюции hardware и software как трансцендентного обрамления имманентных факторов процессов эволюции информационных систем.



# **Вычислительная техника и вычислительные системы**

Проблематика обработки и преобразования информации занимала человечество с момента появления первых, самых примитивных способов письменности. Вполне вероятно, что процесс письменности начался со способов регистрации числовой информации (различные зарубки и штрихи). Следует отметить, что и в дальнейшем на всем протяжении развития человечества наибольшие результаты формализации процедур обработки и преобразования информации были достигнуты в отношении именно числовой (в широком смысле этого понятия) информации. Действительно – это весь мир математики. Достижения математиков обеспечили создание алгоритмов научных, инженерных, финансовых и бытовых расчетов, которые, так или иначе, использовались практически во всех видах деятельности людей. Но долгое время какая-либо механизация, не говоря уж об автоматизации, выполнения расчетов была на достаточно примитивном уровне. На протяжении тысячелетий единственным распространенным прибором механизации обработки числовой информации были «счеты», в той или иной форме выполняющие всего два арифметических действия в позиционной системе счисления. Появлявшиеся другие приборы были определенной экзотикой локального применения и поэтому фак-

тически не меняли обстановку. Вместе с тем, с помощью их создавались предпосылки, которые способствовали продвижению человечества в деле создания средств повышения производительности и эффективности интеллектуальной деятельности людей.

Если смотреть с общих позиций информатизации общества, то феноменологически в развитии компьютерных технологий пока что фактически наблюдается определенный паритет значимости software (программные аспекты) и hardware (материально техническая реализация).

На первых этапах развития вычислительной техники основной акцент разработок был связан с имманентным (структурным) уровнем  $S_{II}$  феноменологического представления вычислительных систем. Происходила как бы наработка структуризации материально-технической базы для обеспечения возможностей создания «открытых» информационных систем. Под открытыми информационными системами в первую очередь понимаются универсальные электронно-вычислительные машины (компьютеры), позволяющие решать широкий круг задач различной прикладной ориентации.

Существенный феноменологический сдвиг в формировании процесса эволюции вычислительной техники, на наш взгляд, произошел при создании вычислительной системы IBM 360 фирмы International Business Machines. Главным обстоятельством явился акцент на архитектуру вычисли-

тельной системы (уровень  $S_{II}$  феноменологической модели стратификации систем). В рамках системного подхода были стандартизированы основные форматы представления информации и система команд (операций), получившая наименование CISC (Complex Instruction Set Computer).

Стандартизация указанных положений вывела вычислительные системы из узкого утилитарного круга вычислительной направленности в широкую сферу информационных систем, обеспечив в дальнейшем основу развития информатики в современном ее представлении. Именно введенная феноменологическая стандартизация создала условия согласованной реализации на системном уровне основополагающих свойств информации – системности, передачи во времени и пространстве и тиражируемости.

Оценивая с современных позиций принятые в ту пору решения, можно обсуждать их оптимальность и какие-либо другие показатели, но при всем при этом неопровержимым фактором является безусловная значимость качественного перехода на новый, архитектурный уровень системного мышления при разработке и создании компьютерных систем. Принятие в качестве базовых стандартов, предложенных по проекту системы IBM 360, было, по-видимому, обусловлено мощностью и значимостью корпорации International Business Machines на мировом компьютерном рынке. Конечно, возможны были и другие решения. Но рыночная конъюнктура определила именно такой подход. К счастью,

он оказался вполне приемлемым для дальнейшего развития средств вычислительной техники.

Интересен, в этом смысле, взгляд одного из зачинателей направления ЕС ЭВМ (Единой системы электронно-вычислительных машин) в нашей стране, ведущего специалиста по суперкомпьютерам предельной производительности, академика Российской академии наук В. К. Левина. В своей работе *«Очерк становления Единой системы ЭВМ»* он отмечает: *«Система 360 представлялась как целостная, достаточно всеохватывающая и, как подтвердилось впоследствии, перспективная, допускающая развитие как программных, так и аппаратных средств. При всей новизне Системы 360 концепции ее построения органично вытекали из предыдущего опыта вычислительной техники, поэтому в основном система с интересом и положительно воспринималась разработчиками».*

*...Довольно значительной акцией в начале работ по ЕС ЭВМ было принятие стандартов по кодированию и расположению информации на внешних носителях – перфокартах, перфолентах, магнитных лентах и на сменных пакетах магнитных дисков. В отечественных ЭВМ I и II поколений в этой сфере были довольно значительные отличия от тех решений, которые сложились в мировой практике и в большой мере были подтверждены решениями международных организаций по стандартизации – ИСО, МКТТ. Принятие зарубежной системы – Системы 360 – за прото-*

тип ЕС ЭВМ стало мощным стимулом для доведения внешних устройств до удобоваримого уровня, причем стандарты на кодирование информации на внешних носителях оказывали значительное влияние и на построение самих внешних устройств. В таких важнейших средствах, как память на магнитных лентах и сменных дисках, принятие общепризнанных стандартов и технических решений ИВМ и разработка соответствующих отечественных аналогов (совместно с Болгарией и ГДР) оказалось значительным шагом вперед, поскольку предыдущие наши устройства магнитной записи были существенно ниже по параметрам скорости, плотности и объема информации.

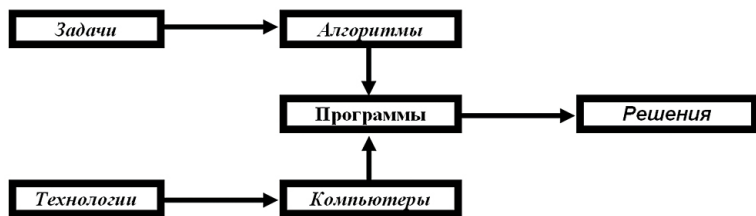
...Это было связано не только с привлекательностью широких возможностей системы программирования ИВМ, но и с тем обстоятельством, что никто у нас не взялся бы за создание оригинального, сколько-нибудь функционально развитого системного программного обеспечения (операционные системы, организация ввода-вывода и баз данных, средства автоматизации программирования – трансляторы и др.), а без этого было бы нельзя работать в прикладном программировании. Непосредственное заимствование системного программного обеспечения фирмы ИВМ позволяло сразу получить высокий уровень возможностей для прикладного программирования и тем самым охватить широкий спектр областей применения вычислительной техники, создавать разнообразные автоматизированные систе-

*мы управления и пр., т.е. делать то, что впоследствии стало именоваться информатизацией общества. Поэтому разногласия начального периода создания ЕС ЭВМ относились не столько к полезности ориентации на зарубежные прототипы, сколько к сомнениям в принципиальной возможности осуществления программной совместимости с прототипом и преемственности программ».*

Архитектурный акцент системы IBM 360 в значительной степени содействовал процессам совершенствования программного обеспечения (software), определяющего, в конечном счете, прикладные возможности вычислительных систем по назначению. Здесь следует отметить, пожалуй, два основных направления. Это – развитие языков высокого уровня и развитие операционных систем.

Первое из этих направлений обеспечивает пользователям возможности описания решения своих задач без глубокого погружения в знания структуры вычислительной установки. Это создает также возможности создания универсальных библиотек программ решения различных задач. Не у кого не вызывает сомнения актуальность и значимость такого подхода формирования программного обеспечения для развития активно идущих процессов информатизации общества. Вместе с тем некоторая текущая общественная эйфория, связанная с общими достижениями процессов информатизации, на наш взгляд, несколько деформирует феноменологическую значимость отдельных конкретных программных продуктов.

Здесь, вероятно, сказывается определенная инфантильность общества в осознании соответствия внутренних процессов информатизации на основе вычислительной техники. Пожалуй, уместно напомнить обобщенную организацию процессов информатизации.



### Организация процессов информатизации

В трансцендентном аспекте она охватывает, наряду с технологиями создания средств информатизации, проблемы постановки задач и разработки алгоритмов их решений, а в имманентном аспекте реализацию конкретных вычислительных систем (*hardware*) и программного обеспечения (*software*).

В этом перечислении среди *software* только одна составляющая в общественном представлении особо выделяется как творческий процесс. Это создание программного продукта, который является интеллектуальной собственностью авторов на таких же правах, как произведения искусства и технические решения *hardware*. Хотя уже в концепции Дж.фон-

Неймана в основе архитектуры вычислительных машин лежит представление алгоритма решения задачи в виде программы последовательных вычислений. Согласно стандарту ISO 2382/1–84, программа для вычислительной машины – это всего лишь *«упорядоченная последовательность команд, подлежащая обработке»*. Вместе с тем, ни формулы, ни алгоритмы не являются предметом какого-либо авторского права (кроме общественного общечеловеческого признания), хотя те же самые алгоритмы являются распространенной формой директивной государственной и международной регламентации (например, стандарты по протоколам доступа, криптозащите и т.д.). Не кажется ли несколько странной творческая обособленность software? Особенно с учетом того, что компьютерные технологии приобрели статус средств производства.

Вторым направлением совершенствования программно-го обеспечения на основе архитектурного акцента системы IBM 360 является развитие операционных систем. К моменту выхода в свет проекта системы IBM 360 представления об операционных системах как среде управления вычислительными ресурсами и организации вычислительного процесса уже достаточно четко сформировалось. Родоначальницей современных операционных систем, практически полностью автоматизирующих внешнюю и внутреннюю организацию вычислительного процесса на электронных вычислительных машинах, пожалуй, следует считать операционную



систему для машины «ATLAS» (Великобритания).

Принципиальным положением операционных систем явилось многоуровневая организация памяти. Недаром в названии одной из наиболее распространенных первых операционных систем DOS – Disk Operating System (дисксовая операционная система) идентификатором является именно указатель внешнего хранилища памяти – «диска». Как это схоже со значимостью ДНК во внутриклеточной организации информационных отношений живых организмов. Операционные системы, наряду с некоторым ядром, обладают наборами специализированных программ управления отдельными устройствами вычислительной установки – «драйверами»<sup>29</sup>, что позволяет по мере необходимости подключать ресурсы отдельных устройств для реализации текущего вычислительного процесса. Но наиболее важной функцией операционных систем, пожалуй, является управление памятью, которое производит необходимое информационное наполнение и распределение ограниченных объемов оперативной памяти в целях текущего поддержания хода выполнения реализуемого вычислительного процесса. Именно это обеспечивает возможность фактически безграничной информационной поддержки в реализации вычислительных процессов при ограниченных объемах оперативной памяти.

Концепция операционных систем создает предпосылки реализации информационной «открытости» вычислитель-

---

<sup>29</sup> От английского *driver* – управляющий.

ных систем. Речь идет не о беспрепятственном доступе к вычислительному и информационному ресурсу, а о возможности получать произвольные порции информации из разных источников (включая внешние и внесистемные хранилища информации) непосредственно в ходе выполнения вычислительного процесса. Реализация этих возможностей, фактически, представляет воплощение уровня  $S_{IT}$  модели феноменологической стратификации систем в широком спектре трансцендентных ( $S_{IT}$ ) отношений. Таким образом, к середине 60-х годов XX столетия в рамках третьего поколения вычислительной техники фактически были сформированы основополагающие концепции, обеспечивающие возможности реализации осознанного системного подхода при создании вычислительных установок.

При эксплуатации вычислительной техники уже третьего поколения проявился, ранее не совсем прогнозируемый, фактор – консерватизм программного обеспечения. Это, наверное, явилось следствием использования в программировании языков высокого уровня и информационной открытости операционных систем, что поддерживало положительные процессы создания и эффективной эксплуатации библиотечного фонда программ. Однако у этого фактора оказалась и другая сторона медали. Волей или неволей к вновь создаваемым вычислительным средствам фактически предъявлялось требование обеспечения выполнения программ, написанных ранее. Напомним, что декларация программной

совместимости была одной из определяющих проекта системы IBM 360 и ее аналога в СССР – ЕС ЭВМ. Выполнение этого требования при создании реальных вычислительных систем было далеко не простым делом. Особенно это касалось применения вычислительных машин с различными аппаратными платформами. Возможно, именно этот фактор ограничил в последствии многообразие архитектуры вычислительных платформ.

## **Микропроцессоры и персональные компьютеры**

Будучи базовыми, стандарты IBM позволяли формировать подмножества, обеспечивающие в некоторых конкретных условиях более эффективную реализацию возможностей той или иной элементно-технической базы при создании вычислительных средств определенного назначения. Так, значительное распространение получили процессоры с RISC-архитектурой (Reduced Instruction Set Computer – сокращенная система команд компьютера), имеющие ограниченную, по сравнению с CISC, спецификацию системы команд. Распространение RISC-архитектуры связывается с созданием микропроцессоров. По-видимому, это один из важнейших качественных феноменологических переходов в hardware на современном этапе развития вычислительной техники.

Феноменологическая значимость концепции микропроцессорной организации вычислительных средств, на наш взгляд, определяется принципиально новыми возможностями вариаций согласования имманентного, структурного уровня организации вычислительных систем (уровень  $S_{II}$  феноменологической стратификации модели систем) и архитектурного уровня ( $S_{III}$ ), обеспечивающего вхождение пользователей в вычислительную систему. Эти возможности фактически обеспечили настоящую революцию в информатике, создав иерархию организации вычислительных систем. Нижний уровень этой иерархии (позволим назвать его *базовым*) охватывает многообразие микропроцессоров с внутренними коммуникационными отношениями, которые в совокупности обеспечивают создание и представление конкретной вычислительной установки, будь то персональный компьютер, рабочая станция или суперкомпьютерная установка.

Каждый микропроцессор со своими интерфейсами представляет собой вполне оформленную самостоятельную вычислительную микросистему со своим феноменологическим системным многообразием. В рамках *hardware* это ассоциируется с элементной базой, что и побуждает к предложенному наименованию нижнего уровня иерархии вычислительных систем – «Элементная база».

Следующий уровень иерархии охватывает законченные по своему прикладному функциональному назначению вы-

числительные установки – компьютеры. Естественно называть этот уровень *компьютерным*. Архитектура этого уровня обеспечивает медиаторную регламентацию постановки и решения задач в сферах компьютеризации и информатизации, которые характеризуют текущее развитие общества и его институтов.

Создаваемые на основе компьютерных технологий корпоративные и межкорпоративные информационно-вычислительные системы представляют собой на настоящее время верхний уровень рассматриваемой иерархии. В последнее время достаточное распространение получил термин – *мультимедийные технологии*, подчеркивающий многообразие форм информации, используемой для осуществления функционирования этого уровня информационно-вычислительных систем. По ассоциации с таким представлением можно именовать этот уровень иерархической стратификации *макромедийным*.

Отметим, что на каждом из рассмотренных уровней иерархии формируются свои классы многообразий феноменологической стратификации информационно-вычислительных систем. Это касается и аппаратно-технических средств, и протоколов их взаимодействия. Подтверждением этому являются спецификации продукции *hardware* и *software*, распространяемой на рынке компьютерных и информационных технологий.

На первых этапах развития вычислительной техники, со-

здаваемые вычислительные установки были ориентированы на профессионально подготовленный персонал, что в значительной степени ограничивало их область применения. Это обуславливалось многими факторами, которые в совокупности не позволяли компьютерам первых поколений по своей общественно потребительской стоимости стать в ряд продукции широкого применения. Ситуация изменилась коренным образом, когда на рынок вычислительной техники были выпущены персональные компьютеры. Принципиальным феноменологическим отличием персональных компьютеров была их ориентация на широкий круг непрофессиональных (с точки зрения знаний по вычислительной технике) пользователей. Естественно, предпосылки возможности перехода к такой ориентации были заложены достижениями компьютерных технологий, обеспечивших существенное снижение показателя стоимость/производительность.

## **Феноменологическая структуризация вычислительных ресурсов и их сетевая организация**

Системная согласованность hardware и software абсолютно и безусловно определяются аспектами реализации коммуникационных отношений в структуре hardware. Даже для направления развития индивидуальных процессорных структур в рамках концепции Дж.фонНеймана, рассматри-

вающей некоторую совокупность структурно локализованных функционально ориентированных узлов (приборов), реализация коммуникационных отношений была одной из актуальных инженерных проблем.

На ранних этапах развития вычислительной техники примерно одинаковое распространение получили два способа построения вычислительных машин: с непосредственными связями и на основе шины. Типичным представителем первого способа может служить классическая фон-Неймановская структура. В ней между взаимодействующими устройствами (процессор, память, устройство ввода/вывода) имеются непосредственные связи. Недостатком коммуникаций с непосредственными связями является то, что они плохо поддаются реконфигурации.

В варианте с общей шиной все устройства вычислительной машины подключены к магистральной шине, служащей единственным трактом для потоков команд, данных и управления. Наличие общей шины существенно упрощает реализацию вычислительных машин, позволяет легко менять состав и конфигурацию машины. Благодаря этим свойствам шинная архитектура получила широкое распространение. Вместе с тем, именно с шиной связан и основной недостаток таких структурно-архитектурных решений: в каждый момент передавать информацию по шине может только одно устройство. Преодоление этого недостатка по мере развития структур вычислительных машин происходило, например, за

счет появления интеллектуальных процессоров ввода/вывода, многоуровневой структуризации памяти и осуществлялось на основе иерархии шин. В этом случае помимо магистральной шины имеется еще несколько дополнительных шин.

Дальнейшее развитие коммуникационных отношений в вычислительных системах связано с архитектурами вычислительных сетей. Акцент на архитектуру (уровень  $S_{II}$  представления системы на основе феноменологической модели) в данном случае не случаен, а обоснован сутью рассматриваемых системных отношений. Действительно, основной концепцией архитектуры современных вычислительных сетей является положение об их открытости. Сетевая концепция вычислительных систем достаточно адекватно вписывается в рассмотренную стратификацию их иерархических уровней. При этом архитектура вычислительных сетей в том или ином виде обуславливается соответствующей интерпретацией эталонной семиуровневой модели взаимодействия открытых информационных (вычислительных) систем ISO, согласующейся с возможностями реализации и целевым назначением конкретной вычислительной сети.

На макромедийном уровне вычислительные сети организуют ассоциации вычислительных установок в широком диапазоне масштабов. Это глобальные сети общего пользования типа Internet и корпоративные сети различных ведомств, служб, корпораций и локальные вычислительные сети внут-



ри различных организаций.

Характерной особенностью глобальных вычислительных сетей является применение для передачи информации телекоммуникационных средств на основе различных сетей связи общего назначения. Это в значительной степени определяет специфику протоколов информационного обмена, учитывающих глобальность географических масштабов сетей связи и связанные с этим факторы возможных искажений при передаче информации.

Для локальных вычислительных сетей (ЛВС) характерно создание специальных выделенных каналов связи, что обеспечивает достаточно высокий уровень помехозащищенности при передаче сигналов. В связи с этим в протоколах ЛВС основной акцент уделяется повышению пропускной способности выделенных каналов связи и обеспечению минимальных гарантированных задержек при передаче информации.

На компьютерном уровне иерархической стратификации вычислительных систем сетевые структуры наиболее полно применяются при создании высокопроизводительных мультимикропроцессорных суперкомпьютеров с параллельной архитектурой. Основной особенностью работы таких компьютеров является распараллеливание алгоритмов решения задачи. Каждому микропроцессору задается своя уникальная программа выполнения определенного фрагмента алгоритма решения задачи, что позволяет ограничить объем памяти, для обслуживания этого микропроцессора, как

для хранения программы, так и для данных, необходимых при реализации фрагмента алгоритма. Такая структуризация программы решения задачи и данных позволяет существенно упростить в рамках локальных фрагментарных вычислений управление ходом вычислительного процесса и снизить связанные с этим удельные накладные расходы на «полезные» вычислительные операции.

Отметим существенный феноменологический аспект такой структуризации. С момента актуализации программы на время реализации фрагмента алгоритма каждый микропроцессор с приданной ему памятью становится как бы самостоятельным специализированным обособленным микро органом, выполняющим специфическую функцию. Элемент структуры компьютера сам становится самостоятельной вычислительной системой. При этом трансцендентным окружением ее ( $S_{IT}$  в представлениях феноменологической модели системы) является все множество данных, необходимых для выполнения вычислений, а их результаты определяют уровень  $S_{IT}$ . Вместе с тем, идентичность структуры трансцендентного окружения структуре единичного микропроцессора позволяют на единых принципах представлять категории  $S_{IT}$  и  $S_{IT}$  феноменологической модели работы микропроцессоров. Создается новое представление внутренней архитектуры суперкомпьютера. Подчеркнем, что разработчики суперкомпьютеров прилагают максимум усилий, чтобы оставить для конечного пользователя элементы внутренней ар-

хитектуры суперкомпьютеров на имманентном структурном уровне, не выводя его активно в архитектурные протоколы и интерфейсы (уровень  $S_{II}$  феноменологической модели системы).

Хочется заметить, что процесс функциональной кластеризации решения задач очень напоминает, уже упоминаемую, модель фрактального роста на основе агрегации, ограниченной диффузией Т. А. Уиттена и Л. М. Сандера. Если это так, то имеются все предпосылки предположить, что организация структуры функциональной кластеризации фрагментов вычислительных алгоритмов на поле микропроцессоров суперкомпьютеров носит фрактальный характер. Но тогда должно проявляться свойство нецелочисленной размерности, которое способствует потенциальным предпосылкам повышения эффективности использования вычислительного ресурса. Эта характеристика в значительной степени является определяющей при создании реальных вычислительных систем.

# Феноменологический подход к концепциям эволюции информационных систем.

История и практика создания искусственных информационных систем, реализуемых на основе некоторого программного обеспечения, на наш взгляд, позволяют сформулировать определенную гипотезу феноменологического подхода к концепциям их эволюции. Ограничимся в этом вопросе рамками дуального представления таких систем на всех уровнях их феноменологической стратификации в виде: *hardware* – аппаратно-техническая реализация и *software* – алгоритмическое и программное обеспечение действующих в системе информационных отношений.

Как показывает практика, на всех этапах эволюции технически реализуемых информационных систем в роли «заказчика» в этом процессе всегда выступали информационные отношения. Вместе с тем создание качественно новых аппаратно-программных реализаций в большинстве случаев приводит к возможностям качественного изменения (усложнения) и информационных отношений, обеспечение которых осуществляется более мощным (на новых технических средствах) программным обеспечением. Это дает возможность расширить проблемную область, доступную искусственным

информационным системам, и сформулировать представления о дальнейшем (в смысле доступности ее реализации) ее расширении. Это и становится целью «задания» очередного этапа развития hardware.

Возникает некоторый итерационный процесс: целевое задание информационных отношений проблемной области на создание hardware (адекватное технологическим возможностям его реализации, что нередко приводит к активному стимулированию развития именно этих технологий) (аппаратно-техническая реализация новых средств и создание их программного обеспечения (ассимиляция новых аппаратно-программных средств в проблемную область (обычно связано с расширением границ этой области) (оценка возможности дальнейшего расширения проблемной области для ее реализации на новом уровне технологий создания hardware (далее цикл повторяется переходом на следующий этап эволюционного развития).

При этом, в отличие от принятия конкретного решения на основе итерационного процесса, когда вводится критерий, определяющий приемлемость достигнутого решения, в процессах общей эволюции информационных систем, и биологических в частности, критерия остановки развития не существует. По крайней мере, на наш взгляд, никакого прагматического представления о таком критерии кроме апокалиптического «конца света» пока что не придумано.

Для искусственных систем характерной особенностью

эволюционного процесса является то, что расширение доступной прикладной области происходит за счет технологий создания hardware. И первую очередь это касается непрерывного совершенствования элементной базы для аппаратно-технической реализации. Правда в истории вычислительной техники были и исключения из этого правила. Об одном из них уже упоминалось – это появление и лавинообразное распространение персональных компьютеров. Отход от стереотипа эксклюзивной компьютерной установки позволил выйти на новый уровень реализуемых информационных отношений. Это, прежде всего, сказалось на реализации возможностей межкомпьютерных отношений. Вначале это были коммуникации в основном на сменных информационных носителях. Но эти каналы явно не удовлетворяли расширяющимся потребностям информационного межкомпьютерного трафика. Для устранения этой коллизии были вполне оправдано затрачены существенные ресурсы с целью перевода этого трафика в телекоммуникационное русло. Сейчас всемирная паутина Интернета охватывает весь Земной шар, обеспечивая беспрецедентную гетерогенность вычислительных сетей. При этом процесс создания и развития Интернета не был в своей основе обусловлен совершенствованием элементной базы как первопричины его распространения и реализации на этой основе широкого спектра новых информационных отношений.

Этот пример показывает, что эволюция искусственных

информационных систем происходит не только на основе совершенствования технологических возможностей реализации имманентных аспектов, но и в преобразовании межграницных отношений, что раскрывает более широкую сферу взаимоотношений с трансцендентным аспектом – прикладной областью. В свою очередь расширение сферы взаимодействия с окружающей средой вносит обычно вклад в ресурсное обеспечение систем, что способствует, в явном виде (ведь информационные системы – открытые системы), их функционированию и развитию.

Кажущееся различие причин эволюции информационных систем на основе совершенствования элементной базы, либо на модернизации межграницных отношений, снимается при переходе на точку зрения целевой обусловленности их создания. В обоих случаях реализуется рассмотренный итерационный цикл эволюционного поколения. И в обоих случаях предпочтения формирования цели создания или преобразования системы остаются за трансцендентными аспектами информационных отношений. Именно они диктуют необходимость совершенствования имманентной структуры (и *software*, и *hardware*).

Концептуальной парадигмой подобной системной эволюции, основанной на целях, формулируемых трансцендентными отношениями, и воплощаемой на основе развития технологий для создания качественно новых элементных баз, является такая смена поколений информационных си-

стем, при которой полностью уходят в небытие предшествующие поколения и классы информационных систем. В настоящее время абсолютно отсутствуют ламповые электронно-вычислительные машины, которые представляли первое поколение компьютерных технологий. В Лету канули и системы на дискретной транзисторной элементной базе. При переходе на новый этап эволюционного развития *hardware* предыдущего поколения полностью выходит из употребления, пропадая навеки. В принципе, это в определенной степени касается и имманентного программного обеспечения, хотя *software*, как некоторый класс информационных отношений, кажется более консервативным к эволюционной изменчивости, чем *hardware*. Обычно отношения системного *software* предыдущего поколения достаточно активно участвуют в обеспечении функционирования информационных систем нового поколения в начале их внедрения. Но вряд ли можно конструктивно сравнивать современные операционные системы с управляющими программами электронно-вычислительных машин первых поколений. Таким образом, наблюдаемая концепция эволюции смены поколений искусственных информационно-технических систем зиждется на абсолютной замене систем предыдущего поколения системами нового поколения.

Вместе с тем, если отойти от класса технически воплощаемых искусственных информационных систем, к системам другой природы, то влияние трансцендентных аспектов



в процессах их эволюции может не нести какой-либо концептуальной прокламации. Конечно, трансцендентные отношения и воздействия могут внести определенный вклад и в их эволюцию, но это явно не концептуальный фактор, а скорее некоторый сопутствующий случайный эпизод. Впечатление, что такие эпизоды, выходящие за рамки концепции эволюции систем, чаще всего являются катастрофами, приводящими либо к гибели системы, либо к такой трансформации системы, что фактически эквивалентно ее гибели с точки зрения предыдущего существования системы.

Природа и человечество создало целый ряд подобного рода систем. В качестве примера такой информационной системы можно привести Науку. Развитие Науки происходит принципиально лишь в структуре имманентных аспектов. Другим подобным примером может служить система отношений производства и распределения ресурсов на протяжении истории развития человечества. В этой связи интересен тезис, поддерживаемый многими исследователями этих отношений (К.Маркс, П. А.Кропоткин, В. И.Ульянов (Ленин) и др.), что *общественные традиции* (читай – информационные отношения) *значительно консервативнее производственной базы общества*. Не это ли приводит к ряду катастрофических ситуаций на всем протяжении развития человеческих цивилизаций? Эта мысль довольно ярко обсуждается П. А.Кропоткиным в его работах по этике. Приведя эти примеры, мы хотели показать лишь то, что эволюция ин-

формационных систем отнюдь не всегда обусловлена целевыми трансцендентными обстоятельствами.

Наиболее мощным примером эволюции на основе имманентных потенций системных информационных отношений является Живая Природа Земли. Она представляет собой иерархическую совокупность почти беспредельного (если смотреть на всем историческом периоде ее развития и будущих прогнозах) гетерогенного многообразия информационных систем, интегрированных в единую биосферу.

Феноменология концепции эволюции Живой природы, на наш взгляд, опирается на фактическое единство «элементной базы», обеспечивающей реализацию и развитие информационных отношений живых организмов. В Природе организовалась качественно новая категория существования Материи – Живая материя. Биологические организмы, являясь открытыми системами, именно на основе присущих им имманентных информационных отношений обеспечивают своё формирование, развитие, и динамический круговорот Живой материи в рамках биосферы Земного шара в определенном единстве организации этой материи. И именно на этой основе создались условия совместного сосуществования многообразия видов живых организмов от архебактерий до человека.

Дальнейшие материалы в значительной степени ориентированы на иллюстрацию этой концепции. Хотим отметить, что при обсуждении биологических вопросов, наря-

ду с использованием материала специальных работ, мы в значительной степени опирались на современное руководство по общей биологии, написанное английскими авторами Н.Грин, У.Стаут, Д.Тейлор, под редакцией Р.Сопера. **Биология**: В 3-х томах. Пер. с английского. – М.:Мир, 1990. (*Biological science*. N. P. O. Green B.Sc., M. I.Biol, G. W. Stout B.Sc., M.Ed. M. I.Biol, D. J. Taylor B.Sc., M. I.Biol, Editor R. Soper B.Sc., M. I.Biol. Cambridge University Press – Cambridge, London, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney).

*Вероятно, читателю может показаться слишком длинным приведенное Вступление. Конечно, это от ограниченного умения авторов кратко излагать мысли. Но даже Гораций признавался:*

***Brevis esse labore, obscurus fio,*** –

*стараюсь быть кратким, делаюсь темным.*

*Нам хотелось дать тот фон ассоциаций, на основании которого формировалось представление о приведенных в дальнейшем гипотезах информационной феноменологии жизни.*

# Пражизнь

*Химия живого – это алгоритмическая химия,  
в отличие от обычной, стохастической химии.*

*В. И. Гольданский*

Рассматривая последовательность качественных изменений живой природы, естественно возникает потребность представления: а как все это начиналось, что послужило основанием того что, называется живой природой? Эти вопросы настолько многогранны, что над ними на протяжении всего существования человечества бьются его лучшие умы, но до сих пор так и не найдено достаточно вразумительного и обоснованного ответа. Любая теория, какой бы обоснованной она не казалась, в этих вопросах все равно остается лишь гипотезой с той или иной степенью доверия. Ведь ее опытная, экспериментальная проверка неосуществима – не можем же мы заново построить живую природу! Именно это останавливает обычно попытки в серьезных исследованиях увязки всех форм существования живой материи в единую систему.

Опираясь на тезис, приведенный в эпиграфе к этому очерку, проследим возможные этапы формирования «химии живого» в представлении, что это «алгоритмическая химия», основанная, следовательно, на определенных информацион-

НЫХ ОТНОШЕНИЯХ.

Что же с этих позиций вкладывается в представление: *пражизнь*? Напомним: фундаментальным феноменологическим понятием, выделяющим любую систему из внешней среды, является представление о границе системы. Хотелось бы отметить, что понятие границы системы – это не какое-либо формальное, абстрактное суждение, порожаемое нашими представлениями о мире. Да, при рассуждении о моделях систем, либо об абстрактных, умозрительных системах, это действительно является некоторой условностью. Но в реальных системах граница существует объективно, представляя собой или некоторые материальные образования с их отношениями, или объективные критерии, обеспечивающие феноменологическую автономизацию системы. Так вот, с точки зрения нашего феноменологического подхода, этап *пражизни* фактически соответствует формированию *границы системы*. На этом этапе она как бы размыта, и реализация возникающих имманентных возможностей не дает еще эффективного результата по консолидации и организации функционирования системы жизни на Земле.

За последние десятилетия достаточно уверенно установлено, что история существования живых организмов на планете Земля насчитывает более 3,5 млрд. лет. Обращает на себя внимание тот факт, что состав химических элементов живых организмов практически совпадает с составом устойчивых элементов неживой природы, наиболее активных в

химических отношениях. Это, в определенной степени, создает возможность представлений о единстве мироздания и естественности происхождения живой природы (*Приложение I*).

В эпоху архея физико-химические условия на границе поверхности твердой оболочки земного шара и его атмосферы значительно отличались от существующих в настоящее время. Рассматриваются различные гипотезы модели глобального климата в том историческом периоде развития Земли, но, несомненно, одно – существовал широкий спектр локальных неоднородностей, которые, по сути своей, представляли собой огромное количество различных природных химических реакторов.

Ведется давняя, активная дискуссия о возможном месте зарождения жизни на Земле. Рассматриваются различные варианты. Ч. Дарвин считал, что жизнь возникла в теплом маленьком пруду – локальные реакторы предбиологического синтеза. Широко распространена гипотеза океанического (морского) расположения ареалов небиологических процессов первичных этапов формирования ингредиентов для зарождения жизни. Рассматриваются различные стратиграфические аспекты локализации таких ареалов по территории планеты, по глубине и по связи с геотектоническими структурами. Высказывается возможность занесения первичных ингредиентов из космоса. Все эти взгляды не создают антагонистической коллизии гипотезе естественности происхож-

дения жизни, хотя и продолжают оставлять вопросы дислокации начала предбиологического, а затем первичного биологического синтеза живой материи на земном шаре.

Эта дискуссия в познавательном смысле интересна сама по себе, но в фенологическом поле все приведенные гипотезы эквивалентны в отношении представлений о естественности происхождения живой природы. В этой связи достаточно значимым становятся факты, убедительно показывающие возможности небиологического синтеза простейших углеводов – основополагающих химических соединений нашей живой материи.

Процесс естественного небиологического синтеза углеводов на нашей планете происходит непрерывно и активно продолжается и в наши дни. Для его детальной регистрации необходима сложнейшая скрупулезная организация глубокого химического и биохимического мониторинга планеты, что представляет собой непосильное для современного общества бремя, требующее огромных капитальных и интеллектуальных затрат. Вместе с тем постепенно увеличивается количество фактов конкретно подтверждающих наличие процессов естественного небиологического синтеза углеводов на нашей планете. Одним из последних таких открытий (D. S. Kelley, G. Proskurowski – Вашингтонский университет, 2005– 2007г.г.) было сообщение, что в геотектонической структуре Атлантического океана «Потерянный город» (около 3тыс. км от восточного побережья Флориды)

в результате простого химического взаимодействия морской воды со скалами происходят процессы синтеза углеводов (подобные реакции Фишера – Тропша) – формирующие молекулы, важные для зарождения жизни. Анализ исключил органическое происхождение этих углеводов. Исследователи полагают, что в глубинах океана может существовать еще достаточное количество неоткрытых образований подобного типа.

В связи с этим, вполне вероятно гипотеза о значимости небиологического синтеза углеводов, включая супрамолекулярные структуры на их основе, которые обеспечивали в дальнейшем зарождение жизни в период охлаждения первичной атмосферы Земли и формирования океанов. Эти процессы сопровождались значительными турбулентностями различного пространственного и временного масштаба, создавая широкий спектр динамических состояний в условиях фазовых переходов агрегатного состояния вещества. Нам не известны какие-либо экспериментальные исследования или модельные оценки таких процессов, но эта гипотеза вполне возможно коррелируется с гипотезой о занесении первичных ингредиентов из космоса. Именно этот период в формировании многих космических объектов сходен по динамике трансформации вещества газовых оболочек космических объектов.

До момента открытия функции ДНК, как носителя генетической информации, большинство гипотез о естествен-



ном происхождении жизни на Земле отдавало первичную значимость в этом процессе белкам и формирующим их аминокислотам. По-видимому, это объяснялось значительной долей массы этих компонент в активных биологических структурах, обеспечивающих жизнедеятельность живых организмов. Признание информационной компоненты (одним из носителей которой является ДНК) ведущей в процессе эволюции живой природы, существенно поколебало примат белков в зарождении жизни. Все больше гипотез акцентируют свое внимание при исследовании этой проблемы на сахарах, которые являются первичными структурными «кирпичиками» целого ряда классов органических соединений живых организмов: углеводов, нуклеиновых кислот, коферментов и др.

Возможно попытки выявления именно «чистой линии» в предбиологической химической эволюции создают системные сложности при рассмотрении этого этапа истории Земли. В рамках существовавших на тот период термодинамических отношений в пограничной с атмосферой оболочке земного шара возможно целесообразнее говорить о гетерогенезисе среды химических соединений в локально неоднородных областях земной поверхности. В отличие от других оболочек планеты на этой границе активно проявляется неравновесность в термодинамическом отношении различных сред химических веществ, находящихся в различных агрегатных (фазовых) состояниях. Это, наряду с простран-

ственной неоднородностью среды, стимулировало кинетику химических реакций, обусловленную суточными и сезонными изменениями температуры и внешней ионизации.

Существенное влияние на специфику химических преобразований на поверхности планеты оказывало то, что они в значительной степени происходили в фазе водных растворов. Недаром водная среда считается основой биологической жизни. Наличие водных растворов обеспечивало мощную динамику химических реакций. В отличие от твердых фаз состояния вещества в оболочках Земли, в водных растворах обеспечивался высокий уровень диффузии, усиливаемый за счет процессов диссоциации, что повышало подвижность и реакционную способность растворенных химических веществ, а также увеличивало выбор комбинаций протекающих реакций. В отличие от газового состояния, обладающего более высокой скоростью диффузии, чем жидкая среда, – плотность водных растворов значительно выше и межмолекулярные расстояния (сопоставимые с плотностью упаковки вещества в твердых телах) обеспечивают эффективное химическое взаимодействие растворенных ингредиентов. Таким образом, именно водные ареалы земной поверхности явились наиболее плодотворной ареной для осуществления возможностей широкого спектра реакций формирования различных химических веществ.

Кроме того, водная среда за счет большой теплоемкости воды обладает высокими изотермическими свойствами, что

способствует стабильности химической кинетики в условиях достаточно кратковременного суточного хода на поверхности Земли. К тому же, большая теплота испарения обеспечивает стабильность даже небольших водных ареалов в широком диапазоне изменения температуры атмосферы и в воздействии солнечной радиации.

Образование гидросферы на земной поверхности было тесно связано с изменением состава первичной атмосферы планеты. В настоящее время наиболее распространено представление, высказанное академиком В. И. Вернадским что современная атмосфера Земли – *«земная газовая оболочка, наш воздух, есть создание жизни»*. Наиболее распространенная гипотеза предполагает, что первичная атмосфера над еще неостывшей поверхностью земного шара состояла из летучих веществ, образовавшихся в земных недрах:  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ . По мере остывания земной поверхности и атмосферы происходила конденсация водных паров и образование гидросферы на поверхности планеты. Естественно этот процесс сопровождался активным вовлечением всех компонентов атмосферы в формирующиеся ареалы гидросферы. При этом именно элементы будущей «органической химии» составляли наиболее активное содержание формирующихся растворов. Не это ли определило химическую природу жизни на нашей планете?

Высокая концентрация растворов активными соединениями и неоднородность термодинамических условий в раз-

личных точках формирующейся гидросферы содействовали активному формированию химических процессов синтеза широкого спектра углеводородных соединений. В отличие от активно вовлеченного в газовую оболочку земного шара трехвалентного азота, углерод обладал более устойчивыми конфигурационными ковалентными связями, обеспечивающими широкую гамму различных мономеров на основе межуглеродных связей. Нестабильное термодинамическое состояние земной поверхности и прилегающей к ней атмосферы создали условия, при которых достаточно естественным является процесс накопления вещества, структура молекул которых обусловлена ковалентными связями, наиболее сильными и устойчивыми в широком термодинамическом диапазоне. Именно к такому классу веществ относится большинство углеводородов и родственных им соединений живой материи.

Большинство мономеров этих соединений (например, моносахариды, аминокислоты, гетероциклические азотистые основания – мономерные составляющие клеток живых организмов) имеют достаточно простую молекулярную структуру и хорошо растворимы в воде. Это обеспечивает им высокую подвижность и достижение высокой концентрации в водных растворах. Учитывая широкий спектр условий синтеза химических соединений, естественно ожидать возможность формирования среды, обладающей ресурсом (по составу и концентрации), создающим предпосылки перехода

к активным процессам генезиса будущего пробиотического субстрата.

# Системный катализ

На основе мономеров дальнейший уровень структурной молекулярной организации растворов уже в значительной степени определяется двумя процессами: конденсацией и гидролизом. При конденсации образуются связи между субъединицами путем удаления молекул воды. При гидролизе происходит разрыв связей между субъединицами в результате присоединения молекулы воды. Водные растворы для этих целей являются фантастически комплиментарной средой.

В водных растворах мономерных соединений наряду с ковалентными связями, их организующих, активно проявляются более слабые взаимодействия, обусловленные ионными, водородными и ван-дер-ваальсовыми межмолекулярными связями. Эти связи в значительной степени определяют конфигурационное распределение вещества в растворе, образуя дисперсные системы. Ландшафт химических потенциалов дисперсных систем создает условия каталитической активации химических реакций для образования более сложных химических соединений. Практически все реакции органической химии живой материи, начиная от синтеза мономеров и до самых сложных процессов клеточного метаболизма, являются каталитическими. В клеточных структурах эту функцию в основном выполняют ферменты на основе бел-

ков, представляющих собой последовательности аминокислот.

Каталитически активированные реакции конденсации и гидролиза мономеров обуславливают усложнение их структур (липиды, нуклеозиды, аденозинфосфорные кислоты – АМФ, АДФ, АТФ), расширение ассортимента мономерных компонентов (аминокислоты, гетероциклические азотистые основания – пуриновые и пиримидиновые) и формирование макромолекул – полимеров (углеводы и нуклеиновые кислоты).

Усложнение молекулярных структур, например, при полимеризации существенно изменяет процесс их растворимости в водных растворах. Практически большинство полимерных макромолекул имеют некоторое множество критических точек фазовых переходов, связанных, например, с разрушением многообразия присутствующих в молекулах нековалентных связей. Аналогичные особенности присутствуют и в процессах формирования растворов полимерных молекул, создавая в определенных условиях специфические явления сепарации и конвергенции вещества в растворах. Это в очередной раз способствует поддержанию процесса накопления сложноорганизованного вещества и формирования новых конфигурационных структур дисперсных систем. Происходящий при этом системный сдвиг равновесия компенсируется в определенной степени автокаталитическими свойствами, если рассматривать всю совокупность вещества

живой природы как единый класс.

Катализ, снижая энергию активации химических реакций, ни в коей мере не изменяет их термодинамических показателей при непосредственной реализации химических реакций. Вследствие этого вопрос энергетического обеспечения всех процессов химического синтеза в любой системе остается принципиально основополагающим. Не это ли положение отражает ту значимость и реликтовость аденозинфосфорных кислот (АМФ, АДФ, АТФ) в жизненных циклах всех без исключения живых существ, начиная от прокариотов и до высших животных и растений? Возможность молекулами этих веществ аккумулировать и переносить энергию создает значительные локальные нелинейности в реализации химических процессов, обусловленных существующими термодинамическими условиями, переводя всю категорию будущих биохимических структур в *класс нелинейных динамических систем*.

Динамическая нелинейность возникших дисперсных систем и сильно пересеченные многомерные ландшафты химических потенциалов, обуславливающие воздействия на протекающие реакции, способствовали группированию своего рода «кластеров» различных масштабов. Это новое конфигурационное состояние дисперсных систем, в свою очередь, способствовало формированию условий дальнейшего усложнения и дифференцирования вещества растворов.



# Фрактальная структуризация

Общие исследования нелинейных открытых систем вскрыли процессы их кластеризации и самоструктуризации не на основе влияния внешних возбуждений, а именно вследствие нелинейности внутрисистемных процессов. Как отмечалось, это приводит, на первый взгляд, к парадоксальному явлению: система самоусложняется, ее структуризация приводит к снижению энтропии не за счет какого-либо целенаправленного внешнего воздействия, а именно вследствие объективных внутрисистемных потенциалов, использующих для этого ресурс внешней среды. Такое «самосовершенствование» систем вначале было обнаружено отнюдь не на живых системах, а в процессах горения и термоядерного синтеза, что позволяет вполне обоснованно отнести это к естественным свойствам Природы в целом.

Одной из форм такой кластеризации является создание фрактальных структур. Уникальным свойством фрактальных тел является их нецелочисленная размерность, что приводит к зависимости их плотности от масштаба. Свойство уменьшения плотности фрактала с увеличением его размера крайне перспективно для живых организмов, экономя внутренние ресурсы (биомассу и связанные с ней энергетические затраты) при увеличении сферы активности во внешней среде. Образно говоря, чем больше фрактальная структура,

тем большее количество ресурса внешней среды связано с каждым отдельным элементом фрактала. В феноменологическом смысле по своему воздействию на кинетику развития гетерогенезиса среды предбиологического субстрата это сходно с влиянием взаимокатализа химических соединений на процесс предбиологического метаболизма.

Структура фрактальных кластеров в пространстве химических потенциалов субстрата химических компонент, участвующих в реакциях, при локальном относительном постоянстве термодинамических показателей определяется взаимно каталитическими свойствами продуктов этих реакций. При возникновении условий положительного катализа происходит ускорение протекания реакций их формирования (анаболизм) либо распада (катаболизм) фрактальных объектов. Именно такие условия поддерживаются в живых клетках на основе ферментативного управления процессами метаболизма. При отрицательном катализе протекание реакций замедляется или даже полностью подавляется. Это проявляется, например, при воздействии ингибиторов и антиоксидантов.

Кластеризация вещества, например, на основе агрегации, ограниченной диффузией, обеспечивает возможности более контрастного проявления каталитических свойств комплементарных соединений, создавая условия их дальнейшего усложнения. Синергетические процессы в открытых нелинейных динамических системах, связанные с кластеризаци-

ей вещества в условиях относительной статистической термодинамической стабильности среды С. П. Курдюмов называл *коэволюцией*. Это важный феноменологический тезис, определяющий единство представления системы и окружающей среды с возможностями учета взаимовлияния на процессы их эволюции. История развития живой материи на нашей планете достаточно убедительно подтверждает такую точку зрения. Действительно, среда обитания живых организмов в значительной степени сформирована за счет процессов их жизнедеятельности. Это обосновано позволяет выделять биосферу как самостоятельную структуру земного шара.

В химической динамике фрактальная кластеризация соприкасается с процессами супрамолекулярной химии. Один из основоположников идей супрамолекулярной химии лауреат Набелевской премии Ж.-М. Лен так определил область супрамолекулярной химии: *«Подобно тому, как существует область молекулярной химии, основанной на ковалентных связях, существует и область супрамолекулярной химии, химии молекулярных ансамблей и межмолекулярных связей»*. Дополняя это он указывал: *«супрамолекулярная химия – это “химия за пределами молекулы”, изучающая структуру и функции ассоциаций двух или более химических частиц, удерживаемых вместе межмолекулярными силами»*.

Объекты супрамолекулярной химии, супермолекулы, об-

ладают такой же определенностью, как и составляющие их отдельные молекулы. Супрамолекулярные ансамбли обладают определенными структурными, конформационными, термодинамическими, кинетическими и динамическими свойствами. В них проявляются различные типы взаимодействий, различающиеся своей силой, направленностью, зависимостью от расстояний и углов: координационные взаимодействия с ионами металлов, электростатические силы, водородные связи, ван-дер-ваальсовы взаимодействия, донорно-акцепторные взаимодействия и т.п. Не смотря на то, что межмолекулярные взаимодействия индивидуально слабее, чем ковалентные связи, их конфигурационное многообразие обеспечивает достаточно устойчивые ассоциации. При этом супрамолекулярные структуры более лабильны кинетически и более гибки динамически, что создает возможности их адаптации к изменяющимся термодинамическим условиям и физико-химическому составу окружающей среды.

Ведущей феноменологической парадигмой формирования супрамолекулярных структур является принцип «*хозяин – гость*» в интерпретации Ж.-М.Лена, или «*ключ – замок*» в интерпретации Э. Г.Фишера. Это обеспечивает процессы селективного связывания за счет молекулярного распознавания, в основе которого лежит стереотическое соответствие и геометрическая комплиментарность комплексообразующих частиц и субстрата.

В ходе исследования супрамолекулярных структур были

выявлены представления самосборки (*self-assembling*) и самоорганизации (*self-organization*). Самосборка и самоорганизация описывают два различных, но частично перекрывающихся класса явлений.

Самоорганизация означает генерацию при заданных условиях хорошо определенной супрамолекулярной структуры из отдельных составных компонент. Процесс самоорганизации, включая взаимодействие и интеграцию компонент, фактически обуславливает их коллективное поведение. Самоорганизация может происходить в растворе, в жидкокристаллической фазе или твердом состоянии. В качестве основных взаимодействий между компонентами действуют водородные связи, электростатические и донорско-акцепторные взаимодействия, а также эффекты среды (сольфобные взаимодействия).

Супрамолекулярная самосборка заключается в ассоциации нескольких компонентов, приводящей к образованию или дискретных супермолекул, или протяженных полимолекулярных ансамблей.

Ж.-М.Лен отмечает, что *«вклад процессов супрамолекулярной химии в химический синтез можно рассматривать в двух аспектах: формирование самих нековалентных супрамолекулярных частиц, что прямо выражается в процессах самосборки, и использование супрамолекулярных особенностей для содействия синтезу ковалентных молекулярных структур. Эффективность реализации всех этих процедур*

*возможна лишь при наличии своеобразного планирования и контроля – то есть управления на межмолекулярном уровне».* К этому мы и подходим в следующих разделах.

Оценивая феноменологическую значимость супрамолекулярных химических отношений в процессах формирования сложного вещества материи, отметим, что на их основе формируются объекты, обеспечивающие селективные функции молекулярного распознавания, преобразования и перемещения. Это прелюдия функциональных возможностей будущих живых организмов. Подчеркнем, что эти свойства воплощены в неживой природе, хотя ощущаются нами как одни из основополагающих и идентифицирующих поведенческих функций именно живых организмов. Не подтверждает ли это в очередной раз единство Природы и Жизни?

# Хиральность

Практически все углеводороды и соединения на их основе обладают свойством изомерии. Структурные и геометрические изомеры представляют собой обычно по химическим или физическим свойствам самостоятельные вещества. В отличие от этого оптические изомеры (*энантиомеры*) идентичны по химическим и физическим свойствам, за исключением оптической активности: одна форма вращает плоскость поляризации света влево (L-форма), другая на тот же по величине угол вправо (D-форма). Это явление в биохимии получило название *хиральность*<sup>30</sup>. Смесь равных количеств оптических антиподов (такие вещества называются *рацемическими* соединениями, или *рацематами*) часто ведет себя как индивидуальное химическое соединение, лишенное оптической активности и отличающееся по физическим свойствам от каждого из антиподов. Например, растворимость рацемической винной кислоты в воде в 6,7 раз ниже, чем растворимость чистых энантиомеров. Наблюдается отличие оптической плотности рацемических растворов и растворов чистых энантиомеров.

Кроме знака вращения все другие физические и химические свойства энантиомеров в газовой фазе, а также в ахиральных жидких средах обычно одинаковы. Однако, если

---

<sup>30</sup> От греческого *χειρ* – рука.

жидкая среда хиральна (например, в раствор добавлен хиральный реагент или катализатор, или сам растворитель хирален) свойства энантиомеров начинают различаться. При взаимодействии с другими хиральными соединениями, отзывающимися на зеркальную изомерию молекул, энантиомеры реагируют с различными скоростями. Общее правило состоит в том, что энантиомеры проявляют идентичные свойства в симметричном (ахиральном) окружении, а в несимметричном (хиральном) окружении их свойства могут изменяться. Это свойство используется в асимметрическом синтезе и катализе. Различие свойств наблюдается и при формировании полимерных соединений. Полимеры, сформированные из блоков одной симметрии (безразлично D- или L-конфигурации), термодинамически более устойчивы, в сравнении с тем, если они представлены рацемической смесью. Этот фактор чрезвычайно важен для термодинамической устойчивости макромолекул белков, углеводов, и нуклеиновых кислот. Свойства хиральных структур порождают процессы их сепарации в ходе формирования фрактальной кластеризации. В этом смысле хиральность биологических структур имеет вполне естественное обоснование.

Активизация в растворах первичных водных ареалов на Земле супрамолекулярных химических отношений породила определенный регламент процессов самосборки и самоорганизации с учетом конформации участвующих в них частиц. Эффективная реализация супрамолекулярного прин-



ципа «ключ – замок» («хозяин – гость») в значительной степени обуславливалась взаимоконформациями вступающих в реакцию мономеров. Часто между «гостями» и «хозяевами» нет иных взаимодействий, кроме ван-дер-ваальсовых. Термодинамическая устойчивость таких соединений обеспечивается фактически только вследствие благоприятной геометрии взаиморасположения молекул-гостей и структуры хозяйского каркаса. Выполнение принципа «ключ – замок» в этих условиях жестко зависит от формы изомерии взаимодействующих компонент. При удачном совпадении слабые межмолекулярные взаимодействия приводят к выигрышу энергии по сравнению с энергией составляющих исходных компонентов в свободном состоянии. Это порождает различные линии супрамолекулярных структур на основе определенных сочетаний форм изомерии вступающих во взаимодействие продуктов. Так начинается расслоение рацемических смесей в растворах первичных водных ареалов по хиральным линиям.

Дифференциация каталитических и супрамолекулярных свойств на основе хиральности усилила характер нелинейности и неравновесности формирующейся системы. Нелинейные открытые среды (системы) являются носителями различных форм локализации (структур-аттракторов), в которых возможны бифуркации, приводящие к нарушению симметрии в связи с объединением структур, например, на основе «памяти» системы. В качестве «памяти» может выступ-

пать, в частности, химическая активность энантиомеров в хиральной среде и в процессах их полимеризации. При этом сложный спектр структур-аттракторов, отличающихся различными размерами и формами, существует лишь для узкого уникального класса нелинейных отношений, определяемых термодинамикой и химической кинетикой, а также воздействием внешних возмущений.

Теория бифуркаций динамических систем определяет в зависимости от совокупности возмущающих параметров явления суперкритической и субкритической бифуркаций Пуанкаре – Андронова – Хопфа. В зависимости от этого создаются условия формирования структурно устойчивых или структурно неустойчивых динамических систем. В первом случае получается новая структурно упорядоченная динамическая система со своими наследственными свойствами. В противоположном случае динамическая система остается в рамках первичного множества управляющих параметров с возможностью дальнейших явлений бифуркации под воздействием каких-либо возмущений.

Направление бифуркации связано с совокупным воздействием возмущающих сил. В различных регионах земного шара существуют определенные различия направленности и интенсивности силовых планетарных полей, связанных с вращением планеты (например, силы Кориолиса), гравитацией и магнитным полем. Кроме того, в рамках отдельного водного ареала могли существовать стационарные тече-

ния, которые также могли вносить некоторую долю упорядоченности в определенных временных масштабах в термодинамический «хаос» броуновского движения. Сложившаяся совокупность всех этих, и каких либо других возмущений в месте дислокации первичного ареала формирования пробиотической материи определила направление процесса бифуркации. При этом активизация супрамолекулярных химических отношений усиливала и ускоряла процесс бифуркации, создавая принципиально новую палитру взаимодействующих веществ на основе их хиральности.

В предположении некоторой локализации ареала первичного формирования пробиотической материи феномен ее хиральной структуризации не является каким-либо абсолютно уникальным явлением. Отметим также, что хиральность в том или ином виде присуща практически всем уровням стратификации структурной упорядоченности Материи. Например, от гипотезы «о материи и антиматерии» до упорядочения дорожного движения.

Таким образом, в условиях начального хирального дуализма относительно многообразия мономеров при ограниченности ресурсов и при обострении показателей нелинейности бифуркация должна была перевести систему в какое-либо гомохиральное состояние, которое и реализовано в живой природе.

# Информационные отношения

Появление в составе кластеров рибонуклеиновой кислоты (РНК) создало предпосылки и возможности проявления принципиально новых отношений в супрамолекулярных реакциях, обуславливающих процессы коэволюции пробиотических структур и среды их окружения в локальных окрестностях. Возможно, в активизации процессов формирования молекул РНК определенную роль сыграла их генетическая связь с молекулами аденозинфосфорных кислот, являющихся составной частью (нуклеотидом) РНК. Свойство молекул аденозинфосфорных кислот аккумулировать и переносить энергию создает возможности полимеризации нуклеотидов с созданием полинуклеопептидных структур. При этом экспериментально показано, например А. Б. Четвериним с сотрудниками из Института белка Российской академии наук, что полирибонуклеотиды (РНК) в обычной водной среде способны к спонтанной рекомбинации, то есть обмену отрезками цепи, путем транс-эстерификации. Обмен коротких отрезков цепи на длинные, должен приводить к удлинению полирибонуклеотидов (РНК), а сама подобная рекомбинация способствовать структурному многообразию этих молекул. Среди них могли возникать и каталитически активные молекулы РНК. В отличие от других полисахаридов, имеющих строго детерминированные первичные структуры, молекулы

РНК могут представлять неограниченное разнообразие первичных структур за счет произвольного набора азотистых гетероциклических оснований, связанных с моносахаридами.

В 1960-х годах был открыт так называемый триплет-экситонный перенос энергии (ТЭП)<sup>31</sup> в нуклеиновых кислотах (ДНК или РНК) под действием ультрафиолетового излучения. Этот процесс начинается, когда одно из азотистых оснований полинуклеотидной цепи поглощает квант ультрафиолетового излучения. Основание РНК переходит в возбужденное состояние, после чего передает энергию соседнему основанию, а само возвращается в невозбужденное состояние. Перенос энергии по цепи идет при строгом соответствии квантовых свойств соседних оснований. Он продолжается до какого-либо нарушения однородной первичной структуры макромолекулы РНК (модифицированного основания, перегиба цепи и др.), где энергия может высвободиться.

Влияние ультрафиолетового излучения на включение механизмов ТЭП в формирование динамики химических процессов на этапе их предбиологического синтеза является достаточно распространенной гипотезой. Это, в определенной степени, обусловлено представлениями о физике атмосферы и гидросферы того периода. Действительно, при отсутствии озонового слоя в атмосфере той эпохи обеспечивалось

---

<sup>31</sup> От латинского *excito* – возбуждать. Представления об экситоне ввел в 1931г. Я.И.Френкель.

достаточно мощное ультрафиолетовое облучение поверхности планеты. Это является вполне убедительным основанием представленной гипотезы. Вместе с тем современные представления физической химии и биологии показывают возможности инициации ТЭП не только вследствие ультрафиолета, а и за счет энергетических воздействий другой природы (ионизация, химическое воздействие и т.п.). Конечно, сам по себе анализ степени влияния той или иной природы формирования и инициации механизмов ТЭП в первичных РНК безусловно представляет интерес, но в рамках нашего феноменологического анализа важнее другое.

Независимо от природы явлений формирования механизмов ТЭП в первичных РНК в структуре кластеров начал реализовываться процесс строго упорядоченных событий возможных химических реакций, которые определялись последовательностью возбуждения оснований РНК в соответствии с ее конкретной структурой. Практически последовательность возбуждаемых оснований РНК представляет некоторую микропрограмму, выполнение которой происходит на основе ТЭП. В природе появился и начал реализовываться новый тип отношений – информационные. Это стало принципиально новой феноменологической вехой, являющейся началом отсчета эпохи пражизни на нашей планете. Кластеры, обладающие такими возможностями можно уже называть предпробионтами.

Принципиальным свойством информации является ее

структурная организация. Именно это свойство обеспечивает ей однозначную интерпретацию информационных объектов для действий, которые производятся в соответствии с их содержанием. В пространственном представлении такая структуризация эквивалентна хиральности и *обусловлена* ею в предпробионтах. Действительно для выполнения информационных процедур, имеющих смысл с точки зрения имманентного содержания информационного объекта, должно быть четко регламентировано правило организации последовательности информационных единиц. Программа исполняется по ее записи в определенном направлении, выдавая при этом необходимый предсказуемый результат. В попытках выполнения программы в другой последовательности команд вряд ли можно достичь такого же результата или вообще выполнения программы.

Реализация предпосылок для возможности формирования информационных отношений абсолютно адекватно ложится на хиральность углеводородных макромолекул. Термодинамические условия определили комплиментарность различных групп хиральности нуклеотидов и полипептидов, поддерживая системную сепарабельность хиральных образований. По словам академика Н. Н. Моисеева – это снимает ареол абсолютной эмержетности и обосновывает естественные факторы формирования хиральности живой клетки. Принципиальным является положение, что *реализация информационных отношений возможна лишь на хираль-*

*ных структурах*. При этом информационные объекты антиподов несовместимы.

Традиционным является вопрос о конкретной хиральности органических соединений живой материи. Подчеркнем, что никакие рацемические смеси, либо подобные паллиативы, не удовлетворяют возможностям реализации *информационных отношений*, которые стали превалировать в процессах метаболизма на этапе пражизни. Направление бифуркации не определяемо, хотя сама бифуркация закономерна и предсказуема. Такие явления достаточно распространены в природе. Например, проблема антивещества в окружающей нас части Вселенной, правило «правой руки» в электромагнитной индукции, направление вращения небесных тел, направление записи и чтения текстов на естественных языках, движение на автомобильных дорогах. Можно назвать массу других примеров подобных явлений аналогичных по своей сути хиральности. Это подчеркивает, что хиральность живой материи не уникальное природное явление, а лишь необходимое свойство ее существования на основе и для реализации информационных отношений.



# Программное управление с разделением программ и «данных»

Отметим дуализм любых информационных структур. В технической интерпретации – это аспекты материального воплощения структур реализации информационных отношений (*hardware*) и информационного обеспечения актуализации информационных отношений (*software*). Эти аспекты являются принципиально самостоятельными и независимыми *категориями* в плане имманентных факторов и закономерностей их сущности, но для воплощения на их основе информационных систем необходим определенный гомоморфизм, реализуемый для каждой категории в рамках их трансцендентного системного соответствия. Имманентная самостоятельность этих категорий создает для открытых систем возможности их коэволюции на основе трансцендентного гомоморфизма и порождает в условиях синергетической комплиментарности объективные предпосылки самоусложнения информационных систем. Хотелось бы упомянуть безусловную паритетность значимости обеих категорий в судьбах информационных систем. Ни о каком приоритете или первородстве какой-либо из этих категорий в рамках информационных систем нет смысла говорить, т.к. только их совокупность создает возможность реализации, какой бы то ни было информационной системы.

Информационные отношения связывают информационные объекты с учетом их свойств упорядоченности, которую можно представить в двух видах: иерархическая и феноменологическая упорядоченность информационных объектов.

*Иерархическая упорядоченность* информационных объектов отражает рост их семантической сложности. Например: бит, байт, буква, слово, файл, база данных и т.д., или микрооперация, команда, микропрограмма, подпрограмма, программа, системное программное обеспечение, прикладное программное обеспечение и т.д.

*Феноменологическая упорядоченность* информационных объектов отражает форму их участие в сигнатуре информационных отношений, определяя два типа информационных объектов: *программы* и «*данные*». При этом конкретный информационный объект в зависимости от ситуации может выступать в конкретных условиях либо как информационный объект «данных», либо как программный объект.

Иерархическая упорядоченность присуща обоим феноменологическим типам информационных объектов. Возможно, предположить, что иерархическая упорядоченность носит фрактальный характер, т.к. при переходе на более высокий уровень иерархии создаются качественно новые семантические образы, которые не могут быть просто оценены как сумма информационных объектов нижележащего уровня. Интерпретируя это в рамках системных отношений можно говорить о тезисе, обобщенно представляемом в виде –

«целое больше суммы его частей». Такой феномен является мощным средством, стимулирующим саморазвитие информационных систем.

Разделение информации, например в вычислительных системах, на программы и «данные» является традиционным. В ряде вычислительных систем специального назначения это имеет принципиальный характер в целях обеспечения высокой устойчивости и защищенности выполнения программ. Даже основополагающий тезис в основе организации компьютеров Дж.фонНеймана о двоичном кодировании числовой и программной информации, в общем случае, носит в основном технологический характер, обеспечивая единообразие элементной базы, но не претендует на отсутствие разноформатности кодирования команд (программной информации) и «данных». Для хранения программ и «данных» нередко используются разные по своим физическим свойствам носители, наиболее приемлемые для конкретных условий работы вычислительной установки. Это напоминает ситуацию формирования структуризации информации в пробиотических системах, которая распространилась на все дальнейшие этапы эволюции живой материи на Земле.

Программируемый процесс управления супрамолекулярными химическими отношениями позволял многократно тиражировать *идентичные продукты*, в то время как термодинамические отношения обеспечивали отбор наиболее удачных программ. Именно эти отношения определяли со-

став продуктов, которые способствовали устойчивости процессов метаболизма в конкретных условиях среды-субстрата и энергообеспечения каталитических реакций на основе переноса энергии молекулами АТФ и энергии ультрафиолетового излучения для генерации ТЭП. Такими продуктами комплиментарными для РНК явились полипептиды на основе аминокислот.

С информационной точки зрения на этом этапе начался процесс дифференциации носителей информации в соответствие с различием типов феноменологической упорядоченности информационных объектов. Это – класс программ, формат и содержание которых стали определяется структурами РНК, и класс «данных», которые представлены в виде полипептидов, являющихся результатом реализации программных процессов. При этом важнейшим феноменологическим результатом является то, что именно эти информационные компоненты (в виде ферментов) определяют в дальнейшем конкретные условия функционирования (настройку) и материал для выполнения программ. В биологии класс информационных объектов, содержащих программы их развития (нуклеиновые кислоты), принято называть первичной генетической информацией, а класс информационных объектов, содержащих непосредственные «данные» в результате выполнения этих программ (белки и ферменты на их основе), относятся ко вторичной, точнее фенотипической, информации.

Отметим, что до момента такой дифференциации имманентные аспекты *hardware* и *software* развивающихся в Природе информационных отношений не были акцентированы. Дифференциация информационных носителей, с одной стороны, расширила палитру вариаций супрамолекулярных химических процессов, но с другой стороны, создала условия обеспечения некоторого консерватизма программных объектов. Это позволяло в определенной степени как бы «естественно оптимизировать» процессы тиражирования предпробионтов в конкретных, уже складывающихся, биохимических условиях, обеспечивая коэволюцию формирующихся предпробионтов и среды-субстрата на основе энергообеспечения каталитических реакций.

# Формирование «элементной базы и схемотехники» природных биотехнологий

Следующий феноменологический этап совершенствования информационных отношений в преддверии формирования живой материи связан со вторичными структурами РНК и полипептидов. Нуклеиновые кислоты обладают сильно выраженными кислыми свойствами (обусловлены остатками ортофосфорной кислоты в их составе) и при физиологических значениях  $pH$  несут отрицательный заряд. Этим объясняется одно из важных свойств нуклеиновых кислот – способность к взаимодействию по типу ионной связи с основными белками, ионами металлов (преимущественно с  $Mg^{2+}$ ), а также с полиамидами. На основе этих свойств молекулы РНК активно формируют ионные связи с элементами полипептидных структур, создавая полинуклеопептидные частицы. Сила ионных взаимодействий существенным образом зависит от  $pH$  среды, что создает возможности реализации широкого спектра образующихся частиц и определенной динамики их реструктурирования. Первичная молекулярная структура этих частиц определялась, в основном, уже возникшими информационными процессами реализации микропрограмм на основе ТЭП в молекулах РНК.

Стабильность же возникающих образований была связана, в первую очередь, со вторичными структурами макромолекул.

РНК является однотожевым полимером. В то же время, взаимодействия боковых групп – азотистых оснований, друг с другом, а также с фосфатами и гидроксилами сахаро-фосфатного остова, приводят к тому, что однотожевой полимер РНК может сворачиваться на себя и скручиваться в компактную структуру, подобно сворачиванию полипептидной цепи белка в компактную глобулу. Таким способом происходит конформация вторичной (пространственной) структуры макромолекул РНК (конформеры), при которой уникальные нуклеотидные последовательности РНК могут формировать уникальные пространственные структуры. Поскольку в составе РНК имеются свободные 2-оксигруппы рибозы, не связанные со стандартным крик-уотсоновским спариванием азотистых оснований, появляются возможности образования вторичной и третичной структур, содержащих выпуклости, шпильки, или крестообразные структуры.

Это способствовало, с одной стороны, усложнению полинуклеопептидных частиц, а с другой стороны, формировало регламенты синхронизации динамики их морфогенеза. Шел процесс, если говорить современным техническим языком, формирования элементной базы и схемотехники, обеспечивающих устойчивую реализацию возникших и развивающихся информационных отношений. Критерием отбора образцов в этом процессе являлись термодинамические

факторы, условия накопления концентрации предпробионтов и их стабильность.

Решающим феноменологическим фактором в упорядочении элементной базы предпробионтов явился переход к инициации энергообеспечения функционирования микропрограмм на основе энергетики возникающего метаболизма. Повышение концентрации пробиотического вещества и сезонно-суточная изменчивость ультрафиолетового излучения увеличили важность и значение роли АТФ, сделав ее основным *локальным источником энергетического обеспечения* каталитических реакций. Этот процесс усиливал нелинейные отношения в сепарации химических фракций и вещества в пробиотическом субстрате, способствуя определенной стандартизации «схмотехнических решений» предпробионтов.

Стандартизация схмотехники способствует упорядочению форматов информационных отношений, создавая совместимость различных программных продуктов. Такая ситуация создает предпосылки возможности перехода на новый иерархический уровень информационных отношений, существенно увеличивая вариативность достигаемых результатов. Это, несмотря на кажущееся уменьшение активных схмотехнических вариантов, происходит за счет различия потенциальной варибельности материальных (физических, химических, механических, термодинамических и др.) отношений, которые имеют характер степенных зависимостей от



сложности ресурса, и информационных отношений, имеющих факториальный характер потенциальной вариабельности от сложности информационных объектов.

На этом этапе происходила генерация слабо связанного, но уже в определенной степени стандартизованного по химическим и информационным связям, пробиотического вещества. Многообразие форм пробиотического субстрата мы можем себе пофантазировать, рассматривая многообразие минорных аминокислот, минорных гетероциклических азотистых оснований рибонуклеотидов, вирусных и виroidных РНК и т.п. Эти структуры не регламентированы непосредственными информационными отношениями основных, существующих сейчас типов живой материи (начиная от прокариотов, и до высших растений и животных). Вместе с тем, эти структуры устойчиво присутствуют в биосфере, давая основание представлениям о том, что процесс биохимической эволюции живой материи даже высших видов живых организмов далеко не завершен, а имеющиеся потенциальные возможности действующих информационных и биохимических отношений, даже на клеточном уровне, имеют большой запас для развития.

Наряду с элементами-носителями информационных отношений в процессах пробиотического метаболизма формировались и неинформационные компоненты, которые представляли собой предшественников последующих конструктивных клеточных элементов и фракции состава субстрата.

та будущей цитоплазмы. Их кластеризация способствовала возможностям создания локальных условий стабилизации состояния химической среды (например, постоянство *pH* и др.), что в свою очередь позволяло более интенсивно протекать каталитическим реакциям и поддерживать процессы естественного отбора устойчивых конфигураций.

Подчеркнем еще раз, что уже на этом этапе динамика метаболизма, основанного на каталитических и супрамолекулярных реакциях, полностью определялась формирующимися информационными отношениями. Термодинамические условия среды и термодинамические показатели протекающих реакций служили лишь «ситом», через которое «фильтровались» удачные решения. Генерация метаболических процессов на основе информационных отношений позволяла практически неограниченно тиражировать структуры, удачные с точки зрения термодинамической устойчивости. Это регламентировало ход коэволюции, формируя ее направленность. Кроме того, происходила как бы поляризация продуктов метаболизма (по структуре и хиральности активного вещества), что способствовало росту мощности доступного ресурса пробиотического вещества в формируемом направлении коэволюции.

# Стандартизация информационных отношений

Взаимная комплиментарность ингредиентов пробиотического вещества способствовала созданию определенного круговорота их форм с учетом возможностей использования ресурсов внешней среды для стабилизации (в частности, и для развития) возникающих в результате этого отношений. Новый уровень информационных отношений формировался уже на достигнутом уровне структуризации пробиотических структур. С информационной точки зрения восхитительным фактом является появление рибонуклеотидных комплексов, специфически индивидуально связывающих определенный тип аминокислот. Это явилось прообразом, так называемых транспортных РНК (тРНК), которые, захватывая молекулу аминокислоты, образуют комплексную частицу аминокил-тРНК. К настоящему времени открыто более 60 различных тРНК. Для каждой аминокислоты в клетке имеется, по крайней мере, одна специфическая тРНК. Для ряда аминокислот открыто более одной: в частности, для серина, лейцина и аргинина – 6 разных тРНК, для аланина, треонина и глицина – по 4 разных тРНК.

В схемотехнической интерпретации такое структурное образование, как частицы аминокил-тРНК, является *регистром хранения «данных»* – основополагающая структур-

ная единица любых схемотехнических решений обработки информации. Различные варианты взаимодействия таких регистров создают всю палитру схемотехнических решений обработки информации. И при этом базовыми, основополагающими элементами являются именно регистры.

Нам трудно предположить, как происходил процесс хомоморфогенеза прародителей клеточных органелл. Но реликтовость и идентичность рибосом (одной из самых распространенных органелл в клеточных структурах) всех прокариотов на фоне структурной схожести их РНК (рРНК) с тРНК подталкивает к мысли, что структурная модификация аминоцил-тРНК комплексов создала прообразы большой и малой субчастиц рибосом. Согласно большинству современных эволюционных концепций, примитивный предшественник рибосомы мог состоять только из РНК и лишь в ходе эволюции постепенно дополняться белками. С информационной точки зрения существенным является включение в определенные полирибонуклеопротеидные комплексы ионов магния, которые обеспечили появление принципиально нового эффекта в реализации информационных отношений в кластерных образованиях. Ионы магния явились тактирующим элементом, определяющим дискретный такт работы совокупности информационных полирибонуклеотидных комплексов по выполнению процедур формирования аминокислотных последовательностей белков («данных») на основании информации, заключенной в последовательности

набора азотистых гетероциклических оснований полирибонуклеотидов, участвующих в информационном взаимодействии.

Академик А. С. Спирин – директор Института белка Российской академии наук, указывает, что этому могла способствовать неэнзиматическая рекомбинация олигонуклеотидов, комплиментарно связывающихся с полинуклеотидной матрицей (прототипом иРНК). В результате этого могло обеспечиваться сшивание (сплайсинг) фрагментов, комплиментарных этой матрице, в единую цепь. Именно таким способом, а не катализируемой полимеризацией мононуклеотидов, могло осуществляться первичное копирование (размножение) РНК. Разумеется, если появлялись рибозимы, обладавшие полимеразной активностью, то эффективность (точность, скорость и продуктивность) копирования на комплиментарной матрице должна была значительно возрастать.

Образовалась классическая совокупность информационных структур, характерных для организации процесса обработки информации, включающая:

- регистр команд – информационная РНК (иРНК);
- регистры операндов – транспортные РНК (тРНК);
- исполнительное операционное устройство (рибосома на основе рРНК);
- выходной регистр «данных» в виде синтезированного белка.

Отметим, что взаимодействие образовавшихся информа-

ционных элементов полностью совпадает с принципами работы, так называемых, *машин Поста и Тьюринга*.

Современные компьютеры устроены несколько иначе, исходя из требований удобства написания программ людьми – программистами, в принятых терминах математических и языковых отношений, эффективности использования вычислительного ресурса и освоенных в промышленности технологических возможностей создания элементов хранения и преобразования информации. Но Природе эти установки как целевые требования безразличны. Отбор возникающих вариантов предпробионтов происходил не на основании сложности формирования их программы (ведь программа – иРНК, уже создана), а на основе полученного результата. Поэтому идеальная и наиболее простая схема, вместе с тем воплощающая процесс возможности реализации алгоритма любой сложности, достаточно естественно при своем возникновении получила объективное право на существование и оказалась не просто жизнеспособной, но и фантастически продуктивной, о чем свидетельствует вся эволюция жизни на Земле.

Сформировавшиеся принципы программного обеспечения – актуализации информационных отношений, и материального воплощения структур реализации информационных отношений носят настолько фундаментальный характер, что они остались практически без изменения на всем известном нам этапе эволюции жизни от прокариотов до клеток выс-

ших организмов. Структуры информационных полирибонуклеотидов (иРНК, тРНК, рРНК), выполняющих регистрационные и операционные функции в ходе реализации алгоритмов внутриклеточного воспроизведения живой материи, фактически идентичны у всех живых организмов.

# Кодирование

Одним из основополагающих факторов функционирования информационных систем является фиксация регламента кодирования информационных объектов. Практика создания компьютеров показала существенную зависимость регламентов кодирования от типов информационных объектов (программы и «данные»), их иерархического уровня, мощности множеств кодируемых информационных объектов и технологических возможностей элементной базы. Концепция дискретного представления информации на основе знаков некоторого конечного алфавита обеспечивает возможность перехода представлений информационных объектов одного иерархического уровня к следующему, а также обеспечивает согласование различных форм представления информационных объектов в конкретных информационных системах.

Алфавиты представляют собой конечные счетные множества, элементы которых могут быть пронумерованы числами натурального ряда. Это обеспечивает возможность взаимного отображения алфавитов на основе формальных теоретико-множественных отношений между элементами алфавитных множеств и их подмножествами. Процесс структуризации алфавитных знаков с целью передачи информации в пространстве или во времени или для ее преобразования на-



зывается кодированием, а множество комбинаций последовательностей алфавитных знаков (символов), используемых в конкретной информационной системе для представления тех или иных информационных объектов называется кодом представления этих объектов. Это качественное преобразование можно выделить в самостоятельный феноменологический уровень информационных отношений.

В смысле иерархической упорядоченности информационных объектов алфавитные знаки представляют собой минимальную порцию (квант) отображения информации на конкретном уровне информационных объектов, являясь, на этом основании, нижним уровнем кодирования информационных объектов определенной семантической категории (уровня семантической сложности информационных объектов). С этих позиций процесс кодирования обеспечивает переход от символьного неидеоморфного ее представления на уровне знаков алфавита к идеоморфным<sup>32</sup> образам знаковой формы отображения информации данного семантического уровня ее интерпретации.

Мощность алфавитного множества не является категоричным критерием сложности информационных систем. Это вытекает из возможностей взаимного отображения алфавитов на основе теоретико-множественных отношений. Фиксация алфавитных множеств в искусственных и естественных информационных системах определяется, чаще

---

<sup>32</sup> От греческого *ídéa* – понятиеи *μορφή* – образ

всего, возможностями «элементной базы» и складывающимися в системе процедурами передачи, хранения и обработки информации.

В настоящее время для технических систем, связанных с обработкой и передачей цифровой информации, обычно применяется двоичный (бинарный) алфавит ( $A = \{0,1\}$ ), на основе которого реализуются различные методы и системы двоичного кодирования. Выбор двоичного алфавита связан с относительной простотой электронных элементов для выполнения операций на множестве состояний 0 и 1. Реализация таких операций может быть осуществлена на однопороговых переключательных схемах, находящихся в состояниях типа: «включено»/«выключено». Создание электронных элементов, которые имеют более двух устойчивых состояний, пока что не нашло «дешевого» технического решения.

В пробиотической среде на основе процессов хомоморфогенеза сформировались два независимых алфавита для представления программных информационных объектов (РНК) и «данных» (полипептиды). Эти алфавиты отличаются своими основаниями (количество различаемых значений множества знаков алфавита) и материальными носителями представления квантов информации для каждого типа феноменологической упорядоченности информационных объектов. Алфавит программных информационных объектов пробиотической среды определялся множеством типов гетероциклических азотистых оснований РНК, отображаю-

щих минимальные порции (кванты) информации этого типа информационных объектов. Алфавит «данных» – полипептидов, формируемых на основе реализации программных информационных отношений, определялся множеством типов аминокислот, участвующих в реакциях синтеза, управляемого этими программами.

Наряду с алфавитом процедуры кодирования и декодирования должны учитывать *направленность* кода. Очевидно, что в самом коде сведения о его направленности отсутствуют, и необходимы дополнительные системные механизмы (соглашения), обеспечивающие восприятие направленности кода. На этапе пробиотического метаболизма это уже обеспечивалось за счет явления хиральности компонент, вступающих в реакцию на основе катализа.

Заметим, что код «данных» в биологических системах является неравномерным. Это дает возможность кодирования безграничного числа информационных объектов. По этим свойствам он схож с естественными языками. Не это ли сходство определяло приоритетную значимость белков во многих гипотезах происхождения жизни?

Для программного типа информационных объектов их кодовые комбинации должны однозначно определять конкретную команду, которую должна выполнить операционная структура. Процесс программного синтеза белков в биологии определяется термином «трансляция». Его условно делят на 3 стадии: инициацию, элонгацию (удлинения белко-

вой структуры) и терминацию. Экспериментально установлено, что инициация и терминация обусловлены специальными кодонами в структуре иРНК, ограничивающими программу синтеза конкретного белка. На стадии элонгации выполняются процедуры присоединения к белковой последовательности новой аминокислоты, в соответствии с заданным в структуре иРНК кодом. Это определяет «систему команд» полирибонуклеопептидных операционных структур, которые подобно *машинам Поста и Тьюринга* включает следующие типы команд:

- пуск программы;
- выбор по заданному в команде «адресу» операнда и запись его в сдвиговой (выходной) регистр;
- останов программы.

Команды выполняются в естественной последовательности, задаваемой структурой иРНК. При несоответствии «адреса» операнда, заданного в команде, множеству рабочих адресов происходит «безусловный переход» к следующей команде без каких-либо операций со сдвиговым регистром.

Команды имеют два формата:

- команды пуска и останова программы включают в себя специфические коды соответствующих операций (пуска и останова программы) и не содержат в себе никакой «адресной» части, т.к. после пуска программы реализуется естественная последовательность выполнения команд, а при останове программы она заканчивается без каких-либо пе-

реходов;

– формат команды выбора операнда по заданному «адресу» и запись его в сдвиговой регистр, содержит только «адрес» операнда, т.к. код операции для всех команд этого типа идентичен.

На основании этого кодовые комбинации информационных объектов программного типа должны обеспечивать возможность идентификации рабочих «адресов» операндов, а также идентификацию кодов команд (инициирующих кодов) пуска и останова программы.

«Адрес» операнда (выбираемой аминокислоты) идентифицируется структурой антикодоновой петли тРНК, расположенной на противоположной стороне от того конца тРНК, к которому присоединяется аминокислота. Антикодоновая петля состоит из 7 нуклеотидов: три занимают центральное положение и формируют собственный высокоспецифичный антикодон, по два нуклеотида расположены по обе стороны от него, включая модифицированный пурин и варьирующее основание с одной стороны и два пиримидиновых основания – с другой стороны. На противоположном антикодоновой петле 3-ОН-конце располагается одинаковая для всех тРНК последовательность триплета ЦЦА-ОН (Ц – пиримидиновое основание цитозин, А – пуриновое основание аденин), к которой присоединяется посредством эфирной связи специфическая аминокислота. Связывание в основном происходит через 3-ОН-группу концевой адениловой нуклео-

тида. Почти все тРНК обладают не только удивительно сходными функциями, но и очень похожей трехмерной структурой.

В общем случае, кодирование – это операция отождествления символов или групп символов одного кода с символами или группами символов другого кода. Необходимость кодирования возникает, прежде всего, из потребности приспособить форму информационного объекта к конкретному «устройству» приема или преобразования информации. В пробионтах, а впоследствии и во всех клетках живых организмов, механизм сканирования иРНК в ходе элонгации предполагает участие молекул тРНК, которые взаимодействуют в структуре малой рибосомной субчастицы. Первым шагом элементарного элонгационного цикла является именно это взаимодействие за счет кодонспецифического связывания аминоацил-тРНК с нуклеотидным триплетом (кодоном) иРНК на основе комплиментарного взаимодействия, обусловленного возникающими водородными связями между пуриновыми и пиримидиновыми гетероциклическими азотистыми основаниями этих РНК.

Идентичность алфавитов иРНК и тРНК обусловила процесс регламентации кода для синтеза белков, в первую очередь, на основе комплиментарности отображения гетероциклических азотистых оснований этих РНК, а также за счет информативной емкости антикодоновой петли тРНК. 7-рядная структура антикодоновой петли, даже с учетом ми-

норных оснований, с лихвой перекрывала потребности множества кодовых комбинаций для кодирования всей совокупности аминокислот, участвующих в предбиологическом метаболизме. Это создавало возможность многообразия кодов, расширяя палитру порождаемых пробионтов. Отголоском этого, возможно, является, например, специфический код митохондрий, отличный от генетического кода современных клеточных организмов. Интересно заметить, что синтезируемые в митохондриях белки являются нерастворимыми белками и участвуют в основном в организации структуры этих же органелл, в то время как местом синтеза растворимых митохондриальных белков являются рибосомы цитоплазмы, откуда они затем транспортируются в митохондрии.

Возможно, в ходе эволюции пробионтов на основе многообразия кодов возникали периоды их акцентированной репродукции, стимулирующей определенную микросоматику. Фиксация кодового регламента основывалась, по-видимому, на процессах естественного отбора удачных, решений, способных к производству и тиражированию пробионтов. Механизм этого отбора формировался к этому времени уже на отношениях катализа пробиотических химических реакций. Заметим, что на этапе пражизни процесс репродукции пробионтов еще не вошел в стадию конвариантной редупликации (возникновение и сохранение вариантов в ходе воспроизведения). Происходило лишь накопление структурно кластеризованной пробиотической массы.

# Формирование элементов инфраструктуры hardware

Мы рассмотрели формирование «скелета» становления новой категории организации материи в Природе на основе морфизмов, определяемых информационными отношениями. Обращаясь к существующей живой природе, можно отметить, что совокупная масса вещества, обеспечивающего непосредственную реализацию информационных отношений в живой клетке, составляет всего лишь (1–5)% от общей массы клетки. Отметим, что приблизительно такое же соотношение существует и в искусственных технических компонентах компьютеров – сверх больших интегральных схемах (СБИС), разрабатываемых и создаваемых с учетом оптимизации используемого вещественного ресурса.

Действительно, в современных СБИС масса кристалла, на котором воплощаются операционные элементы (с учетом целенаправленной оптимизации коэффициента эффективности использования кристалла под реализацию операционных компонент), составляет небольшую долю от общей массы СБИС. Значительная часть вещественного ресурса СБИС связана с обеспечением коммуникаций между операционными средствами, как между собой, так и для связи с внешним миром. Значительная часть ресурса СБИС связана с энергообеспечением операционных средств. Большая



доля вещественных затрат СБИС используется для формирования необходимых конструктивных показателей (жесткость, защита от внешних воздействий и др.). Эффективность функционирования операционных компонент с точки зрения их назначения тесно связана с температурными режимами их работы. Создание необходимых температурных условий для каждой работающей операционной компоненты требует определенных дополнительных затрат в использовании вещественного ресурса СБИС.

Для живых клеток распределение вещественного ресурса по назначению практически аналогично СБИС. Наиболее тесно связаны непосредственно с исполнительными средствами реализации информационных отношений белковые структуры – результат («данные») этих отношений. Образуя нуклеопротеиновые комплексы, белки обеспечивают переход от идеальной схемы реализации информационных отношений на основе «элементной базы» РНК к реальным рабочим структурам – будущим клеточным органеллам.

Пробиотическая масса наряду с элементами-носителями информационных отношений включала большое разнообразие, так называемых, неинформативных биохимических соединений, тиражируемых в ходе катализа реакций пробиотического метаболизма, инициируемых неупорядоченным многообразием первичных пробиотических программ. Достаточно естественно, что процессы тиражирования наиболее эффективно протекали в поле химических соединений,

обладающих адекватными каталитическими возможностями и имеющих сходный с информационными компонентами состав химических элементов. Базисной средой, создающей ресурсное обеспечение процессов тиражирования в ходе пробиотического метаболизма, являлся пограничный слой атмосферы, содержащий углеродные соединения в газообразной фазе, активно диффундирующие в пространстве на контакте с водными поверхностями, и водные растворы пробиотических компонентов. Это, по всей видимости, и определило коэволюцию среды и пробиотического субстрата.

Основными классами неинформативных биохимических соединений явились углеводы (сахариды) и липиды. Углеводами называются вещества с общей формулой  $(C_xH_2O)_y$ , где  $x$  и  $y$  могут иметь разные значения. Название «углеводы» отражает тот факт, что водород и кислород присутствуют в молекулах этих веществ в том же отношении, что и в молекуле воды. Такое свойство позволяет водной среде быть неограниченным материальным ресурсом тиражирования углеводов.

Липиды представляют обширную группу очень большого химического разнообразия нерастворимых в воде соединений на основе сложных эфиров жирных кислот и какого-либо спирта. Обладая значительной вязкостью, липиды агрегировали с протеинами (липопротеины) и углеводами (гликолипиды), создавая различного типа коллоидно-дисперсион-

ные системы, являвшиеся прототипом будущих биомембран и оболочек. Липиды (триацилглицеролы), представляющие собой жиры и масла, молекулы которых неполярны и вследствие этого не растворимы в воде, различаются между собой главным образом наличием двойных связей ( $C=C$ ) в структуре жирных кислот, чем определяется температура плавления липидов. Именно переход фазового состояния этих веществ имел значимые функции в структуре пробиотического субстрата.

В отличие от этого липопротеины и гликолипиды, а также фосфолипиды, образуются полярными молекулами, имеющими гидрофильную (полярную) «голову» и гидрофобный (неполярный) радикал углеводородного «хвоста» жирных кислот. В водных растворах такие структуры могут образовывать пленки и мицеллы, которые являются основой моделей биологических мембран, которую предложили в 1935 году британские биологи Х. Давсон и Дж. Даниелли. Появление протомембран обеспечивало возможности локальной консервации и дифференциации пробиотического субстрата. Это способствовало стабилизации условий протекания каталитических реакций, обусловленных иницируемыми информационными отношениями. Так формировались ингредиенты и элементы будущей инфраструктуры клеточной организации живой материи.

Совокупность компонент пробиотического субстрата, создающихся на основе формирующихся информационных от-

ношений, являясь *«элементной базой»* их реализации и развития, определила принципиально новую форму структурной организации вещества в природе. Это был первый этап появления на нашей планете *«живой материи»*. *«Жизнь»* еще не возникла. В системе синтеза предпробионтов еще отсутствуют механизмы, обеспечивающие устойчивость сохранения вариантов на уровне пробиотических структур в ходе их воспроизведения. Формы синтезируемых пробиотических компонентов носят еще достаточно случайный характер. Но складывающиеся системные отношения регламентируют комплиментарность образуемых форм пробиотических структур на основе хиральности и стандартизации информационных отношений. Эти свойств фактически формируют границу *«системы пражизни»* и будущую границу системы биосферы.

Реализация возможностей активной тиражируемости компонентов на основе информационных отношений при возникновении благоприятных условий определила процесс наращивания физической массы пробиотического субстрата, являющейся основой формирования живой материи.

Отметим, что подобного типа процессы с другим или сходным набором базовых элементов вещества протекают на нашей планете непрерывно. Об этом говорят упомянутые факты наличия и в настоящее время ареалов системного неорганического синтеза супрамолекулярных структур на основе углеводов. Так что сама феноменология процес-

са формирования пражизни не уникальна. Уникально совпадение ландшафтно-климатических условий и физико-химического состава верхней оболочки земного шара на этапе формирования пражизни. Именно эта совокупность динамики преобразования верхней оболочки в истории нашей планеты обусловила формирование устойчивых системных связей на основе принципиально своеобразного класса информационных отношений в процессах структуризации вещества.

Результатом этапа пражизни является формирование системы элементной базы, лежащей в фундаменте нашей живой материи. Принципиальным феноменологически значимым моментом является закрепление в системе определяющей роли информационных отношений, которые становятся основополагающим имманентным фактором организации системы и ее развития. Оформление системы пражизни определило ее границу условиями хиральности пробиотических объектов и стандартизации действующих информационных отношений.

В *Приложении 2* приведена таблица ***Феноменологической хронологии пражизни***.

# Начало жизни и прокариоты (Procaryota)

*С момента возникновения молекул, способных к конвариантной редупликации (возникновение и сохранение вариантов в ходе воспроизведения), начинается биологическая эволюция.*

*Н. В. Тимофеев-Ресовский*

*Жизнь не может быть представлена в виде супа живого вещества. Она представлена организмами  
Г.А.Заварзин*

В эпоху пражизни на поверхности земного шара появились очаги пробиотического метаболизма, в которых обеспечивалась достаточно стабильная динамика создания и воспроизведения пробиологического вещества. Это явилось прелюдией к возникновению жизни на Земле и к началу биологической эволюции. Тезис Н. В.Тимофеева-Ресовского, приведенный в эпиграфе к настоящему очерку, феноменологически четко формулирует существенные отличительные особенности проявления свойств живой природы с точки зрения ее системного представления. В нем подчеркивается свойство конвариантной редупликации как основы процесса развития жизни, отражая тем самым содержание и, в

определенной степени, форму возникающих отношений имманентного и трансцендентного аспектов пробиотических систем на начальном этапе жизни на нашей планете. Взгляд на этот процесс как биологическую эволюцию подразумевает определенную устойчивость проявления отмеченного свойства в системе живой природы. С феноменологической точки зрения приведенное высказывание является определяющим в представлении границы системы Жизни (живой природы) на Земле.

Обратим внимание на фактор сохранения вариантов в ходе воспроизведения. Для пробионтов реализация этого свойства носит достаточно случайный характер. В системе их синтеза отсутствуют механизмы, обеспечивающие устойчивость сохранения вариантов на уровне пробиотических структур в ходе воспроизведения. Эти факторы оставляют системы, возникшие на этапе пражизни, вне рамок живой природы.

Вновь процитируем академика Г. А.Заварзина: «...жизнь не может быть представлена в виде супа живого вещества. Она представлена организмами... Ни один компонент [входящий в состав организма, *ред.*] не может существовать без взаимодействия с другими. Отсюда жизнь и является свойством системы, в то время как отдельные компоненты несут лишь отдельные функции. Организм как носитель жизни существует лишь как составная часть экосистемы, включающей среду обитания... Все, что не является орга-

низм, не является живым».

Реальная картина окружающей нас живой природы демонстрирует как *основополагающее свойство живых организмов наличие у них внутренних механизмов, регламентирующих высокую достоверность сохранения вариантов в ходе воспроизведения*. Это и является феноменологическим отличием живых организмов от предпробионтов.

Рассматривая реализацию в живой природе тезиса Н. В. Тимофеева-Ресовского, заметим, что конвариантная редупликация в живых организмах в части сохранения вариантов в ходе воспроизведения обеспечивается в чистом виде лишь на уровне генетического кода (программ развития живых организмов). Соматический же облик особей может существенно отличаться в ходе индивидуального развития. В большинстве случаев при этом не пропадает свойство сохранения варианта первичной программы развития организма. Оценивая значимость информационных отношений на основе индивидуальных программ организмов в живой природе, можно сформулировать тезис имманентного представления феноменологии живой материи, который является, в определенной степени, методологической основой, фактически, всего дальнейшего материала книги.

Проявление живой природы – это реализация имманентных (внутренних) информационных отношений отдельных живых организмов (объектов живой природы), обусловленных именно внутренними программами их развития, на



основе которых обеспечивается преобразование ресурсов окружающей среды в структуру и жизнеобеспечение нового живого организма.

Развитие предпробионтов на базе информационных отношений сближает структуры этапа пражизни с живыми организмами, выделяя их из общего универсума неживой природы. Феноменологическая значимость информационных отношений в процессах коэволюции живой материи и ее предыстории на этапе пражизни вызывает интерес к более детальному осмыслению именно процессов развития информационных отношений в ходе биологической эволюции. С этой целью проведем в феноменологическом аспекте некоторое ассоциативное сравнение развития информационных отношений в живой природе с историей, например, развития современных информационных технологий на основе средств вычислительной техники (компьютеров). Для этого вкратце воспроизведем начальные феноменологически значимые эпизоды развития компьютерных технологий.

# Краткий обзор становления компьютерных технологий.

Идеи механизации и автоматизации обработки, хранения и тиражирования информации формировались у людей на всем этапе их существования. Мы не будем рассматривать общую историю развития информационных отношений в человеческом обществе, которая охватывает слишком широкий круг событий и типов информационных систем, а ограничимся лишь вопросами, непосредственно связанными со становлением современных компьютерных технологий как средств для реализации информационных отношений.

Следует отметить, что в отличие от естественных систем создание искусственных средств всегда носит целевой характер по их назначению. Это отличие является принципиально значимым с точки зрения посылки непосредственной генерации создания и воспроизводства средств. Но для информационных отношений оно в определенной степени нивелируется объективными условиями возможностей перехода от одного уровня к более высокому уровню сложности в любых информационных системах. Это, в первую очередь, связано с необходимостью адекватности схемотехнических решений (*hardware*) и программного обеспечения (*software*), что в значительной степени определяется и регламентируется достигнутым уровнем технологий создания

*hard-* и *software*. Другим аспектом такой нивелировки является объективность именно эволюционного развития информационных отношений. Это достаточно очевидно интерпретируется на основе тезиса коэволюции систем и внешней среды.

До середины XX века уровень технологий был недостаточен для создания необходимой элементной базы и схемотехнических возможностей, обеспечивающих физическую реализацию вычислительных систем с автоматизированным программным управлением. Это не позволяло человечеству перейти Рубикон, разделяющий информационные технологии только передачи и тиражирования информации от возможностей компьютерных технологий: преобразование, обработка и формирование новых видов информации, на основе которых, в свою очередь, создаются принципиально новые подходы организации управления широким спектром процессов жизнеобеспечения на нашей планете.

Развитие вычислительной техники с момента создания первых электронно-вычислительных машин чаще всего стратифицируется в шкале нескольких поколений на основе элементной базы, используемой при создании компьютеров. Онтология этих взглядов широко представлена в различной литературе по информатике. Тема настолько широка, что мы не берем на себя смелость обсуждать ее в кратком, ограниченном виде. Вместе с тем, мы попытаемся отметить ряд явлений, связанных, на наш взгляд, с качествен-

ными изменениями концепций информационной логистики, которые формировали эволюцию информационных технологий на основе средств вычислительной техники в течение этого времени.

Одним из феноменологических ограничений с точки зрения развития информационных отношений являлось то, что операционные устройства в своей совокупности обеспечивают возможность хранения только достаточно ограниченного объема информации. Поэтому, начиная с создания первых электронно-вычислительных машин, разработчики пытались использовать какие-либо средства для увеличения памяти и вследствие этого объемов информации, которую можно использовать для организации вычислительного процесса. Одним из путей решения этой задачи являлась организация, так называемой, внешней памяти. Вначале были перфоленты, перфокарты, магнитные ленты, магнитные барабаны, диски и т.д. На основе новых технологий изготовления носителей внешней памяти разработчики аппаратных средств достаточно эффективно решают задачи увеличения доступных объемов памяти. При этом практически с самого начала появления средств внешней памяти они являются в определенной степени автономными и конструктивно независимыми от непосредственной структуры компьютера. К тому же для внешней памяти обычно применяется своеобразная элементная база, отличная от элементной базы операционных устройств. Отметим два основных ак-

цента требований к носителям внешней памяти. Во-первых, возможность наращивания, в идеале без ограничений, объемов памяти. Во-вторых, устойчивость хранения записанной информации на длительном интервале времени без ее регенерации в различных условиях эксплуатации. Эти свойства превращают средства внешней памяти в качественно новый объект информационной логистики. Именно на их основе обеспечиваются эффективные процедуры тиражирования программного обеспечения.

По-видимому, именно с организации внешней памяти для хранения программного обеспечения начался процесс обособления software и hardware, что в определенной степени схоже с противопоставлением соматики и психики, «души» и «тела» у человека. Сейчас компьютерные дискеты, флеш-устройства и т.п., являясь элементом внешней памяти и одновременно переносчиком информации, распространены не менее чем книги или другая печатная продукция. Поэтому появление внешней памяти в структуре электронно-вычислительных машин по феноменологической значимости, на наш взгляд, сопоставимо, например, с появлением письменности в истории развития человечества. Действительно, работа вычислительной установки только с оперативной памятью в определенной степени эквивалентна устной речи. Даже при наличии развитых коммуникационных возможностей взаимодействия таких средств обработки и преобразования информации остается слишком высокая веро-

ятность искажения информации и, в связи с этим, разного уровня опасность нарушения функционирования информационных систем.

В силу того, что операционные средства обработки и преобразования информации являются конечными структурами, то в результате этого они могут одновременно работать лишь с ограниченными информационными объемами. Преодоление этих ограничений на основе внешней памяти дает возможность структурной редукции организации памяти. Такой подход создает условия применения средств, эффективно технологически ориентированных на процедуры для хранения больших объемов информации. В рамках компьютерных технологий реализация такого подхода обеспечила существенное снижение затрат на создание и эксплуатацию больших хранилищ информации на основе внешней памяти.

Используемая элементная база при создании внешней памяти, существенно отличающаяся от элементной базы операционных средств, в большинстве случаев обеспечивает снижение на несколько порядков масса-габаритных показателей и «стоимости» организации хранения информации в сравнении с аналогичными показателями для операционных элементов и оперативной памяти. При эксплуатации внешняя память в условиях отсутствия информационного обмена обеспечивает функцию хранения информации, не требуя, достаточно часто, энергопотребления.

Редукционный подход к организации памяти наряду с

возникающими преимуществами приводит к необходимости некоторого усложнения имманентной структуры операционных средств обработки информации. Это связано с необходимостью реализации определенного редуктора, обеспечивающего согласованное функционирование оперативной и внешней памяти. Отметим, что в современных компьютерах это принципиальная составляющая структура операционных средств, которая существенным образом влияет на организацию и возможности реализации вычислительного процесса. В инженерной практике средства, обеспечивающие редукцию информационных потоков между различными уровнями стратификации памяти, получили название *контроллер*. С феноменологической точки зрения процессы передачи информации между структурами внешней памяти и операционными средствами информационных систем можно уподобить функциям модуляции в классическом представлении каналов передачи информации.

Не смотря на усложнение имманентной структуры операционных средств, эффект от применения внешней памяти создал принципиально новые качественные возможности информационных технологий за счет осуществления доступа практически к не ограниченным по объему информационным ресурсам.

В структуре компьютеров обычно можно выделить два типа средств внешней памяти:

- внешняя память без сменных носителей информации

– это магнитные барабаны в первых поколениях электронно-вычислительных машин; жесткие диски («винчестер») для современных компьютеров и аналогичные им по функциональному назначению средства;

– внешняя память со сменными носителями информации – это магнитные ленты и средства ввода/вывода с перфокарт (в первых поколениях электронно-вычислительных машин), сменные («флопи» и оптические) диски, флеш-устройства и подобные им для современных компьютеров.

Обычно средства внешней памяти со сменными носителями являются пограничными для вычислительной системы структурами, определяя архитектуру ее взаимодействия с потребительской средой. Чаще всего они осуществляют не прямое взаимодействие с операционными средствами обработки и преобразования информации, а через промежуточное взаимодействие со средствами внешней памяти без сменных носителей информации. Поэтому внешнюю память со сменными носителями информации не редко относят к средствам ввода-вывода.

Программное обеспечение взаимодействия со средствами внешней памяти в современных системах обычно строится на основе блоковой (косвенной) адресации. Создаются условия, при которых операционные средства работают непосредственно в небольшом диапазоне адресного пространства, но с помощью специального программного обеспечения осуществляется возможность работы фактически



с неограниченными объемами информации на заданных *внешних принципах* блочной организации адресного пространства внешней памяти. Потребности организации работы операционных средств с внешней памятью в значительной степени определили направление развития программного обеспечения (software) вычислительных средств и, в частности, операционных систем.

Принципиальным положением операционных систем явилось многоуровневая организация памяти. Недаром в названии одной из наиболее распространенных первых операционных систем (Disk Operating System, DOS – дисковая операционная система) идентификатором является именно указатель внешнего хранилища памяти – «диска». Операционные системы обладают наборами специализированных программ управления отдельными устройствами вычислительной установки – «драйверами»<sup>33</sup>, что позволяет по мере необходимости подключать ресурсы отдельных устройств для реализации текущего вычислительного процесса. Но все-таки, одной из наиболее важных функций операционных систем, пожалуй, является управление памятью, которое производит необходимое информационное наполнение и распределение ограниченных объемов оперативной памяти в целях текущего поддержания хода выполнения вычислительных процессов. Именно это обеспечивает возможность фактически их безграничной информационной поддержки при ограничен-

---

<sup>33</sup> От английского *driver* – управляющий.

ных объемах оперативной памяти.

Такая концепция операционных систем создает предпосылки реализации информационной «открытости» вычислительных систем. Речь идет не о беспрепятственном доступе к вычислительному и информационному ресурсу, а о возможности получать произвольные порции информации из разных источников (включая внешние и внесистемные хранилища информации) непосредственно в ходе выполнения вычислительного процесса. Реализация этих возможностей фактически представляет воплощение уровня имманентного системного представления (отображения) внешней среды. Именно на этой основе в 60-х годах XX столетия в рамках третьего поколения вычислительной техники были сформированы основополагающие концепции, обеспечивающие возможности реализации системного подхода при создании вычислительных установок.

Одним из критериев эффективности применения средств внешней памяти в развитии информационных технологий является высокая степень достоверности сохранения информации при перемещении ее во времени и в пространстве в широком диапазоне условий изменчивости среды. Это существенно отличает, например, организацию внешней памяти от оперативных запоминающих устройств компьютеров и систем связи.

По сути, внедрение и дальнейшее развитие средств внешней памяти явилось новым феноменологическим шагом в

эволюции современных информационных технологий на основе их компьютеризации. Особенно отчетливо это иллюстрируется с момента (середина 1970-х годов) появления персональных компьютеров (ПК) и их лавинообразного распространения во всех сферах деятельности человечества. К этому времени достижения микроэлектронных технологий обеспечили возможность создания высоконадежных сверхбольших интегральных схем (СБИС), на которых полностью воплощались операционные процессорные компоненты компьютеров со всеми внутренними связями. На основе этой элементной базы, в свою очередь, создались условия и возможности массового производства компьютерных установок, с приемлемыми эксплуатационными показателями для использования в различных сферах производственной, управленческой, научной, документально-информационной и культурной деятельности, включая рекреационные аспекты жизни людей, например, компьютерные игры.

С феноменологической точки зрения произошел качественный переход в эксплуатационных ситуациях применения компьютерных установок. Фактически, с внедрением современных персональных компьютеров были сняты требования специальной подготовки пользователей компьютерных установок в знании аппаратной и программной организации их работы, существовавшие в предшествующие периоды. Основоположниками в середине 1970-х годов и активными претворителями в жизнь ориентации на непрофесси-

онального пользователя (с точки зрения специальных знаний по работе компьютеров) были создатели фирмы Apple: С.Возняк и С.Джобс. Такой подход в значительной степени увеличил инвестиционные потенции общества по обеспечению развития компьютерных технологий, что естественным образом способствовало их активному качественному и количественному развитию.

Отметим при этом два штриха того периода компьютерных технологий. Во-первых, производство СБИС требует сложных высоко затратных технологических комплексов, обеспечивающих экономическую эффективность только при массовой тиражируемости продукции. Это ограничивает количество промышленных предприятий, выпускающих СБИС. Во-вторых, возникают проблемы сложности операционных процессорных компонентов на уровне микропроцессорных архитектур, обеспечивающих возможность их реализации внутри одной СБИС. Оба фактора в совокупности приводят к унификации схемотехнических решений и снижению номенклатуры элементной базы для создания компьютерных установок. Однако, как показал опыт, эти ограничения не оказали существенного влияния на темпы компьютеризации общества. Более того, стандартизация архитектуры hardware в определенной степени способствовала расширению творческих возможностей программистов по созданию многообразия прикладного software на основе стандартизированных операционных систем (в частно-

сти Windows и Linux). При этом можно отметить, что взаимовлияние стандартизации software и hardware происходит обоюдно.

Эра персональных компьютеров сопровождается беспрецедентным ростом объемов внешней памяти, доступной индивидуальным пользователям. Только за последние десятилетия емкость локальных носителей внешней памяти увеличилась более чем в 10 тысяч раз, а их масса-габаритные показатели, например, для флеш-устройств с емкостью в десятки Гбайт (еще в начале 2000-х тысячных годов казавшиеся едва ли достижимыми!) составляют в настоящее время всего несколько грамм массы и объем порядка кубического сантиметра.

Представляется, что именно на основе феномена внешней памяти появилась возможность перехода от эксклюзивного способа реализации программного обеспечения на отдельных вычислительных установках к массовому тиражированию программ и переноса их на вновь создаваемые вычислительные средства. Это создало предпосылки системной организации компьютерных технологий. Подчеркнем, что в рамках software вычислительные системы стали фактически самодостаточны. Новые программные продукты создавались на основе и с помощью действующего программного обеспечения. Мы отвлечемся сейчас от вопроса непосредственного влияния software на развитие hardware и обратного влияния. Подчеркнем в этом лишь, что само проектирование и созда-

ние вычислительных установок зиждется на системах автоматизации проектирования (САПР) и не может быть эффективно выполнено без применения компьютеров. “CYBER сделал CYBER” – образно выразился главный конструктор одной из мощнейших в свое время вычислительных установок. Таким образом, возникшая система компьютерных технологий, являясь открытой для воздействия человеческого разума, приобрела вместе с тем определенный паритет в развитии информационных отношений и всех, связанных с ними, процессов в современном обществе.

На этом приостановимся в рассмотрении истории становления вычислительной техники и вновь перейдем к проблематике развития информационных отношений в живой природе.

# Начало жизни

Обсуждая начальные этапы становления компьютерных технологий, мы преднамеренно сделали акцент на роль средств внешней памяти в развитии возможностей информационных отношений в компьютерных комплексах и системах. Подчеркнем еще раз, что именно эти средства обеспечили условия перехода от эксклюзивных вычислительных установок к многообразию современных видов вычислительных ресурсов и компьютеров широкого назначения. Эти сведения подвигают нас к гипотезе перехода от этапа пражизни к началу Жизни на основе формирования новых информационных отношений в пробиотических системах, обусловленных появлением в их структурах средств длительного хранения информации.

Сложившиеся на этапе пражизни процессы формирования пробиотической материи на основе РНК-«элементной базы» обусловили в существующей тогда среде их развития необходимую плотность пробиотических компонент для обеспечения необходимой динамики их воспроизведения. РНК, являясь однотожевым полимером, обладает свойством образовывать сложные структуры за счет водородных связей комплиментарных азотистых оснований. Возможно именно это и явилось основой развития РНК-«элементной базы» для реализации информационных отношений, обеспечива-

ющих выполнение программируемых каталитических реакций на основе принципов формирования супрамолекулярных структур.

Образование на этой основе нуклеопротеиновых комплексов способствовало обеспечению определенной устойчивости предвестников клеточных органелл и реализации массовой тиражируемости создаваемого пробиотического вещества. Вместе с тем дальнейшее развитие информационных отношений только на основе РНК-«элементной базы» имело значительные ограничения. Это принципиально связано непосредственно со свойствами однотяжевой структуры РНК. Молекулы РНК при определенном удлинении теряют линейную структуру, образуя петли и связанные участки. Это ограничивает размеры информационных массивов для хранения программ. Действительно, и в современных живых клетках, при осуществлении информационных отношений, РНК как память выполняет только функции оперативных запоминающих устройств – ОЗУ (хранение на молекуле и РНК программы непосредственного управления процессором (рибосомой) для синтеза одного конкретного белка) и адресных регистров операндов (тРНК) для выбора необходимой аминокислоты.

Подобно тому как при развитии вычислительной техники переход от эксклюзивного использования вычислительных установок к их универсализации в определенной степени, а в феноменологическом плане, на наш взгляд, в качестве до-



минантного шага, был обусловлен созданием средств внешней памяти, так и в процессе формирования живой природы для дальнейшего развития информационных отношений необходимо было воплощение средств долговременного хранения больших объемов информации, на основании которой осуществлялся бы генезис развития биологических объектов, обеспечивающий свойство конвариантной редупликации как основы процесса развития жизни.

Таким шагом на этапе начала жизни было включение в обеспечение информационных отношений пробиотических кластеров дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК) – средств долговременного хранения генетической информации.

Заметим попутно, что нуклеиновые кислоты на основе нуклеотидных химических кластеров не являются какими-либо сверх уникальными образованиями в спектре биологически активных химических соединений. Видимо, условия контакта первичной Земной атмосферы и открытых водных поверхностей на планете обеспечивали продуктивную реализацию формирования достаточно сложных циклических сахаро фосфатных и нитратных соединений за счет ковалентных связей на основе возникающей концентрации первичных химических компонентов (химических элементов) и термодинамического воздействия на них. Дальнейшее усложнение таких кластеров (с точки зрения реализации процесса «ароморфоза») включало уже активную реализацию парадигмы создания супрамолекулярных

структур с активным участием нековалентных связей. Это в определённой степени подтверждается активным и широким спектром нуклеотидных соединений, являющихся базовыми (и, видимо, первичными в формировании) в организации внутриклеточного метаболизма. К таким, например, относятся: аденозинмонофосфат (АМФ), аденозиндифосфат (АДФ), аденозинтрифосфат (АТФ) – аденозинфосфорные кислоты, обеспечивающие аккумуляцию и перенос энергии для реализации химических процессов, а так же никотинамидадениндинуклеотид (НАД), никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ), флавинадениндинуклеотид (ФАД), кофермент А и др.

ДНК в своей полиморфической химической структуре макромолекул (первичная структура) является полным аналогом РНК. Отличие заключается лишь в том, что сахаром, представляющим в обеих кислотах пентозу, в ДНК является дезоксирибоза, а в РНК – рибоза. Различие этих сахаров связано с внутренней группой молекулы второго атома углерода. В рибозе присутствует гидроксильная группа – ОН, а в дезоксирибозе она заменена на атом водорода – Н. Отсутствие во внутренней группе сахара ДНК одного атома кислорода придает полинуклеотиду ДНК пространственно конструктивно структурные свойства (трехмерная структура), определяемые в основном водородными связями, существенно отличающиеся от аналогичных свойств полинуклеотидов РНК.

РНК, обладая однотяжевой (одноцепочной) структурой полинуклеотида, по мере его удлинения обычно образует сложные пространственные конфигурации с взаимным притяжением отдельных ее участков в основном за счет водородных связей комплементарных азотистых оснований. Именно эти свойства РНК, как указывалось ранее, способствовали формированию на ее основе «элементной базы» для развития и реализации информационных отношений в пробиотических системах.

В отличие от этого ДНК обычно образует двухтяжевую структуру, которая состоит из двух полинуклеотидных цепей. Каждая цепь закручена в спираль и обе они свиты вместе и закручены вокруг одной и той же оси, образуя двойную спираль. В результате реализации процессов молекулярной хиральной структуризации, на основе которой обеспечивается генетическая передача информационных отношений, в биосфере закрепились правосторонняя закрученность молекул ДНК.

Расстояние между сахарофосфатными остовами двух цепей постоянно и равно расстоянию, занимаемому парой комплементарных азотистых оснований, т.е. одним пурином (двух кольцевое основание) и одним пиримидином (однокольцевое основание). Полный оборот спирали приходится на 10 пар оснований. Из многообразия азотистых оснований устойчивые комплементарные связи полинуклеотидов ДНК образуют две пары: Аденин (двухкольцевой пурин, А) – Ти-

мин (однокольцевой пиримидин, **T**) и Гуанин (двухкольцевой пурин, **G**) – Цитозин (однокольцевой пиримидин, **C**). Никаких ограничений относительно последовательности пар нуклеотидов в цепи и ее длины не существует. Двухтяжевая супрамолекулярная структура ДНК обладает высокой устойчивостью по отношению к внешним воздействиям и изменением окружающей среды. Это также существенно отличает ее от полинуклеотидов РНК.

С точки зрения возможностей реализации информационных отношений двухтяжевая супрамолекулярная структура ДНК представляет собой двоичный регистр памяти произвольной протяженности. Действительно, если не фиксировать приоритет какой-либо из двух спиралей, образующих двухтяжевую супрамолекулярную структуру ДНК, то каждое звено (нуклеотид) идентифицирует одну из двух пар азотистых оснований (Аденин – Тимин или Гуанин – Цитозин), т.е. представляет бинарную последовательность. Это как-то перекликается с выбором «дешевого» технического решения на основе методов и систем двоичного кодирования, принятых в современных информационно-телекоммуникационных технологиях.

На уровне двухтяжевой супрамолекулярной структуры ДНК «направленность» пар не несет содержательного значения, т.к. ее структура к этому индифферентна. Однако несимметричное включение нуклеотидов в полинуклеотидные цепи нуклеиновых кислот создает определенную на-

правленность этих цепей. Именно в связи с этим одиночные цепи двухтяжевой молекулы ДНК разнонаправлены. Кроме того, взаимодействие с операционными элементами информационных отношений – транскрипция однотяжевой (одноцепочной) структуры полинуклеотида РНК (иРНК), происходит только в определённом направлении по одиночной цепи ДНК, создавая комплементарную ей цепь иРНК. С феноменологической точки зрения эти факторы априорно создают *направленность* генетического кода, что является необходимым надкодовым условием, обеспечивающим возможности системных передач и восприятия информации. Кроме того, переход от бинарного алфавита пар комплементарных пар азотистых оснований двухтяжевой молекулы ДНК к многообразию этих оснований на одиночной цепи ДНК создаёт эффект мультипликации размерности алфавита генетической информации, что и закрепилось четырёхзначным алфавитом. На наш взгляд именно эти положения и явились фиксацией алфавита генетического кода биоорганизмов.

Можно предложить различные гипотезы сценариев внедрения ДНК в реализацию информационных отношений, формирующихся на этапе пражизни биологических структур, но все они будут иметь ряд идентичных доминирующих акцентов. Это: ферментативная активность нуклеиновых кислот, идентичность первичной структуры полиморфизма РНК и ДНК и, конечно, устойчивость двухтяжевой супрамолекулярной структуры ДНК по отношению к внешним

воздействиям и изменением окружающей среды, что обеспечивает возможность воплощения долговременной памяти для хранения генетической информации и реализации на этой основе свойств конвариантной редупликации формирующихся биологических объектов. Этот тезис в определенной степени подсказывается структурой и жизненными циклами прокариотов.

Отметим, что современные эубактерии, прошедшие длительный путь эволюции, показывают значимость, эффективность и в определенной степени достаточность ферментативных свойств РНК в обеспечении каталитических реакций при формировании супрамолекулярных структур внутриклеточных органелл. Говоря о достаточности, мы хотим подчеркнуть, что значимость и эффективность ферментативных свойств РНК поддерживаются на уровне, необходимом для жизнеобеспечения и развития эубактерий. И это обеспечивается, не смотря на то, что каталитические свойства РНК могут быть на несколько порядков слабее каталитических свойств специфических белков. Видимо на этом этапе развития жизни баланс сложности управления супрамолекулярными процессами и скорость их реализации в биологических структурах достигается на основе полифункционального (реализация программного управления и каталитическая активность) действия РНК. Естественно предположить, что на этапе перехода от пражизни к началу жизни эти свойства более контрастно проявлялись с точки зрения систем-

ного представления.

Идентичность полиморфизма молекул РНК и ДНК обеспечивает возможность процесса транскрипции имеющейся в них информации. На основе результатов многих исследований достаточно уверенно утверждается, что по своему содержанию синтез комплементарной молекулы иРНК на образе одиночной цепи молекулы ДНК во многом сходен с процессом репарации (коррекции) некомплементарных связей двухтяжевой молекулы ДНК при ее репликации. Да и в принципе, при определенных условиях направление транскрипции может быть обоюдно, как в ту, так и в противоположную сторону. В составе онковирусов (вирус Раушера и саркомы Рауса) открыт фермент обратной транскриптазы, или ревертазы (РНК-зависимая ДНК-полимераза), катализирующий биосинтез молекулы ДНК на матрице РНК. Накоплены данные о том, что многие РНК-содержащие онкогенные вирусы, получившие наименование онкорнавирусов, содержат ревертазу в составе покровных белков. Фермент открыт также во многих клетках прокариотов и эукариотов, в частности в лейкозных клетках, пролиферирующих тканях, включая эмбриональные ткани. Предполагают, что синтез ДНК на матрице РНК происходит в три этапа. На первом этапе фермент ревертаза синтезирует на матрице вирусной РНК комплементарную цепь ДНК, что приводит к формированию гибридной молекулы. Второй этап – разрушение исходной вирусной РНК из комплекса гибридной молекулы

под действием РНКазы. Наконец, на третьем этапе на матрице цепи ДНК комплиментарно синтезируются новые цепи ДНК. Ревертазной активностью обладают и ДНК-полимеразы: например, фермент из *E. coli* способен катализировать синтез ДНК на матрице рРНК. Возможно, по одной из этих схем идет синтез ДНК митохондрий эукариотных клеток.

Приведенные сведения позволяют предположить, что на этапе формирования жизни молекулы ДНК участвовали не только в своей традиционной на настоящий момент функции долговременного запоминающего устройства, но и в функциях организации промежуточных носителей информации, а также подобно РНК в качестве катализатора супрамолекулярных процессов. Вместе с тем достаточно быстрый переход молекул ДНК к статичной устойчивой двухтяжевой структуре ограничивал многообразие пространственных конфигураций, свойственное истинным ферментам. По примеру с РНК, проявляющей ферментативные свойства при аутосплайсинге на основе самоудаления из первичного транскрипта РНК интрона, который и обеспечивает каталитическую поддержку сшивания экзонов, первичные пространственные конфигурации ДНК при реализации ферментативных свойств, по всей видимости, были сходными с пространственными структурами выщепленных интронов. Для обособленных интронов характерны в основном две пространственные структуры. Это кольцо, либо петля типа лассо, которые могут расщепляться, образуя линейную структу-



ру. Возможно, подобные процессы с ДНК явились основой фиксирования кольцевой структуры бактериальной хромосомы будущих прокариотов.

Существовавшая на этапе начала жизни среда, в которой рождались и формировались пробионты, значительно отличалась по химическому составу и термодинамическим показателям от тех условий, в которых развивается современная Жизнь. Поэтому трудно предположить, что ферментативное обеспечение каталитических процессов, протекавших в биологических кластерах начала жизни и в современную эпоху идентичны. Но достаточно уверенно можно утверждать, что архитектура реализации информационных отношений остается на всем протяжении развития жизни на Земле принципиально идентичной. Эта консервативность обусловлена, по-видимому, фундаментальными аналогиями молекул РНК и ДНК и устойчивостью процессов их рекомбинаций, обеспечивающих реализацию программного управления, в первую очередь, на супрамолекулярном уровне строительства, как органелл, так и результатов их деятельности – белковых структур.

Очевидным является то, что сформировавшийся на этапе начала жизни механизм полуконсервативной репликации ДНК, при котором каждая из двух цепей родительской ДНК служит матрицей для синтеза дочерних молекул ДНК, оказался достаточно эффективным для обеспечения процессов конвариантной редупликации живых орга-

низмов. Этот механизм, видимо, обусловлен антипараллельностью (встречная пространственная направленность сахарофосфатных остовов) цепей двухтяжевой супрамолекулярной структуры ДНК. Исследования процессов репликации на основе действия современных специфических ферментов показывает, что отклонения от исходной последовательности азотистых оснований составляет приблизительно 1 на 100 000 (без учета дальнейшей коррекции). Возможно, на этапе начала жизни этот показатель был несколько хуже за счет примитивности ферментативного аппарата, но все-таки обеспечивался достаточно большой тираж реплицированных молекул ДНК. При этом явно искаженные молекулы ДНК (например, появление гетеродуплексов, в которых присутствуют некомплементарные пары) обладают слабой стабильностью (сравнимой со стабильностью РНК). При этом, так же как и в РНК, в искаженных молекулах ДНК могут образовываться узлы на петлях и другие пространственные конфигурации. Эти факторы исключают дальнейшее участие таких искаженных молекул в непосредственной реализации сложившихся информационных отношений. Вместе с тем возникшие в результате распада «неправильных» молекул ДНК нуклеотиды могут являться исходным материалом для следующих циклов процесса репликации. Изменение последовательности азотистых оснований с комплементарным исходом приводило к вариациям исходных программ. Жизнеспособные варианты, при этом, могли давать

новые свойства организмов.

Механизм полуконсервативной репликации ДНК наряду с тиражированием идентичных молекул РНК, создает возможности в дочерних поколениях поддерживать генетически различные жизнеспособные особи. На основе этого возникают условия эволюции без неперенной деградации складывающихся биологических систем. В феноменологическом аспекте это обусловлено открытостью (и в информационных отношениях тоже) биологических систем на всех уровнях их стратификации.

Можно считать достаточно обоснованным мнение, что *дезоксирибонуклеиновая кислота является одной из основополагающих компонент перехода от среды пробионтов к началу жизни на Земле*. Реализация в структуре и в процессах развития пробионтов полного цикла информационных отношений на основе исходной информации, заложенной в ДНК, обеспечила принципиально новый шаг в реализации конвариантной редупликации формирующихся организмов. С феноменологических позиций можно констатировать, что на этом этапе биологической эволюции сформировалась система объектов – организмов, которые в соответствии с заложенной в них имманентной (внутренней) программой обеспечивают, как развитие организмов в соответствии со сложившейся на основе этой программы целью преобразования ресурсов окружающей среды, так и формирование новых организмов. *Фактически именно этап ста-*

*новления и массового закрепления структуры информационных отношений с учетом организации долговременной памяти хранения генетической информации на молекулах ДНК можно считать началом Жизни на нашей планете!*

# Прокариоты (Procaryota) и эволюция

По современным представлениям все известные одноклеточные и многоклеточные организмы вполне естественно делятся на две большие группы – прокариоты и эукариоты. Основой такого деления являются представления об организации (морфологии) хранения генетической информации. Клетки прокариот<sup>34</sup> не имеют оформленного ядра – морфологически обособленной структуры клетки для размещения хранилища генетической информации. Генетический материал (ДНК) прокариот находится прямо в цитоплазме и не окружен ядерной мембраной. У эукариот<sup>35</sup> имеется настоящее ядро – оформленное хранилище генетической информации, т.е. у них генетический материал (ДНК) окружен двойной мембраной (ядерной оболочкой) и образует вполне определенную клеточную структуру, которую очень легко узнать.

Представленная стратификация живых организмов, являясь наиболее принципиальной на уровне их внутриклеточной организации, как бы подчеркивает абсолютную значимость информационных отношений в развитии Жизни. Формально, всего лишь организация обособленного хранилища генетической информации, при принципиальном постоян-

---

<sup>34</sup> От греческого *πρό* – до, предшествующий + *καρύδια* – орех с ядром.

<sup>35</sup> От греч. *εὖ* – настоящий, истинный + *καρύδια*.

стве механизмов репликации и обработки генетической информации, создала новый мир жизни на Земле, разительно отличающийся от мира прокариотных организмов. И всё же, достаточно естественно связывать начало жизни на нашей планете с формированием организмов в виде прокариотных клеток, в которых обеспечивался полный цикл информационных отношений организации жизни на основе тиражирования генетической информации за счет репликации молекул ДНК с программно управляемым синтезом средств обеспечения жизнедеятельности клетки на основе этой генетической информации.

## **Формирование прокариотной Жизни**

Вся генетическая информация прокариот содержится в одной молекуле ДНК, имеющей форму ковалентного замкнутого кольца и получившей название бактериальной хромосомы. Деление молекулы ДНК (репликация) происходит по полуконсервативному механизму и в норме всегда предшествует делению клетки. Механизм полуконсервативной репликации, опробованный в жизни прокариот, сохранился затем для всех живых организмов на Земле.

Считается, что эволюция прокариотных организмов характеризуется ярко выраженным физиолого-биохимическим уклоном и основное развитие прокариот шло по линии формирования и опробования различных функций, резуль-

татом чего и явилось сегодняшнее многообразие видов жизни в микромире. Поразительное физиологическое разнообразие прокариот сформировано на базе весьма ограниченного числа морфологических форм. Морфологическая эволюция прокариот прошла незначительный путь, так что можно говорить лишь о зачатках морфологической дифференцировки на базе прокариотной клеточной организации. При всем при этом необходимо признать абсолютную самостоятельность жизни прокариотных организмов на нашей планете.

Маловероятно, чтобы предковые прокариотные клетки все были на одно лицо. Видимо именно первичное многообразие групп предковых прокариотных клеток определило поразительную приспособляемость мира прокариот к изменчивости условий на планете. В определенной степени это можно проиллюстрировать результатами анализа филогенетических взаимоотношений в группе зубактерий. Все изученные зубактерии в соответствии с вычисленными коэффициентами сходства оказались распределенными на 10 эволюционных ветвей. Наиболее неожиданный результат – обнаружение фотосинтезирующих зубактерий в 5 ветвях из 10, позволяющее сделать заключение о ббльшем их родстве с определенными нефотосинтезирующими бактериями, чем между собой. Это позволяет по-новому подходить к проблеме происхождения разных видов фотосинтеза и фотосинтезирующих зубактерий, в частности.

Распространенной парадигмой эволюции популяций с таким типом вариабельности является представление о влиянии трансцендентного воздействия окружающей среды на индивидуальные особи. Эта парадигма является доминирующей об эволюции жизни в целом. Вместе с тем представление о естественном отборе на основе трансцендентного воздействия окружающей среды не несет в себе представлений о механизмах его феноменологического проявления, и является, по видимому, лишь отражением представления о связи имманентных и трансцендентных аспектов развития систем.

Обычно, к факторам вызывающим ароморфозы относят: наследственную изменчивость, борьбу за существование и естественный отбор. Наиболее активным в этой триаде достаточно часто считается фактор *борьбы за существование*. Обсуждение этого тезиса непрерывно продолжается на протяжении человеческой цивилизации. В своих трудах по этике П. А. Кропоткин пишет: *“Если борьба за существование и истребление физически слабых – закон природы и если без этого невозможен прогресс, то не будет ли мирное «промышленное состояние», обещанное нам Кантом и Спенсером, началом вырождения человеческого рода, как это утверждает с такой силой Ницше ... Когда Дарвин выступил со своей теорией о «борьбе за существование» и представил эту борьбу как главный двигатель прогрессивного развития – продолжает П. А. Кропоткин, ... эти воззрения, как известно, широко распространились. Но если бы они были вер-*



ны, то философу-эволюционисту предстояло бы решить глубокое противоречие, им же самим внесенное в свою философию. Он не может представлять себе природу, «обогреленную кровью» – «red in tooth and claw»,...он должен, по крайней мере, сказать, как он объясняет себе это противоречие”. Достаточно яркое высказывание, показывающее наличие определенных сомнений считать фактор борьбы за существование в качестве побуждающего механизма эволюционных преобразований биосферы! Определенным обоснованием этого, например, может служить закон Гаузе, или принцип конкурентного исключения, на основании которого сформулировано «представление о биологическом виде, как совокупности свободно скрещивающихся популяций, занимающих свою экологическую нишу в природе. Процесс видообразования можно рассматривать как возникновение репродуктивных изолирующих механизмов и новых экологических ниш».

Возможно, воззрения о значимости трансцендентных аспектов жизни живых организмов в виде фактора борьбы за существование сформировались в результате, в определенной степени, неадекватного переноса на процессы развития биологических видов интерпретации социальной и бытовой агрессии из истории человечества. Для большинства видов высокоразвитых организмов характерно наличие некоторых имманентных, в той или иной мере генетически определяемых механизмов, регламентирующих плотность популяции

данного вида в ареале. Чаще всего действие этих механизмов включается при «перенаселенности» ареала особями конкретного вида. Как показывают системные биологические исследования, отсутствие у особей имманентных механизмов регуляции плотности популяции обычно приводят к гибели вида. Это связано с ограниченностью ресурсов экологической ниши распространения вида.

Формы регламентации плотности особей данного вида в ареале достаточно разнообразны, но все они направлены на сохранение не отдельной особи, а вида. В основном, эти формы связаны с устранением репродукционных функций в результате перестройки организма особей, либо их гибели до достижения репродукционной стадии их развития. Одной из распространенных форм реализации механизмов регуляции плотности организмов одного вида в популяции является агрессивность, которая проявляется с начальных стадий развития конкретных особей в условиях их «перенаселенности» в ареале. Интерпретация этого феномена как *борьбы за существование* явно расходится с реальным системным содержанием такого рода процессов. По своей сути они не являются источником или катализатором ароморфозов, определяющих процесс эволюции, а наоборот, являются условиями консервации биологических видов.

В рамках феноменологической модели указывается на межграницные разнонаправленные отношения системы и окружающей среды. С этих позиций можно отметить, что

указанные процессы являются частью отображения межграницных системных отношений в направлении изнутри системы в окружающую среду. В дополнение к этому процессы естественного отбора на основе трансцендентного воздействия окружающей среды представляют часть отображения межграницных системных отношений в направлении внутрь системы из окружающей среды. Отметим при этом, что содержание взаимодействий биологической клеточной системы и окружающей среды в процессах естественного отбора ограничивается лишь на материально ресурсном уровне, не затрагивая информационные отношения. Следствием этого является то, что непосредственное воздействие естественного отбора на изменение внутренней структуры биосистемы незначительно, т.к. отсутствуют прямые механизмы адекватного изменения наследственной информации с изменением параметров внешней среды.

Вследствие этого указанные факторы, включающие аспекты трансцендентных отношений, не являются непосредственными генераторами процессов эволюции клеточных биосистем. В то же время именно на основе этих отношений происходит формирование и реализация процессов коэволюции биологических систем в изменяющемся мире окружающей среды. В идентичных условиях внешней среды сосуществует большое разнообразие биологических организмов, значительно различающихся морфологически и в физиологии взаимодействия с внешней средой. Такое положение

ние поддерживает гипотезу, что *истинным источником эволюции биосферы является наследственная изменчивость, в результате реализации имманентных потенций процессов конвариантной редупликации живых организмов, основанных на развивающихся в них информационных отношениях.* Трансцендентное влияние внешней среды, очевидно, ограничивается лишь пассивным процессом естественного отбора жизнеспособных организмов.

Клеточная организация прокариотных организмов создала возможности реализации воздействий продуктов (результатов) выполнения программ развития организмов на сами эти программы. Возникли принципиально новые информационные отношения. Если в пробиотический период полученные в ходе выполнения отдельных программ данные (для биосистем это белки и формируемые на их основе ферменты) являлись источником формирования исходного материала «живой материи», то в структуре прокариотных клеток результаты выполнения программ стали непосредственно влиять на действующую программу. Возникла своего рода имманентная обратная связь между данными (результатами выполнения программ) и программами, на основе которых они получены. Это явилось важным фактором преобразования клеточных структур. Именно имманентный характер посылы этих преобразований лежит в изменчивости биологических популяций.

На имманентные причины прогрессивной эволюции жи-

вого мира в противовес процессу слепой борьбы за существование, когда *“природа представляется, как громадное поле битвы, на котором видно одно истребление слабых сильными”*, достаточно убедительно указывает П. А. Кропоткин, приводя в обоснование *“необходимости для сохранения, процветания и прогрессивного развития каждого вида наличие у каждой особи инстинкта, что Дарвин называл постоянно присущим инстинктом (a permanent instinct), который всегда в действии у всех животных (выделено П. А. К.)”*.

Имманентная инициализация эволюционных процессов на основе обратной связи воздействия результатов выполнения программ на эти программы является, по-видимому, объективным свойством открытых информационных систем. Впечатляющей иллюстрацией этого может служить Наука – одна из самых совершенных информационных систем, доступных человечеству. Результаты научных исследований формируют дальнейший путь теоретических и экспериментальных научных работ (программ действия), воплощая действие обратной связи «результатов» на «программы обработки исходной информации». Таким образом, создается величественное здание Науки, подчеркнем, именно на имманентных аспектах системы информационных отношений.

Замечательной иллюстрацией приоритета имманентных аспектов в эволюции открытых информационных систем являются последние результаты исследований генетического и

языкового разнообразия населения нашей планеты. Оказалось, что существует высокий уровень корреляции эволюционных процессов по этим, достаточно различным признакам народонаселения. Очень интересным оказывается то, что основная «кухня» эволюции народов (как в генетическом, так и в языковом аспектах) разворачивается в центре освоенного жизненного пространства. Именно в центре ойкумены активно появляются новые этнические группы, порождая генетическое и языковое многообразие народонаселения. История развития человечества показывает, что активные эволюционные процессы способствуют раскрытию внутренних потенций, развивая и облагораживая людей в отдельности и общество в целом. В это же время на периферии ойкумены эволюционные процессы происходят существенно медленнее, не смотря на то, что активность воздействия и случайная нестационарная изменчивость окружающей среды этих ареалов ойкумены обычно более катастрофичны по сравнению с подобными явлениями в центре ойкумены. Именно эти свойства эволюционных процессов позволяют исследователям воссоздавать историю освоения планеты человеком. Например, значительно территориально разнесенные народы Евразии, находящиеся на периферии, по многим генетическим и языковым показателям намного ближе друг к другу, чем их соседи из центральных областей ойкумены. Приведенные сведения достаточно убедительно иллюстрируют одно из основополагающих феноменологических свойств от-

крытых информационных систем – имманентные потенции инициализации процессов эволюции на основе внутренних информационных отношений.

Когда говорят об эволюции биологических систем, достаточно часто присутствует тезис об их структурном самоусложнении, совершенствовании, а это эквивалентно снижению энтропии системы за счет внутренних ресурсов, что исключается общими фундаментальными представлениями о развитии систем. Эти опасения достаточно беспочвенны, т.к. указанные ограничения абсолютны только для замкнутых систем. Все же биологические системы в том или ином виде открыты. А как уже упоминалось, кластеризация и структуризация на основе имманентных отношений для открытых систем достаточно распространенное явление.

Другим тезисом при обсуждении процесса эволюции является, уже упомянутое, весьма ограниченное число морфологических форм прокариот при их поразительном физиологическом разнообразии. Действительно, структура действующих механизмов всех прокариотных клеток практически идентична. Разнообразие проявляется только в содержании программ, определяющих развитие клетки, и в результатах их выполнения, которые формируют непосредственно живой облик клетки.

В этой связи, представляется целесообразным отметить получившую определенное распространение некоторую отягощенность взгляда на эволюцию Живой природы как на

единое развитие биосферы. Заметим в связи с этим, что отдельные клеточные структуры представляют собой вполне самостоятельную специфическую категорию существования живой материи, будь то одноклеточные организмы или компоненты многоклеточных организмов. При этом жизнь, развитие и эволюция отдельных типов клеток далеко не фатальным образом связана с совокупностью всех живых организмов биосферы.

Внутренняя структура объектов и морфизмов (отношений между объектами) каждого типа клеток определяется уровнем программного управления супрамолекулярными процессами формирования клеточных элементов на основе каталитических химических реакций из биологически активного вещества внешней среды. В то же время, в структуре многоклеточных организмов, каждая клетка, реализуя свою «жизнь» на указанных принципах, может организовывать принципиально новые по своему уровню и содержанию межклеточные отношения, которые не имеют какого-либо ярко выраженного гомоморфизма с морфизмами клеточного уровня. Можно говорить о самостоятельной категории некоторого другого уровня объектов и их морфизмов. Вследствие отсутствия гомоморфизма достаточно сложно проектировать причинно следственные связи между категориями клеток и многоклеточных организмов, тем более выстраивать в единый ряд эволюции развитие таких разнокатегориальных систем.



В эволюции прокариот, не смотря на определенную бедность их морфологических форм, необходимо отметить существенные изменения этой морфологии по сравнению с периодом начала жизни при переходе от пробионтов к прокариотным клеточным организмам. Обращаясь к аналогии вычислительных систем, можно сказать, что в процессе эволюции прокариот были зафиксированы «схемные решения» функциональных узлов обработки исходной генетической информации, хранимой в бактериальной хромосоме на ДНК. На основе этого произошла регламентация уровня имманентной структуры функциональной организации средств *информационных преобразований* в прокариотных клеточных системах (по компьютерной терминологии – hardware).

В компьютерах центральным узлом обработки и преобразования информации является процессор. Именно в нем разворачиваются и выполняются задаваемые программы работы с исходной информацией. По аналогии с этим, таким узлом в клеточных структурах являются вполне внутренне структурированные и пространственно замкнуто организованные специализированные органеллы – рибосомы. Организующим началом рибосом являются молекулы рРНК, образующие совместно с белками полирибонуклеопротеидные комплексы – рибосому. На их основе обеспечивается решение задачи синтеза белка (процесс трансляции) по программе, поступающей в рибосому в виде иРНК, которая транскрибирована, в свою очередь, с определенного участка хро-

мосомной ДНК. Исходными данными для синтеза белков является многообразие аминокислот, выбор которых осуществляется с помощью «адресных регистров», реализуемых на основе молекул тРНК.

Полирибонуклеопротеидные комплексы рибосомы обеспечивают управление процессами формирования супрамолекулярных структур – белков, которые являются результатом выполнения генетически заданных программ. Именно эти результаты – выходные «данные» процесса синтеза белков, становятся фенотипической информацией, определяющей организацию процессов онтогенеза организмов.

Известно, что в рибосомах прокариот и эукариот присутствуют 3 типа рРНК, различающихся молекулярной массой и коэффициентом седиментации. Восхитительно! Это является одной из ярких иллюстраций определенного единства клеток всего живого мира на Земле. Молекулы этих типов рРНК обнаружены у всех клеточных форм жизни, что указывает на их древнейшее происхождение; их функции всегда одинаковы; первичная структура в целом характеризуется высокой консервативностью. Это, например, определило выбор рРНК для решения проблем эволюционной систематики прокариот. Особенностью рРНК считается нахождение их вне сферы действия отбора, поэтому данные молекулы эволюционируют в результате спонтанных мутаций, происходящих с постоянной скоростью, и накопление таких мутаций зависит только от времени. Таким образом, мерой эво-

люсионного расстояния между организмами может служить количество нуклеотидных замен в молекулах сравниваемых рРНК.

На основании проведенных по таким представлениям исследований, считается, что эволюция прокариот происходила по трем различным ветвям – архебактерии, эубактерии и эукариоты, характеризовавшиеся разным строением и различными способами получения энергии.

Архебактерии представляют собой группу, в которую вошли некоторые малоизученные прокариоты, обитающие в экстремальных условиях: метанообразующие бактерии, экстремальные галофилы и термацидофилы. Хотя клетки архебактерий структурно относятся к прокариотному типу, они построены из макромолекул (липидов, полисахаридов, белков), многие из которых являются уникальными и не синтезируются ни эукариотами, ни эубактериями. Архебактерии осуществляют ряд биохимических процессов, не свойственных остальным живым организмам. На основании этого был сделан вывод, что архебактерии, по-видимому, представляют собой одну из самых древних групп живых существ.

Группа эубактерий (истинных бактерий) доминирует в настоящее время в популяциях надцарства живых организмов – прокариоты (*Prokaryotae*), показав полную самостоятельность в формировании биосферы на нашей планете. Говоря об эволюции рибосом – «процессоров» эубактерий, возможно предположить, что на начальных этапах фермента-

тивные процессы, поддерживающие каталитический синтез, регламентировались в основном свойствами молекул РНК и достаточно бедным обеспечением примитивными белковыми ферментами. Определенным подтверждением этому, возможно, является то, что у бактерий процессы транскрипции и трансляции идут одновременно. Одна и та же молекула иРНК может быть одновременно связана с ДНК и рибосомами. Это касается и процесса репликации ДНК, который начинается в точке прикрепления кольцевой хромосомы к ЦПМ (цитоплазматическая мембрана), где локализован ферментативный аппарат, ответственный за репликацию. Вместе с тем высокий консерватизм рибосом, позволяет предположить, что белковое обеспечение полирибонуклеопроteidных комплексов рибосом, как для выполнения ферментативных функций, так и для формирования и армирования конструктивно структурных форм непосредственно самих рибосом, произошло на достаточно ранних этапах. У нас нет сведений, как происходит онтогенез в современных прокариотных клетках. Повторяет ли он процесс эволюции рибосом, что свойственно для онтогенеза ряда организмов, либо сразу после транскрипции рРНК происходит формирование полирибонуклеопроteidных комплексов рибосом полностью за счет готового ресурса клетки? Возможно, сведения об этом могли бы прояснить и процессы эволюции органелл прокариотных клеток.

Аналогично эволюции рибосом происходила, по-видимо-

му, и стандартизация адресных регистров, структура которых определяется полирибонуклеопротеидными комплексами на основе тРНК, и исходных данных – операндов (аминокислот для синтеза белков).

С феноменологической точки зрения в процессе эволюции прокариот были зафиксированы «схемные решения» функциональных узлов обработки и тиражирования исходной генетической информации, хранимой в бактериальной хромосоме на ДНК. На основе этого произошла регламентация уровня имманентной структуры функциональной организации средств информационных преобразований в прокариотных клеточных системах. Включение в структуру информационных отношений процедур репликации ДНК и транскрипции управляющих программ на информационные РНК создало возможности реализации процессов конвариантной редупликации сформированных организмов, определивших начало жизни на нашей планете. Сформировавшиеся в прокариотных организмах на основе обработки генетической информации аппарат и механизмы реализации информационных отношений по продуцированию фенотипической информации (выходные данные процедур синтеза белков, являющихся исполнительными структурами организации процессов метаболизма клеток) стали базовыми, как в «схемном» воплощении, так и в принципах внутрисклеточного (внутриклеточного) взаимодействия, для всех клеточных форм развития жизни на Земле.

Феноменологически значимым актом для фиксации и пролонгирования этих результатов в эволюции клеточной формы организации Жизни явилось возникновение на клеточном уровне «обратной связи». Именно это формирует влияние результатов, которые получаются на основе «обработки» первичных данных (аминокислоты) по генетически заложенным программам, на активацию и, в определенной степени, интерпретацию этих программ. «Элементной базой» hardware, обеспечивающей необходимые элементарные процессы каталитических химических реакций для реализации информационных отношений, явились полирибонуклеопротеидные комплексы, которые определяют структуру и функциональность всех клеточных органелл. Рибонуклеиновые компоненты клеточных органелл оказались наиболее консервативными к процессам эволюции Жизни, и их принципиальная идентичность достаточно уверенно поддерживает феноменологический тезис общности происхождения живого на нашей планете.

Одним из основных показателей в развитии вычислительной техники считается производительность компьютеров. В первых поколениях вычислительных машин повышение этого показателя достигалось в основном за счет создания новой, более высоко быстродействующей элементной базы, а также за счет оптимизации схемных решений, учитывающих возможности и нюансы используемой элементной базы. Использование в качестве элементной базы больших и сверх

больших интегральных схем (БИС, СБИС) и создание на их основе микропроцессоров достаточно принципиально изменили пути повышения производительности вычислительных установок и достижения предельных значений по этому показателю. Стал широко использоваться подход распараллеливания вычислительного процесса за счет его выполнения на распределенной совокупности процессоров. Вначале, в основном, это касалось включения в структуру вычислительных установок специализированных процессоров, ориентированных на какую-либо выделенную функцию. Такой подход позволял освободить центральный процессор от выполнения рутинных процедур, а в некоторых случаях добавлять к процессору специальные ускорители для выполнения часто встречающихся сложных операций.

Введение такого распараллеливания обеспечивало повышение эффективности использования центрального процессора, но ограничивало суммарную производительность компьютеров по выполнению основной задачи производительностью центрального процессора. Это не всегда соответствовало требованиям временного регламента решения задач, либо принципиальной возможности решения сложной задачи из-за ограниченности надежных показателей работы аппаратуры. Выход из этого положения был найден на пути создания мульти микропроцессорной архитектуры вычислительных систем. В настоящее время все суперкомпьютеры предельной производительности создаются в рамках имен-

но такой архитектуры. Компьютерные установки – лидеры по вычислительной производительности, включают в себя до сотен тысяч однотипных микропроцессоров. Это позволяет практически во столько же раз повысить суммарную производительность суперкомпьютера по сравнению с быстрой работой отдельных микропроцессоров.

Возможно, что достаточная простота, как самих клеточных процессоров – рибосом, так и процесса их тиражирования при транскрипции рРНК, определили многопроцессорную архитектуру прокариотных клеток без промежуточных эволюционных этапов в этом направлении. В ходе эволюции прокариот оформилась и зафиксировалась архитектура реализации информационных отношений, обеспечивающих программное управление жизненными процессами клетки. Заметим, что эта архитектура в своей принципиальной организации пролонгировалась и на следующий уровень клеточной организации жизни.

## **Информационная архитектура прокариот**

Как показывает опыт развития и эволюции открытых информационных систем, наиболее консервативными их компонентами являются информационные отношения, регламентирующие протоколы иерархической упорядоченности информационных объектов. Именно они в ходе эволюции



прокариот были окончательно сформированы и фактически действуют на всем протяжении развития жизни на Земле.

По определению Ф.Брукса, одного из руководителей проекта вычислительной системы IBM Sistem/360, ответственного за создание операционной системы OS/360, архитектура вычислительной системы является спецификацией интерфейсов. Интерфейс<sup>36</sup> – совокупность средств и методов взаимодействия между элементами системы. Исследования принципов взаимодействия между элементами информационных системы позволили в 1970-х годах сформулировать общую концепцию эталонной модели архитектуры взаимодействия открытых информационных систем, которая кратко представлена во введении.

Подобный подход вполне справедлив и при рассмотрении внутриклеточного информационного обмена между отдельными ее компонентами. В ходе эволюции прокариотных клеток на основе ферментативных процессов, побуждаемых результатами программируемого синтеза белковых продуктов, зафиксировались протоколы и интерфейсы группы транспортных уровней. К ним, в первую очередь, можно отнести: процедуры репликации ДНК; процедуры транскрипции иРНК; транспортную функцию иРНК передачи генетической информации в исполнительную клеточную органеллу – рибосому. Отметим, что процесс эволюции протоколов и интерфейсов этой группы уровней внутриклеточ-

---

<sup>36</sup> От английского *interface* – поверхность раздела, перегородка.

ных информационных отношений происходил за счет многообразия вариаций результатов выполнения различных генетических программ. Распространение получали наиболее эффективные по результатам тиражирования прокариотных организмов варианты генетической информации, которые и закреплялись для формирования ферментативных процессов, поддерживающих реализацию транспортных уровней. Подчеркнем, что эволюция внутриклеточных транспортных уровней для повышения эффективности их действия не требовала перестройки механизмов и реструктуризации системы информационных отношений, сложившихся в период начала жизни. Это мнение подтверждается практически единообразием транспортных уровней всех клеточных организмов.

В отличие от этого протоколы уровней процессов в значительной степени сформировались вследствие структурной организации элементов хранения и преобразования генетической информации. К протоколам уровней процессов внутриклеточных информационных отношений, в первую очередь, можно отнести: алфавит кодирования генетической информации на ее носителях (ДНК и иРНК); алфавит «исходных данных» – множество аминокислот, участвующих в программном синтезе белковых продуктов; формат кодона (триплетного кода генетической информации для синтеза белков); протокол адресного пространства «исходных данных» (многообразиие тРНК); структура организации (в опре-

деленном смысле синтаксис) хранения, передачи и активизации для исполнения генетической информации.

По-видимому, доминантой, определяющей формирование протоколов этой группы уровней информационного обеспечения, стала наиболее сложная базисная органелла программной обработки генетической информации – рибосома («процессор»). Являясь организатором и исполнителем программного управления каталитическим синтезом белков на основе базовых молекул рРНК, рибосомы в наименьшей степени были подвержены изменению своей структуры под воздействием влияния вновь возникающей ферментативной продукции. Конечно, в ходе эволюции белковые компоненты способствовали совершенствованию полирибонуклеопроteidных комплексов, формирующих рибосому как клеточную органеллу, но эти изменения, представляется, носили лишь вспомогательный характер (конструктивное оформление, придающее прочность и устойчивость органеллы, ускорение каталитических реакций за счет ферментативных свойств белков и т.п.). Достаточно уверенно считается, что главная – процессорная функция рибосомы исполняется за счет сформировавшихся композиций базовых молекул рРНК. Это дает основание предположению, что протоколы процессорных уровней формировались на основе и в обеспечение принципиальной необходимости совместимости со сложившимися супрамолекулярными структурами молекул рРНК. Реализация синергетических процес-

сов за счет открытости и нелинейности системы сложившихся информационных отношений обеспечила определенный тип кластеризации информационных объектов, что и вылилось в формирование и стабилизацию протоколов процессорных уровней, которые фактически действуют уже на протяжении всей истории жизни на Земле.

Фиксация алфавита кодирования генетической информации на ее носителях (ДНК и иРНК) объясняется достаточно естественными причинами, обусловленными комплиментарностью азотистых оснований, обеспечивающих структурную организацию двухтяжевой устойчивой формы молекул ДНК, а также процессом транскрипции при формировании молекул иРНК. По-видимому, выбор вариантов в условиях катализа на основе ферментативных свойств молекул РНК был не велик, а возможно и однозначен.

Фиксация алфавита «исходных данных» – множества аминокислот, участвующих в программном синтезе белковых продуктов, происходила, наиболее вероятно, по аналогичным причинам, но уже связанным с супрамолекулярными процессами формирования белковых последовательностей аминокислот. Это объясняется, например, тем, что из более 170 известных аминокислот лишь 26 из них обнаруживаются в составе белков. Да и количество типов тРНК – регистров, поставляющих аминокислоты в рибосому для синтеза белков, значительно превышает (более 60 типов тРНК) многообразие аминокислот, из которых состоят белки. Это

подсказывает возможность представления, что не многообразие аминокислот явилось фактором формирования протокола мощности и структуры алфавита «исходных данных» для синтеза белков, а непосредственно результаты синтеза, которые определялись ферментативными свойствами молекул рРНК первичных рибосом. Минорные аминокислоты, которых насчитывается более 150, встречаются в клетках в свободном или связанном виде и играют существенную роль в жизни современных клеточных организмов, но в триплетном коде ДНК нет кодонов для этих аминокислот. Регулирование их функций в процессах метаболизма клетки определяется не генетической, а фенотипической информацией. Интересно отметить, что в клетках современных организмов (в основном в царстве животных) ряд аминокислот, необходимых для создания жизнеобеспечивающих белков, не синтезируется, а поступает в организм в готовом виде извне. В тоже время вся структура средств обеспечения информационных отношений в этих организмах поддерживает работу с такими аминокислотами. Это является определенной иллюстрацией реликтовости и консерватизма протоколов обработки генетической информации.

Одним из базовых протоколов системы информационных отношений в живых клетках является формат кодона (триплетного кода генетической информации). Попытки обосновать размер кодона в результате каких-либо процессов «оптимизации» на основе тех или иных критериев эффектив-

ности размерности кодона носят весьма искусственный характер. Тем более что нет никаких сведений, говорящих о других, не триплетных, форматах кодона в природных биологических организмах. В связи с этим представляется, что размер кодона определился за счет некоторых структурных особенностей рибонуклеиновых комплексов, составляющих основу клеточных органелл.

Единственным рибонуклеиновым комплексом, вступающим в ковалентную связь с аминокислотами, является тРНК, образуемая с присоединением аминокислоты специфические супрамолекулярные структуры – аминоацил-тРНК. В белковом синтезе «узнавание» аминоацил-тРНК основано не на природе аминокислоты, а на химической природе антикодона тРНК. Антикодон – это специфический участок тРНК, входящий в состав ее средней (антикодонной) петли. Антикодон представлен триплетом нуклеотидов, идентифицирующих своей уникальной последовательностью персонально каждую тРНК, а вместе с ней и аминокислоту, входящую в состав соответствующего комплекса аминоацил-тРНК. Именно комплиментарность триплета нуклеотидов антикодона и триплета нуклеотидов иРНК при их взаимодействии в рибосоме запускает процесс трансляции очередного звена (присоединения очередной аминокислоты) при синтезе белков.

Процесс формирования супрамолекулярных структур аминоацил-тРНК в принципе происходит без какого-либо

давления с точки зрения протоколов генетического кода. Это и дает возможность представить, что мощность кодона сформировалась не за счет эволюции информационных отношений, а в следствие супрамолекулярных процессов химической организации аминоксил-тРНК комплексов. На основании этого, в свою очередь, в определенной степени объясняется вырожденность генетического кода для аминокислот и неоднозначность имен адресных регистров – тРНК, для некоторых из них. Индифферентность супрамолекулярных процессов на уровне химических отношений при формировании аминоксил-тРНК комплексов к реализовавшимся на этой основе информационным отношениям дают веские основания предполагать, что и вся структура генетического кода имела первоосновой многообразие молекул тРНК в части ее антикодонных нуклеотидных триплетов.

Следует отметить, что хранимая на хромосомных ДНК информация, обеспечивающая формирование программ синтеза белков, представляет собой лишь часть генетической информации. Наряду с ней на хромосомных ДНК храниться информация о формировании РНК-структур клеточных органелл и малых РНК. Представление о том, что код, определяющий последовательность аминокислот при синтезе белков, – это «код жизни», по-видимому, относится к традиции, по которой считалось, что именно белки являются основой нашей жизни. Сейчас постепенно вскрывается роль не только РНК клеточных органелл, но и роль малых

РНК, составляющих композиционную основу многих ферментов. Возникает взгляд, что именно РНК-структуры являются доминирующими медиаторами в структурной организации клеточных процессов.

С феноменологической точки зрения можно отметить, что на этапе формирования прокариотной биосферы достаточно устойчиво стабилизировались основные варианты протоколов внутриклеточных информационных отношений, которые в том или ином виде допустимых вариаций действуют до настоящего времени в живых организмах. Протоколы транспортных уровней, организующие передачу генетической информации с молекул ДНК до синтеза фенотипической информации на белковых структурах практически остаются неизменными для всех живых организмов нашего мира. Изменения касаются лишь в некоторой степени интерфейсов межуровневых отношений в количественных показателях параметров информационных объектов.

Протоколы нижних процессуальных уровней также достаточно консервативны. По крайней мере, это ясно наблюдается в ветви эубактерий и, по современным представлениям, в возникшем на их основе царстве эукариотных организмов. Идентичность прослеживается до уровня модульной организации генетической информации. Более высокие имеют существенные различия, что и обособляет их в различные царства живой природы.



# Структуризация программной информации

Опыт разработки компьютерного программного обеспечения, показал, что достаточно естественной формой организации (а в принципе – самоорганизации) программной информации является ее структуризация и стратификация. Это обеспечивает возможности определенной упорядоченности реализации необходимых функциональных программ обработки исходных и промежуточных данных конкретными операционными средствами в структуре вычислительных систем. По сути, именно структуризация программной информации обеспечивает возможности управления активизацией различных фрагментов программ в реальных условиях, с учетом уже полученных результатов.

Программы по своему содержанию обычно представляются в виде совокупности достаточно законченных фрагментов обработки исходных или промежуточных данных. В результате выполнения такого фрагмента формируются промежуточные данные, которые оформляются необходимым способом и становятся доступными, в рамках программы, для других ее фрагментов, либо создаются компоненты выходных данных в той или иной полноте в зависимости от содержания решаемой программой задачи. В связи с этим, одним из основополагающих показателей работы программы

является надежность передачи ее информации. Обычно это связано не только с непосредственной передачей элементов программного файла между элементами информационной системы, но и с некоторым преобразованием исходного текста, хранимого во внешней памяти, в структурно организованную информационную последовательность, воспринимаемую операционными устройствами (например, процессором и оперативным запоминающим устройством с его принципом адресации) для непосредственного исполнения программы. Такая процедура в практике компьютерной реализации программ называется компиляцией.

Отмечается, что надежность работы программы в значительной степени определяется уровнем независимости загрузки фрагментов программы в операционные устройства с учетом процедур компиляции. Этот тезис можно считать *de facto* реально существующим феноменологическим требованием. В компьютерных технологиях реализация таких требований осуществляется на основе модульного программирования. Модульное программирование является развитием и совершенствованием процедурного программирования и библиотек специальных программ. Основная черта модульного программирования – стандартизация интерфейса между отдельными программными единицами (программными модулями). Модуль – это отдельная функционально-законченная программная единица, которая структурно оформляется стандартным образом по отношению к компилятору,

по отношению к объединению ее с другими аналогичными единицами и по отношению к загрузке. Считается, что именно возможность раздельной компиляции и является основным преимуществом модулей.

Структура модуля обычно включает следующие разделы: раздел объявления переменных; раздел объявления процедур и функций; раздел непосредственного кода исполнения. Причем, в ряде случаев, объявление переменных может чередоваться с объявлениями процедур и функций. В ходе реализации вычислительного процесса программные модули обычно претерпевают определенные трансформации, связанные с различными этапами их интерпретации. Этот факт вводит определенную стратификацию состояния программных модулей: от исходных модулей до объектных модулей. Под исходным модулем понимается некоторое описание программного модуля на исходном языке программирования, обрабатываемое компилятором (транслятором) и представляемое для этих процедур как целое, достаточное для проведения компиляции (трансляции). Выполнение этих процедур трансформирует исходный текст программы в объектный модуль – программу на машинном языке с неразрешенными внешними ссылками. Последним этапом трансформации программного модуля является его преобразование в загрузочный модуль, представленный в форме, пригодной для выполнения непосредственно на операционном устройстве (процессоре).

Модульная структуризация и стратификация программной информации в полной мере относится к организации генетической информации биологических организмов. Наиболее распространенными **модулями структуризации генетической информации являются гены**. Принято разделять гены клетки на две группы: регуляторные и структурные. Регуляторные гены не транскрибируются, т.е. в обычных условиях им не соответствует ни один из типов РНК. Структурные гены способны транскрибироваться с образованием РНК. В свою очередь, структурные гены делятся на *конститутивные* и *индуцибельные*.

К конститутивным относятся гены, обслуживающие матричные процессы (кодирующие тРНК, рРНК, ДНК-полимеразы, РНК-полимеразы, рибосомальные белки), гены, кодирующие обязательные структурные компоненты клетки, гены, на основе которых синтезируются продукты, контролируемые постоянно протекающие обменные процессы.

Индучибельные гены функционируют на определенных этапах онтогенеза. К индуцибельным генам относятся как гены, контролируемые ход онтогенеза (переключатели, или диспетчеры), так и гены, прямо определяющие структуру и функции компонентов клетки и целостного организма. Строгой разницы между перечисленными группами генов не существует, поскольку один и тот же участок ДНК может выполнять разные функции.

Исторически, при исследованиях, модульно-генная

структуризация генетических программ наиболее отчетливо была зафиксирована в процессах синтеза белков. Каждому белку соответствует конкретная структурно обособленная программа в последовательности генетической информации, хранимой на молекуле ДНК.

Обычно в искусственных информационных системах при хранении и передаче информации ее структуризация на нижнем уровне иерархической упорядоченности обеспечивается некоторыми специальными средствами, идентифицирующими разделение общего информационного массива (потока) на составные части. Такая организация упорядоченности информации называется структуризацией информации «с пробелами». Генетический код храниться на молекулах ДНК «без пробелов», обусловленных какой-либо спецификой молекул ДНК. Для структуризации информации в таких условиях необходимо чтобы в составе кодовых комбинаций присутствовали последовательности алфавитных знаков, обладающие функцией структуризации информации.

Напомним, например, как это осуществляется во внутриклеточных процессах синтеза белков. Экспериментально показано, что начало трансляции иРНК (инициация) не совпадает с началом самой иРНК. Вместе с тем установлено, что биосинтез белка как у про-, так и у эукариот всегда начинается с одной и той же аминокислоты – метионина, кодоном которого является триплет AUG<sup>37</sup>. При этом

---

<sup>37</sup> Азотистые основания: А – аденин; G – гуанин; U – урацил;

для узнавания кодона в качестве иницирующего важен не только сам и, может быть, не столько сам кодон, а определенный контекст, делающий его иницирующим. Оказалось, что у прокариот для эффективной инициации кодон должен находиться на вершине шпилечной структуры, образуемой смежными комплементарными участками иРНК, а предшествовать ему примерно за 3–10 нуклеотидов должна полипуриновая последовательность (последовательность Шайна-Дальгарно). Эта последовательность комплементарна рибосомной РНК и, по-видимому, способствует связыванию рибосом в районе иницирующего кодона. В этой связи интересно отметить присутствие в структуре иРНК именно определенной полипуриновой последовательности (не входящей в систему генетического кода аминокислот), проявляющейся в качестве «пускового сигнала» начала работы программы синтеза конкретного белка. По-видимому, основной системной функцией триплета AUG, кодирующего метионин, является обеспечение настройки и фиксации «рамки считывания» иРНК, т.е. синхронизации процесса расшифровки генетической информации при трансляции иРНК. Это важнейшая функция для организации процесса чтения кодовой последовательности «без пробелов», которой является запись генетической информации на хромосомных ДНК. Три триплета, не участвующие в кодировании аминокислот, – UAA, UAG и UGA – оказались сигналами на окончание синтеза белка (сигналами терминации). Отметим,

между прочим, что во всех сигнальных триплеттах отсутствует цитозин (С).

Для прокариотных клеток процессы *транскрипции* (чтение исходного текста программ с ДНК – внешней памяти по отношению к рибосоме – *процессору*) и *трансляции* (непосредственное исполнение программы синтеза белка) происходят одновременно. Это приводит к тому, что процесс трансформации исходного текста модулей программ синтеза белков – генов (участки ДНК, несущие какую-либо целостную информацию о строении одной молекулы белка), связан лишь с комплементарной заменой пуриновых и пиримидиновых оснований транскрибируемой цепи ДНК на соответствующие пиримидиновые и пуриновые основания синтезируемой молекулы иРНК. Одновременно с этим происходит замена физического носителя одного из символов алфавита генетической информации. Вместо пиримидина тимина (Т), комплементарного в структуре ДНК пурины аденину (А), происходит замена пиримидина тимина (Т) на комплементарный пурины аденину (А) в структуре иРНК пиримидин урацил (U). На схеме приведен иллюстративный пример соответствия представления кодонов различными элементами средств реализации информационных отношений прокариотной клетки при выполнении программы синтеза белка.

нетранскрибируемая цепь ДНК	A	T	G	G	G	C	T	A	T
транскрибируемая цепь ДНК	T	A	C	C	C	G	A	T	A
транскрипция ДНК	□			□			□		
кодоны иРНК	A	U	G	G	G	C	U	A	U
трансляция иРНК	□			□			□		
антикодоны тРНК	U	A	C	C	C	G	A	U	<u>A</u>
аминокислоты белка	метинин			глицин			тирозин		

### ***Азотистые основания:***

***Пурины:*** **A** – аденин; **G** – гуанин.

***Пиримидины:*** **C** – цитозин; **T** – тимин (для ДНК) или **U** – урацил (для РНК).

***Комплементарность пар пурин-пиримидиновых оснований ДНК:*** **A(T; G(C.**

Подчеркнем, что на основе структуризации программной информации в реальных условиях исполнения программ обеспечивается возможность управления активизацией различных фрагментов (модулей) программ с учетом уже полученных результатов. Это в полной мере относится и к генетической информации. Активность генов, не только индуцибельных, но и конститутивных, и регуляторных, определяется объемом синтезированных генопродуктов – РНК и белков. Степень активности генов называется их *экспрессией*. Именно регуляцией активности генов объясняется, например, тот факт, что, несмотря на идентичность генотипов



клеток многоклеточного организма, они значительно различаются по строению и функции. Переключение синтеза с одних белков на другие лежит в основе всякого развития, будь то репродукция вирусов, рост и спорообразование у бактерий, дифференцировка тканей и развитие эмбрионов у многоклеточных организмов. На каждом этапе таких процессов происходит активизация необходимых модулей генетической программы, обеспечивающих формирование фенотипической информации, которая, в свою очередь, обслуживает процессы метаболизма и развития клетки на каждом этапе ее жизни.

# Прокариотная биосфера

Воплощение концепции модульной организации генетической программы прокариотных организмов, по-видимому, в значительной степени определило комбинаторный характер распределения признаков фенотипической системы бактерий. Одним из основных процессов поддержания такой направленности эволюции прокариот считается трансгенозис – перенос генов в форме фрагментов ДНК. Полагают, что в качестве исходного следует признать наличие в среде обитания живых существ большого числа всевозможных частиц, структур и обрывков ДНК и РНК. Кроме того, в среде обитания находится множество вирусов. Все эти содержащие генетическую информацию объединения представляют реальность в эволюции. Важным фактором при этом выступает отношение самих организмов к возможности интеграции чужеродных ДНК. Отмечается, что бактерии в этом плане обладают специальными приспособительными механизмами для выделения и для приобретения полноценного генетического материала извне. Здесь и трансдукция и трансформация. Одним из достаточно известных и изученных подобных процессов является обмен плазмидами.

Полагают, что такой генетический, информационный обмен играет особую роль у прокариот. Обмен генами между организмами, принадлежащими к далеким в системати-

ческом отношении группам, открывает возможность приобретения сходных признаков не только на основе исторической общности происхождения или наследственности. Приспособление бактерий к использованию нового субстрата, определяющее принадлежность к соответствующей физиологической группе и соответственно к возможности занять определенную экологическую нишу, зависит от относительно небольшого числа ферментов. Объем генетической информации для их синтеза вполне совместим с механизмами трансгенозиса.

В прокариотных организмах сформировалась модульная структура программного обеспечения управления имманентными процессами развития клеток, обладающая вместе с тем определенными механизмами (интерфейсами) возможности восприятия внешних (трансцендентных) информационных воздействий, которые с учетом определенных критериев (барьеров различного уровня, включая кроме информационных всю совокупность имманентных биологических отношений) тем или иным способом включались в клеточный геном. Это обуславливало процессы коэволюции прокариотной биосферы в среде ее существования в различных ареалах верхних оболочек Земли.

Сформировавшиеся механизмы реализации внутриклеточных информационных отношений обеспечили возможности создания при их помощи широкого спектра соматических вариаций прокариотных организмов. Напомним еще

раз: считается, что сложившиеся на этапе начала жизни механизмы и архитектура информационных отношений, обеспечивающих конвариантную редупликацию прокариотных организмов, не претерпели каких-либо значимых качественных изменений в ходе всей эволюции этого царства живой природы по настоящее время. Вместе с тем физиологическое разнообразие прокариот является фактом активных эволюционных процессов их физиолого-биохимической специализации. Не смотря на то, что эти процессы не касались непосредственно структуры сложившихся информационных отношений и не являются в связи с этим предметом по заявленной теме обсуждения, но их значимость в ресурсном обеспечении жизнедеятельности биологических организмов отнюдь не уступает значимости информационных отношений для развития биосферы в целом.

Если информационные отношения выступают имманентным модератором развития биологических организмов, то физиолого-биохимические аспекты обеспечивают их трансцендентные отношения с окружающей средой. Именно эта паритетность *hard-* и *software* и их адекватность составляют сущность биологических структур, реализуя процессы коэволюции в изменяющейся окружающей среде. Действительно, без необходимого ресурсного обеспечения бессмысленно говорить о возможностях реализации каких-либо информационных отношений. Это аксиоматическое свойство любых, в том числе и информационных, систем, к кото-

рым, как частный случай, относятся и биологические системы любого уровня. Заметим к тому же, что отсутствие информационного программного управления выводит любые физико-химические процессы из категории биологических. В связи с этим *физиолого-биохимические факторы жизнедеятельности биологических организмов являются необходимым атрибутом возможности реализации основного свойства жизни – редупликации (тиражирования) за счет привлечения ресурсов внешней среды, которое обеспечивается действием имманентного информационно программного управления.* Физиолого-биохимические аспекты биологических организмов определяют мощность их тиражирования в конкретных условиях и состояниях окружающей среды. Это, в свою очередь, создает условия формирования ареалов биосферы – среды, которая не только идентифицирует наличие жизни, но является необходимым условием, как ее существования в активном режиме, так и ее развития. Эти соображения являются поводом некоторого рассмотрения физиолого-биохимической эволюции прокариот и связанных с этим феноменологических аспектов развития жизни на нашей планете.

Бактерии на начальном этапе формирования биосферы были единственными живыми обитателями Земли, составляли и до сих пор составляют целостную и вполне самостоятельную систему в биосфере.

Вполне естественно предположение, которое высказал

еще в 1909г. С.Орла-Йенсен (S.Orla-Jensen), что началь-  
ные формы прокариот были хемоавтотрофны. Определен-  
ным подтверждением этому являются реликтовые архебак-  
терии. Анклавное распределение первичных прокариот со-  
здавало значительную дифференциацию условий, в которых  
реализовывался их жизненный цикл. Это привело к широко-  
му спектру морфологического и физиологического разнооб-  
разия формирующихся типов бактерий. Вместе с тем, едино-  
образие аппарата и механизмов действия информационных  
отношений, определяющих первичное (генетическое) про-  
граммное управление онтогенезом прокариотных организ-  
мов, обеспечивало значительную совместимость филогенеза  
различных анклавов.

Анклавное распространение ареалов первичных прокари-  
от было следствием широкого спектра различий окружаю-  
щей среды, как в пространстве, так и во времени. То есть, на-  
ходясь даже в конкретном анклаве, прокариотные организ-  
мы испытывали достаточно динамичные воздействия изме-  
нений окружающей среды в процессах филогенеза. Важным  
фактором при этом являлся углеродно-водородно-кислород-  
ный баланс в окружающей среде и доступность живым ор-  
ганизмам веществ, необходимых для поддержания их цик-  
лов развития и размножения в сформировавшейся биосфе-  
ре. Анклавный тип ареалов, с одной стороны, способствовал  
многообразию видов на основе разнообразия условий в раз-  
личных анклавных ареалах, но, с другой стороны, ограничи-

вал численность биоорганизмов, в связи с локальными ограничениями доступных ресурсов вещества в структуре каждого ареала. Кроме того, анклавный тип ареалов за счет специализации видов ограничивал возможности их распространения.

Естественно, что все эти ограничения достаточно жестко действовали в условиях существования только хемоавтотрофных форм прокариот. Ситуация значительным образом изменилась, когда в структуре цитоплазматической мембраны (ЦПМ) прокариот начали функционировать фоторецепторы. У первичных прокариот концентрация результатов синтеза белков – фенотипической информации, происходила главным образом в ЦПМ. Это обусловило активную роль ЦПМ не только в функции обеспечения границы клетки с окружающей средой, но и в функции своего рода клеточной органеллы, которая реализовывала воздействие фенотипической информации на жизнь клетки. Такая активность естественно сопровождалась достаточно высокой интенсивностью динамических преобразований ЦПМ, на которых «опробовались» новые функции, как трансцендентного аспекта (интерфейсы взаимодействия клетки с внешней средой) так и имманентного аспекта (участие в организации обратной связи влияния синтезированных в клетке продуктов на экспрессию первичной генетической информации). Поэтому не удивительно, что именно в структуре ЦПМ, например, сформировались, конструкции фотосинтетических

пигментов.

Этот процесс, по-видимому, был обусловлен так же тем, что по своей структуре органические фотосинтетические пигменты сходны с липидами, которые являются основой организации мембран. Двухстадийность процессов фотосинтеза в его современной интерпретации, разделенного на световые и темновые реакции, подсказывает, что закрепление функций фотосинтеза происходило в ходе некоторых этапов эволюции. Возможно, это было связано с климатической динамикой в истории Земли. Например, около 2,5 млрд. лет назад значительно уменьшилась тектоническая активность, что уменьшило дегазацию недр. Ускорился и вывод углекислого газа из атмосферы. В результате всего за сотню-полторы миллионов лет основные запасы углекислого газа были выведены из атмосферы, наступило первое в истории земли мощное оледенение, известное как гуронское. Оно продолжалось более сотни миллионов лет, и средняя температура на поверхности Земли на уровне моря в это время составляла менее 10 °С.

В этих условиях энергетическое обеспечение реакций хемосинтеза значительно ограничилось по сравнению с предыдущим периодом, когда средняя температура на уровне моря составляла около 50–70 °С. Возможно, этим объясняется определенная бедность предшествовавших гуронскому оледенению первичных прокариот белковыми продуктами и высокая ферментативная активность их РНК компонент. Во-



влечение световых реакций в биохимический цикл клетки, обеспечило таким клеткам определенные преимущества по сравнению с хемотрофными организмами.

Роль световых реакций заключается в синтезе за счет энергии света молекул АТФ и НАДФ  $H_2$ , которые в свою очередь обеспечивают энергией большинство супрамолекулярных процессов, протекающих в клетках. Воздействие кванта света обеспечивает ионизацию молекулы пигмента с выделением свободного электрона, который запускает ряд окислительно-восстановительных реакций. Непременным результатом этих реакций является потребление водорода для формирования НАДФ  $H_2$ . Источником водорода является либо вода –  $H_2O$  (например, для цианобактерий), либо сероводород –  $H_2S$  (например, для серобактерий) и т.п. Обычно оставшееся вещество источника водорода выделяется из организма. У цианобактерий выделяется кислород, а у серобактерий, соответственно вместо кислорода, выделяется сера. Такие побочные свойства клеточного метаболизма обуславливают накопление во внешней среде продуктов клеточного метаболизма. В частности с этим, обычно, связывается насыщение земной атмосферы кислородом.

Повышенная энергонасыщенность ЦПМ прокариотных клеток в результате световых реакций (энергетический метаболизм) создала возможности реализации на этой основе реакций конструктивного метаболизма. Учитывая, что это происходит в ЦПМ – пограничной клеточной оболоч-

ке непосредственно контактирующей с внешней средой, достаточно естественно, что в процессы изменения метаболизма на этом уровне были вовлечены как ассортимент питательных веществ из внешнего субстрата, так и интерфейсы трансцендентных отношений клетки с окружающей средой.

Появление для отдельных клеток нового источника энергии обеспечения жизненных процессов создало принципиально новую нишу жизненного пространства прокариотного мира. Создалась кажущиеся ситуация отсутствия конкуренции в ресурсопотреблении среды обитания. Но опыт показывает, что в анклавных условиях обычно наблюдаются четыре фазы развития популяции, включая: *лиг-фазу* – адаптацию бактерий в среде обитания, *логарифмическую фазу* – экспоненциального роста численности бактерий, *стационарную фазу* – динамического баланса гибели и образования новых клеток, *фазу ускорения гибели* – резкое сокращение размножения бактерий. Реализация таких сценариев активно ограничивает существование живых организмов не только внутри анклавов, но и по совокупности анклавов в целом. То есть должны существовать механизмы, регулирующие интенсивность роста численности живых организмов, обеспечивающие поддержание стационарной фазы, в сложившихся условиях экологической ниши для каждого вида живых организмов.

В условиях нашей биосферы такие механизмы в общем виде ее существования обеспечиваются разделением

всех живых существ на экологические категории продуцентов, консументов и редуцентов (деструкторы). Динамическая обусловленность существования этих категорий живых организмов создает возможность сбалансированного круговорота веществ непосредственно в живых организмах и в среде их обитания. С феноменологической точки зрения можно отметить, что это отражает совокупное влияние имманентных и трансцендентных факторов на существование и развитие живых организмов, как самостоятельных развивающихся открытых систем.

Выше указывалось, что трансцендентное воздействие и интеграция в генетические файлы прокариот элементов ДНК и РНК из среды обитания в значительной степени определили комбинаторный характер распределения признаков для фенотипической системы бактерий. Этот факт феноменологически показывает взаимообусловленность эволюции прокариот как имманентными, так и трансцендентными факторами, подчеркивая значимость коэволюции в общем процессе формирования прокариотной биосферы. С таких же позиций коэволюции возможно представить процесс расщепления прокариотных организмов на автотрофов и гетеротрофов. Отметим, что это не «отбор» (естественный, либо иной), а именно процесс коэволюции, развивающийся на основе синергетических отношений имманентной изменчивости организмов и, на основе этого, их трансцендентного воздействия, в свою очередь, на изменчивость среды обитания

и восприятия этой изменчивости.

В рамках искусственных информационных систем перманентная модернизация аппаратных средств и программного обеспечения в соответствии со складывающимися условиями их применения и возможностями эксплуатации получила название стратегии Up-grade. Можно заметить, что с позиций феноменологии такой процесс в значительной степени коррелируется по существу совершенствования информационных систем с процессами коэволюции развития прокариотной биосферы.

В процессе формирования прокариотной биосферы на основе многообразия групп бактерий и их типов внутри групп фактически были заложены указанные три экологические категории живых организмов: продуценты, консументы и редуценты (деструкторы). Наличие этих категорий создаст возможности динамического круговорота «живой материи» в природе. Это особенно существенно при возникновении ограничений либо трансформаций каких-либо ресурсов внешней среды. Такие ситуации могут возникать не только при непосредственном обеднении среды по каким-либо ресурсным показателям, но и при изменении их соотношений. В какой-то степени, ярким примером таких изменений является формирование современной атмосферы как результата жизнедеятельности прокариотной биосферы.

Категория продуцентов, объединяющая автотрофные организмы, обеспечивает биосферу «живой материей» как

для собственного самовоспроизводства, так и для функционирования гетеротрофных категорий живых организмов. Использование термина «живая материя» имеет серьезное обоснование. Суть его в том, что базовые супрамолекулярные структуры живых клеток образованы на определенной упорядоченности энантиомеров химических соединений. Это создает хиральность физико-химической среды транспортных уровней реализации информационных отношений, принципиально связанных с необходимостью жесткого соответствия логической структуре программного обеспечения развития живых клеток на основе как генетической, так и фенотипической информации. Таким образом, содержательной стороной круговорота «живой материи» является поддержание определенной концентрации в биосфере хиральных продуктов, на основе которых возможно создание средств для реализации живыми организмами необходимых имманентных программ их развития и существования. Это достигается за счет эксклюзивного индивидуального синтеза каждой молекулы энантиомера в клетках живых организмов на основе программного управления, реализуемого с помощью генетической и фенотипической информации, хранимой и создаваемой в клетках. Продуценты в этой цепи являются звеном первичного преобразования костного вещества внешней среды в элементы «живой материи».

Исходным генератором (основой) этих преобразований является жизнедеятельность цианобактерий (сине-зеленые

водоросли). Необходимо отметить, что и в настоящее время они играют доминирующую роль в обеспечении углеродно-кислородного баланса на поверхности земного шара и в его атмосфере.

Важным условием, обеспечивающим поддержание стационарной фазы динамического баланса гибели и образования новых клеток, является регулирование интенсивности роста численности живых организмов в сложившихся условиях экологических ниш. Процесс расслоения прокариотных организмов на автотрофов и гетеротрофов породил формирование механизма этого регулирования с участием консументов и редуцентов (деструкторов). Консументы, в общем случае, являются регуляторами численности продуцентов, обеспечивая согласованность интенсивности инициализации «живой материи» объективному ресурсному обеспечению в окружающей среде. Однако такое простое регулирование в чистом виде могло привести к обеднению среды обитания костным веществом для функционирования продуцентов. Утилизация гибнущих организмов и продуктов их жизнедеятельности обеспечивается редуцентами (деструкторами). За счет этой утилизации омертвевшая часть живой материи после разложения ее до уровня неорганических соединений вновь возвращается как сырье для нового цикла продолжения Жизни.

С учетом представлений о развитии биосферы на Земле, созданные в ходе эволюции прокариот механизмы их адапта-

ции (естественная реализация стратегии Up-grade) в условиях изменчивости среды обитания и регулирования численности в соответствии с реалиями ресурсного обеспечения достаточно убедительно показывают высокий уровень самодостаточности царства прокариотных организмов.

# Эукариотные клетки (Eucaryota)

*На общедоступном языке мы можем назвать ядро АДМИНИСТРАТОРОМ КЛЕТКИ. Две главные черты роднят его с наиболее известными администраторами: оно стремится плодить себе подобных и успешно отражает все наши попытки узнать, чем же именно оно занимается. Только попытавшись обойтись без него, мы узнаём, наконец, что оно действительно работает.*

*Д. Мэйзи*

Живая природа на Земле, существующая в настоящее время, представлена двумя классами внутриклеточной организации живых организмов: прокариоты (Procaryota) и эукариоты (Eucaryota).

В научном представлении общепризнанно, что прокариоты считаются родоначальниками нашей жизни на планете. Сформировав почти 4млрд лет назад первичную биосферу, прокариоты и в настоящее время в значительной степени определяют динамику круговорота живой материи на Земле. В этом процессе только прокариоты, например, обеспечивают биосферу поступлением ряда веществ из «костной» (абиогенной) материи (азот, фосфор и др.), которые затем активно включаются в формирование органических соединений.



Феноменологическая значимость прокариот в жизни современной биосферы и планеты в целом отмечена таким глобальным явлением, например, как образование кислородной атмосферы Земли. В рамках современных представлений, основную роль в этом сыграли цианобактерии (сине-зеленые водоросли в иной терминологии). И в настоящее время, не смотря на огромную биомассу зеленых растений, влияние цианобактерий в динамике углеродно-кислородного круговорота на планете остается весьма значимым, а возможно и доминирующим. Биомасса микроорганизмов океана составляет около трети всей биомассы биоты планеты, биомасса бактерий суши сравнима с биомассой растений. Таким образом, считается, что биомасса прокариот – от половины до 90 % всего живого вещества биосферы. Не удивительно поэтому, почему так высока степень влияния прокариот практически по всем элементам биохимических циклов живой природы.

Достаточно интересной, кроме того, является гипотеза биогенного формирования не только атмосферы планеты, но и океанов на поверхности Земли. Гипотезы о появлении гидросферы на нашей планете, представляющие генерацию воды только как неорганический процесс, имеют пока что много необъяснимых проблем. В большинстве своем они связаны с временными последовательностями заполнения Мирового океана. Исследования по распространению и жизненным циклам водородных бактерий в природе, проведенные

М. И.Беляевой еще в 1950-ых годах в Казанском университете, вполне убедительно показывают возможность существенного влияния живой природы на гидросферу планеты не только в плане регулирования водостоков, но и в интенсивности накопления водных ресурсов на основе биологического синтеза воды из абиогенной материи планеты.

Более того, по истории осадочных оболочек Земли накоплен достаточный материал, на основе анализа которого уверенно утверждается, что органического углерода всегда было много и некоторые древние породы сильно графитизированы. В этом случае вполне сильна и аргументирована гипотеза, что органический углерод за 3,5 млрд. лет существования осадочных пород на Земле образовался путем автотрофной ассимиляции углекислоты. Последний вывод основан на том, что включение  $\text{CO}_2$  в обмен под действием рибулзобисфосфаткарбоксилазы приводит к облегчению изотопного состава органического углерода  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = - 25\%$ . Именно такое облегчение наблюдается на всем протяжении осадочной летописи. Поскольку иные способы ассимиляции  $\text{CO}_2$ , например анаэробами, дают иной изотопный состав – то утверждается, что органический углерод во все это время синтезировался таким же путем, как сейчас.

Академик Г. А.Заварзин так характеризует процессы коэволюции прокариотных организмов. *«С первого момента их регистрации на Земле 3,5 млрд. лет назад до настоящего времени бактерии действуют как полноценная трофи-*

ческая система, составленная разнородными компонентами... Эволюция их сообществ более всего напоминает **сукцессию**<sup>38</sup>, когда массовое развитие, вне зависимости от времени появления одиночных представителей определяется изменением условий существования, в том числе происходящих и под воздействием самих организмов. Во время деятельности прокариотной системы на Земле происходит однонаправленное изменение физико-химических условий, лучше всего иллюстрируемое эпохой железорудных формаций. Так, например, судя по изотопии серы, полный серный цикл с восстановлением сульфатов начал работать около 2 млрд. лет назад, что связано с распространением определенных групп бактерий, но в меньшем масштабе такой процесс мог идти и ранее, о чем свидетельствуют сульфаты древних эвапоритов и строматолитов. Разумеется, такая постановка вопроса о доминировании сукцессии сообществ над появлением новых видов не снимает возможности микроэволюции бактерий. Она отчетливо наблюдается, например, под воздействием антропогенных факторов при распространении резистентных форм, причем здесь участвуют специфические для бактерий механизмы. Представление о сукцессии бактериальных сообществ ставит вопрос о персистентности<sup>39</sup> видов бактерий. На этот во-

---

<sup>38</sup> От латинского *successio* – преемственность, наследование. Последовательная смена одних фитоценозов другими на определенном участке среды,

<sup>39</sup> От латинского *persistere* – пребывать, оставаться, существующий длительное время

*прос трудно ответить в общем виде».*

В этой связи достаточно интересны результаты работ датского ученого Тома Фенчеля о распространенности и значимости тиобиоса<sup>40</sup> в настоящее время. Буквально под ногами, в прибрежных илистых осадках на глубине чуть более пяти сантиметров, им обнаружено огромное разнообразие многоклеточных животных, живущих... в сероводородной среде. Стало очевидно, что и в настоящее время животный мир на Земле представляется, по крайней мере, в виде двух частей: одна дышит кислородом (оксибиос), другая – сероводородом (тиобиос). Не исключено, что именно сероводородные бактерии когда-то способствовали началу эволюции многоклеточных животных. Сероводородные бактерии – древнейшая форма жизни на планете, развивавшаяся параллельно и независимо от кислородной жизни. Это новая гипотеза о соотношении развития различных форм биологической жизни на нашей планете, которая, по мнению биологов, нуждается в серьезном научном исследовании.

Возможности глобального проявления влияния прокариотной компоненты биосферы на жизнь планеты вызывает подчас некоторую ее гиперболизацию в жизни природы. Академик Г. А.Заварзин так характеризует этот взгляд: *«биосфера всегда состояла, главным образом, из бактерий,*

---

время. Персистентные формы – организмы, существующие в течение длительных геологических периодов.

<sup>40</sup> От древне греческого *θειον* – сера.

тогда как остальные организмы – не более чем добавление к бактериям». Конечно, такое представление достаточно аргументировано с той точки зрения, что бактериальные сообщества, в отличие от сообществ эукариотов, могут обеспечивать работу автономных полностью замкнутых по всем элементам собственных биогеохимических циклов. Но необходимо отметить, что количественное, либо какое-нибудь другое преобладание одной эволюционной формы над другими, как правило, не может быть критерием выбора на конкретном этапе эволюции наиболее прогрессивной подсистемы, создающей качественную динамику эволюции биосферы, и не определяет текущей фазы эволюции. Вновь процитируем академика Г. А. Заварзина. «Чтобы судить об эволюции групп организмов в составе эволюционирующей экосистемы, необходимо оценить роль этой группы в общем потоке вещества и энергии через систему. Условия будут различными для групп, определяющих характер системы, и для групп, имеющих подчиненное значение. Первые – эдификаторы – эволюционируют вместе с системой, здесь осуществляется коэволюция, затрагивающая и небиологическую часть системы. Вторые подчиняются заданному ходу событий и либо согласуются с ним, либо вымирают. Разумеется, такой подход справедлив лишь при взгляде на обобщенную картину. Эдификаторы могут изменить обстановку в неблагоприятном для себя направлении, количественно малозначущая группа может резко повлиять на устойчивость всей си-

*стемы, но в целом этот подход более оправдан, чем иные».*

Последние микропалеонтологические исследования существенно раздвинули исторические границы перехода от монопрокариотной биосферы к прокариотно-эукариотной биосфере. Директор Палеонтологического института Российской академии наук академик А. Ю.Розанов так оценивает эти результаты. *«...Исследования последнего десятилетия в палеонтологии дали возможность коренным образом изменить наши представления по двум основным позициям. Во-первых, в результате интенсивного изучения докембрия стало ясно, что появление высокоорганизованных форм жизни происходило гораздо раньше, чем мы обычно себе представляли. И, во-вторых, развитие работ по изучению исторических закономерностей эволюции биосферы (а это возможно только на палеонтологическом материале) ясно показало, что биосфера является хорошо сбалансированной, циклически развивающейся авторегулируемой системой, которая пережила все внешние возмущения за 4,5млрд. лет существования Земли.... На основе палеонтологических данных намечается весьма логичная последовательность появления (обнаружения) разных групп организмов: бактерии – 3.8–4.0 млрд. лет (при этом, вероятно, правильно, что вначале появились или начали широко функционировать анаэробные бактерии и несколько позднее аэробные), цианобактерии – (3.5–3.8)млрд. лет, одноклеточные эвкариоты как минимум 2.7млрд лет, грибы*

не позднее – 2.4 млрд лет (а вероятно, древнее), многоклеточные водоросли и низшие Metazoa (ацеломаты) древнее – 2.1 млрд лет, а целоматы древнее – (1.5–1.6) млрд. лет».

Практически получается, что все существенные основные термодинамические, физико-химические и геологические преобразования в областях распространения биосферы на Земле прокариотная и эукариотная компоненты биосферы прошли почти совместно. Современный биоценоз нашей планеты отражает глубочайшую взаимозависимость прокариотных и эукариотных организмов. И это касается не только реализации функций категорий продуцентов, консументов и редуцентов. Взаимодействие происходит непосредственно в обеспечение физиологических процессов организмов. Так, например, азотфиксирующие бактерии (род *Rhizobium*) живут и функционируют только внутри растительных клеток бобовых растений. Это симбиоз: растение получает от бактерий азот в виде аммиака, а бактерии пользуются энергетическими запасами растения и получают от него углеводы и другие питательные вещества. Невозможно найти примеров абсолютно автономного развития организмов. Даже для простейших это активно проявляется на уровне экологических отношений.

Такое тесное биохимическое и физиологическое взаимодействие прокариотных и эукариотных клеточных организмов на протяжении нескольких миллиардов лет (временной интервал, значительно превосходящий по длительности вре-

мя формирования в прокариотной биосфере эукариотных клеток) вполне могло обеспечить на биохимическом уровне какую либо новую клеточную структурную организацию. Но почему этого не произошло? Что определяет ароморфоз – главный путь достижения биологического прогресса?

Прокариоты остались одноклеточными организмами с кольцевой ДНК. Их эволюция основывается на комбинаторном характере распределения признаков фенотипической системы бактерий. В отличие от этого эволюция эукариот в рамках каждого эукариотного царства (грибы, растения, животные) носит дивергентный характер, т.е. один таксон может стать предком нескольких дочерних таксонов, но каждый вид имеет единственный предковый тип, а в конечном итоге и единственную предковую популяцию.

Не будем сейчас обсуждать соотношение монофилии и полифилии.<sup>41</sup> Так как дихотомическое древо процесса дивергенции в эволюции эукариот имеет в своем основании все же некое множество особей, а не отдельную особь, то вследствие этого, как считается, эволюционирует популяция, а не особь. Наверное, на начальном этапе зарождения эукариотных клеток это положение проявлялось значительно контрастнее. Не это ли определило глубокую обособленность эукариотных царств особенно в биохимических и физиологических аспектах.

---

<sup>41</sup> От древне греческого *φιλία* – любовь, дружба. Представление о единстве или многообразии исходных форм происхождения живых организмов,



Если следовать этимологии, терминологически дифференцирующую клеточные структуры живых организмов (прокариоты и эукариоты), то основное их различие заключается в том, что у эукариот присутствует четко выраженное обособление внутриклеточного пространства – **ядро**, именно в котором осуществляется пространственная локализация процессов хранения генетической информации на молекулах ДНК. При этом биохимия внутриклеточного метаболизма прокариотных и эукариотных клеток в рамках процесса их репродукции принципиально – почти идентична. Вариабельность внутриклеточных биохимических процессов и структуры формируемой на их основе живой материи в прокариотных и эукариотных клетках ни чуть не выше уровня вариаций для различных таксонов внутри отдельных царств живой природы, не говоря уже о различиях биохимического вещества и биохимических процессов для эукариотных организмов различных царств.

Говоря упрощенно, считается, что: эукариоты – ядро (*оформленное хранилище*), прокариоты – нет ядра (простите за вульгаризм, *склад без забора*). Вряд ли такое отличие может быть столь важным, что определяет принципиально разные формы жизни, эволюции и ароморфоза. Тем более что на протяжении сверх длительной истории Жизни на Земле (по сравнению с периодами качественного эволюционного преобразования биосферы) происходит не только тесное сосуществование прокариотных и эукариотных организмов,

но и их биохимический и физиологический симбиоз. И не смотря на это, реликтовость клеточных структур прокариотов и эукариотов остается неизменной на всем протяжении и многообразии эволюционных преобразований. Естественно, это порождает возможность представления, что не столько локальная пространственная внутриклеточная структуризация является доминирующим фактором эволюционных преобразований в надцарствах живой природы (про- и эукариоты), сколько объективно существует некоторый другой класс отношений, в котором определяются и реализуются возможности эволюционного развития.

Есть что-то «другое», что, с одной стороны, возводит барьер для глубокой структурной трансформации клеток, а, с другой стороны, это «другое» создает условия и обеспечивает всю красоту нашего Мира. И это «другое» – **информационные отношения**. Именно на их основе сформировалась пробиотическая среда и зародилась жизнь на нашей планете, и именно они и их развитие определяют потенции развития всей живой природы. Переход от клеток прокариотных организмов к эукариотной структуре клетки связан не только и не столько с пространственным обособлением хранилища генетической информации, что является достаточно удачным hard-решением, а обусловлен именно появлением принципиально новых феноменологических свойств генетической программной информации, которые определяют процессы репродукции и циклы жизни клеток эукариот.

Достаточно естественно представляется, что появление новых феноменологических свойств, вызвавших переход к новым формам Жизни (от прокариот – к эукариотам), связано с формированием и включением в жизненные циклы организмов нового уровня общеинформационных отношений в живой природе.

Прежде чем перейти непосредственно к рассмотрению новых феноменологических свойств организации программного обеспечения эукариотных клеток, сделаем традиционный экскурс в рукотворную эволюцию компьютерных технологий.

# Мультипрограммность компьютеров.

Развитие компьютерных технологий, с начала современного компьютерного этапа, происходит по двум феноменологически весьма различным направлениям: *специализированные* средства обработки информации и *универсальные* вычислительные установки. Следует отметить, что элементная база по обоим направлениям обычно практически идентична и соответствует уровню передовых электронных технологий. Это, в определенной степени, скрадывает различие этих направлений с точки зрения их проектирования, разработки и производства. Они нередко образуют гетерогенные информационные системы более высокого уровня, что также является фактором сглаживания их различия. Вместе с тем, прикладные аспекты применения и эксплуатации средств этих направлений, которые определяют трансцендентные системные отношения, существенно влияют на архитектуру их обобщенных пользовательских интерфейсов и, в значительной степени, регламентируют имманентную структуру их программного обеспечения. С феноменологической точки зрения принципиальные отличия этих направлений можно характеризовать следующими положениями.

Программное обеспечение специализированных средств ориентировано на решение конкретной задачи (в некоторых случаях на узкий класс задач) и вариации решений опреде-

ляются по существу лишь набором данных, задаваемых для решения задачи. Примеров таких установок бесчисленное многообразие: от средств автономного управления космическими объектами до игровых автоматов. Главное – в них жестко реализуется одна наперед заданная программа, которая определяет имманентную структуру информационных отношений, воплощаемых компьютерной установкой. Любое изменение программы фактически создает новую версию компьютерной установки. Говоря о самых первых электронных вычислительных машинах, не смотря на то, что в проектах декларировалась идея их применения для произвольного класса задач, по сути, эти установки представляли собой средства, эксклюзивно настраиваемые на решение одной конкретной задачи. Это было связано со сложностью программирования задач в ту эпоху, с трудоемкостью ввода программ и с организацией эксплуатации установок при исполнении программ. Можно отметить, что именно к такому классу организации информационных отношений относится генетическое программное обеспечение прокариот.

Вместе с тем, идея универсальности вычислительных установок оставалась одной из доминирующих при развитии компьютерных технологий. На этом пути прошло несколько этапов, которые нередко связывают с последовательностью поколений электронно-вычислительных машин. Пожалуй, апофеозом этого развития, на настоящий момент времени, являются персональные компьютеры, распростране-

ние которых создало принципиально новые условия не только информатизации общества, но и качественные изменения всех коммуникационных общественных отношений. Возможно это прелюдия ноосферы, о которой так вдохновенно писал В. И. Вернадский.

Преднамеренно выделенный акцент внимания на персональные компьютеры сделан с целью показать трансцендентный ( $S_{IT}$  – в стратификации феноменологической модели систем) характер направленности свойств универсализации вычислительных установок. Реализация этих свойств возможна лишь при наличии соответствующей архитектуры информационных отношений ( $S_{II}$ ) и связанной с этим структурой программного обеспечения ( $S_{II}$  – имманентный аспект (уровень), обеспечивающий возможность реализации необходимого спектра трансцендентных отношений). На первых этапах конструктивным подходом к воплощению универсальности компьютеров стал принцип разделения на программном уровне процессов реализации архитектурных отношений (связи системы с внешним миром:  $S_{II}$  и  $S_{IT}$  уровни феноменологической модели систем) и процессов непосредственного преобразования информации в соответствии с прикладными алгоритмами решения поставленной задачи (т.е. отделение вычислительных процессов реализации исполнения прикладных программ, обеспечивающих заданное целевое преобразование исходной информации, от процессов организации взаимодействия вычислительной системы с

внешними для системы средствами.).

Вначале автономизировались процессы ввода/вывода информации. Чисто технологически эти процессы шли в другом, значительно более медленном масштабе времени, чем реализация самого вычислительного процесса преобразования информации. Естественно, последовательное выполнение этих процессов приводило к неэффективному простою процессорного оборудования. Потребовалась синергетическая увязка исполнения этих процессов компьютерным оборудованием. На основе этого возникла первичная ситуация необходимости организации мультипрограммного управления работой компьютера, которое впоследствии стало доминирующей формой обеспечения увязки (синергизации) как имманентных, так и трансцендентных аспектов функционирования компьютерных установок. Возникает новый уклад организации программного обеспечения – мультипрограммность, предоставляющая феноменологически принципиально новые качественные возможности функционирования и развития системных информационных отношений. Создается впечатление, что именно мультипрограммность software является определяющим имманентным феноменологическим фактором, обеспечивающим возможность реализации универсальности трансцендентных отношений компьютерных систем.

Необходимость возможности реализации мультипрограммного режима работы компьютеров потребовала введе-

ния принципиально новой организации программного обеспечения на основе **операционных систем (ОС)**. В этих условиях цель обеспечения синергетической увязки предоставления ресурсов вычислительной системы для всего многообразия процессов, выполняемых компьютером, пожалуй, стала ведущей и определяющей эффективностью функционирования ОС. Произошло достаточно явное разделение компьютерного программного обеспечения на системную и прикладную составляющие.

Системное программное обеспечение, основой которого являются ОС, достаточно жестко связано с материальной структурой (hardware) компьютеров. При реализации вычислительных процессов оно за счет конкретных пользовательских настроек создает и обеспечивает возможность формирования необходимой функциональной конфигурации компьютера для заданного множества прикладных программ конкретной предметной области, что и определяет возможность реализации необходимого спектра трансцендентных отношений.

Одной из ярко выраженных особенностей удачных разработок и создания новых версий ОС является проявление определенной наследственности, т.е. обеспечение возможности воспроизведения и функционирования программных продуктов, которые были созданы и работали под предыдущими версиями ОС. Реализация этого в условиях стабильности и при модернизации инфраструктуры ресурсно-



го обеспечения вычислительных средств обуславливает приемлемость создаваемого и созданного ранее апробированного программного продукта для их совместного использования в будущих поколениях. Такой подход значительно снижает затраты и время разработки создания новых конфигураций прикладного компьютерного обеспечения, позволяющего решать более сложные задачи и выполнять необходимые процедуры увязки компьютерной архитектуры как в условиях стабильности инфраструктуры ресурсного обеспечения вычислительных средств, так и при изменении трансцендентных факторов их эксплуатации.

Опыт показал, что на основе реализации таких принципов создаются возможности устойчивого перманентного развития усложняющегося прикладного программного обеспечения. Пренебрежение, или по каким-либо причинам невозможность выполнения такого подхода к развитию системного и прикладного программного обеспечения, как показывает опыт, приводил всегда к резкому ограничению применимости создаваемого программного продукта и к прекращению его развития.

Рассматривая процесс развития системного программного обеспечения, можно отметить фактически непрерывное существенное увеличение его информационного объема. Если первичные, по мере развития компьютерных технологий, ОС и создаваемое на их основе системное программное обеспечение укладывались в нескольких десятках Кбайт, то

современное системное программное обеспечение вычислительных установок требует для своего размещения в миллионы раз больше памяти, достигая многих Гбайт. Казалось бы, непомерное увеличение размеров ОС может усложнить реализацию выполнения прикладных процессов и снизить показатели эффективности функционирования и эксплуатации компьютеров. Такое мнение было достаточно обосновано на начальных этапах развития компьютерных технологий и, особенно, при создании вычислительных систем обработки информации в реальном времени.

Совершенствование элементной базы и структурной организации hardware, особенно в части ресурсов памяти, в значительной степени снизили актуальность таких представлений. Тем более, что усложнение и в структурном и в архитектурном планах самих прикладных программ требовало обеспечения очень жесткого контроля и верификации конкретных программных продуктов на всех этапах их «жизненного цикла», начиная от процедур создания до их реализации. Выполнение контролирующих функций и организацию реакции на результаты проведенного контроля и верификации в значительной степени взяли на себя ОС.

Основной объем информационных массивов ОС хранится на средствах долговременной внешней памяти, не обременяя этим загрузку операционных устройств, обеспечивающих реализацию выполнения прикладных вычислительных процессов. Размеры информационных массивов ОС, раз-

мещаемые на операционных средствах на конкретном этапе исполнения вычислительных процессов, обычно сравнимы с размерами прикладных программ, реализующих функции преобразования информации по назначению функционирования и эксплуатации компьютеров. Таким образом, не смотря на громоздкость ОС, реальная производительность по прикладному назначению операционных средств компьютеров находится приблизительно в тех же пределах, что и при непосредственном исполнении на них прикладных программ. Более того, суть ОС позволяет более эффективно распределять ресурсы для исполнения прикладных процессов, а также обеспечивать непрерывный контроль их исполнения и преодоление конфликтных ситуаций. Все это, вместе взятое, создает условия возможности поддержания необходимого уровня надежности функционирования компьютеров, заданного трансцендентными обстоятельствами, что является одним из основополагающих факторов их эффективного применения.

Приведенные аспекты, характеризующие ОС и реализуемое на их основе системное программное обеспечение, присущи всему классу универсальных вычислительных установок: от суперкомпьютеров, включающих в себя большое количество процессоров, до персональных компьютеров массового применения. Можно отметить, что широкое многообразие прикладной персональной реализации компьютеров массового применения при очень ограниченном многооб-

разии используемых операционных систем наглядно иллюстрируют, как мультипрограммность создает многообразие вариаций вычислительных конфигураций по прикладному назначению и формированию своеобразных ниш трансцендентных отношений реализации компьютерных технологий в общей информационной сфере. Именно на основе мультипрограммных режимов вычислительных установок создаются феноменологические предпосылки и условия реализации мультитрансцендентных аспектов функционирования этих вычислительных установок, превращая их действительно в универсальные (on line специализирующиеся) системы.

Содержательное развитие программного обеспечения влекло за собой совершенствование форм его отображения и воплощения. Одним из аспектов формализации информационных отношений является **язык**. Профессор С. П. Расторгуев так характеризует это положение: «*Среда для информационных электронных объектов задаётся в первую очередь языком!*» Для современных информационных технологий характерно активное развитие и многообразие компьютерных языков. Обычно термин «компьютерные языки» связывают с языками программирования. Действительно, в начале эры вычислительной техники в рамках создания software огромные усилия были направлены на повышение качества процесса создания программ.

Одной из ведущих парадигм при этом выступало представление об удобстве и понятности языка программирования.

ния для человека-программиста. В этом жанре человечество придумало более двух с половиной тысяч языков программирования.

Вместе с тем, развитие информатизации на основе компьютерных и телекоммуникационных технологий, особенно в эпоху Интернета, вызвало появление компьютерных языков, которые не являются языками программирования. К таким языкам, например, относится получивший широкое распространение и международную стандартизацию язык структурированных запросов (*Structured Query Language*) **SQL** – универсальный компьютерный язык, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных.

Другим примером компьютерных языков, не являющихся языками программирования, являются языки разметки. Документ, написанный с использованием языка разметки, содержит дополнительную информацию о различных его участках, например, указание на заголовки, выделения, списки и т.д. В более сложных случаях язык разметки позволяет вставлять в документ интерактивные элементы и содержание других документов. Языки разметки используются везде, где требуется вывод форматизированного текста: в типографии (*Wikipedia*®: *SGML*, *TeX*, *PostScript*, *PDF*); пользовательских интерфейсах компьютеров (*Wikipedia*®: *Microsoft Word*, *OpenOffice*, *troff*); Всемирной Сети WWW – World Wide Web (*Wikipedia*®: *HTML*, *XHTML*, *XML*, *WML*,

Обычно стандарты компьютерных языков, не являющихся языками программирования, предусматривают возможности их процедурного расширения. Например, браузеры<sup>42</sup> – программы для работы с гипертекстами на языках разметки. Браузеры постоянно развивались со времени зарождения Всемирной паутины и с её ростом становились всё более востребованными программами. Ныне браузер – комплексное приложение для обработки и вывода разных составляющих веб-страницы и для предоставления интерфейса между веб-сайтом и его посетителем. История их развития и конкуренция в пользовательском распространении, даже в условиях небольшого количества конкурентов производителей, достаточно интересно показывает процессы отклонения от первичного базисного языкового стандарта и различие интерпретаций, которые порождают диалекты, подчас слабо совместимые между собой. Возникающие при этом конфликты являются естественным антуражем развития языков. Эти конфликты, с одной стороны, усложняют и могут снижать эффективность внутренних и межсистемных отношений на конкретном жизненном этапе их проявления, но с другой стороны нередко способствуют в информационных технологиях реализации процессов, подобных ароморфозу.

Совокупность ОС и компьютерных языков с различными средствами расширения, образуют, так называемые, систе-

---

<sup>42</sup> От английского *browse* – просматривать.

мы программирования, которые обеспечивают возможность организации вычислительных процессов на конкретной компьютерной установке с использованием программных продуктов, представленных на различных компьютерных языках. Профессиональные программисты иногда применяют в своей работе более десятка разнообразных языков программирования. Для написания пользовательских расширений могут использоваться как скрипты (в терминологии некоторых программ «макросы»), так и плагины (независимые модули, написанные на компилируемых языках; в некоторых программах они могут называться «утилитами», «экспортёрами», «драйверами»). Эти явления способствуют, а возможно обуславливают, процессы дивергенции реализации систем программирования и связанных с ними конкретных продуктов software.

Для уточнения феноменологической значимости языков в системах информационных отношений, а, следовательно, и в информационных системах в целом, попробуем воспользоваться известными профессиональными толкованиями этого понятия. Одной из распространенных формальных интерпретацией понятия «язык» является представление его в виде знаковой системы, соотносящей понятийное содержание и форму его реализации (типовое звучание, написание, кодирование электронных носителей и т.п. формы материализации знаков языка). Наиболее существенной и специфической особенностью структурной организации языка, с этих

позиций, считается его «многоуровневое строение», т.к. оно является самым непосредственным следствием уникальной способности языка относить свои знаки к любой части человеческого опыта любого рода и связанной с этим способности к бесконечному развитию и модификациям. Этот тезис достаточно полно характеризует возможности языковой формализации информации с точки зрения ее содержания. Но не совсем понятно, почему в подобную трактовку интерпретации понятия «язык» обычно включается противопоставление естественных и искусственных языков.

Другая интерпретация понятия «язык» взята из Большой советской энциклопедии. *«Язык, стихийно возникшая в человеческом обществе и развивающаяся система дискретных (членораздельных) звуковых знаков, предназначенная для целей коммуникации и способная выразить всю совокупность знаний и представлений человека о мире. Признак стихийности возникновения и развития, а также безграничности области приложения и возможностей выражения отличает Я[зык] от так называемых искусственных, или формализованных, языков, которые используются в других отраслях знаний, и от различных систем сигнализации, созданных на основе Я[зыка]».* В этом тезисе так же настойчиво противопоставляются естественные и искусственные языки, но уже по стихийности их возникновения. В этой связи не понятно, каким детерминированным планом обусловлены, например, события связанные: с созданием в 1954 году в недрах корпо-



рации IBM группой разработчиков во главе с Джоном Бэкусом языка программирования Fortran; с созданием в 1960 году командой во главе с Петером Науром языка программирования Algol (этот язык дал начало целому семейству Алгол-подобных языков, важнейший представитель которых – Pascal был создан в 1970 году Никлаусом Виртом); с тем, что в 1963 году преподавателями Дартмутского Колледжа Джоном Кемени и Томесом Куртцом был придуман, и под их руководством был реализован командой студентов колледжа Бейсик; с созданием в 1972 году Керниганом и Ритчи языка программирования C, а в 1986 году Бьярн Страуструп создал первую версию языка C++; с разработкой британским учёным Тимом Бернерсом-Ли приблизительно в 1989 – 1991 годах в стенах Европейского совета по ядерным исследованиям в Женеве языка разметки HTML. Перечисление можно продолжать, но во всех случаях создателями двигало не детерминированное, заранее запланированное директивное указание, а необходимость сложившейся ситуации в информационных технологиях в ходе процесса их слабо предсказуемого развития.

На основе приведенного рассуждения представляется, что феноменологически, с точки зрения уровня организации информационных отношений, естественные и искусственные языки эквивалентны. Все они упорядочивают на основе сложившихся регламентированных правил связь разнотипных информационных объектов в рамках их иерархической и фе-

номенологической упорядоченности. Это побуждает к гипотезе в достаточно узком смысле, что *язык есть объективный имманентный атрибут информационных отношений, присущий любой действующей (функционирующей) информационной системе, способствующий обеспечению в ней коммуникационных отношений.*

На этом приостановим экскурс в рукотворную эволюцию компьютерных технологий и обратимся вновь к процессам информационного обеспечения жизни.

# **Информационное обеспечение жизни эукариотных клеток.**

Прежде, чем перейти к обсуждению информационного обеспечения эукариотов, напомним структуру информационных отношений в организмах прокариотной биосферы по аналогии с рассмотренными аспектами развития компьютерного программного обеспечения. В случае прокариот, принципиальным положением является наличие в каждом индивидуальном прокариотном одноклеточном организме единой, однократно исполняемой на протяжении жизненного цикла клетки, генетической программы, которая хранится в кольцевой бактериальной хромосоме. Это напоминает структурно-архитектурную организацию однопрограммных компьютеров специализированного назначения. Все внеклеточные отношения, включая информационные, обеспечиваются не генетической связностью клеток, а внешними (трансцендентными) отношениями между организмами, которые носят более высокий уровень уже экологического сосуществования. Именно на экологическом уровне в прокариотной биосфере обеспечиваются синергетические процессы круговорота живой материи на основе разделения живых существ на экологические категории: продуцентов, консументов и редуцентов (деструкторы).

Такая структура прокариотной биосферы вполне самодо-

статочна и показала поразительную ее жизнеспособность в условиях существенной изменчивости окружающей среды. Вместе с тем, на основе опыта развития жизни на Земле, очевидно, что такая организация информационных отношений оставляет развитие живых организмов лишь на одноклеточном уровне.

Конечно, в природе часто на основе экологического взаимодействия формируются вполне устойчивые объединения на уровне симбиоза организмов с существенно различными генетическими программами их развития. Результаты микрорепалеонтологических исследований показывают, что на заре биологической жизни, в эпоху прокариотной биосферы существовало значительное разнообразие таких систем. Они различались по мощности, плотности и разнообразию участвующих в них организмов. Но уровень экологических отношений, которые для каждого индивидуума представляются трансцендентными факторами, не показал в природе примеров появления качественно новых, генетически взаимосвязанных и передаваемых по наследству форм отношений, способных на программном уровне определять структуру таких агломератов. Все, что достигнуто в этом смысле в царстве прокариот – это некоторая специализация формы организмов, обеспечивающая в той или иной степени их пространственно-трофическое объединение в условиях экологического сосуществования.

В отличие от этого надцарство эукариот принципиаль-

но отличается по системной организации генетической информации. Это, например, позволило Природе в процессе эволюции «создать условия» для возникновения многоклеточных организмов, развивающихся и структурирующихся на основе единого «пула» программного обеспечения для каждого многоклеточного организма. На едином для каждого организма множестве программ (наборе хромосом) поддерживается широкая палитра специализации клеток организма. Клеточное многообразие, формирующее каждый организм, жестко увязано информационными отношениями в единую корпоративную клеточную ассоциацию. Благодаря этому, результаты выполнения генетических программ (конечно, это, в первую очередь, белки – «данные» результатов исполнения генетических программ, и создающиеся на их основе ферменты) детерминировано определяют специализацию каждого шага деления клеток организма. Исследования последних десятилетий показали также активную роль таких промежуточных в феноменологическом смысле информационных объектов как интерферирующие РНК (siRNA) и микро РНК (miRNA). Промежуточный феноменологический смысл такого класса информационных объектов (с точки зрения отнесения их к генетической или фенотипической информации) связан с тем, что эти информационные объекты не всегда являются прямой копией какого-либо участка генетической информации, а их синтез в ходе жизненного цикла эукариотных клеток происходит не

традиционным путем синтеза объектов фенотипической информации. Такой процесс формирования многоклеточных организмов продемонстрировал практически безграничные возможности усложнения живой природы до создания человеческой цивилизации.

Считается, что на основе эндоклеточного симбиоза<sup>43</sup> представителей групп прокариотных организмов (наиболее распространена гипотеза о симбиозе эубактерий и уркариотов) возникло новое царство живых организмов – эукариоты (Eukaryotae). По своему происхождению, с биологической точки зрения, эукариотная клетка рассматривается как химера – комбинация разнородных компонентов. Предполагается, что уркариоты, являвшиеся, по сути, ядерно-цитоплазматическим компонентом эукариот, т.е. клеткой-хозяином, включали в себя в качестве симбионтов представителей различных групп эубактерий, которые, в частности, регулировали формирование структур энергообеспечения клеток,

---

<sup>43</sup> Профессор В.В. Малахов отмечает: «Концепция симбиогенеза была сформулирована ещё в начале XX века двумя выдающимися российскими биологами К.С. Мережковским (родным братом известного писателя Д.С. Мережковского) и Ф.С. Фаминициным. Однако их идеи в то время не были оценены по достоинству и не получили широкого распространения. К идее симбиогенеза биологи вернулись только в последние десятилетия XX века». Действительно в науке так бывает: вспомним, что результаты своих исследований и гипотезы на их основе Мендель опубликовал в 1866г. в журнале «Труды Брюннского общества естествоиспытателей», который рассылался в научные общества многих стран. Однако только в начале XX века законы Менделя были «вторично открыты» и должным образом оценены.

таких, например, как митохондрии и хлоропласты будущих клеток эукариот. Подчеркнём – представляется, что качественное взаимодействие симбионтов происходило именно в рамках взаиморегулирования, а не управления.

Такие процессы достаточно естественные явления в природе. Совместное, тесное сосуществование колоний прокариотных организмов разных видов приводило к ситуациям взаимопроникновения клеток друг в друга. Речь идет не о проникновении фрагментов на уровне ДНК (подобно плазидам и эписомам), а о внедрении целой сформировавшейся клетки в структуру другой. Большинство из этих ситуаций оканчивалось гибелью новых образований, что вполне объясняется, например, несогласованностью работы разнородных генетических программ, в результате чего получались неупорядоченные по своему содержанию «данные», не способные эффективно регламентировать процесс жизнеобеспечения развития новых образований. Возможно, одной из иллюстраций таких неудачных взаимодействий генетического материала являются вирусные инфекции клеток.

Вместе с тем, специализация прокариотных организмов по экологическим категориям создавала предпосылки для возможности возникновения в определенной степени совместимых генетических программ, функционирующих в единой внутриклеточной протоплазматической среде. Основой такой совместимости, возможно, являлась достаточная разнесенность информационных форматов, как генетической

информации, так и синтезируемой на ее основе продукции. Проявление таких свойств химерных структур не редко проявляется и наблюдается в жизни более сложных организмов. Возможно, в некоторых удачных случаях это служило причиной и способствовало очередному шагу ароморфоза биологических систем. Отголоском такой химерной непротиворечивости на уровне эндоклеточного симбиоза, по всей видимости, является, например, специфический код митохондрий, отличный от генетического кода современных клеточных организмов.

Закреплению симбиоза в значительной степени могла способствовать непротиворечивость результатов синтеза продуктов по различным генетическим программам. Синергетическая организация на таком качественном уровне жизненных циклов клеток-хозяина и клеток-симбионта позволяла реализовываться достаточно устойчивым клонам таких образований. При этом развитие каждой компоненты симбиотической клетки продолжало, по-видимому, происходить по своей генетической программе. Сейчас трудно утверждать, но нет оснований отвергать гипотезу о многообразии таких симбиотических образований.

Вполне допустимо, что симбиотические образования не ограничивались лишь слиянием двух клеток. Возможно, что в протоплазме крупных уркариотных клеток могло находиться некоторое множество мелких эубактерий. Это схоже, например, с ситуациями множественного деления на-



следственного аппарата эубактерий до соматического деления клетки. Такие факты наблюдаются и у современных прокариот. В тоже время, в ситуации окружающей среды, качественно стабильной по показателям энерго-ресурсного обеспечения, не видно явных стимулов глубокой структурной перестройки исходных объектов, участвующих в симбиозе.

Значимым фактором, стимулирующим переход от простого симбиоза к усложнению и формированию организмов с генетически объединенным многопрограммным (вначале, вероятно, двухпрограммным) обеспечением, явилось, возможно, изменение атмосферы земного шара. Геохронология предполагает появление примитивных эукариот через 1млрд лет после начала формирования жизни прокариотной биосферы, одной из активных компонент которой являются цианобактерии, продуцирующие в атмосферу свободный кислород. За этот срок концентрация кислорода в атмосфере достигла того уровня, что позволила открыться новой экологической нише жизни живых организмов на основе аэробного дыхания. Открытие этой ниши для консументальной категории живых организмов сравнимо, в некотором роде, с явлением возникновения фоторецепторов у прокариот.

Представляется, что именно на такой ноте происходило слияние в единый организм симбионтов с аэробным дыханием в структуре уркариотных клеток. В какой-то степени это похоже на структурную организацию экологических категорий прокариотной биосферы (продуценты, консументы,

ты, деструкторы). Аэробные симбионты (эубактерии) явились энергетическими продуцентами, а уркариоты (клетка-хозяин) осуществляли морфологическое строительство нового организма с учетом добычи необходимых материальных ресурсов для трофического обеспечения этого процесса (консументальные функции).

Появление новой экологической ниши способствовало «творчеству Природы» по многообразию вариантов симбиотического развития. На совокупности современных знаний о том периоде развития Жизни достаточно сложно утверждать о каком-либо конкретном сценарии формирования первичной морфологии примитивных эукариот, а главное – об их программном обеспечении. Вместе с тем, следует отметить, что опыт разработки и создания компьютерного программного обеспечения, при всем интеллектуальном потенциале современных ученых, не дает возможности широкой палитры решений в принципах системной организации программ. основополагающая концепция открытости архитектуры программного обеспечения жестко связана с возможностями реализации его преемственности на различных этапах развития. Возможно, именно это явилось тем оселком Природы, с помощью которого сформировалась структура программного обеспечения эукариот.

*Феноменологически определяющим фактором, отличающим программное обеспечение эукариот от программного обеспечения более примитивных прокариот*

*(но, подчеркнем, что это не значит – менее жизнеспособных), является генетическая мультипрограммность эукариот, которая изначально возникла на основе симбиоза в единой оболочке прокариотных организмов, развивающихся по программам – принципиально самостоятельным и не перекрывающимся по своим прикладным результатам.*

По всей видимости, именно мультипрограммность легла в основу хромосомной структуризации генетической информации предков эукариотных организмов, что в дальнейшем получило свое развитие во всем надцарстве эукариот. Реликтовость первичной хромосомной структуризации программ наблюдается и в настоящее время в том, что генетическая информация о формировании митохондрий сосредоточена лишь в X-хромосомах. Именно женские организмы, выполняющие репродукционные функции, являются наиболее консервативными в морфологических вариациях, в то время как Y-хромосомы являются одним из основных регуляторов морфологических вариаций эукариотных клеток. Это в какой-то степени может быть определенным подтверждением гипотезы о слиянии прокариотных клеток, с достаточно устойчивыми и эффективными свойствами аэробного дыхания, и уркариотных клеток, обладающих программным обеспечением формирования морфологии на основе добычи биологических ресурсов для построения клетки.

Принципиальным основанием в эволюции генетической

информации эукариот и, по видимости, доминирующим фактором является формирование новых конфигураций генетического программного обеспечения, а не изменчивость конкретных программ, например, по типу трансгенозиса, как у прокариот. Обоснованием этой гипотезы являются практические результаты всех исследований структуры хромосом и хромосомной ДНК эукариот. Реализация в Природе такого механизма эволюции эукариотных клеток в определенной степени ограничивала вариации вновь создаваемых биоструктур, фактически исключая возможность создания абсолютно новых программ синтеза типов «данных» (белков). Однако, многообразие белковых продуктов, сформировавшееся к моменту начала эры эукариот, как показывает ход их эволюции, оказалось достаточным для создания современного мира жизни. Можно подчеркнуть, что также как и предки прокариот были не на одно лицо, то маловероятно, что и предковые эукариоты сформировались из единого вида симбиотических структур.

Возможно, именно это первоначальное разнообразие явилось в последствии причиной разделения эукариот на достаточно самостоятельные царства, организмы которых существенно отличаются как по морфологии, так и по физиологии строения их клеток. Вместе с тем отмечено, что генетическая информация клеток организмов различных царств с определенной степенью перекрытия содержит ряд идентичных программ синтеза белковых продуктов. На основе этих

фактов уже активно ведутся генно-инженерные разработки по созданию биологических организмов с не встречающимися в природе свойствами. Это можно считать великолепной иллюстрацией единства нашего живого мира.

Феномен специфической упорядоченности генетической информации эукариотных клеток достаточно наглядно иллюстрирует появление в структуре генетической информации эукариот компонент системного программного обеспечения, которое реализует эксклюзивную настройку и организацию процесса исполнения программ из мультипрограммного пула.

Вследствие этого, главной особенностью организации генетического материала эукариот является наличие существенной избыточной ДНК по отношению к кодирующей части генома. Это было выявлено из анализа отношения числа генов к количеству ДНК в геноме бактерий и млекопитающих. Средний размер гена бактерий 1500 пар нуклеотидов (п.н.). Для *E. coli* и *B. subtilis*, например, длина кольцевой молекулы ДНК составляет около 1 мм. В таком размере могут разместиться около 3 тысяч генов. Такой же результат был экспериментально получен для этих бактерий по числу типов иРНК, на основе которых можно дать оценку количества генов, участвующих в синтезе белков. Более точный анализ показал, что около 95% генома бактерий состоит из кодирующих белки (генных) последовательностей. Остальные 5%, по-видимому, заняты регуляторными элементами.

Иная картина наблюдается у эукариотных организмов. Считается, например, что у человека приблизительно 50 тысяч генов. В то же время размер генома человека  $3 \times 10^9$  п.н. Кодирующая часть генома составляет всего 15...20 % от тотальной ДНК. Избыточная ДНК характерна для всех эукариот. Действительно, при мультипрограммной организации управления наряду с непосредственными программами, выполняющими прикладные функции, принципиально требуется дополнительное информационное обеспечение для реализации процесса организации и управления выполнением программ.

В 1977г. две группы исследователей – Ф.Шарп с коллегами в Массачусетском технологическом и группа сотрудников Колл-Спринг-Харборской лаборатории (США) открыли, что у эукариотных организмов гены «разорваны». Было показано, что ДНК последовательность нуклеотидов, кодирующая белок, расположена не подряд, а прерывается более или менее протяженными некодирующими последовательностями. Эти вставки были названы *интронами*, а разделенные части кодирующей последовательности – *экзонами*. Довольно скоро выяснилось, что после завершения транскрипции интроны вырезаются, а экзоны последовательно соединяются («сплайсируются»), образуя непрерывную кодирующую последовательность нуклеотидов иРНК. Конечно, это может показаться утрировано, но организация сплайсинга при «созревании» про-иРНК (первичного транскрипта) до иРНК,

участвующей в процессе трансляции генетической информации в белковые структуры, напоминает работу браузера по упорядочению информационной структуры на основе выполнения по определенным правилам процедур ее восприятия в рамках некоторого языка разметки. Для языков, как искусственных, так и естественных, характерно возникновение диалектов, которые ограничивают информационно-коммуникационные возможности взаимодействия представителей, пусть даже общих по происхождению, но обладающих разными диалектами языковой организации информации. Не это ли является одной из причин видовой генетической несовместимости? Граф, отображающий процессы таксономической дивергенции эволюционного развития эукариотной биосферы, в рамках сегодняшних представлений, является четко выраженным «деревом» без каких-либо межвидовых циклов. Возможно, это поддерживается не столько на основе содержательного различия генетической информации с точки зрения формирования фенотипа, а именно за счет усугубления видового диалекта организационной упорядоченности генетической информации.

Установлено, что число, внутренняя локализация интронов и их длина характерны для каждого гена. Отмечается также, что по мере усложнения эукариотных организмов усложняется и структура организации гена. У низших эукариот, таких, как дрожжи, 95% генов содержат только один экзон, значит, они в подавляющей массе случаев не преры-

ваются интронами. У дрозофилы генов, не имеющих интронов, только 17%, а у млекопитающих – еще меньше, только 6%, причем число экзонов в некоторых генах может достигать нескольких десятков. Экзоны, как правило, имеют небольшую длину, от 100 до 600 пар нуклеотидов (п.н.), а длина интрона может варьировать в широких пределах – от нескольких десятков до многих десятков тысяч п.н. Общая длина всех интронов зачастую значительно превышает суммарную длину экзонов.

Сущность функций интронов, пожалуй наиболее наглядно проявляется в энхансерных<sup>44</sup> участках генов. Было установлено, что последовательности ДНК, расположенные в тысячах пар нуклеотидов от промотора эукариотического типа, могут активировать его транскрипцию. Сейчас известно, что эти энхансерные последовательности служат в качестве специфических участков (сайтов) связывания особых регуляторных белков, усиливающих или активирующих процесс транскрипции. Считается, что этот тип контроля генной активности на расстоянии является скорее правилом, чем исключением. Вполне возможно, что выпавшие интроны, являющиеся подмножеством различных иРНК, представляют собой источник формирования интерферирующих и микро РНК (siRNA; miRNA), которые на основе генетической информации, хранимой в ДНК, реализуют управляющие функции РНК компонент, дополняющих ферментативные функ-

---

<sup>44</sup> От английского *enhance* – усиливать.



ции протеинов. При этом здесь явно прослеживаются функции, которые выполняют компьютерные операционные системы.

С феноменологической точки зрения буквально восхищение вызывает единство «процессорной элементной базы» нашей живой природы. Это ощущение особенно усиливается при взгляде на процессы развития компьютерных технологий, в которых «ароморфоз» обычно связывается с освоением новой элементной базы (от электронных ламп, через германиевые транзисторы до перманентного совершенствования микротехнологий кремниевых кристаллов). Правда, можно отметить, что достаточно большое количество удачных проектов компьютерных технологий было осуществлено в рамках определенной идентичности исходных компонент формирования процессорной элементной базы. При этом, определенным императивом развития компьютерного hardware на современном этапе является повышение производительности элементной базы с учетом обязательного снижения удельного энергообеспечения выполнения компьютерных процедур. Новые количественные показатели в этой ситуации достигаются главным образом за счет развития технологий, обеспечивающих чистоту исходных материалов и на основе этого реализации возможностей организации регламентированных связей между элементами на очень малых расстояниях, что одновременно позволяет организовать высокую плотность упаковки функциональных элементов и

повысить скорость (частоту) передачи сигналов между ними, а также снизить энергозатраты на передачу сигналов. К сожалению, современные технологии микроэлектроники, без укора к их разработчикам, по качеству эксклюзивности процессов структуризации элементной базы не так совершенны в сравнении с процессами формирования супрамолекулярных структур, которые реализуются в живой природе. Но организация и реализация современных технологий микроэлектроники, с одной стороны, впитали в себя огромное количество научно-технических достижений и, с другой стороны, воплощаются на производствах, уникальных по сложности и ресурсным (стоимостным) затратам. Это, в определенной степени, фетишизирует именно hardware-аспекты в развитии компьютерных систем. В то же время, новые потребительские возможности и свойства информационных систем достигаются в основном за счет вариаций структурной и архитектурной организации вычислительных ресурсов. Наиболее существенными, в этом плане, являются взаимно совместимые аспекты организации мультипроцессорных ресурсов и специализации процессорных компонент.

Прогресс развития мультипроцессорной архитектуры был связан, в основном, с суперкомпьютерами предельной производительности. Именно в этой палитре hardware обычно проводились серьезные инвестиции на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки. Мультипроцессорная архитектура, опробованная на суперпроцессо-

рах, является основой, в настоящее время, для достаточно широко спектра компьютерных установок: рабочие станции, серверы и даже персональные компьютеры личного пользования, включая планшеты, смартфоны и т.п. изделия, в которых активно используются многоядерные платформы. Специализация процессорных компонент реализуется в широком спектре: от специализированных БИС (СБИС), например, обработки графической информации, до программируемых логических интегральных схем – матриц (ПЛИС), на которых обеспечивается даже в процессе эксплуатации существенная реконфигурация структуры аппаратного ресурса.

Отдавая дань в развитии современных информационных технологий аспектам software, необходимо подчеркнуть, что общий прогресс этой области деятельности в значительной степени обуславливается перманентной сменой элементной базы. В отличие от этого ароморфоз живой природы происходит практически при постоянстве элементной базы операционных средств и памяти, обеспечивающих реализацию программного управления клеточными жизненными циклами всех живых организмов на Земле. Достаточно уверенно считается, что основой всех типов «процессорных» элементов живой природы является РНК. Цитируем лауреата Нобелевской премии за открытие каталитических свойств РНК Т. Р.Чека *«Во всех известных на сегодня случаях субстратом для ферментативного действия РНК является са-*

ма РНК – участки той же полимерной молекулы, другая полимерная молекула РНК или же единственный нуклеотид. Вероятно, это не случайно. РНК прекрасно подходит для взаимодействия с РНК, и гораздо труднее представить, как она может сформировать хороший центр связывания, предназначенный для взаимодействия с иными важными биологическими молекулами, скажем, с аминокислотами или жирными кислотами. Поэтому, как мне кажется, если и будут найдены другие примеры каталитической активности РНК, субстратом в них тоже должна быть РНК.

Разумно выглядят две возможности. Одна из них предполагает участие маленьких рибонуклеопротеидных частиц, присутствующих в ядрах клеток, – так называемых частиц мяРНП (малые ядерные рибонуклео-протеиды), которые необходимы для многих реакций «созревания» РНК в ядре, включая сплайсинг. Каждая частица мяРНП состоит из молекулы РНК и нескольких молекул белков. Не исключено, конечно, что эти частицы просто отмечают, как маркеры, в предшественнике мРНК те точки, в которых «обычные», белковые ферменты должны осуществить сплайсинг. Но, по моему мнению, мяРНП принимают непосредственное участие в катализе.

Другая возможность связана с рибосомой. Рибосома состоит из 55 или более молекул разных белков и нескольких молекул РНК. Некоторые из субстратов, с которыми приходится иметь дело рибосоме, тоже представляют собой

*РНК – тРНК и мРНК. Работы многих исследователей, и прежде всего группы под руководством К. Воле из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн и Г. Ноллера-младшего с сотрудниками из Калифорнийского университета в Санта-Крус, показали, что в ходе эволюции пространственная структура рРНК менялась очень мало. Этот результат и тот факт, что существуют мутации рибосомных РНК, влияющие на синтез белков, можно интерпретировать как указание, что рРНК непосредственно участвуют в синтезе белка».*

Не будем обсуждать более подробно это изумительное свойство живой природы – единство «процессорной элементной базы» всех живых организмов. Отметим лишь, что в ходе эволюционного развития эукариотных организмов мультипрограммность их генетического обеспечения привела к определенным изменениям внутриклеточных интерфейсов и информационных протоколов, которые присущи прокариотам. Естественно, в первую очередь, это касалось необходимости выполнения функций операционной системы и обеспечения языковых средств представления всей совокупности генетической информации для реализации эффективной синергетической увязки действия разных программ в ходе развития эукариотных организмов. Особенно ярко это проявляется в многоклеточных организмах, но даже у примитивных одноклеточных эукариот, например *Tetrahymena thermophila*, четко проявляются отличия прото-

колов структурирования генетической информации. Наиболее существенные изменения в протоколах реализации внутриклеточных информационных отношений при переходе от прокариот к эукариотам произошли в реализации процедур транскрипции иРНК и процедур организации записи (хранения) и чтения генетической информации на молекулах ДНК, а также передачи ее для активизации и исполнения. Эти изменения принципиально обусловлены переходом к мультипрограммной структуре информационных отношений эукариотных клеток.

Рассматривая аспекты формирования и реализации на клеточном уровне мультипрограммного обеспечения развития жизненных циклов и организации воспроизводства живых организмов, с феноменологической точки зрения необходимо обратить внимание на возникновение на этой основе принципиально новых уровней организации информационного обеспечения в живой природе, которые выходят за рамки клеточной замкнутости и охватывают клеточные ассоциации, а также еще более высокий уровень – организацию репродукции многоклеточных организмов. В данном случае речь идет о специализации и дифференциации клеток многоклеточных организмов в ходе их жизненных циклов, а так же о генетической рекомбинации при размножении двуполых организмов. Именно эти аспекты обусловили вектор ароморфоза эукариотного надцарства живой природы, который мы наблюдаем.

Наряду с обеспечением синергетической увязки мультипрограммных компонент генетической информации элементы системного программного обеспечения играют существенную роль в защите информационных внутриклеточных процессов от возможных генетически не регламентированных воздействий. Это повышает устойчивость процессов репликации клеток организмов в рамках одного вида. Вместе с тем реализация этих функций ограничивает вариабельность изменчивости клеточных образований каждого вида. Не это ли является причиной содержательной стороны онтогенеза многоклеточных? Ведь в нем фактически повторяется эволюция эукариотов от простейших до соответствующей ветви многообразия этого царства живых организмов. Подобный способ развития организмов практически исключил комбинаторный принцип эволюции клеток, присущий прокариотам.

Сформировалась основополагающая тенденция эволюции эукариотных организмов, опирающаяся на наследственность продуцирующей генетической информации в ходе эволюционных преобразований. Возможно одним из фактов, подтверждающих эту гипотезу, являются результаты расшифровки геномов эукариотных организмов, значительно разнесенных по таксономическим категориям. Последние результаты исследований в этом направлении показывают большое перекрытие генетического материала, определяющего процессы синтеза белков во всей пирамиде многооб-

разия эукариотных организмов. В тоже время структурная организация системного программного обеспечения весьма отлична даже в недалеких таксонах: начиная от количества и структуры хромосом до организации генов.



# **Диплоидность – парадигма структурной организации генетической информации эукариот**

Реализация моно– или мультипрограммного обеспечения организации процессов жизни клеток в своей сущности представляет собой достижение цели, которой является акт тиражирования генетической информации для дальнейшего воспроизведения новых клеток. Это связано с тиражированием и передачей информации во вновь рождающиеся клетки – внешние структуры по отношению к клетке, завершившей свое развитие. На этом этапе информационные отношения реализации генетической информации выходят из категории чисто имманентных (структурных) аспектов и переходят (с феноменологической точки зрения) в аспекты, связанные с трансцендентными системными уровнями. Естественно, что переход к другим феноменологическим системным уровням обуславливает свои принципы организации информационных отношений. При этом необходимо отметить, что даже сам акт тиражирования (воспроизведения) новых клеток представляется отнюдь не однозначно. На основе применения операционных систем возникают возможности от узкой специализации до широкой универсализации компьютерных установок, а так же их функционального перепро-

филирования в ходе эксплуатации. При обсуждении процессов формирования внутриклеточных информационных отношений и процессов эволюции прокариот было отмечено, что их ароморфоз происходил на основе потенциальных возможностей программного обеспечения эволюционно предыдущих поколений. Этот тезис абсолютно уместен и для объяснения появления эукариотных организмов. В основе этого – единство элементной базы внутриклеточных операционных органелл. Это касается как обработки и хранения генетической информации, так и формирования базисной компоненты фенотипической информации – белков и формируемых на их основе ферментов.

Представляется, что прелюдией эукариотного симбиоза двуполых организмов являлись трансцендентные процессы генетической рекомбинации прокариот. С этих позиций, в частности, обоснован интерес рассмотрения гипотез о формировании и действии механизмов тиражирования клеток.

Эффективность акта деления клетки для образования новых организмов напрямую определяется качеством процедуры репликации генетической ДНК, копии которой передаются дочерним клеткам. Под **качеством** копий подразумевается количество ошибок во время репликации, которое оценивается вероятностью (средней частотой) несовпадения последовательностей азотистых оснований в молекулах ДНК дочерних клеток в сравнении с материнской молекулой ДНК. Анализ супрамоллекулярных процессов по-

луконсервативной репликации ДНК, учитывающий физико-химические свойства оснований при образовании водородных связей в молекуле ДНК при отсутствии ферментов, дает значение вероятности появления ошибок –  $10^{-2}$ . Естественно, при таком «шуме» появление каких-либо устойчивых популяций практически невозможно. В реальных живых организмах точность копирования ДНК чрезвычайно высока. Ошибочное включение оснований происходит с вероятностью  $10^{-8} - 10^{-10}$ . Это обеспечивается работой ферментных систем.

В поддержании высокой точности репликации ДНК принимают участие три ферментные системы. Первые две системы работают во взаимодействии с аппаратом репликации ДНК, они обеспечивают механизм предотвращения ошибок. Третья система, действующая по завершении синтеза, обеспечивает механизм коррекции (репарации). Почему такое многообразие, казалось бы, для достаточно рутинной и регламентированной процедуры? По всей видимости, это связано со структурной нетривиальностью хиральной организации молекулы ДНК. Напомним, Д.Уотсон и Ф.Крик показали, что ДНК состоит из двух полинуклеотидных цепей. Каждая цепь закручена в спираль вправо, и обе свиты вместе, т.е. закручены вправо, вокруг одной и той же оси, образуя двойную спираль. Цепи антипараллельны, т.е. направлены в противоположные стороны, так что 3'-конец одной цепи располагается напротив 5'-конца другой.

В 1967г. А.Корнберг показал, что открытый им в 1956г. фермент ДНК-полимераза присоединяет нуклеотиды только в направлении  $5' \rightarrow 3'$ . Поскольку две цепи ДНК антипараллельны, т.е. направления  $5' \rightarrow 3'$  у них топологически противоположны, то ДНК-полимераза, в связи с собственной хиральностью, может непрерывно строить лишь одну новую цепь молекулы ДНК. Эту цепь принято называть лидирующей. Другая дочерняя молекула ДНК синтезируется отдельными короткими участками (фрагменты Оказаки – по имени исследователя, впервые их обнаружившего) под действием ДНК-полимеразы, движущейся в противоположном направлении. Эта цепь называется запаздывающей (отстающей). Отстающая цепь растет в направлении противоположном движению репликационной вилки разъединения цепей родительской ДНК. При синтезе отстающей цепи происходит множество актов инициации (для каждого фрагмента Оказаки). Короткие участки отстающей цепи (фрагменты Оказаки) связываются воедино ферментом ДНК-лигазой. Длина фрагментов Оказаки составляет порядка  $10^3$  п.н. у прокариот и  $10^2$  п.н. у эукариот. Такое различие (в 10 раз!) наверняка связано с более сложной структурной организацией хранения генетической информации у эукариот. Возможно, восприятие этой структурной сложности обусловлено и обеспечивается не столько непосредственно молекулами ДНК, сколько общей структурой организацией хромосом. В этой ситуации важной структурой, а возможно в зна-

чительной степени определяющей и доминирующей с точки зрения процессов организации и восприятия сложности структурной организации генетической информации эукариот, являются белковые оболочки (гистоны) хромосом. Эта фенотипическая информация может существенно структурно изменяться в ходе жизненного цикла клетки и обеспечивать полиморфизм восприятия и операционной интерпретации генетической информации, непосредственно связанной с молекулой ДНК.

Приведенное описание иллюстрирует определенную сложность процедуры элонгации (этап непосредственного синтеза новых молекул ДНК), которая связана с необходимостью синергетической увязки и жесткой временной синхронизации формирования дочерних молекул ДНК в эукариотных клетках. На первом этапе механизмы синтеза дочерних цепей молекул ДНК и предотвращения в них ошибок основаны на простых ферментативных реакциях, в которых более энергетически выгодные реакции преобладают над менее выгодными. Точность репликации зависит главным образом от эффективности выбора правильного нуклеотида. Селекцию и соединение нуклеотидов в полимерную цепь осуществляет фермент ДНК-полимераза из свободных нуклеотидов, присутствующих в клетке в виде трифосфатов, т.е. несущих три последовательно соединенные фосфатные группы. Для того чтобы нуклеотид можно было присоединить к растущей цепи ДНК, он сначала должен

быть превращен в монофосфат. В связи с этим, синтез протекает в две стадии: расщепление нуклеотидтрифосфата до монофосфата и затем присоединение монофосфата к растущей нуклеотидной цепи. За счет каталитических свойств фермента ДНК-полимеразы и супрамолекулярной структуризации молекул ДНК вероятность включения неправильных нуклеотидов на этой стадии снижается до значения  $10^{-5}$ , т.е. первая система предотвращения ошибок повышает качество репликации ДНК на три порядка, по сравнению с возможностями синтеза без участия ферментов.

В 1970-х годах сотрудниками Станфордского университета Д.Брутлагом и А.Корнбергом был открыт фермент, названный ими «редактирующая экзонуклеаза», который либо входит в состав полимеразы, либо тесно с ней ассоциирован. Он способен удалять с конца синтезируемой цепи ДНК некомплементарные нуклеотиды. Механизм предотвращения ошибок на этой стадии называется «редакторской правкой». При нормальных условиях в результате совместного действия механизмов отбора нуклеотидов и «редакторской правки» вероятность ошибок снижается до  $10^{-6}$ - $10^{-7}$ . Наиболее эффективно механизмы предотвращения ошибок действуют по отношению неправильного формирования пуриновых или пиримидиновых пар.

Третья ферментная система обеспечивает механизмы исправления ошибок путем коррекции (репарации) уже синтезированной цепи ДНК. Это достигается на основе выяв-

ления во вновь созданной цепи ДНК некоплементарных пар оснований и коррекции их по значению в родительской цепи. В течение долгого времени оставалось непонятным, как в системе репарации различаются родительская цепь и новосинтезированная дочерняя. На основе идеи сотрудника Гарвардского университета М.Мезелсона было показано, что на определенном временном интервале различить родительскую и дочернюю цепь можно по степени метилирования цепей ДНК. Родительская цепь вступает в процесс синтеза молекулы ДНК метилированной, в то время как дочерняя цепь некоторое время остается неметилованной. Это позволяет системе репарации менять в некоплементарных парах нуклеотидов только неметилованную цепь. Так достигается, что неправильно включенный нуклеотид удаляется именно из дочерней цепи, а последовательность родительской цепи при этом сохраняется.

Некоторая подробность описания процесса репликации ДНК прокариот связана с тем, что:

общая схема процессов, происходящих при элонгации цепей ДНК, одинакова у про- и эукариот,

механизмы обеспечения репликации ДНК по своим функциональным возможностям потенциально превосходят сферу их действия в прокариотных клетках,

с точки зрения феноменологического представления репликация ДНК обеспечивает межграницные системные отношения клетки и внешней среды (дочерние клетки –

обособленные, самостоятельные системы вне границ системы родительской клетки).

**Гипотеза:** *механизмы полуконсервативной репликации ДНК прокариот, распространяемые на диплоидную структуру организации генетического материала, явились основой возникновения и формирования половой дифференциации и полового размножения эукариотных организмов.* Дадим некоторые пояснения представлений сути объектов и отношений, затронутых гипотезой.

*Механизмы полуконсервативной репликации ДНК.* Необходимость идентификации способа репликации ДНК обусловлена тем, чтобы выделить именно этот механизм из многообразия способов синтеза ДНК в живой природе. Например, в отличие от первичного синтеза митохондриальной ДНК. Идентичность механизмов и общей схемы организации процессов репликации ДНК у про- и эукариот достаточно убедительно иллюстрирует реализуемую в природе концепцию ароморфоза на основе расширения области действия уже отработанных имманентных механизмов во вновь возникаемых структурных организациях живых клеток. Это так же подчеркивает имманентный базис эволюции живой Природы.

*Диплоидная структура организации генетического материала.* Следуя гипотезе эндосимбиоза образования эукариотных клеток, в начале этого этапа ароморфоза живых организмов стали формироваться диплоидные монопарные кле-



точные структуры из негомологенных (гетерологенных) бактериальных хромосом симбионтов (в отличие от гаплоидных прокариотных клеток). Это являлось сутью структурной трансформации организации генетической информации при переходе от про- к эукариотам. Представляется, что негомологенная пара бактериальных хромосом симбионтов явилась вначале прообразом половых хромосом, а затем на этой основе сформировалась диплоидная структура хромосом эукариотных организмов.

Естественно предположить, что упорядочение структур симбиозных клеток и их жизненных циклов представляло собой некоторый процесс опробования и фиксирования в том или ином виде действующих механизмов репликации гаплоидных прокариот. Рассматривая схемы жизненных циклов различных эукариотных организмов, можно отметить, что в каждом из них обязательно присутствуют стадии как диплоидного, так и гаплоидного состояния организации генетической информации. При этом переход из одной формы организации генетической информации в другую для всех без исключения эукариотных организмов происходит по идентичным схемам и на основе одинаковых механизмов репликации ДНК.

Переходом от гаплоидной формы к диплоидной является акт оплодотворения (сингамии): происходит слияние содержащихся в гаметах гаплоидных ядер с образованием диплоидной зиготы – клетки, содержащей двойной набор хро-

мосом. В некоторой степени это повторяет процедуру слияния симбионтов (эндосимбиоза) при первичном образовании эукариотных клеток. Но в данном случае, этот процесс протекает в принципиально новых условиях по сравнению с эрой начала стадии ароморфозного перехода к эукариотным клеткам. В структуре взаимодействующих гамет содержится необходимая фенотипическая информация для комплементарного формирования зиготы и обеспечения ее дальнейшего развития. Создание фенотипической информации (ферментных систем) обусловлено историей жизни клеток, т.е. процессами, протекающими при зарождении клетки, ее развитии и в ходе образования из клетки дочерних структур. Набор «данных» (фенотипическая информация), присущих каждой клетке конкретного вида организмов, которые «новорожденная» клетка воспринимает от единственной делящейся материнской клетки у прокариот существенно отличается по смысловому содержанию от «данных», передаваемых родительской парой зиготам эукариотных клеток. В первую очередь, это связано с тем, что «данные», передаваемые новорожденной клетке от родительских клеток – фенотипическая информация, у эукариотных клеток содержат сведения о регламенте инициализации тех или иных программ их мультипрограммного пула. В то время как у прокариот нет необходимости формирования и передачи такой информации из поколения в поколение. В этих клетках реализуется монопрограммное управление процессами раз-

вития клетки. Для запуска программы достаточно единичной инициации, которая обуславливается самим актом рождения клетки.

С феноменологической точки зрения в организации информационного обеспечения живых организмов источником различий про- и эукариотных клеток явилось то, что в ходе закрепления клеточного эндосимбиоза в эукариотных клетках на основе монопарных негомологенных бактериальных хромосом симбионтов сформировалась диплоидная клеточная структура хромосомной организации генетической информации. Еще раз подчеркнем, что это определяет феноменологическую сущность перехода от про- к эукариотам. Следствием этого – **гипотеза: основополагающей парадигмой структурной организации генетической информации эукариот является диплоидность.**

В имманентном аспекте это проявляется мультипрограммностью организации управления процессами жизненного развития клеток, что определило возможность формирования многообразия существующих форм эукариотных клеток и организмов на их основе. С точки зрения программно-информационных отношений идентичность схемы процесса образования зигот для всего надцарства эукариотных организмов говорит о реликтовости механизмов этого процесса. Это лишний раз подтверждает тезис об инициации ароморфоза на основе имманентной потенциальной функциональной избыточности и высокой степени возможностей

реализации вариаций программно-информационного обеспечения жизненных процессов клеток.

Можно отметить, что концепция влияния потенциальной функциональной избыточности программно-информационного обеспечения на модернизацию, развитие и, по большому счету, на эволюцию информационных систем и технологий характерна не только для биологических систем, но широко известна в технике и информатике. Фактически, обязательным атрибутом проявления потенциальной избыточности программного обеспечения считается наличие его недеklarированных возможностей. Это явление неоднозначно влияет на эффективность функционирования и эксплуатации информационных систем. С одной стороны наличие недеklarированных возможностей, подчас даже неизвестных и не осознанных разработчиками, создает предпосылки нелегального и/или нелегитимного использования ресурса информационных систем и, в первую очередь, информационного ресурса. Это вносит большие сложности при создании систем с конфиденциальной информацией, а также систем управления процессами, для которых нарушения установленных регламентов может приводить к опасным и чрезвычайным ситуациям. На преодоление этих недостатков общество затрачивает существенные ресурсы. Разработки ведутся на высочайшем научном уровне, и все-таки обеспечить полную блокировку недеklarированных возможностей не удастся. С другой стороны, наличие недеklarированных

возможностей позволяет пользователям раскрыть новые актуальные приложения действующих информационных систем и технологий. Эти результаты обычно являются стимулом развития и hard- и software. История бурного развития информационного обеспечения общества на основе компьютерных технологий показывает, что положительные эффекты от недеklarированных возможностей во многих ситуациях превалируют над недостатками. Именно эти факты обеспечивают беспрецедентное по интенсивности развитие этой сферы ресурсов и услуг в современном мире. Отрадно отметить, что это совпадает с тенденциями развития живой природы.

*Половая дифференциация и половое размножение эукариотных организмов.* Во всех без исключения эукариотных организмах наряду с диплоидностью в жизненных циклах присутствует гаплоидная фаза организации генетического материала. Вполне возможно, это явилось некоторым атавизмом, обеспечивающим возможность быстрой и эффективной адаптации гаплоидных прокариотных механизмов репликации генетического материала к диплоидным эндосимбиозным структурным образованиям. Актом превращения эукариотной клетки с диплоидной структурой организации генетической информации в набор гаплоидных клеток является *мейоз*.

Для всех эукариотных клеток процедура мейоза практически идентична. Отсюда представление об архаичности

формирования механизмов мейоза в эпоху еще до начала дифференциации эукариотных организмов на будущие их царства. Этот факт определяется, по-видимому, именно тем, что процедура мейоза формировалась на основе адаптации прокариотных механизмов репликации ДНК, нюансы которых связаны, например, с реализацией *генетической рекомбинации* при размножении прокариотных организмов. Использование в данном случае термина «организм», а не клетка, представляется обоснованным. В этих ситуациях процесс формирования и тиражирования передаваемой дочернему поколению генетической информации обусловлен не только имманентными клеточными свойствами, но и трансцендентными отношениями, связанными с поведением клетки именно как организма. Заметим в связи с этим, что для прокариотных организмов ситуации генетической рекомбинации на основе трансцендентных отношений организмов носят случайный характер, в то время как для жизненных циклов эукариотных организмов это регламентированное явление.

Результат и значимость процессов рекомбинации достаточно удачно иллюстрируется моделью Г.Мёллера – «храповик Мёллера». Отсутствие трансцендентной генетической рекомбинации приводит к неуклонной деградации генофонда за счет последовательного накопления вредных мутаций. Популяции с таким типом размножения могут поддерживать свое существование только за счет очень высокой численности, сильного давления стабилизирующего отбора, благода-

ря которому носители даже не очень вредных мутаций быстро погибают, а их место занимают клоны свободные от мутаций, и с малым размером генома. Как видим, условия достаточно жесткие. Трансцендентная генетическая рекомбинация существенно ослабляет их, проводя более мягкую изменчивость организмов, в сравнении с внутригенными мутациями. Очевидно, именно на этой основе в надцарстве прокариотных организмов «отшлифовались» и закрепились механизмы реализации различных способов генетической рекомбинации.

Обычно называют три способа рекомбинации:

– **трансформация**: ДНК, поглощенная клеткой реципиентом образует в ней, фактически, диплоидный набор гетерологичных хроматид, на основе которых происходит репликация новых молекул ДНК с реализацией процедуры межхроматидной рекомбинации генетического материала для передачи их дочерним образованиям;

– **конъюгация**: клетки входят в непосредственный контакт, соединяясь *F*-фимбрией<sup>45</sup>, через которую проникает из донорской клетки в клетку реципиента одна из цепей молекулы ДНК. Донорская способность клеток определяется генами, содержащими *F*-фактор (чаще всего это своеобразная плаزمида). В случае если *F*-фактор вставлен в молекулу основной ДНК клетки, то при конъюгации переносится не только *F*-фактор, но так же и остальная цепь ДНК. Такие

---

<sup>45</sup> От английского *fertility* – плодovitость

*Hfr* -штаммы<sup>46</sup> постоянно передают всю или большую часть своей ДНК другим клеткам;

– **трансдукция**: рекомбинация ДНК с помощью вирусов.

Основой ферментного обеспечения процессов генетической рекомбинации прокариот является система ферментов процедуры репарации при репликации ДНК. Заметим к тому же, что белки топоизомеразы уже в составе прокариотных клеток разрешают ряд топологических проблем, связанных со спирализацией и деспирализацией ДНК. В частности, топоизомераза, оборачиваясь вокруг ДНК, вносит разрыв, который снимает напряжение и позволяет спиральям ДНК вращаться. Не это ли является прелюдией обеспечения топологической перестройки и перехода от циклических хроматид прокариот к набору разомкнутых хромосом эукариот? Тем более что такая топология, в частности, уже возникает и обслуживается в прокариотных клетках в процессах генетической рекомбинации. В таких условиях обеспечивалось достаточно комплементарное развитие первичных эндосимбиозных структур формирующихся эукариотных клеток с диплоидной организацией генетической информации.

При рассмотрении последовательных стадий мейоза, обращает на себя внимание тот факт, что реализующиеся при этом процедуры на стадиях элонгации ДНК идентичны аналогичным процедурам прокариот в различных ситуациях

---

<sup>46</sup> От английского *H=High* – высокая, *f= frequency* – частота, *r=recombination* – рекомбинация.



размножения прокариотных организмов при возникновении ситуаций для осуществления генетической рекомбинации.

Мейоз включает два быстро следующих одно за другим деления. Эти деления так и называются: *первое деление мейоза* и *второе деление мейоза*. Продолжительность интерфазы первого деления мейоза различна у разных видов. На этой стадии происходит инициализация и, обычно, репликация ДНК и гистонов. Каждая хромосома реплицируется, следовательно, в каждом ядре, в котором начинается мейоз, содержится эквивалент четырех наборов гомологичных хромосом, которые начинают конъюгировать – сближение гомологичных (парных) хромосом, образуя хромосомные пары – биваленты. Аналогичный этому процесс происходит у прокариот при генетической рекомбинации. Конъюгация хромосом в обоих случаях происходит на основе сближения схожих участков цепей ДНК, а степень комплиментарности, видимо, активно связана со структурой молекулы ДНК.

Необходимо отметить, что *эффект акта генетической рекомбинации прокариот проявляется в жизнеспособности новых клеток без какой-либо репарации произведенной замены генетического материала!* В случае мейоза, вследствие гомологичности конъюгирующихся хромосом, следовало бы ожидать 100% позитивный исход первого деления мейоза. Однако, на деле оказывается, что конъюгация абсолютно гомологичных хромосом, т.е. произошедших либо только от материнской, либо только от отцовской хромосом, приводят

обычно к гибели организмов (клеток). Для позитивного исхода мейоза действует правило обязательного обмена: всякая пара хромосом должна иметь хотя бы один обмен. Общее число обменов на хромосому зависит от ее размера. Это правило обусловлено тем, что рекомбинация в мейозе обеспечивает связь между гомологами вплоть до их расхождения в первом делении мейоза. Если между гомологами не произошло ни одного обмена то нарушается регламент их расхождения к полюсам деления, что приводит к непредсказуемому искажению генетической информации, и, как следствие, к гибели потомков. Достаточно естественно предположить, что такая ситуация возникает только при абсолютно идентичных конъюгирующих хромосомах. Действительно, в этом случае отсутствуют причины возникновения кроссинговера и формирования точек-хиазм между расходящимися хромотидами бивалентов<sup>47</sup>. Ведь в случае абсолютной идентичности как конъюгация, так и расхождение хромосом должны происходить гладко, без всяких разрывов и особых точек.

В контексте эволюции некоторые количественные потери в результате рассмотренных особенностей первого деления мейоза полностью компенсируются тем, что на основе кроссинговера происходит генетическая рекомбинация. После кроссинговера расходятся уже измененные хромосомы,

---

<sup>47</sup> Древне-греческого *χιασμοσ* – риторическая фигура, заключающаяся в крестообразном изменении последовательности элементов в двух параллельных рядах слов. «хиазм» – перекрест, связан с крестообразной формой греческой буквы «хи».

т.е. с другим сочетанием генов. Являясь процессом закономерным, кроссинговер приводит каждый раз к обмену разными по величине участками и обеспечивает эффективную рекомбинацию материала хромосом в гаметах. С этих позиций, важнейшее значение мейоза заключается в обеспечении постоянства кариотипа в ряду поколений организмов данного вида. Вместе с тем, рекомбинация является главным генератором фенотипического разнообразия генетически совместимых представителей одного вида, что обеспечивает эффективность процессов адаптации видов в изменяющихся внешних условиях.

Второе деление мейоза следует практически сразу же за первым, и синтеза ДНК в промежутке между ними не происходит. Состояние дочерних клеток, возникших в результате первого деления мейоза, абсолютно эквивалентно состоянию прокариотных клеток на этапе терминации ДНК-репликации. Естественно, что в этой ситуации включается традиционный процесс бинарного деления клетки, аналогичный этой стадии прокариот. Дальнейшая жизнь вновь образованных клеток регулируется фенотипической информацией, определяющей, по крайней мере, первые этапы структурного формирования клеток. По-видимому, именно идентичность механизмов реализации локальных процедур тиражирования генофонда про- и эукариотных организмов обусловила быстрое и, фактически, безальтернативное их распространение на всем многообразии формирующихся эукари-

от. Но следствия организации на этой основе генофонда надцарств про- и эукариотов оказались существенно различными.

Гаплоидная структура организации генофонда прокариот за счет действия «храповика Мёллера» существенно ограничивает возможность усложнения и наращивания размера генома прокариотных организмов. В отличие от этого, регулярная генетическая рекомбинация на каждом жизненном цикле эукариотных организмов, обеспечивая некоторый процесс элиминации<sup>48</sup>, позволяет в значительной степени избавиться от ограничений, накладываемых «храповиком Мёллера». Как бы то ни было, но ароморфоз эукариотных организмов сопровождается, по крайней мере, увеличением количества и разнообразия наследуемой генетической информации.

В ходе ассимиляции механизмов и процедур репликации ДНК и клеточного деления гаплоидных прокариотных организмов в структуру диплоидной организации генетического материала эндосимбиоза произошло половое разделение эукариотных организмов. Естественно предположить, что это явилось следствием химерной структуры эндосимбиоза формирования первичных эукариотных организмов. Если вспомнить, что у современных эукариот генетическая

---

<sup>48</sup> От латинского *eliminare* – изгонять, от  $e(x)$  – из+ *limiten* – порог. Избирательное уничтожение отдельных особей или целых групп организмов в результате действия естественного отбора.

информация для формирования органелл клеточного энергообеспечения (митохондрии и хлоропласты) связана с полом (только X-хромосома несет эту информацию), то процесс разделения полов представляется вполне предопределенным. (Вспомним естественную предопределенность формирования хиральности живой материи.) Можно предположить, что в эпоху зарождения надцарства эукариот структура генома эндосимбиоза уркариот и эубактерий была ограничена монопарой гетеросом. Если считать, что пролонгацией этой ситуации в ходе усложнения генома явилось наследие в виде половых хромосом (X-хромосома – наследие эубактериальной, а Y-хромосома – наследие уркариотных хромосом), то не исключено, что наряду с существующими XX и XY комбинациями формировались и YY комбинации. Однако последние оказывались нежизнеспособными, вследствие отсутствия у них программ формирования структур энергообеспечения жизни клетки.

В фазе гаплоидного клеточного представления эукариотных организмов в Y-гаметах обычно присутствуют сформированные энергообеспечивающие органеллы, перешедшие в клетку вместе с цитоплазмой материнской делящейся клетки. В ходе оплодотворения и формирования зиготы эти реликтовые материнские органеллы обычно распадаются. Этот факт, видимо, и подтверждает неспособность программ Y-хромосом формировать структуры энергообеспечения жизни клетки.

Такая естественная селекция размножения диплоидных организмов сформировала двуполоую организацию их генотипов.

Часто рассуждения о двуполоости эукариотных организмов строятся по схеме: для обеспечения процессов эволюции в природе сформировались механизмы хромосомной (половой) и межхромосомной (на уровне гомологичных хромосом) генетической рекомбинации. Более правильно, все-таки, представлять, что процессы размножения эукариотных клеток, сложившиеся на основе адаптации к их диплоидной структуре механизмов репликации ДНК прокариот, породили двуполоость эукариотных организмов, обеспечивающую возможность естественной реализации генетической рекомбинации, создающей предпосылки ароморфоза. Это лишний раз подтверждает представление, что именно имманентные потенции информационных отношений являются основой эволюции и ароморфоза биосферы на Земле.

С. Гильберт в своем фундаментальном трехтомном учебнике *«Биология развития»* (Scott F. Gilbert *“Developmental Biology”*), претерпевшем уже третье издание, отмечает, *«что половой процесс и размножение суть два различных явления, которые могут существовать отдельно друг от друга. Размножение – это возникновение новых особей, половой процесс – это создание новых комбинаций генов, происходящих от двух разных особей.... При объединении этих двух независимых явлений – полового процесса и размножения, говорят*

*о половом размножении .... При возникновении в эволюции полового размножения прогресс был достигнут в двух отношениях. Во-первых, возник механизм мейоза, с помощью которого диплоидный набор хромосом редуцируется до гаплоидного состояния. Во-вторых, возник механизм, благодаря которому особи двух типов, различающиеся по полу, узнают друг друга». Используемый в этом случае термин «особь» очень уместен и важен, так как подчеркивает трансцендентный характер отношений при половом размножении.*

Приведенные суждения об эволюции феноменологических трансформаций на основе диплоидности эукариот, которые привели к половому размножению эукариотных организмов, достаточно наглядно иллюстрируются, например, тем, что размножение простейших осуществляется половым и бесполом путем. Присутствуют все варианты полового процесса, включая: изогамии<sup>49</sup>, анизогамию<sup>50</sup> и оогамию<sup>51</sup>.

У колониальных жгутиконосцев, например, отмечается тенденция к усложнению полового процесса по мере увели-

---

<sup>49</sup> Отгреческого *ἴσος* – равный, одинаковый, подобный + *γάμος* – брак, свадьба. Тип полового процесса, например, у низших растений, при котором копулирующие гаметы (сливающиеся половые клетки) не различаются морфологически и обе подвижны,

<sup>50</sup> Отгреческого *ἀν-ισος* – неравный + *γάμος* ) Тип полового процесса, при котором происходит копуляция гамет, имеющих существенные морфологические различия, обычно по размеру или форме, или по поведению.

<sup>51</sup> Отгреческого. *ὄβον* – яйцо + *γάμος*. Тип полового процесс, при котором копулируют резко различающиеся гаметы, например, неподвижная крупная яйцеклетка и мелкий, обычно подвижный, сперматозоид.

чения числа клеток (организмов) в колонии. В малоклеточных колониях *стефаносферы*, состоящих из 8 клеток, гаметы не различимы между собой (изогамия). В колониях *пандорины* (*Pandorina*), состоящих уже из 16 клеток, гаметы различаются по размеру (анизогамия). В колониях *вольвокса* (*Volvox*), которые насчитывают свыше  $10^4$  клеток, уже четко выделяются крупные неподвижные женские гаметы и мелкие подвижные мужские, которых образуется намного больше (оогамия).

Половой процесс у простейших не всегда представляет собой слияние гамет с образованием зиготы. Так, у *инфузорий* (*Paramecium caudatum*) половые клетки вообще не образуются, а происходит лишь частичное соединение половых партнеров посредством цитоплазматического мостика (конъюгация). При этом происходит обмен половыми ядрами и последующее их попарное слияние. В результате этого процесса макронуклеус (вегетативное ядро) постепенно разрушается, а микронуклеус (половое ядро) двукратно делится путем мейоза, после чего три ядра разрушаются, а одно делится снова. Каждая из его половинок обменивается на половинку ядра партнера и происходит их слияние. Образуется синкарион, в результате чего восстанавливается двойной набор хромосом. В результате деления синкариона часть продуктов деления превращается в макронуклеус, а другая часть в микронуклеусы.

Как показывает история развития Жизни на нашей пла-



нете, не смотря на отсутствие половой организации у прокариот, потенциальные возможности этого надцарства организмов с точки зрения размножения и адаптации к изменению внешних условий пока что ни чуть не слабее этого показателя эукариот. Да, с точки зрения биологической мощности и выживаемости, пока это действительно так, но с точки зрения ароморфоза, эволюция прокариот не идет ни в какое сравнение с достижениями совершенствования развития Жизни на Земле, обусловленными эволюцией эукариотных организмов.

# Митоз

Диплоидная структура организации генетической информации первичных эукариот, которая возникла на основе симбиоза и адаптации в нем прокариотных процедур тиражирования генетической информации, явилась предпосылкой формирования нового уровня организации внутриклеточных информационных отношений, апогеем которых является митоз. Отметим, что на это ушел значительный период эволюции биосферы на Земле. Появление примитивных многоклеточных, а именно у многоклеточных наблюдаются устойчивые сформировавшиеся митотические процессы, обычно относят к позднему докембрию. Возможно, покажется странным, но на формирование новых уровней и архитектуры внутриклеточных информационных отношений в эволюции земной биосферы каждый раз уходило порядка миллиарда лет. Это относится и к периоду пражизни, и к времени формирования первичной прокариотной биосферы, и к периоду формирования диплоидной хромосомной организации генетической информации организмов, обеспечившей наблюдаемый ароморфоз жизни на Земле, который вызывает беспредельное изумление, восхищение и преклонение перед возможностями Природы. Не будем сейчас обсуждать это как содержательную дефиницию, а обратимся к некоторому конкретному рассмотрению возможных гипотез

тез возникновения механизмов реализации митоза на основе диплоидной структурной организации генетической информации.

Прежде всего, необходимо ещё раз подчеркнуть единство «элементной базы» во всех надцарствах биосферы. Это касается и «операционных модулей» – рибосом на основе молекул рРНК, и «оперативной памяти» для программных компонент на основе иРНК и тРНК, и исходных «данных» (аминокислот) для создания фенотипической информации (белки) на основе генетически заложенного программного обеспечения, и средств «долговременной памяти» на молекулах ДНК – для хранения и тиражирования генетической информации.

Вследствие этого достигается гармония органической биосферы на Земле, как в аспекте ресурсного обеспечения, так и в аспекте преемственности в ходе эволюции Жизни на Земле. Именно единство и взаимодополняемость процессов ресурсообеспечения в биосфере создают условия организации кругооборотов живой материи, ограничивая экстенсивные потребности для осуществления жизни и развития биосферы, а так же содействуют интенсивному качественному преобразованию Жизни на нашей планете, включая воздействие и на окружающую среду. Не смотря на мощную дивергенцию в процессах формирования древа эукариотной жизни, наблюдаемый ароморфоз происходит не путем коренной ломки «проверенных жизнью решений» и/или спонтан-

ного, «эмержентного» возникновения чего-либо нового (что в определенной степени свойственно прокариотной биосфере), а именно на основе преемственности, которая зиждется на эволюционных преобразованиях, происходящих в условиях созданного единого базиса жизни организмов.

Именно вследствие такого единства результаты процессов клеточного эндосимбиоза на основе многопрограммной организации жизненных процессов развития и размножения клеток обеспечили устойчивый переход к закреплению существенных изменений структурной и топологической организации клеточных органелл и, в значительной степени, архитектуры клеток. Заметим, что это касается как архитектуры информационных отношений, так и архитектуры материального обеспечения жизненных процессов эукариотных организмов. Именно hardware изменения обеспечивали развитие и устойчивость реализации нового уровня информационных отношений, возникшего вследствие внутриклеточной многопрограммности.

Можно обратить внимание на некоторую схожесть переходных периодов при смене архитектурных парадигм в существенно различных областях их приложения, что подтверждает гипотезу о естественном возникновении и развитии происходящих трансформаций. Так, например, переход от прокариотного к эукариотному миру очень созвучен с переходом от романской архитектуры к готике. В обоих случаях переход происходил в рамках одной элементной ба-

зы, но при этом существенно изменялась архитектура системных отношений. В строительной индустрии романская архитектура, являвшаяся наследницей древнеримской, опиралась на парадигму целостности всех несущих частей здания (напоминает архитектуру монопрограммного обеспечения информационных отношений). Это приводило к необходимости создания мощных фундаментальных стен и к ограниченным размерам сводчатых перекрытий. Техническим прорывом архитекторов готики явился переход к организации распределенной нагрузки на несущие конструкции (не кажется ли в этом некоторая аналогия с мультипрограммностью). Свод перестали опирать на сплошные стены здания, распределив нагрузку с помощью ажурных жестких ребер – нервюр, на столбы (колонны), возникающий боковой распор которых воспринимался создаваемыми аркбутанами и контрфорсами. Готическая архитектура позволила существенно расширить масштабы внутренних помещений в зданиях и обогатить их качественно новыми возможностями наружного освещения. Необходимо отметить, что новая архитектура привела к существенным изменениям интерфейсов организации взаимодействия различных элементов здания. Для этого, конечно, потребовалось внедрение новых связующих компонентов и новых конструктивных решений в увязке строительных конструкций. Но, как мы видим, эффект перехода к новой архитектурной парадигме оказался весьма плодотворным, и до сих пор все передовые строитель-

ные сооружения в той или иной мере созданы с учетом различных способов организации распределения нагрузки на распределённые несущие опорные части. Вместе с тем утилитарные сооружения и в настоящее время возводятся по принципам романской архитектуры. При этом не возникает какой-либо существенной конфронтации и конкуренции в применении этих архитектур. Более того, единство элементной базы совместно обогащает обе архитектуры новыми технологическими приемами, обеспечивая качественное совершенствование обеих архитектур. Приведенный пример преследует цель показать, что, не смотря на уникальность процессов развития и эволюции биосферы, они по своей форме феноменологически достаточно схожи с другими, наблюдаемыми нами процессами.

В отличие от мейоза, который фактически явился результатом адаптации прокариотных механизмов репликации ДНК в условиях симбиозного набора генетической информации, митоз представляет собой качественно новый процесс конвариантной редупликации живых клеток. Его формирование и эволюция связаны с появлением новых структурных элементов клеточной организации и механизмов преобразования и хранения генетической информации с сохранением принципа полуконсервативной репликации молекул ДНК.

Длительность эволюционного периода формирования структуры материального (hardware) обеспечения и функци-

ональной реализации процессов митоза определялась достаточно случайными событиями фрактальной структуризации клеточных элементов. Необходимо было, чтобы обеспечивалась устойчивая синергетическая увязка мультипрограммных режимов информационного функционирования клетки на основе складывающейся диплоидности и активизации режимов полового размножения.

Напомним, что схемы жизненных циклов различных эукариотных организмов обязательно включают стадии диплоидного и гаплоидного состояния организации генетической информации. Переход из одной формы организации генетической информации в другую для всех без исключения эукариотных организмов происходит по идентичным схемам и на основе одинаковых механизмов репликации ДНК. Вместе с тем, отметим: акт полового размножения эукариотных организмов является достаточно эксклюзивным явлением, в то время как на этом фоне в необозримое количество раз чаще происходят акты бесполого размножения эукариотных клеток, находящихся в различных стадиях организации генетической информации.

Жизнь клетки от одного деления до следующего или до смерти называется *клеточным* или *жизненным циклом* клетки. У одноклеточных организмов клеточный цикл совпадает с жизнью особи. В непрерывно размножающихся тканевых клетках многоклеточных организмов клеточный цикл совпадает с *митотическим циклом*, который является цито-

логической основой формирования тканей многоклеточных организмов вследствие (на основе) бесполого размножения клеток.

Митотический цикл состоит из четырех периодов со строгой последовательностью смен друг друга:

– *пост-митотический* период, наступающий с момента появления дочерних клеток в результате деления материнской клетки. В этом периоде происходит рост клетки, во время которого усиленно образуются РНК и белки, на основе которых формируются ферменты, катализирующие образование предшественников ДНК, а также ферменты метаболизма РНК и строительных белков;

– *синтетический* период, в течение которого происходит репликация ДНК. В результате удвоения ДНК в каждой хромосоме оказывается вдвое больше ДНК, чем было при рождении клетки, т.е. количество ДНК в диплоидных клетках соответствует тетраплоидному набору. Однако количество хромосом считается диплоидным, потому что вновь образовавшиеся дочерние хроматиды тесно переплетены между собой и составляют единую хромосому. В этом периоде, кроме репликации ДНК, активно продолжается синтез РНК и белков, осуществляется синтез рРНК, происходит удвоение центриолей, а также деление митохондрий. Увеличивается количество других органелл клетки;

– *премитотический* период начинается с момента окончания синтеза (репликации) ДНК и продолжается до начала



митоза. В этот период образуются нити веретена деления, и завершается подготовка клетки к митозу;

– *митоз* – деление клетки.

С феноменологической точки зрения митоз является актом бесполого размножения эукариотных клеток живых организмов в стадии диплоидного состояния организации их генетической информации. Эволюция митоза достаточно образно может быть проиллюстрирована разнообразием и неоднородностью существующих в современной биосфере картин митотического деления эукариотных клеток. В настоящее время в эукариотной биосфере наблюдается значительное разнообразие типов митоза. Принято считать, что эволюция митотического деления идет в направлении от закрытого внутриядерного плевромитоза к открытому ортомитозу. Первый из упомянутых типов до сих пор достаточно распространен у многих простейших эукариот, для которых митоз остался процессом, связанным с мембраной, подобно тому, как в клетках прокариот пара нуклеотидов после репликации сохраняет связь с плазматической мембраной посредством мезосомы. Открытый ортомитоз, характерный для животных, высших растений и некоторых простейших, является наиболее распространенным в современной эукариотной биосфере.

Отмечается, что в сравнении с прокариотами у эукариот, особенно у многоклеточных, существенно увеличивается роль и значимость фенотипической информации в регу-

лировании и управлении процессами развития и размножения (деления) клеток. В частности, ярким примером этого являются, например, процессы регуляции митоза гетеродимерным комплексом, состоящим из белка циклина и зависимой от циклина протеинкиназы, формирующим фактор, стимулирующий митоз. Этот фактор упомянут в связи с тем, что он обладает высокой консервативностью и присущ, фактически, всем эукариотным организмам. На основании этого можно предположить, что это был один из первоначальных механизмов формирования жизненных технологий эукариотных клеток. При этом белок циклин и зависимая от циклина протеинкиназа – образующие фактор, стимулирующий митоз, не являются, каким-либо новым биохимическим образованием, присущим только эукариотным клеткам. Другое дело, что в условиях реализации мультипрограммного пула генетической информации структурно сформировался феноменологически новый фактор, регламентирующий определенный этап жизненного цикла этого клеточного эндосимбиоза.

В связи с этим, видимо следует подчеркнуть фактически паритетную значимости фенотипической и генетической информации в жизненных процессах эукариотных клеток. Именно с помощью фенотипической информации и на ее основе происходит синергетическая увязка работы мультипрограммного пула эукариотных клеток. Это феноменологически существенно отличается от взглядов, представляю-

щих возникновение эукариот как просто процесс ассимиляции нуклеопротеиновых комплексов. Да, последние исследования показали, что в основе многих нуклеопротеиновых комплексов эукариот лежат, например, белковые структуры архей. Но археи так и остались археями. Только внутриклеточная мультипрограммность – новое феноменологическое состояние управления жизнедеятельностью клеток, позволила на основе уже имеющихся в прокариотной биосфере ресурсов перейти к новой эре ароморфоза в живой природе.

Интересно отметить: если перестройка программного обеспечения в ходе перехода от прокариот к эукариотам проходила как бы под императивом формирования его новых качеств – мультипрограммность (именно это являлось «решетом» естественного отбора), то перестройка hardware происходила на основе нового «технологического» уровня супрамолекулярных химических отношений. При этом опосредование в жизненных процессах новых hardware решений происходило обычно лишь после длительного их апробирования в условиях реализации возникающих новых возможностей software. Не эти ли обстоятельство затягивали процесс формирования современной структуры эукариотных клеток?

Представляется, что новизна «технологического» уровня супрамолекулярных химических отношений по сравнению с супрамолекулярными процессами формирования пражизни и прокариотной биосферы в эукариотной биосфере обу-

словлена качественно новым уровнем компонент и объектов супрамолекулярных отношений. Пожалуй, это эра полинуклеопротеидных комплексов и ансамблей. Рассматривая, например, процессы образования этих объектов с точки зрения фрактальной структуризации с ее феноменологическими плюсами и минусами, можно отметить, что агрегация в основном обусловлена реализацией принципа Э.Фишера «ключ – замок», в основе которого лежит стерическое соответствие и геометрическая комплементарность взаимодействующих компонентов. При этом довольно сложно оценить: что является рецептором и субстратом. Если в традиционной супрамолекулярной химии акцентируются процессы самосборки и самоорганизации, то в биологии живой клетки большинство супрамолекулярных полинуклеопротеидных комплексов и ансамблей обладают также свойством управляемого разъединения полинуклеиновых и полипротеидных компонент без разрушения их имманентных структур. Подчеркнем, что именно разъединение, а не разрушительный распад супрамолекулярных полинуклеопротеидных комплексов и ансамблей.

Попробуем проинтерпретировать основные архитектурные и структурные различия организации hardware при однопрограммной (прокариоты) и мультипрограммной (эукариоты) жизни клеток.

# Рибосома

Рибосомы – основополагающие органеллы клеток, обеспечивающие реализацию программируемых на основе генетической информации процессов формирования фенотипической информации (белков) для воплощения жизнедеятельности живых организмов на принципах конвариантной редупликации. С точки зрения информационных отношений каждая рибосома является самостоятельным операционным устройством (процессором в компьютерной терминологии), обеспечивающим прием необходимой генетической информации для последующего выполнения заданных в этой информации преобразований.

Напомним, как это реализуется в компьютерных технологиях. Процессоры являются главной частью аппаратного обеспечения компьютеров. Работа процессора состоит в выборе из памяти в определенной последовательности команд (инструкций) и их исполнения. На этом базируется выполнение компьютерных программ. Компьютерная программа представляет собой заданный конкретный набор инструкций, указывающих, в какой последовательности, над какими данными и какие операции должен выполнить процессор и в какой форме должен выдать результат. С этих позиций для выполнения очередной инструкции, в общем виде, процессор должен иметь следующие сведения. Во-первых, сведения

по идентификации очередной инструкции из общего набора инструкций программы. Для компьютерных программ это обычно связано с идентификацией адреса очередной исполняемой инструкции в оперативной памяти компьютера. Во-вторых, содержание инструкции должно включать в себя:

- наименование исполняемой в этой инструкции операционной процедуры (в компьютерной терминологии – это код операции);

- идентификаторы операндов, участвующих в операционной процедуре (в компьютерной терминологии для загрузочных машинных модулей – это адреса ячеек оперативной памяти или специально выделенных регистров, включая операционное устройство процессора, в которых хранятся операнды);

- идентификатор средства, в которое должен быть выдан результат выполнения инструкции (в компьютерном представлении этот идентификатор по форме обычно аналогичен идентификаторам операндов).

Форма представления всех этих сведений образует систему команд конкретного процессора. В современных компьютерных технологиях представлены процессоры с различными системами команд как по способу идентификации очередной инструкции из общего набора инструкций программы, так и по форме содержания исполняемых инструкций.

По способу идентификации очередной инструкции различаются системы команд с принудительной адресацией оче-

редной исполняемой инструкции и с естественной адресацией, когда команды выполняются одна за другой по нарастающему адресу их расположения в оперативной памяти компьютера. Создание процессоров на принципах принудительной адресации исполняемых команд достаточно редкое явление в компьютерных технологиях. Это обычно удел очень специализированных вычислительных и управляющих установок. Идентификатор при таком подходе указывается в предыдущей по последовательности исполнения инструкции. Эксклюзивность таких решений обусловлена обычно большой избыточностью процессорных ресурсов взаимодействия с памятью по сравнению с естественной переадресацией памяти хранимых команд. При естественной адресации в случаях необходимости ее несоблюдения в системе команд вводятся команды принудительного (безусловного и условного) перехода.

По перечню исполняемых операций процессоры могут существенно отличаться. Это связано обычно с назначением вычислительной установки и функцией, которую исполняет в ней процессор. Однако *de facto* на практике произошла определенная стандартизация систем команд, основными из которых являются архитектуры CISC (Complex Instruction Set Computer), предложенная фирмой IBM (США), и RISC (Reduced Instruction Set Computer).

Принципы идентификации операндов, участвующих в операционной процедуре, связаны с их поименованным ко-

личеством в формате команды. Различают безадресные, одно-, двух- и трехадресные команды. Безадресные команды предусматривают расположение операндов в фиксированных регистрах, одним из которых обычно является аккумулятор – операционное средство процессора. Поступление данных в фиксированный регистр синхронизируется с тактом работы процессора и осуществляется некоторыми внешними по отношению к процессору средствами. При одноадресной архитектуре процессоров один из операндов находится в аккумуляторе, а другой считывается из оперативной памяти или из специально выделенных регистров на основе идентификационного адреса, указанного в исполняемой команде. Дальнейшая адресность связана либо с указанием адреса второго операнда, либо с указанием адреса отсылки результата, либо того и другого вместе (при трехадресности). В безадресной и одноадресной архитектуре процессоров в их системе команд существует специальная операция выдачи результата.

Надо отметить, что процессоры с различными системами команд обычно несовместимы для исполнения загрузочных машинных модулей программ, созданных в различных системах команд. Выход из этого положения для обеспечения совместной работы компьютеров с различными системами команд и обмена программными продуктами достигается на основе компьютерных языков высокого уровня, в которых для каждой системы команд конкретного типа процессора



создаются уникальные компиляторы преобразования текста программы с языка высокого уровня в машинный код загрузочного модуля программы. Но даже такой подход не всегда позволяет получить необходимый результат. Вот почему для различных типов процессоров достаточно часто создаются специфические пакеты программ в различных областях применения.

Исполнение предписаний указанных в каждой компьютерной команде осуществляется в процессоре различными аппаратными узлами (блоками). Феноменологически, с точки зрения непосредственно информационных отношений, выделяются два типа процессорных блоков: средства исполнения операции, заданной в команде (например, АЛУ – арифметико-логическое устройство) и средства информационной поддержки исполнения этой операции. Последние (средства информационной поддержки) на основании идентификационной информации, представленной в компьютерной команде, обеспечивают выбор необходимых операндов и загрузку ими, например, АЛУ, а также отсылку или фиксацию результатов выполнения операции в заданное компьютерной командой место (например, линки в структуре транзисторных процессорных установок).

Фактически, именно с таких позиций представлены принципы функционирования рибосом академиком Российской академии наук директором Института белка Российской академии наук А. С. Спириным: *«Биосинтез белка имеет два*

аспекта: химический и генетический. Генетическая сторона биосинтеза белка определяется тем, что поступление аминоксил- тРНК в рибосому строго детерминировано иРНК, являющейся копией гена, и порядок чередования кодирующих триплетов (кодонов) вдоль цепи иРНК однозначно задает структуру синтезируемого белка. Для этого рибосома сканирует цепь иРНК по триплетам и последовательно выбирает из раствора аминоксил- тРНК с соответствующими аминокислотными остатками, выбрасывая отработанные, децилированные тРНК.

В процессе биосинтеза белка рибосома: а) принимает кодированную генетическую информацию от ДНК в виде иРНК и расшифровывает ее, б) катализирует образование пептидных связей в реакции транспептидации и в) передвигает цепь молекулы иРНК и молекулы тРНК. Таким образом, рибосома – сложная белоксинтезирующая частица, обладающая одновременно генетической (декодирующее устройство), энзиматической (рибосома как фермент пептидилтрансфераза) и механической (молекулярная машина) функциями. Очевидно, что эти функции базируются на специфической структуре рибосомы как рибонуклеопротеидной частице».

Рибосома, с точки зрения компьютерной архитектуры, представляет собой одноадресный процессор, система команд которого состоит лишь из одной операции – присоединение очередной аминокислоты к синтезируемой белковой

молекуле (реакция транспептидации). При этом в структуре белков отсутствуют какие-либо циклы или ветвления, вследствие чего для реализации программ их синтеза не требуется наличия в теле программы управляющих команд условных и безусловных переходов. Сведения о начале и завершении программы являются идентичными для всех программ синтеза белков (трансляции), что обуславливает реализуемую в Природе возможность фактического вынесения их за непосредственные функции операционной части процессора, оставляя его систему команд монооперационной. Начало исполнения программ синтеза белка (инициализация трансляции) и завершение их работ структурно и функционально несколько отличаются у про- и эукариот, но для каждого надцарства они абсолютно идентичны. В этих условиях одноадресная архитектура процессора обеспечивается достаточностью оформления командных слов программы последовательно упорядоченным перечислением лишь идентификаторов операндов, участвующих в исполнении программы. Феноменологически можно интерпретировать и обратное представление: последовательно упорядоченное перечисление операндов в монооперационной системе команд достаточно для его представления как программы процессора с одноадресной архитектурой. Именно на этой феноменологической основе в Природе обеспечивается формирование и реализация информационных отношений по взаимодействию средств хранения генетической информации на

линейно упорядоченных молекулах ДНК (РНК) и операционных средств ее обработки с целью синтеза линейно упорядоченной фенотипической информации «данных» – белковых молекул (результат выполнения генетической программы внутриклеточными процессорами – рибосомами), линейность структуры которых ограничивается именно архитектурой сформировавшегося операционного модуля на основе рРНК, обеспечивающего энзиматическую функцию реакции транспептидации по присоединению очередной аминокислоты к синтезируемой белковой молекуле.

Рибосомы у всех живых существ – от бактерий до человека – устроены очень похоже. На основании результатов его работы в области исследований рибосом и регулярного обдумывания этих результатов на протяжении последних 35 лет академик А. С.Спирин формулирует следующие принципы функционирования рибосомы в соответствии с современными знаниями о структурных особенностях рибосомы и ее функциональных проявлениях.

*«Принцип № 1. Разделение декодирующей и энзиматической функций между субчастицами рибосомы. Транскрипция начинается с того, что иРНК, синтезируемая на ДНК в качестве копии одной из двух цепей последней, связывается с рибосомной частицей. При этом рибосомная частица (у прокариот прямо и непосредственно, а у эукариот после некоторого скольжения вдоль некодирующей части иРНК) специфически взаимодействует с началом коди-*

*рующей последовательности иРНК...*

*Именно малая субчастица рибосомы (30S у прокариот и 40S у эукариот), и только она связывается с иРНК, т.е. служит первичным приемником генетической информации для белковосинтезирующего аппарата. Лишь в последствии, при завершении инициации трансляции, к ней присоединяется большая субчастица (50S прокариот и 60S у эукариот), образуя полную рибосомную частицу (70S у прокариот и 80S у эукариот), которая и будет производить элонгацию (синтез полипептидной цепи белка).*

*В процессе элонгации рибосома удерживает иРНК и движется относительно нее (или протягивает ее сквозь себя) в направлении от 5-конца к 3-концу. Удержание иРНК на рибосоме есть целиком и полностью функция малой рибосомной субчастицы, в то время как большая субчастица с иРНК никак не взаимодействует. Соответственно последовательное сканирование кодирующей последовательности иРНК (считывание генетической информации) в ходе элонгации осуществляется на малой субчастице транслирующей рибосомы.*

*Механизм потриплетного сканирования иРНК в ходе элонгации предполагает участие молекул тРНК, которые взаимодействуют прежде всего с малой рибосомной субчастицей... В результате кодон-антикодонного взаимодействия иРНК с тРНК на малой субчастице рибосомы происходит декодирование триплета иРНК: именно тот аминок-*

кислотный остаток, который был привешен к тРНК с комплементарным антикодоном, оказался в рибосоме.<sup>52</sup>

Таким образом, малая рибосомная субчастица в изолированном состоянии воспринимает копию гена в форме тРНК и иницирует процесс ее трансляции, а в ходе трансляции малая субчастица полной рибосомы удерживает иРНК на себе, декодирует ее с помощью тРНК и последовательно перебирает ее кодоны и тРНК, используя механизм транслокации. Так как все эти операции с генетическим материалом, то указанные функции малой рибосомной частицы могут быть определены как генетические...

Большая субчастица транслирующей рибосомы выступает здесь как фермент, ответственный за образование пептидных связей и в целом за синтез (элонгацию) полипептидной цепи. Это главная энзиматическая функция рибосомы.

Следует отметить, что никакого отдельного от рибосомы белка-фермента, катализирующего образование пептидных связей на рибосоме, не существует. Не найдено и никакого специального белка в составе рибосомы, который бы обладал такой энзиматической функцией. Транспептидация катализируется пептидилтрансферазным центром самой рибосомы как интегральной частью большой рибо-

---

<sup>52</sup> На основании идентификатора операнда исполняемой процессорной команды (кодона на молекуле иРНК) реализуется непосредственное поступление в сферу процессора операнда из первичных биологических «данных» – аминокислот, комплементарно связанных с соответствующими молекулами тРНК.

сомной субчастицы, и основной вклад в организацию центра вносит, по-видимому, рибосомная РНК субчастицы...

Таким образом, существует четкое разделение труда между двумя субчастицами рибосомы: малая субчастица выполняет генетические функции, будучи ответственной за прием и декодирование генетической информации, в то время как большая участвует в энзиматических реакциях в процессе трансляции.

Принцип №2. Конформационная подвижность рибосомы. Работа рибосомы в качестве «лентопротяжного механизма» (последовательное считывание цепи иРНК от одного конца к другому) в ходе элонгации и ее способность перебрасывать сравнительно большие молекулярные массы (молекулы тРНК) из одного участка в другой в каждом элементарном элонгационном цикле предполагают ее механическую подвижность. Взаимная подвижность двух рибосомных субчастиц может быть основным видом крупноблочной работы рибосомы в ходе работы, и имеются экспериментальные свидетельства в пользу этого...

Конформационная подвижность рибосомы, и в первую очередь, взаимная подвижность рибосомных субчастиц позволяет решить эти проблемы... Рибосома при прохождении элонгационного цикла осциллирует между двумя конформационными состояниями: закрытым (сомкнутым) и открытым (разомкнутым). В сомкнутом состоянии рибосомные лиганды (тРНК) зажаты между субчастицами, связа-

ны максимальным количеством контактов с рибосомой и не имеют внутририбосомной подвижности. В разомкнутом состоянии рибосомы лиганды более подвижны, контакты с рибосомой менее полны, и имеется возможность их входа и выхода из рибосомы.<sup>53</sup> Периодическое смыкание-размыкание рибосомы является энергозависимым фактором элонгации. Это определяет следующий принцип функционирования рибосомы.

*Принцип №3. ГТФ-зависимый катализ конформационных переходов. Все три шага элонгационного цикла – связывание аминоксил-тРНК, транспептидация и транслокация – это спонтанные процессы, сами по себе идущие с понижением свободной энергии... Свободная энергия гидролиза сложной эфирной связи между аминокислотным остатком и рибозой тРНК оценивается величиной от – 7 до – 8 ккал/моль, а свободная энергия гидролиза пептидной связи около – 0,5 ккал/моль. Следовательно, чистый выигрыш свободной энергии в реакции транспептидации составляет около – 7 ккал/моль, т.е. сравним со свободной энергией гидролиза АТФ или ГТФ. Другими словами, транспептидация – экзергоническая реакция, способная «накормить» энергией работающую рибосому и обеспечить спонтанное прохожде-*

---

<sup>53</sup> Таким образом осуществляется последовательное считывание командной информации для реализации операций трансляции, задаваемых генетической программой синтеза белков. К тому же, процесс осцилляции субчастиц рибосомы определяет тактовую частоту работы биологического процессора и является, фактически, генератором, синхронизации его работы.



ние элонгационного цикла. Для чего же тогда потребляется ГТФ, да еще и по две молекулы на элонгационный цикл?..

Раскрытие и закрытие субчастиц рибосомы осуществляются факторами элонгации EF1 и EF2, которые взаимодействуют с рибосомой только будучи связанными с ГТФ, а взаимодействие с рибосомой наводит ГТФазную активность, ГТФ гидролизуется. Таким образом на каждое смыкание-размыкание рибосомы расходуется одна молекула ГТФ. Так как при каждом элонгационном цикле рибосома смыкается-размыкается дважды, то две молекулы ГТФ расходуются на каждый цикл. Это есть энергетическая плата за эффективное (быстрое и надежное) функционирование рибосомы как молекулярной машины...

Показано, что гидролиз ГТФ в элонгационном цикле при участии рибосомы и факторов элонгации химически не сопряжен ни с какой другой ковалентной реакцией и не связан с образованием какого бы то ни было фосфорилированного интермедиата... Участие факторов элонгации и катализируемый ими гидролиз ГТФ очень сильно (на несколько порядков) увеличивает скорость элонгации. Это позволяет думать, что главная роль гидролиза ГТФ в элонгационном цикле чисто каталитическая, т.е. кинетическая, а не термодинамическая.» Таким образом в природе осуществляется повышение производительности процессора в условиях имеющейся «элементной базы», что является одной из важнейших задач схемотехники и при создании компьютеров. И

это отнюдь не погоня за какими-либо рекордными достижениями. Стремление повысить быстродействие процессоров в первую очередь вызвано необходимостью повысить устойчивость и достоверность решения задач в условиях различных мешающих факторов как имманентного, так и трансцендентного аспектов.

Вот так, с биохимическими подробностями «аппаратной» реализации, представляется структурно-функциональное описание рибосомы как процессора. Подчеркивается структурное разделение операционных и коммуникационных процессорных узлов и высокий уровень консерватизма именно операционной части, реализующей энзиматическую функцию трансляции генетической информации в структуру «данных» фенотипической информации (синтез белков).

Консерватизм операционной части рибосом связан и обусловлен необходимостью реализации возможностей обработки любых вариаций поступающих на него программ в сложившихся в Природе формах представления генетической информации по синтезу белков. В противном случае возможность эволюции живого мира была бы не осуществима либо существенно затруднена. И все же, не смотря на эти жесткие условия обеспечения жизни и развития живой природы, происходит постепенное изменение структуры субчастиц рибосом. Особенно это заметно при возникновении новых протоколов информационных отношений, связанных с развитием мультипрограммной структуры генетической ин-

формации и возникновением надцарства эукариотов.

Можно отметить, что при переходе от прокариот к эукариотам степень изменчивости и усложнения (судя по коэффициенту седиментации) малой субчастицы рибосом более чем на 10% выше, чем изменения произошедшие в большой субчастице рибосом. Это, очевидно, вызвано тем, что генетический код программы синтеза белков остался неизменным, в то время как коммуникационные интерфейсы поступления генетической информации в процессор (рибосому) претерпели определенные изменения. Например, вместо комплиментарного РНК РНК узнавания, в которое вовлечена прединицирующая последовательность Шайна-Дальгарно прокариотных иРНК, эукариотные иРНК узнаются эукариотическими рибосомами по кэпированному 5-концу с обязательным участием белка. Это связано с тем, что в отличие от прокариот эукариотная иРНК образует комплексы с белками для обеспечения ее метаболической стабильности при нахождении в свободном состоянии в цитоплазме. Имеются также другие вариации коммуникационных интерфейсов эукариотных рибосом относительно протоколов и интерфейсов работы прокариотных рибосом.

В этом ракурсе интересны результаты сотрудников Монреальского университета (Universite de Montréal) в Канаде профессора биохимии С.Штейнберга и его студента К.Бокова по исследованию трехмерной структуры рибосомной РНК современных бактерий. Они пришли к выводу, что рибосо-

мы могли сформироваться в результате постепенной эволюции из очень простой маленькой молекулы РНК – «прото-рибосомы», способной катализировать реакцию соединения двух аминокислот. Все остальные структурные блоки рибосомы последовательно добавлялись к проторибосоме, не нарушая ее структуру и постепенно повышая эффективность ее работы.

Реакция транспептидации (присоединение аминокислот к синтезируемой белковой последовательности) осуществляется молекулой 23S-рРНК. Поэтому исследователи логично предположили, что все началось именно с этой молекулы. Молекула 23S-рРНК достаточно велика и сложна, чтобы появиться в готовом виде в результате случайной комбинации нуклеотидов. Исследователи приняли гипотезу, что молекула 23S-рРНК произошла от более простой молекулы – предшественницы в результате постепенной эволюции путем последовательного добавления новых фрагментов.

Молекула 23S-рРНК состоит из шести основных структурных блоков, или доменов, каждый из которых, в свою очередь, состоит из более мелких структурных единиц. Целостность трехмерной структуры молекулы поддерживается в основном водородными связями и на основе принципа комплиментарности, образуя двойные спирали, которые, взаимодействуя с последовательностями из нескольких идущих подряд аденозинов (А), формируют так называемые «Аминорные связи», играющие важную роль в структуризации

молекулы.

Исследователи обратили внимание, что двойные спирали и образующиеся с ними А-минорные связи со стеками аденозинов распределены по шести доменам достаточно хаотично, но в пятом домене наблюдается необычное скопление двойных спиралей без аденозиновых стеков. Это можно трактовать, как однонаправленность А-минорных связей пятого домена молекулы 23S-рРНК. Было обнаружено, что именно пятый домен молекулы 23S-рРНК обеспечивает сближение новой аминокислоты с предыдущей аминокислотой, уже присоединенной к белку, и катализирует присоединение новой аминокислоты к белку.

На основе выявленной однонаправленности А-минорных связей исследователи подразделили молекулу 23S-рРНК на более мелкие относительно независимые блоки, с учетом того, что А-минорная связь поддерживает стабильность трехмерной структуры лишь той части молекулы 23S-рРНК, к которой принадлежит создающий ее аденозиновый стек. В результате этого нарушение А-минорной связи приводит к нестабильности и, как следствие, к разрушению той части фрагмента молекулы 23S-рРНК, в которой находится соответствующий аденозиновый стек. В тоже время стабильность структуры, к которой принадлежит двойная спираль, индифферентна к потере А-минорной связи. Исследователям удалось выявить 60-ти блочное деление структуры молекулы 23S-рРНК, при котором направленный граф А-минорных

связей представляет собой дерево, т.е. не имеет циклов. Это предполагает возможность отделение фрагмента с аденозинновым стеклом без нарушения структуры остающейся части. Гипотеза исследователей: направленный граф межблочных А-минорных связей отражает последовательность добавления блоков в ходе эволюции молекулы. Подтверждением гипотезы является то, что молекулу действительно можно постепенно «разобрать» ни разу не нарушив структуру остающихся блоков. И этот «разбор» приводит к ожидаемому результату: в основании графа межблочных А-минорных связей лежит участок пятого домена (составляющий 7% общей массы молекулы 23S-рРНК), содержащий в себе каталитический центр, ответственный за реакцию транспептидации.

Оказывается, что принцип наращивания и структурного усложнения полирибонуклеопротеидного комплекса рибосомы довольно прост. Заметим, что этот принцип весьма совпадает с рассмотренной моделью фрактального роста на основе агрегации, ограниченной диффузией. Агрегация, при этом регулируется супрамолекулярными отношениями, которые, по-видимому, и поддерживают отсутствие переупорядочения, (например, однонаправленность межблочных А-минорных связей в структуре графа – дерева). В тоже время, необходимость реализации супрамолекулярных отношений (они весьма многофакторны и причудливы) значительно влияет на снижение скорости диффузии, что в свою очередь определяет достаточно невысокий темп происходящих

эволюционных изменений особенно на этапах формирования надцарств (про- и эукариотов).

Говоря об агрегации, ограниченной диффузией, хочется подчеркнуть, что это не программируемый процесс, а процесс, зависящий от достаточно случайных событий не только совпадения и возможностей реализации супрамолекулярных отношений, но и событий, связанных с синергетической увязкой вновь возникающих структур с окружающей биосферой, как в ресурсном обеспечении, так и в информационных отношениях. Вследствие фактически абсолютной идентичности рибосом для всех особей в каждом биологическом надцарстве (про- и эукариоты) и фундаментальной значимости рибосом в обеспечении жизни всех организмов, можно считать, что процессы действенного конструктивного формирования этих надцарств начинались именно со времени определенного завершения структуризации рибосом каждого надцарства. В развитии биосферы на нашей планете это произошло дважды: при переходе от пражизни к прокариотной биосфере и при зарождении в структуре прокариотной биосферы надцарства эукариотов, и каждый раз длительность этих переходных этапов начального формирования надцарств занимала около 1млрда лет. Возможно, это характерный временной масштаб для такого глобального типа фрактальных процессов в общепланетарном объеме живой материи нашей биосферы. Кажущаяся медлительность эволюционных процессов в эти переходные периоды

в сравнении с темпами эволюционных преобразований, например, в надцарстве эукариот, может быть в определенной степени обусловлена различием механизмов формирования фрактальных процессов схемной реструктуризации базовых клеточных органелл и процессов коэволюции организмов на основе вариации информационных отношений синтеза фенотипической информации, определяющей реальную структуру живых организмов.

Одним из явных факторов, влияющих на различие временных масштабов эволюционных процессов базовых клеточных органелл и организмов в целом, является различие принципов и, в результате этого, объемов тиражирования элементной базы внутриклеточных структурных образований для реализации информационных отношений на основе генетической информации (молекулы РНК и ДНК) и белков – основы ферментативных клеточных систем. Эти различия достаточно отчетливо иллюстрируются на примере рибосом и рибосомных РНК. В результате процесса трансляции за один оборот клеточного цикла на основе одной копии гена, воплощенной в молекуле иРНК, синтезируется порядка  $10^4$  молекул белка (например, миоглобина). В тоже время, синтез рибосомных РНК осуществляется только путем транскрипции рДНК генов в молекулы рРНК: «один в один» (рРНК являются конечным продуктом генов рДНК). Здесь нет стадии трансляции, на которой могло бы произойти резкое увеличение выхода продукции. Из этого видно, что



временные и ресурсные масштабы реакции на какие-либо изменения рРНК и изменения в фенотипической информации отличаются не менее чем на порядок тиража синтеза молекул белка с одной молекулы иРНК, т.е. более чем в  $10^4$  раз. При этом следует учесть, что в каждой клетке для обеспечения жизненного цикла присутствует  $10^4 - 10^6$  рибосом. Это подсказывает, что успех появления устойчивых жизнеспособных организмов с новыми структурными воплощениями рибосом является результатом длительного, в значительной степени стохастического, процесса, который по своим временным масштабам изменчивости существенно медленнее процессов эволюционной изменчивости организмов за счет вариаций генетической информации, связанной с репродукцией фенотипической информации.

## **Хромосомы**

При переходе от прокариот к эукариотам наибольшие топологические и структурные изменения материального обеспечения реализации информационных отношений в жизни клеток произошли в организации долговременного хранения генетической информации. Носителями хранения генетической информации остались молекулы ДНК. Сохранился и генетический код, но существенно изменилась форма организации хранения генетической информации. Это наглядно отражается в процессах митоза эукариотных кле-

ток. Одним из ключевых признаков различных типологий и классификаций митоза является совместное поведение ядерной оболочки и хромосом. При этом топология и структура хромосом с феноменологической точки зрения практически идентичны для всех видов эукариотных организмов. Это наводит на представление, что истинное митотическое деление эукариотных клеток в тех типах, в которых мы их наблюдаем, сформировалось и вышло на этап эволюционного развития после этапа принципиального качественного преобразования организации формы долговременного хранения генетической информации в виде хромосом. Именно хромосомная структура организации хранения и соответствующего тиражирования генетической информации, обеспечивающая мультипрограммность реализации информационных отношений в ходе жизненных циклов эукариотных клеток, явилась определяющим феноменологическим шагом к возникновению качественно нового – эукариотного надцарства живых организмов.

Напомним, что вся генетическая информация прокариот содержится в одной молекуле ДНК, имеющей форму ковалентно замкнутого кольца – бактериальной хромосомы (хромотида). Топологически обе комплиментарные цепи молекулы ДНК образуют замкнутые кольца с определенным порядком зацепления *Lk* (от англ. linking), который является топологическим инвариантом системы, состоящей из пары колец. Этот показатель не изменяется при различных транс-

формациях формы молекулы покуда сахаро-фосфатные цепи, образующие структуру каждой из комплиментарных цепочек остаются целыми и невредимыми. Благодаря этому обстоятельству замкнутые кольцевые молекулы ДНК обладают особыми свойствами, отличающимися от линейных молекул. Именно на их основе сформировалось большинство протоколов и интерфейсов внутриклеточных информационных взаимодействий прокариот.

Одним из основных из этих свойств является сверхспирализация замкнутых кольцевых молекул ДНК. Исследования американского математика Б. Фуллера из Калифорнийского университета показали, что замкнутая кольцевая молекула ДНК представляет собой обязательно двустороннюю полосу (в отличии, например, от листа Мёбиуса), краями которой следует считать сахаро-фосфатные цепи молекулы. Это определяется чисто химическим фактом, связанным с тем, что в каждой цепи ДНК комплиментарные нити направлены друг другу навстречу. При этом было установлено, что топологическая характеристика  $Lk$  не выражается однозначно через какую-либо геометрическую характеристику молекулы, а связана сразу с двумя геометрическими характеристиками. Первая – это осевая закрутка полосы  $Tw$  (от англ. twist): суммарное количество оборотов, которое делает вектор, лежащий в плоскости полосы и перпендикулярный оси полосы, при движении вдоль полосы. Вторую характеристику Б. Фуллер обозначил  $Wr$  (от англ. writhe – скрючивать-

ся): зависит только от формы, которую имеет ось полосы в пространстве, но совершенно не зависит от того, как полоса закручена вокруг своей оси. Американский математик Дж. Уайт доказал (1968г.), что существует однозначная связь:  $Lk=Tw+Wr$ . При этом, если  $Lk$  принимает только целочисленные значения, то  $Tw$  и  $Wr$  могут принимать любые значения, не обязательно целочисленные. Полученные результаты выявили широкий диапазон и спектр возможностей возникновения сверхспирализации молекул ДНК. В природе прокариот на этой основе реализуются определенные протоколы информационных взаимодействий и преобразований. В частности, например, процедуре репликации молекулы ДНК обязательно предшествует ее закручивание в сверхспираль. Эта успешно осуществляется только в тех условиях, когда обе нити молекулы на всем протяжении целы. Таким образом проводится своеобразное тестирование целостности молекул ДНК перед их репликацией. Существуют достаточно обоснованные гипотезы влияния изменения сверхспирализации на транскрипцию и на протоколы других внутриклеточных информационных отношений.

Казалось, в природе создан и отработан в процессе эволюции богатый арсенал механизмов хранения и рекомбинации генетической информации на клеточном уровне. Это действительно так для ситуаций, когда результатом репродукции является формирование независимой пары дочерних кольцевых бактериальных хромосом. Отметим, что дей-

ствующие в прокариотных организмах механизмы формирования замкнутых кольцевых молекул ДНК, при наличии в единой цитоплазматической среде нескольких независимых молекул ДНК, не защищали их от возможности возникновения узлов и катенаноподобных образований (кольцевых конструкций с зацеплением уже на уровне замкнутых кольцевых молекул ДНК). Это существенно усложняет топологию организации хранения и считывания генетической информации. Устранение таких и им подобных коллизий достаточно естественно происходит в топологии линейных молекул. Реалии показывают, что именно так Природа и распорядилась. Но на начальных этапах формирования организмов – эндосимбионтов переход к разомкнутой (линейной) топологии организации хранения генетической информации на молекулах ДНК достаточно естественно приводил к нарушению эффективности функционирования отработанных в жизни прокариот протоколов и интерфейсов реализации внутриклеточных информационных отношений.

Разрешение этих противоречий происходило в течение длительного этапа эволюционного развития биосферы (~1,5млрд. лет) на основе формирования нового уровня организации в эукариотной жизни информационных отношений, включающих как внутриклеточные уровни обеспечения процессов репликации, репарации, транскрипции, трансляции и системного управления мультипрограммным пулом симбиозной генетической информации, так и учи-

творяющих трансцендентные для клетки информационные отношения, обеспечивающие парадигму диплоидной структурной организации генетической информации эукариот. Значительная сложность и длительность этих процессов были связаны с формированием адекватного hardware, при котором создались условия для возможностей реализации этого уровня информационных отношений.

Для единения жизненного цикла в эндоклеточном симбиозе необходима определенная синхронизация процессов рекомбинации всей совокупности гетерологичных компонент генетической информации симбионтов. Обычно, наиболее просто это достигается в условиях одинакового масштаба репродуцируемых файлов информации. Но акты формирования симбеогенетических структур, вряд ли лимитировались этим принципом. Достаточно обосновано признается, что лимитирующим фактором является не столько способность организмов проникать внутрь других клеток, как способность клетки хозяина «принимать» таких гостей. В этих условиях структура генетических файлов симбионтов могли иметь не только различные количественные масштабы, но и иметь качественные различия в структуризации информации, включая генетический код (например, митохондрии). Но геном тех же митохондрий значительно беднее и короче генетического материала, обеспечивающего общий метаболизм и информационно-репродуктивные отношения в жизненном цикле эндоклеточного симбиоза. Вследствие

этого ни о какой равномерности генетического материала симбионтов не приходится говорить. В таких условиях процесс перехода к линейной топологии молекул ДНК достаточно естественно мог сопровождаться процедурами декомпозиции генетического материала до фрагментов, в которых соблюдалось определенное однообразие масштабов репродуцируемых файлов для обеспечения необходимой синхронизация процессов рекомбинации всей совокупности гетерологичных компонент генетической информации симбионтов. Возможно, мы можем наблюдать законсервированные следствия этих процессов у ряда простейших: например, у радиолярий до 1000–1600 хромосом, у *Amoeba proteus* количество хромосом доходит до 500. Если это так, то дальнейшая структуризация генетической информации в складывающемся эндоклеточном симбиозе происходила, по крайней мере, уже близко к одноформатному масштабу, что способствовало определенной синергетике внутриклеточных жизненных процессов.

Не обсуждая подробности гипотез конкретных явлений и их последовательности в эволюции рождения и дальнейшего формирования клеток эукариотной биосферы, отметим, что в результате исследований последних десятилетий достаточно четко обозначилось представление о многостадийности и спектральном разнообразии компонент формирования эндосимбиозной структуры, включая активную роль архей, с их инфраструктурой hardware. Достаточно веским обоснова-

нием этому служат, например, глубокие исследования отечественных ученых А. В. Маркова из Палеонтологического института Российской академии наук и А. М. Куликова из Института биологии развития Российской академии наук, которые проанализировали распределение белковых доменов, внесенных в 15-ую версию базы данных Pfam (август 2004г.) в трех надцарствах: Archaea, Bacteria и Eukaryota.

Сошлемся на их утверждение, что «эукариотическую интеграцию» следует рассматривать как конечный результат длительного развития интеграционных процессов в прокариотном сообществе». Далее: «Считать предками первых эукариотических организмов несколько отдельно взятых видов прокариот, объединившихся в симбиотический организм, не вполне корректно. Следуя системному пониманию жизни и биологической эволюции, точнее будет сказать, как это не парадоксально звучит, что предком эукариот было сообщество прокариотических организмов, включавшее как минимум три компонента: 1) анаэробных гетеротрофов, по всей вероятности, представителей археобактерий с экзонно-интронной организацией генома, получавших энергию путем бескислородного сбраживания углеводов (гликолиз); 2) аэробных гетеротрофов – эубактерий, получавших большое количество энергии за счет кислородного окисления низкомолекулярных углеводов (в частности, пирувата, молочной кислоты или этанола, являвшихся конечными продуктами энергетического обмена первого компо-



нента сообщества); 3) анаэробных автотрофов – фотосинтетиков (цианобактерий), обеспечивавших первый компонент сообщества высокомолекулярными углеводами, а второй – кислородом».

Не правда ли, в клетке фактически сформировалось триединство экологического многообразия компонент, обеспечивающих кругооборот живого вещества в природе: продуценты, консументы и деструкторы. Не это ли явилось определяющей причиной эффективного развития эукариотной биосферы?

Динамическая неустойчивость среды обитания архей и фактически анклавное распространение их ареалов, способствовали формированию механизмов переключения программы управления развитием и жизнеобеспечением клетки при существенных изменениях параметров внешней среды. Считается, что на ранних этапах эволюции горизонтальный (латеральный) обмен генетическим материалом между отдельными организмами, чему в определенной степени способствовал анклавный характер обитания архей, имел первостепенную роль, как инструмент инновационных приобретений, т.е. фактора, определяющего развитие адаптивного потенциала клеток. Такие «решения» в природе наблюдаются и у более развитых живых организмов, например, кузнечик – саранча. Но главное, что на уровне прокариот в этих ситуациях не включается новый уровень многообразия программного обеспечения. Реализуется конкретная програм-

ма в соответствии с трансцендентными воздействиями окружающей среды. В эволюции это породило экзон-интронную организацию генома, которая у прокариот наиболее инфраструктурно поддерживаема в архитектуре организмов архей. Это в определенной степени способствовало переходу (с позиций hardware) к мультипрограммности эндосимбиозных эукариотных, структур.

В упомянутой работе А. В. Маркова и А. М. Куликова отмечается, что *«функциональный спектр эукариотных доменов «архейного» происхождения в основном связан с процессами хранения, воспроизведения, структурной организации и считывания генетической информации... Следует обратить внимание, – считают авторы этой статьи, – на практически полное отсутствие в этой группе метаболических доменов (что представляет резкий контраст с группой эукариотных «доменов бактериального происхождения», где метаболические белки, напротив, резко преобладают)»*. Фактически, «переключательный» характер организации генетической информации архей с феноменологической точки зрения явился некоторой прелюдией к возможности перехода в мультипрограммный режим обеспечения жизни эукариотных клеток.

Механизмы реализации переключения программ у архей опираются на два феноменологически различных внутриклеточных информационных пула:

– генетическая информация (*программное обеспечение*),

материальными носителями которой являются молекулы ДНК и РНК; поступает в клетку по наследству и не изменяется в ходе жизненного цикла клетки (не считая акт тиражирования);

– фенотипическая информация (*данные*), материальными носителями которой являются в основном протеиновые комплексы; частично поступает от материнской клетки при рождении, но основные массивы данных формируются внутри клетки в процессе её жизненного цикла.

На основе генетической информации формируются факторы работы механизмов, обеспечивающих энхасерные свойства генов и экзонно-интронную организацию генома. Предполагается, что для архей это было связано с адаптацией к высоким температурам. Так, например, в той же работе А. В. Маркова и А. М. Куликова приводятся сведения, что число измененных нуклеотидов в тРНК термофильных архей растет при повышении температуры, что, в свою очередь, позволяет тРНК сохранять правильную третичную структуру при нагревании.

В эукариотной биосфере механизмы экзонно-интронной организации генома обеспечивают возможности наращивания и усложнения программного обеспечения в режиме его мультипрограммного функционирования. Аналогично на основе фенотипической информации формируются факторы работы механизмов, обеспечивающих вариабельность экспрессии генов, что является одним из базовых динамич-

ческих атрибутов реализации *on line* мультипрограммности. Одним из важных материальных компонентов обеспечения этого процесса являются гистоны. Гистоны относятся к катионным, или положительно заряженным белкам, и их взаимодействие с ДНК неспецифично. Это обеспечивает при формировании хроматина (полинуклеопротеидных комплексов) отсутствие искажений или нарушений функционального назначения нуклеиновых компонент (ДНК и РНК как носителей генетической информации) и даже, в ряде случаев, создаёт с помощью протеиновых компонент условия их более устойчивого функционирования по назначению. ДНК-связывающие белки защищают хроматин от температурной денатурации и компактизируют ДНК при суперинфуляции, создавая нуклеосомную организацию хроматина. Так, например, белок термофильного археота *Thermoplasma acidophilum*, гомологичный бактериальному белку HU, компактизирует ДНК и защищает её от тепловой денатурации, повышая температуру её плавления примерно на 40<sup>0</sup>С. Такие качества активно способствовали развитию института гистонов в «архейной» биосфере.

Вместе с тем, нуклеосомная организация хроматина, стабилизируя ДНК, одновременно во многих ситуациях не редко препятствует транскрипции. Этот заградительный эффект создает новую степень свободы в управлении экспрессией генов. Природа активно этим воспользовалась в отработке и реализации механизмов переключения программ

развития клеток, как в «архейной» биосфере, так и при организации мультипрограммных режимов on line в эукариотной биосфере. В ходе эволюции эукариотных клеток происходило изменение функций белков. Так, например, А. В. Марков и А. М. Куликов приводят сведения: что белковый домен CBFD\_NFYB\_HMF (PF00808): у архей это гистон, а у эукариот – гистоноподобный транскрипционный фактор.

Институт гистонов, обеспечивая функции стабилизации и компактизации ДНК, наряду с расширением программных возможностей внес решающий вклад в переходе от присущей прокариотам топологии ковалентно замкнутого кольца организации молекулы ДНК для хранения генетической информации к незамкнутой структуре хромосом эукариот. Именно с этим, пожалуй, связаны основные процессы структурной перестройки клеточного hardware. Длительность этих процессов порядка 1,5млрд. лет достаточно впечатляет по сравнению с темпами ароморфоза многоклеточных. Возможно, это связано с отсутствием в этих процессах эволюции hardware жесткого информационного императива, обусловленного чем-то вроде «храповика Мёллера», либо слабыми или медленными коэволюционными отношениями изменяющейся окружающей среды и формирующейся эукариотной биосферы при её «созревании» до многоклеточных организмов. Не будем останавливаться на этой стороне эволюции эукариотной биосферы с её фантастически необъятной палитрой проходивших явлений. По этим вопросам су-

существует огромное количество высококлассного, профессионального научного материала, для которого стиль наших очерков вряд ли уместен.

## **Оперативная (операционная) память**

В предыдущих новеллах было отмечено, что основополагающей парадигмой структурной организации генетической информации эукариот является диплоидность, порождающая феноменологическую мультипрограммность реализации информационных отношений жизненных циклов клеток эукариотных организмов. Необходимо отметить, что реализация этой парадигмы охватывает и имманентные, и трансцендентные системные аспекты. Не смотря на идентичность «элементной базы» в обеих надцарствах биосферы, на каждом системном уровне семантика информационных эукариотных отношений именно феноменологически существенно отличается от подобных реализаций в прокариотной биосфере – прародительнице эукариот.

Эти различия привели к формированию новой эукариотной архитектуры информационных отношений, которая охватывает и *hard-* и *software*. Наиболее глубоко это проявилось в организации долговременной памяти на основе хромосом с линейной топологией молекул ДНК – носителей генетической информации. Естественно, эти трансформации затронули интерфейсы и протоколы передачи инфор-

мации при формировании объектных, а затем и загрузочных программных модулей, которые управляют работой клеточных процессоров (рибосомы), синтезирующих белки – основу фенотипической клеточной информации.

Нечто подобное можно отметить и в развитии (эволюции) искусственных информационно-вычислительных систем. Парадигмой организации вычислительных процессов искусственных систем с точки зрения информационной феноменологии является цикл формирования в определенной последовательности различного уровня информационных объектов (*software*), обеспечивающих в совокупности возможность обработки на *идентифицированных* вычислительных ресурсах (*hardware*) заданного для системы множества «данных». Идентификация *hardware* создает, в определенной степени, его феноменологический приоритет, в значительной степени регламентируя архитектурные возможности *software*. При этом на основе сформулированной для системы миссии искусственные системы разрабатываются и функционируют принципиально в целях обеспечения определенных трансцендентных услуг. В связи с этим информационно феноменологическая последовательность организации вычислительных процессов искусственных систем может быть представлена в следующем виде:

– трансцендентный уровень ( $S_{TT}$ ): постановка задачи в соответствии с миссией системы и разработка алгоритмического обеспечения;

- архитектурные решения ( $S_{II}$ ): разработка software и постановка его на функционирование;
- имманентный уровень ( $S_{II}$ ): реализация вычислительного процесса с целью получения решения поставленных задач *на идентифицированных ресурсах hardware*;
- внедрение полученных результатов во внешней среде ( $S_{IT}$ ): например, выдача сигналов управления роботизированными и автоматизировано управляемыми объектами, выдача результатов количественной вычислительной обработки исходных данных, выдача результатов аналитической обработки текстовой, аудио и видео информации и т.п.

Для конкретных версий программного обеспечения обычно реализуется лишь одноразовый цикл их разработки и внедрения (тиражирования). Это объясняется тем, что новые версии software обычно актуализируют новые свойства, по крайней мере, в  $S_{II}$  и  $S_{IT}$  аспектах феноменологического представления системы. Ведь такое структурное изменение системы, по сути дела, в определенной степени, является актом ароморфоза, создающего новую структуру трансцендентно-имманентных отношений, что можно рассматривать как возникновение новой, в феноменологическом смысле, системы.

Практически аналогичная ситуация на клеточном уровне происходит и в биосфере. Однако, в отличие от искусственных систем, в биосфере существенно изменены акценты приоритетов software и hardware. В биосфере фактически



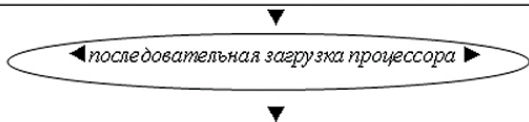
*фундаментально регламентирован* абсолютный приоритет software. Именно software обеспечивает управление процессами передачи генетической информации, на основе которой происходит создание и жизнеобеспечение новых клеток. Напомним, *жизненный цикл клетки состоит с создания «с нуля» всей структуры hardware*. И только после этого происходит финальное действие конвариантной редупликации (тиражирования) генетической информации с дальнейшим делением клетки на дочерние. В связи с этим, в сопоставлении с искусственными системами, существенно меняется и парадигма развития информационных отношений на жизненном цикле клетки. Ключевой их стратификацией принято считать имманентную последовательность актов изменения «активации» структурных биохимических компонент, на основе которых происходят реализации последовательности выполнения генетически заданных информационных отношений.

Традиционно декларируется схема развития клеточного жизненного цикла в виде:

ДНК – *внешняя память* (генетическая информация)



mРНК – *оперативное запоминающее устройство* (загрузочный программный модуль для процессорной реализации генетической информации)



rРНК – *процессор* (в соответствии с генетической программной информацией, представленной в виде загрузочного модуля (mРНК) производит программную обработку «исходных данных» (аминокислоты), с привлечением адресных регистров – tРНК)



протеиновые комплексы – *фенотипическая информация* (метаболизм в структуре жизненного клеточного цикла, обеспечивающего «созревание» клетки для её редупликации)



реплицированные ДНК дочерних клеток и последующее деление клетки на дочерние.

Эта схема вполне адекватно отражает жизненные циклы одноклеточных прокариотов, в которых для каждого отдельного организма в развитии информационных отношений фактически отсутствуют трансцендентный ( $S_{TT}$ ) и архитектурный ( $S_{II}$ ) уровни феноменологической модели. В рамках прокариотной биосферы они обеспечиваются для *информационных отношений* только на экологическом уровне совместного обитания прокариотных организмов (например, параллельный перенос генетической информации). С этой позиции: информационные отношения прокариотных клеток представляют собой замкнутые информационные системы. Здесь мы опускаем обсуждение различных аспектов и форм вариаций прокариотной генетической информации. В информационных отношениях это выходит за рамки прокариотной *клетки–системы*. Вместе с тем в аспектах материально-энергетического обеспечения (прерогатива hardware) прокариотные клетки естественно проявляют себя в ходе жизненного цикла как активно развитые открытые системы. Именно эти аспекты, формирующиеся на внеклеточных отношениях, являются основой, определяющей устойчивость, как жизненных внутренних циклов бактерий, так и их популяций в целом. Подчеркнем, что в такой интерпретации жизненных циклов прокариот остаются в стороне процессы различного вида параллельного переноса генетической информации, которые, как подчеркнуто, для конкретной клетки

являются фактически внесистемными феноменологическими актами. Это связано с тем, что также как и в искусственных информационных системах, в этой ситуации возникает новая структура трансцендентно-имманентных отношений, что эквивалентно в феноменологическом смысле переходу к качественно новой системе (например, к новому виду живых прокариот-организмов).

Феноменологическая ориентация на замкнутость системы внутриклеточных информационных отношений прокариотных организмов при переходе к эукариотной биосфере существенно сужает и ограничивает общую картину организации внутриклеточных жизненных циклов эукариот.

Главные отличия, при этом, связаны с качественным основополагающим феноменологическим переходом к мультипрограммному обеспечению управления жизненными клеточными циклами при возникновении и развитии эукариотных организмов в недрах прокариотной биосферы.

Реализуемая в эукариотной биосфере парадигма диплоидности структурной организации генетической информации эукариот и развившиеся на этой основе половое размножение эукариотных организмов, а также специализация эукариотных клеток многоклеточных организмов, приводят к необходимости активного органичного включения *трансцендентных аспектов* в модель эукариотических клеточных жизненных циклов. Необходимо учитывать, что изменчивость информационных отношений в эукариотных клетках

обуславливаются в первую очередь структурой и вариативностью «данных» (фенотипической информацией), а не вариациями генома (всего пула генетической информации эукариотной клетки). Эти информационные предпочтения, в основном, касаются процессов вегетативного размножения клеток, включая митоз. При оплодотворении (сингамии) и мейозе, естественно, влияние внеклеточных вариативных процессов на формирование генетической информации приобретает существенную значимость, но, отнюдь, не снижает при этом влияние «имманентной структуры данных» на изменчивость жизненных циклов клеток.

На основе «исторической» памяти жизни предковых клеточных поколений для конкретных клеток вариативность «операционных данных» (квинтэссенция фенотипической информации), обусловленная внутриклеточным метаболизмом за счет программного процесса, активированного в данном клеточном поколении, не смотря на ее имманентную сущность является эквивалентом и аналогом трансцендентных воздействий. Напомним также, что при этом «исходные данные» (номенклатура множества аминокислот), из которых и формируется фенотипическая информация, остаются неизменными не только в структуре клеточных жизненных циклов, но, практически, на всём многообразии Живой природы.

При таком взгляде феноменологическая последовательность организации развития информационных отношений

большинства эукариотных клеток в значительной степени совпадает с *митотическим клеточным циклом* и может быть проинтерпретирована в следующем виде:

– трансцендентный ( $S_{TT}$ ) уровень: для дочерних эукариотных клеток этот уровень воплощает в себе митотический акт деления материнской клетки. Именно в результате этого акта дочерним клеткам наряду с геномом передается совокупность фенотипической информации, которая несет в себе необходимые сведения, обусловленные историей предыдущих поколений клетки. Особенно ярко это проявляется в процессах гистологической дифференциации эукариотных клеток многоклеточных организмов;

– реализация архитектурных ( $S_{TI}$ ) и структурных ( $S_{II}$ ) отношений в эукариотных клетках происходит в режиме итерационных процессов формирования структурной организации клетки (включая структуризацию органелл) в результате внутриклеточного метаболизма на основе генома и исходной для каждой клетки индивидуальной фенотипической информации. Эти процессы охватывают *пост-митотический* и *синтетический* периоды митотического цикла. Напомним, в искусственных информационных системах решение поставленной задачи осуществляется на четко идентифицированных ресурсах hardware. В живых же клетках актуальной финальной конвариантной редупликации (тиражирования) клетки предшествуют процессы непосредственного формирования структуры hardware на основе актуализированно-

го в данный момент software (геном + фенотипическая информация, представляющая «данные» об истории предыдущих поколений). Именно в результате этих возможностей (имманентной эксклюзивной структуризации hardware каждой клетки) обеспечивается необходимый спектр материально целевых функций для реализации жизненных циклов эукариотных клеток. Не это ли совмещение в режиме on-line процессов развертывания программной информации и формирования hardware для её реализации создали в биосфере эукариотов фантастические возможности ароморфоза жизни?;

– реализация уровня  $S_{IT}$  происходит, фактически, в течение времени от окончания синтеза ДНК и до начала митоза. В этот период завершается подготовка клетки к митозу (*премитотический* период митотического цикла): происходит окончательное формирование структурных элементов, обеспечивающих процедуру деления клетки. Активно синтезируются различные белки, в том числе и тубулиновые, из которых образуются нити веретена деления. Наряду с этим, в этот период активно формируются различные РНК структуры и белки для осуществления *пост-митотического* периода дочерних клеток после митоза.

В отличие от прокариотов, у которых геном практически полностью воспроизводился исполнительными программными кодами, в эукариотических клетках набор исполнительных программ очень существенно отличается от гено-

ма клеток данного вида организмов. С феноменологической точки зрения протекания информационных процессов в клетках про- и эукариот это связано с переходом от гаплоидной структуры генетической информации у прокариот к диплоидности эукариот. Действительно, геном эукариот представлен физиологически гомологенными структурами генетической информации (материнскими и отцовскими хромосомами). Естественно, в этих условиях должны активно действовать соответствующие протоколы и интерфейсы, обеспечивающие непротиворечивую реализацию программного обеспечения жизнедеятельностью клеток организма. Простое последовательное считывание генетической информации из ПЗУ (ДНК) в ОЗУ (иРНК) для последующей программной процессорной (рибосома) обработки «исходных данных» (аминокислоты) в «операционные данные» (белки-ферменты), что осуществляется в клетках прокариотных организмов, в случае диплоидности эукариот не может обеспечивать устойчивое и предсказуемое получение результатов для организации жизнедеятельности эукариотных клеток. Протоколы и интерфейсы информационных отношений эукариот должны обеспечивать (и обеспечивают) способы и реализовывать механизмы *управляемого выборочного считывания генетической информации* из ПЗУ (ДНК) в ОЗУ (иРНК) и дальнейшей её передачи для трансляции на процессорные модули (рибосомы).

В искусственных информационно-компьютерных систе-



мах, фактически так же как и в биосфере на клеточном уровне, одним их существенных аспектов эволюции в смысле феноменологии развития и реализации внутрикомпьютерных информационных отношений явился, пожалуй, переход от моно- к мультипрограммным архитектурам. Наиболее активно это связано с внедрением в работу вычислительных компьютерных систем идей параллелизма. Это продолжается на всем протяжении развития вычислительной техники от монопроцессорных установок до современных суперкомпьютеров с массовым аппаратно программным параллелизмом. С этих позиций, самой ранней и наиболее известной является классификация архитектур вычислительных систем, предложенная в 1966 году М.Флинном. Классификация базируется на понятии *потока*, под которым понимается *обрабатываемая процессором последовательность элементов: команд или данных*. Подход в этой модели основан на принципиальном феноменологическом разделении потоков команд и данных. Выделяется четыре класса архитектур:

– **SISD** (single instruction stream / single data stream) – одиночный поток команд и одиночный поток данных (**ОКОД**);

– **SIMD** (single instruction stream / multiple data stream) – одиночный поток команд и множественный поток данных (**ОКМД**);

– **MISD** (multiple instruction stream / single data stream) – множественный поток команд и одиночный поток данных (**МКОД**);

– MIMD (multiple instruction stream / multiple data stream)

– множественный поток команд и множественный поток данных (МКМД).

Отметим, что данная классификация не акцентирует структурное hardware распараллеливание вычислительного процесса. Внимание обращено лишь на структурную феноменологию информационного обеспечения. Вместе с тем, для конкретной реализации вычислительных процессов распределённость структур hard- и software актуальна именно в совокупности этих компонент. При этом всё-таки можно выделить некоторую специфику подходов учёта физической распределённости hardware и мультипрограммности software. Если решение вопросов увязки физической распределённости hardware в основном ориентируется на топологию коммуникационных отношений между распределёнными ресурсными компонентами, то, как показывает практика, семантическая увязка мультипрогаммных режимов в значительной степени связана со структурной и семантической организацией взаимодействия информационных объектов при переходе с одного уровня памяти на другой, например, с уровня долговременной (внешней) памяти на тот или иной уровень оперативной памяти. При этом именно эта проблематика охватывает без исключения все классы «флинновских» архитектур. Подтверждением этому является популярность в технических информационных системах Нортоновских утилит и дальнейшее развитие этой концеп-

ции в современных вычислительных системах.

SISD-архитектура характерна, прежде всего, для классических последовательных машин, или иначе, машин фон-неймановского типа. В таких машинах есть только один поток команд, все команды обрабатываются последовательно друг за другом и каждая команда инициирует одну операцию с одним потоком данных. При этом считается, что не имеет значения тот факт, что для увеличения производительности может применяться некоторая распределённая обработка. Обращаясь к архитектуре внутриклеточных информационных отношений, отметим, что фактически именно к этому классу относится архитектура внутриклеточных отношений прокариот. Ранее отмечалась существенная мультипроцессорность реализации информационных отношений в прокариотных клетках структурно организованное в виде одновременной последовательной «насадки» множества рибосом на одну молекулу иРНК. Это множество рибосом-процессоров производит синтез идентичных белковых структур по каждой последовательно активированной программе гена. Программа, соответствующая этому гену, поступает во всё множество активных рибосом-процессоров именно с одной конкретной молекулы иРНК. Молекулы иРНК реализуют собой оперативную память. Таким способом достигается тиражирование фенотипической информации необходимое для обеспечения реализации жизненного цикла прокариотных организмов.

Напомним, что генетический код на основе комплементарного взаимодействия соответствующих молекул иРНК и тРНК однозначно идентифицирует адреса и выборку операндов (комплексы аминоксил-тРНК, содержащие необходимую аминокислоту), участвующих в синтезе рибосомными процессорами белковых молекул, которые, по сути, являются конечным продуктом реализации информационных процессов, программируемых генетической информацией. Не смотря на существенную процессорную мультипликативность, внутриклеточная архитектура информационных отношений прокариот, с точки зрения классификации Флинна, остается в классе SISD. Реализация монопрограммной организации внутриклеточного прокариотного информационного обеспечения вполне эффективно осуществляется на основе простой непосредственной транскрипции генетического кода с молекулы ДНК на молекулу иРНК. Происходит передача генетической информации, хранимой на уровне постоянной памяти (ДНК), в информационный объект на носителе оперативной памяти (иРНК). Компиляция генетического кода в коды объектных и одновременно загрузочных модулей иРНК ограничивается лишь идентификацией начала и конца конкретного гена и однозначной заменой пиридина тимина (Т), комплементарного пурину адеину (А) в структуре ДНК, на пиридин урацил (U), комплементарный адеину (А) в структуре иРНК (однозначная замена одного алфавитного знака).

К настоящему времени эволюция компьютеров на основе современных технологий создания элементной базы привела фактически к тому, что все они относятся к классам архитектур с множественными потоками команд и данных. Это касается не только суперкомпьютерных установок, рабочих станций, серверов, но и оборудования локального применения: различные типы персональных компьютеров (ПК), планшетные компьютеры (iPad и т.п.), смартфоны (iPhone и т.п.), специализированные вычислительные средства и агрегаты. Все они, в том или ином виде, основаны на архитектуре распределенных ресурсов: как процессорных элементов (многоядерные процессорные узлы и блоки), так и физической организации памяти. Уже отмечалось, что увязка физической распределенности hardware в основном ориентируется на топологию коммуникационных отношений между распределёнными ресурсными компонентами. Именно в аспекте этой архитектуры разработчики обычно пытаются найти решения, наиболее эффективные с точки зрения достижения *предельной производительности* вычислительной установки в рамках ее конкретной элементной базы и функциональной эксплуатации.

Однако, не смотря на высокую практическую значимость этого показателя, во главу угла функционирования любой вычислительной установки ставится, всё-таки, требование достоверности семантической обработки информации. Для мультипоточковых архитектур эта проблематика в значитель-

ной степени связана с организацией памяти и доступом к ней, что обеспечивает хранение и доставку к процессорным элементам непротиворечивой и актуальной на каждом этапе вычислительного процесса программной информации и данных, с которыми производится семантическая обработка. Касаясь обоих типов информации, можно выделить для них некоторые общие аспекты, которые связаны с обеспечением достоверности реализации семантики информационных отношений:

- регламентация доступа к информации;
- преобразование информации при передаче с одного уровня памяти на другой;
- организация оперативного доступа информации к операционным средствам – процессорным элементам.

На основе регламентации доступа обеспечивается, в той или иной степени, защита вычислительных процессов от поступления в них посторонней информации. Чаще всего для каждого уровня памяти обеспечиваются свои, специфические для этого уровня, аппаратно программные мероприятия, которые соответствуют выбранной модели возможных нарушений легальных информационных процессов, а так же трафиков потоков команд и данных. Обычно для уровней внешней (постоянной) памяти эти мероприятия направлены на предотвращение несанкционированного доступа (НСД). В зависимости от степени значимости информационно вычислительных систем используется разная сово-

купность средств защиты на этом уровне: механические (физическая и механическая регламентация и защита доступа, разъемы с ключевыми вставками, смарткарты, и другие аппаратно-электронные приспособления). Переход от уровня внешней к уровням оперативной памяти обычно защищается аппаратно-программными комплексами (например, программно-электронные замки т.п.), а так же средствами криптографической защиты информации.

В структуре внутриуровневых и межуровневых отношений в оперативной памяти регламентация доступа осуществляется с помощью специализированных программ в составе операционных систем, а в ряде случаев и с использованием дополнительных программных утилит и аппаратных средств. Этим достигается оперативность регламентации и организации доступа к информационным объектам в условиях их динамического перераспределения в процессорных средствах и распределённых структурах памяти.

Преобразования информации при передаче с одного уровня памяти на другой обычно достаточно отличны для разных феноменологических типов информационных объектов: программы и «данные». Преобразование программных текстов происходит на основе компиляции с языка хранения программ в структуре внешней (долговременной) памяти в машинные коды. Организация этих процессов происходит под управлением операционных систем по мере необходимости загрузки элементов оперативной памяти новы-

ми программами. Преобразование данных чаще связано с работой того или иного типа браузера для работы с гипертекстами на языках разметки. Оперативный доступ информации к операционным средствам – процессорным элементам, обычно выполняется локальными, связанными с конкретным процессорным элементом, средствами операционных систем.

Некоторая подробность представления организации информационных процессов в искусственных распределенных мультипроцессорных системах объясняется тем, что наблюдается фактически абсолютная феноменологическая адекватность функциональной организации реализации внутриклеточных информационных отношений эукариот и современных вычислительных систем.

## **Регламент доступа к генетической информации**

Если монопрограмное информационное обеспечение прокариот представлено одной единственной хроматидой без какого-либо резервирования на этом уровне, то, в отличие от этого, геном эукариот представляет собой, с некоторыми нюансами, полностью задублированный комплект программного обеспечения. Исключением являются лишь в мужских организмах не дублированные пары половых хромосом. Такое резервирование совместно с мультипрограмм-



ностью естественно сказалось в ходе эволюции на организацию регламентов информационных отношений, способах доступа и передаче информации в последовательности реализации программ.

В прокариотном монопрограммном обеспечении не требовалось специальных функциональных процедур, которые обеспечивают активизацию (проявление) генов в жизненном цикле клетки («экспрессия генов»<sup>54</sup>) или подавляют экспрессию генов («сайленсинг генов»<sup>55</sup>). Все гены прокариотного генома активны и участвуют в организации процессов жизненного цикла клетки. В противоположность этому, в структуре эукариотного генома существуют наборы генов, совместная активация которых может приводить к нарушению необходимых процессов жизненного цикла клетки, и обычно вследствие этого к гибели клетки. Естественно, что переход от полномасштабной активности генов к их выборочной экспрессии наиболее простым путем, в первую очередь, осуществлялся на основе сайленсинга генов, тем более что такой механизм существовал и активно использовался в про-

---

<sup>54</sup> Вся совокупность процессов от транскрипции гена до выполнения активированной молекулой белка ее специфической функции. Понятия: экспрессивность и пенетрантность (от латинского *penetrate* – проникать; это частота (вероятность) проявления в популяции одного и того же признака у особей, имеющих ген, контролирующий данный признак.) впервые введены Н.В.Тимофеевым-Ресовским и О.Фогом для описания варьирующего проявления признаков и контролирующих их генов.

<sup>55</sup> От английского *gene silencing* – выключение гена. Это общий термин, описывающий эпигенетический процесс регуляции генов.

цессе репарации при синтезе цепей ДНК в прокариотных организмах. Это – метилирование, обеспечивающее инактивированное для процедур транскрипции состояние отдельных участков молекулы ДНК.

Физиологическое метилирование ДНК – единственная ковалентная модификация молекулы ДНК – осуществляется путем переноса метильной группы с S-аденозил метионина на 5-ю позицию пуринового кольца цитозина. Метилирование ДНК обнаруживается на разных стадиях эволюции. Однако, в отличие от прокариотных организмов, у эукариот метилирование утратило функциональное назначение для реализации процессов репарации при репликации молекул ДНК. Гипотеза об участии метилирования ДНК в процессе репарации в эукариотах была опровергнута Араухо (Araujo) с коллегами, которые показали, что в клетках эукариот метилирование ДНК происходит немедленно после репликации и даже фрагменты Оказаки имеют законченный паттерн<sup>56</sup> (структуру) метилирования. Возможно, это связано с изменением топологии молекул ДНК: замкнутая кольцевая топология молекул ДНК в хроматидах прокариот и разомкнутая топология молекул ДНК в хромосомах эукариот.

Ещё одна функция метилирования ДНК в бактериях – это обеспечение механизма распознавания чужеродной ДНК. Рестриктные эндонуклеазы способны отличить чужеродную

---

<sup>56</sup> От английского *pattern* – образец, шаблон. Паттерн понимается как повторяющийся шаблон или образец, элементы которого повторяются предсказуемо.

ДНК от эндогенной на основании паттерна метилирования. Будучи узнанной, незащищенная метилированием чужеродная ДНК подвергается нарезке и уничтожается. Защитная функция метилирования ДНК в эукариотах аналогична его функции в прокариотах, не смотря на то, что в эукариотах метилированию подвергаются только цитозины, расположенные в последовательности CpG<sup>57</sup>. Например, в клетках человека и грызунов чужеродные вирусные последовательности быстро и эффективно метилируются, что обеспечивает надежное выключение вирусных генов. Таким образом, роль метилирования ДНК в распознавании и уничтожении чужого генетического материала сохранилась на протяжении эволюции.

Считается, что значительно более высокая сложность генома эукариот, по сравнению с прокариотами, дает основания предположить, что в этом случае метилированный цитозин может иметь дополнительные функции, например, в качестве «пятого основания». Более того, так как метилирование ДНК является обратимой модификацией и не находится в прямой зависимости от последовательности ДНК, его принято считать эпигенетическим<sup>58</sup> механизмом регуляции экспрессии. На метилировании ДНК основано явление генетического импринтинга. Его суть, по крайней мере, для

---

<sup>57</sup> CpG – это сокращение для цитозина и гуанина, разделённых фосфатом, связывающих эти два нуклеотида вместе в ДНК.

<sup>58</sup> От греческого *έπι* – над, сверх, после

млекопитающих, сводится к следующему: в организме формируется некоторое множество генов, которые подвергаются стойкой репрессии метилированием их промоторов на стадии формирования либо мужской, либо женской гаметы. Эта метилированность может сохраняться у некоторых генов на протяжении всей жизни организма, развившегося из зиготы, образованной с участием данной гаметы, т.е. данный ген в этом поколении не транскрибируется. Например, у женщин в каждой клетке две X-хромосомы, но почти все гены в одной из них репрессированы с помощью метилирования промоторов.

Представленные сведения отражают одну из форм регламентации доступа к генетической информации в эукариотных клетках, которая зиждется на функциональной адаптации процессов метилирования молекул ДНК, присущих и прокариотным организмам. На наш взгляд, это иллюстрирует естественную эволюционную преемственность даже в фазе перехода к новому феноменологическому базису информационных отношений. Мы не сподвигнуты на представление этих трансформаций как обязательных, предначертанных и единственно осуществимых в ходе эволюции. Естественно могли быть и другие варианты. Но сложилось так, как сложилось. Главное, что здесь нет ничего сверхъестественного. Все трансформации основаны на том запасе избыточности, во главу угла, – информационных отношений.

Переход к эукариотным информационным отношениям

наряду с преимуществом прокариотных механизмов операционного взаимодействия с постоянной (генетической) памятью связан так же с принципиально новой феноменологической парадигмой активного и, в ряде случаев, определяющего участия фенотипической информации не только в исполнении, но и в формировании и создании различных информационных объектов (включая и данные и программы), обеспечивающих организацию управления исполнения внутриклеточных информационных отношений. У эукариот – с мультипрограммным пулом, в отличие от прокариот, фенотипическая информация становится (в семантическом смысле) «на равных» с генетической информацией, являясь активным управляющим компонентом на всех жизненных этапах клетки. Например, фенотипическая информация в виде гистонов с сопутствующими полимеразами и другими ферментами является в значительной степени определяющей в реализации регламентов доступа к генетической информации (естественно, наряду с рассмотренными механизмами метилирования), т.е. участвует в управлении экспрессией генов.

Одна из общих парадигм молекулярной биологии в отношении главных биополимеров клетки сводится к тому, что управление их активностью осуществляется посредством изменения их конформации (формы молекулы в реальных условиях водного раствора цитоплазмы или кариоплазмы). Конформация чаще всего изменяется в результате присоеди-

нения (или отсоединения) к биополимеру других молекул, в том числе, и молекул других биополимеров. Двойная спираль ДНК в составе эукариотных хромосом сложна упакована и связана с белками-гистонами. Это затрудняет или делает, подчас, невозможным присоединение полимера, с помощью которых осуществляется транскрипция. Не вдаваясь в подробности биохимических процессов формирования гистонов и их совместной с молекулой ДНК упаковки в хромосомах, индивидуальной для каждого биологического вида, типа ткани и т.д., отметим, что эти механизмы создают принципиально новый феноменологический эффект, являясь определённым шагом в процессе ароморфоза биосферы. Многие последние исследования дают основание предполагать об архейном первородстве гистонов в симбиозном формировании современных эукариотных клеток. Это лишь ещё раз указывает на естественность эволюционных процессов, не смотря на их сложность, многоаспектность и нелинейность.

## **Эукариотная пространственная стратификация процессов синтеза нуклеиновых кислот.**

В эукариотных клетках на этапах их эволюции произошли по сравнению с прокариотами серьёзные изменения процессов формирования загрузочных программных моду-

лей (молекулы иРНК), которые управляют работой клеточных процессоров (рибисомы). Это, в значительной степени, было обусловлено и явилось фактически следствием результатов перестройки структурной топологии хранения первичной генетической информации.

Напомним, память генома прокариот (феноменологически – внешняя память) представлена одиночной хроматидой, которая организована топологически замкнутой кольцевой молекулой ДНК. С учетом *монопрограммности* информационного обеспечения прокариот такая топология создала возможность одновременной реализации на одной молекуле иРНК процессов транскрипции и трансляции. Характерным для этой ситуации является то, что в бактериальной клетке организована единая, без разграничения доступа информационная среда. Различия определяются лишь формой представления и носителями информации:

а) геном на ДНК,

б) операционные загрузочные программные модули однозначной актуализации генетической информации на молекулах иРНК,

в) первичные данные – аминокислоты с адресным обеспечением на молекулах тРНК,

г) фенотипическая информация на основе белковых молекул. При этом ресурсное обеспечение (включая энергообеспечение) реализуется в среде единой внутриклеточной протоплазмы на основе общего внутриклеточного метаболизма.

Необходимая вследствие мультипрограммности эукариот организация регламентации доступа к генетической информации, наряду с рассмотренными преемственными от прокариот механизмами, стимулировала появление новых физиологических (операционных) функций различных клеточных элементов. С этих позиций, можно обратить внимание на функции цитоплазматических мембран (ЦПМ). Также как и у прокариот ЦПМ эукариотных клеток продолжают играть активную роль не только в обеспечении тех или иных пограничных функций, но и функций своего рода клеточных органелл, которые способствуют реализации воздействия фенотипической информации на жизнь клетки. Такая активность естественно сопровождалась достаточно высокой интенсивностью динамических преобразований ЦПМ, на которых «опробовались» новые функции, как трансцендентного аспекта (интерфейсы взаимодействия клетки с окружающей средой), так и имманентного аспекта (участие в организации обратной связи влияния синтезированных белковых продуктов на экспрессию первичной генетической информации).

Одним из важнейших феноменологических актов формирования эукариотного эндоклеточного симбиоза можно считать то, что произошло не простое слияние клеточных оболочек в одну ЦПМ, а сформировалась новая структурная топология из двух несвязанных оболочек, расположенных одна в другой. Это позволило реализоваться существенной стра-тификации внутриклеточных ресурсов по возможностям



воздействия на них, как окружающей среды, так и продуктов внутриклеточного синтеза.

Внешняя клеточная оболочка практически оставила за собой функции регулирования трансцендентных трофических и энергетических отношений, оставив в стороне участие в имманентных информационных отношениях, присущее прокариотам. Исключение, по-видимому, составляют лишь процессы регулирования акта сингамии при прохождении сперматозоида в оплодотворяемую клетку. С одной стороны это ключевой фактор диплоидной парадигмы размножения эукариотных организмов, но с другой стороны это редкое трансцендентное эксклюзивное воздействие (явление), по крайней мере, в структуре многоклеточных организмов. При этом можно отметить, что материально-физический масштаб имплантируемого в яйцеклетку сперматозоида, как физического объекта, совпадает по масштабам с трофическими продуктами. Эволюционно это тесно коррелируется с развитием у эукариот фагоцитарной<sup>59</sup> формы питания на основе появления актиново-миозиновой системы (актин и миозин – универсальные сократительные белки клеток эукариот, отсутствующие у прокариот).

Утверждается, например В. В. Малахов: *«Появление таких эукариотных организмов необычайно ускорило биотический оборот, поскольку они стали потребителями бактериальной биомассы. Переваривая клетки бактерий, фа-*

---

<sup>59</sup> От греческого *φαγος* – обжора, пожирающий.

*готрофные эукариоты быстро возвращали в биотический круговорот элементы, которые до этого могли вернуться в него только путем медленного разложения... Способность к фаготрофному питанию предопределила возможность активизации появления у эукариот клеточных эндосимбионтов». Эти факторы вполне естественно оправдывают предположение о естественной стимуляции развития не только эукариот, но и биосферы в целом.*

В отличие от участия внешней плазматической мембраны лишь в трансцендентных системных клеточных отношениях, внутренняя, ставшая ядерной, ЦПМ стала полностью ориентированной на имманентные информационные отношения. В обеспечении устойчивости жизненных циклов клеток эффективность такого явления естественно определялась высокой значимостью организации регламентов доступа к генетической информации. Отметим, все непосредственные процедуры работы с первичной генетической информацией (репликация: ДНК→ДНК и транскрипция: ДНК→иРНК) происходят у эукариот в ограниченном замкнутом объеме ядра со своей кариоплазмой. Только по окончании интерфазы митотического цикла, когда фактически полностью завершены локальные формирование и структуризация не только хроматид, но и хромосом будущих дочерних клеток с их гистонами, только после этого начинается фрагментация (распад на отдельные цистерны) ядерной оболочки. Таким образом, в определенной степени, обеспечивается

глубокий и очень специфический регламент доступа к генетической информации.

Специализация внутриядерного метаболизма на синтез нуклеиновых кислот послужила, достаточно естественно, тому, что состав кариоплазмы стал существенно отличаться от состава цитоплазмы.

Высоко энергоемкие процессы формирования белков, ферментов на их основе, а также клеточных структур и оргanelл, остались вне ядра, реализовываясь непосредственно в цитоплазме. Это привело к обеднению кариоплазмы продуктами и веществами не участвующими в синтезе нуклеиновых кислот, например, аминокислоты. В отличие от этого в ограниченном объеме кариоплазмы требовалось наличие фактически всего клеточного ресурса элементов и соединений для синтеза нуклеиновых кислот (ДНК и весь спектр РНК).

Нужно отметить, что синтез нуклеиновых кислот в клетке по технологии тиражирования существенно отличается от процессов синтеза и тиражирования белков. Для белков на основе рибосомной многопроцессорности обеспечивается достаточно высокий порядок тиражирования. У белков, имеющих одну копию гена, и имеющих наибольшую скорость синтеза, (например, если взять миоглобин) за один оборот клеточного цикла на каждую молекулу иРНК приходится более 10000 молекул белка, т.е. с одного гена (элемента генетической информации) тиражируется до  $10^4$  экземпляров идентичных белковых продуктов. Фактически это

иллюстрирует одну из основополагающих парадигм организации внутриклеточных информационных отношений: генетическая информация мультиплицируется при переходе в фенотипическую информацию. Это достаточно естественно определяется тем, что для реализации информационных отношений, заложенных в геноме живых организмов, в каждой клетке практически с «нуля» должны быть созданы операционные структуры, обеспечивающие возможность реализации этих отношений.

Так как конкретное материальное воплощение создания hardware осуществляется процессами, создаваемыми и управляемыми в значительной степени уже не генетической, а фенотипической информацией, то именно на эти процессы в основном ориентирован внутриклеточный метаболизм в объеме протоплазмы, а так же тансцендентные трофическое и энергетическое обеспечения. Это принципиальным образом отличает живые организмы от искусственных вычислительных систем, функционирующих на «готовом» идентифицированном hardware. Хотя следует отметить, что нечто похожее осуществляется в суперкомпьютерах, но там это происходит, в основном, только на уровне software.

В отличие от мультипликативной парадигмы формирования фенотипической информации, процессы синтеза нуклеиновых кислот в клетке исключают мультитиражирование. Создаются только единичные копии генетически заложенной информации о необходимых нуклеиновых кислотах

и их количестве. Это касается, как процессов репликации ДНК, так и процессов формирования различных типов РНК. Этим охвачены все основные типы РНК, включая: рРНК и тРНК, как основа операционных средств реализации внутриклеточных информационных отношений, а также иРНК, как средства реализации оперативной памяти для исполнения программ синтеза белков. К этой категории относятся и промежуточные в феноменологическом смысле информационные объекты, такие как интерферирующие РНК (siRNA) и микро РНК (miRNA).

При этом следует обратить внимание, с одной стороны, на ограниченность объема клеточного ядра, а, с другой стороны, на то, что у высших организмов по сравнению с прокариотами существенно возрастает содержание ДНК на гаплоидную клетку: например, с  $4,2 \cdot 10^6$  пар нуклеотидов у *E. Coli* до  $3,3 \cdot 10^9$  пар нуклеотидов у человека. Не это ли явилось причиной накопления в геноме эукариот, так называемой, «ненужной», а иногда даже интерпретируемой как «мусорной», информации?

Тенденции обогащения генома эукариот информацией, не содержащей программ синтеза белков, наглядно иллюстрируются, например, процессами формирования молекул рРНК. Растущие клетки за один оборот клеточного цикла должны синтезировать порядка  $10^6$  молекул рибосомной РНК каждого типа, чтобы можно было осуществить сборку

необходимого количества рибосом, присутствующих в каждой клетке. Следует учесть, что здесь нет стадии трансляции, на которой могло бы произойти резкое увеличение выхода продукции, поскольку рРНК является конечным продуктом данных генов. В этом случае синтез необходимого числа молекул рРНК обеспечивается тем, что гены, кодирующие эти РНК, (гены рРНК), представлены в геноме клетки большим числом копий. У животных рибосомные гены составляют около одного процента от общего числа активных генов, и транскрипция рРНК соответствует 30–40% от общего объема клеточной транскрипции.

Более того, так как скорость общего синтеза белка в клетке определяется в значительной мере общим количеством рибосом, доступных для взаимодействия с иРНК, то в эукариотных клетках произошла еще одна топологическая стратификация клеточного объема. Уже внутри ядра практически на все этапы жизненного цикла клетки формируется, так называемое «ядрышко». В нем создаются условия стимуляции синтеза именно рибосомных полуфабрикатов, как основы создания внутриклеточной операционно-процессорной среды реализации информационных отношений.

С учетом этих сведений представляется достаточно обоснованной гипотеза, что именно топологическая системная стратификация, как форм хранения генетической информации, так и процессов синтеза генетической и фенотипической информации, способствовала активной адаптации и

развитию экзон-интронной организации структуры и архитектуры генома эукариотных клеток.

## **Процессинг и формирование программной информации синтеза белков.**

Процессы, связанные с непосредственной транскрипцией информации с молекул ДНК – постоянной («внешней») генетической памяти, на молекулы ядерной РНК (яРНК) и их «созревание» (актуализация) до возможности реализации на их основе «рабочих» конформаций процедурно активных форм молекул РНК (рРНК, тРНК, иРНК и малых форм молекул РНК) получил название *процессинг* синтеза РНК.

Можно отметить, что явление процессинга в той или иной мере присуще всем ветвям видовой специализации Земной Биоты<sup>60</sup>, начиная с самого высокого уровня: эукариоты (Eukaryota) и прокариоты (Prokaryota), включая: археи (Archaea) и эубактерии (Eubacterium). Это подчеркивает реликтовость этого явления. Конечно, в ходе эволюции происходила определённая специализация различных механизмов процессинга в соответствии с ароморфозом видового многообразия. Можно уверенно отметить два принципиальных феноменологических различия в направлении адапта-

---

<sup>60</sup> От древне-греческого *βιοτι* – жизнь.

ции механизмов процессинга, которые проявляются на всём протяжении эволюции живых организмов. Это:

а) обеспечение синергетической увязки клеточного *hardware* в структурной компоновке и процедурной синхронизации;

б) развитие *software* на основе вовлечения его «недекларированных возможностей» в функциональную структуру клеточного информационного обеспечения.

Естественно, в реальных условиях средства реализации этих направлений чаще всего не только тесно связаны и пересекаются, но не редко одни и те же элементы одновременно участвуют в выполнении функциональной нагрузки по обоим направлениям. В определённой степени это схоже с упомянутой проблематикой увязки специализированных и универсальных информационно-вычислительных комплексов. В обоих случаях глубокое перекрытие средств порой затрудняет эффективный анализ изучения таких систем.

Обеспечение синергетической увязки клеточного *hardware* и процедурной синхронизации процессинга РНК обычно связано с концевыми (оконечными) структурами синтезируемых молекул РНК (например кепування, полтиаденилирование и другие возможные действия удаления, присоединения и модификации окончных нуклеотидов). В отличие от этого, модификация и развитие *software* наряду с перечисленными процедурами в основном определяется эк-



зон-интронной организацией клеточных геномов. Её порождением являются различные процедуры сплайсинга<sup>61</sup> молекул пре-РНК, транскрибируемых с молекул ДНК (формализация и операционная актуализация генетической информации). Это наблюдается, как в эволюционных процессах, так и во внутренних клеточных жизненных циклах.

Можно отметить, что все процедуры сплайсинга в той или иной степени опираются на вторичные и трехмерные пространственные структуры молекул РНК. Кстати, именно благодаря этому уровню организации молекул РНК образовались внутриклеточные операционные средства (рРНК, тРНК), обеспечивающие возможности программной реализации внутриклеточных информационных отношений на основе генетической и фенотипической информации. Создаётся впечатление, что экзон-интронная структура генома на начальных эволюционных этапах явилась некоторым побочным результатом синтеза клеточных РНК в условиях (пусть эпизодического, но устойчиво существующего) межклеточного параллельного переноса информации и возможностей процессов трансцендентной генетической рекомбинации (например, типа конъюгации). Интроны, так или иначе включенные в структуру генома, после транскрипции и процедур сплайсинга не имели в структуре клеточной протоплазмы комплементарных протеиновых комплексов для образования каких-либо функционально значимых структур.

---

<sup>61</sup> От английского *splice* – сращивание, склеивание конца с чем-либо.

Это в свою очередь приводило к формированию процессов утилизации не востребуемых фрагментов транскрибируемых пре-РНК, по сути дела, чем и является сплайсинг. Замкнутость этих процессов на уровне взаимодействия лишь молекул РНК (фактически без привлечения ферментов с протеиновыми компонентами) и единообразие этих процессов для всех ветвей биоты, по-видимому, говорит о глубокой древности формирования этих процессов. Эта реликтовость в очередной раз подчеркивает единство живой природы на Земле.

Исследования экзон-интронной архитектуры организации генетической информации показали определенную самостоятельность их «жизненных циклов», как в структуре клетки, так и в её потомстве. После вырезания из пре-РНК и формирования выделенного интрона, его отношения с генетическим аппаратом клетки достаточно схожи, например, с внутриклеточной жизнью плазмид. Особенно, если учитывать возможности обратной транскрипции, т.е. синтеза ДНК на матрице РНК интрона. Вместе с тем, именно имманентная сущность интронов, как мобильных генетических элементов, является их основным отличием от других представителей этого класса генетических структур. Действительно, они находятся в структуре генома, а не приходят в клетку извне. Это свойство весьма существенно оказало своё влияние в ходе формирования и адаптации механизмов регуляции внутриклеточной жизнедеятельности интронов для раз-

личных групп биоты.

Оказалось, что имеются существенные различия в РНК-процессинге некодирующих РНК (рРНК, тРНК, мяРНК и др.) и пре-иРНК. Для некодирующих РНК экзон-интронная организация генома достаточно широко и схоже представлена во всех ветвях биоты. Этот класс молекул РНК после полного завершения транскрипции находится свободно в пространственном состоянии, что даёт возможность организации и формированию их вторичной и пространственной структуры на основе процессов супрамолекулярной химии (в частности, свёртывания, подобно белкам).

Для прокариот и эукариот фактически идентичны процессы супрамолекулярного формирования вторичной (пространственной) структуры молекул РНК операционных клеточных структур (органелл).

Представляется, что достаточно аналогично и формирование интронов этой группы молекул РНК в прокариотном и в эукариотном надцарствах.

Вместе с тем, возможности тиражирования интронов у прокариот значительно ограничены за счет жесткости процедур репарации синтеза кольцевых замкнутых молекул ДНК. В то же время, незамкнутая топология хромосомных молекул ДНК создаёт больше свободы имманентного включения интронных копий в структуру генома. Ни этим ли объясняется слабая распространенность этого типа мобильных генетических элементов у прокариот и широкое распростране-

ние их у эукариот? Для сравнения: у эукариот отношение интроны/экзоны (по длине) равно 9:1, а у прокариотов это соотношение обратное, 1:9.

С этих позиций интересны результаты исследования биологов из Техасского университета в Остине термофильной цианобактерии *Thermosynechococcus elongatus*, обитающей в горячих источниках. Это единственная бактерия, в геноме которой обнаружено много – целых 28 – интронов группы II. Результаты этих исследований показали, что при определённых условиях, особенно при высокой температуре, бактериальные интроны группы II могут размножаться очень быстро и встраиваться в разнообразные участки хозяйской ДНК. Высокая температура облегчает расплетение двойной спирали ДНК.

Этим, по-видимому, по мнению исследователей объясняется тот факт, что единственной бактерией, в чьем геноме интронам группы II удалось размножиться, оказался термофильный *T. elongatus*.

Этот пример может служить иллюстрацией того, почему у архей – обитателей анклавов с экстремальными термическими условиями, сформировалась инфраструктура hardware, способствующая реализации возможностей экзон-интронной организации генома с альтернативным сплайсингом<sup>62</sup>.

---

<sup>62</sup> При альтернативном сплайсинге из молекулы пре-иРНК вырезаются различные комбинации интронов, а перекомбинированные экзоны сшиваются и формируют различные зрелые иРНК. В результате из одного гена, не смотря на однозначную транскрипцию пре-иРНК, формируются многие виды зрелой иРНК

Пусть у архей распространение получила лишь ограниченная вариативность альтернативного сплайсинга, но динамика изменения среды в экстремальных анклавах, видимо, способствовала формированию процессинга РНК, который в условиях формирующегося эукариотического эндосимбиоза стал прототипом этого процесса в царстве эукариот.

Двухкамерная топология эукариотических клеток привела к возникновению специфических особенностей процессинга РНК у эукариот по сравнению с прокариотами. В то же время, можно отметить, что результаты процессинга некодирующих РНК в клетках организмов обоих надцарств феноменологически практически идентичны, не смотря на различные условия реализации (созревание транскрибируемых молекул пре-рРНК и пре-тРНК для прокариот в среде клеточной протоплазмы, а для эукариот в среде клеточного ядра). В отличие от этого, созревания транскрибируемых молекул кодирующих РНК (пре-иРНК) у прокариот и эукариот разнятся не только и не столько условиями протекания реализации процессинга, сколько новыми феноменологическими возможностями клеточного информационного обеспечения. Эта феноменологическая новизна связана с активностью альтернативного сплайсинга у эукариот. В результате этого, например, при наличии у человека всего –  $10^3$  генов, кодирующих белки, видов белков в клетках человека насчитывается до  $10^6$  (согласно результатам проекта ENCODE – и, соответственно, много разных белков.

Энциклопедия элементов ДНК, 2012г.).

В прокариотных клетках для каждой молекулы иРНК процессы транскрипции и трансляции происходят одновременно. Вследствие этого возникают серьёзные ограничения плацдарма, на котором могут развиваться и проявляться факторы вторичной структуры молекул иРНК. Кроме того, у прокариот в их жизненных циклах не регламентированы акты конъюгации, во время которых происходит модификация генома. Эти акты возникают эпизодически случайным образом лишь в процессах межклеточного параллельного переноса генетической информации между прокариотными организмами. Для внутриклеточных информационных отношений они являются внешними – трансцендентными, воздействиями, не зависящими от клеточной генетики. Возможно, именно этими обстоятельствами объясняется ограниченность вариативности белкового спектра прокариот, которая формируется на основании экзон-интронной организации генома.

В эукариотных организмах линейная структура хромосом в определённой степени сняла жесткость ограничений на процессы тиражирования интронов. На это накладывається четкая регулярность межхромотидной конъюгации в актах сингамии диплоидных организмов. Возможно именно это определило распространённость альтернативного сплайсинга и доменный характер варибельности белков многоклеточных эукариотных организмов.

# Митохондрии

Наличие в клетках эукариотных организмов оформленного ядра, внутри которого осуществляется хранение и обработка генетической информации, долгое время считалось наиболее важным отличием эукариот от прокариот. В определенной степени это коррелируется с целью настоящих очерков – показать значимость информационных отношений организации Жизни на нашей планете. Однако уже к середине XX века стало ясно, что эта форма локализации генетической информации у эукариот является лишь следствием более глубоких различий. Мы старались постоянно подчеркивать, что эволюция биосферы, связанная с развитием и усложнением информационных отношений жизненных циклов живых организмов, обеспечивается только в условиях комплиментарного синергетически увязанного изменения и усложнения software и hardware структур. Одной из ярких иллюстраций этого положения являются митохондрии в структуре эукариотных клеток.

В настоящее время распространена достаточно обоснованная гипотеза, что в ряду последовательных симбеогенетических актов становления эукариотных организмов одним из начальных является приобретение митохондрий. Именно это явление часто рассматривается как ключевой момент в становлении эукариот. Такое мнение, в частности, достаточ-

но уверенно подкреплено молекулярными данными, указывающими на монофилетическое (то есть от одного предка) происхождение митохондрий всех эукариот.

Митохондрии – особые внутриклеточные эукариотные органеллы, основной функцией которых является синтез АТФ – универсального носителя энергии в живых организмах. Дыхание (поглощение кислорода и выделение углекислого газа) происходит также за счёт энзиматических систем митохондрий. Митохондрии есть практически во всех эукариотных клетках в отличие от прокариот, у которых нет митохондрий (ибо митохондрии, по сути, сами являются прокариотами). Не смотря на соматические различия у конкретных видов эукариот (включая: простейшие, царства растений, грибов и животных), структура всех митохондрий похожа и функция их неизменно одна и та же – это «энергетические станции» эукариотных клеток. Именно и только в митохондриях происходит такой процесс, как клеточное дыхание.

Пример митохондрий является наглядной иллюстрацией пластичности возможностей синергетической комплиментарности клеточного эндосимбиоза. На протяжении одного жизненного цикла клеток эукариотных организмов митохондрии, фактически, являются самостоятельными организмами, создающими к тому же внутри клеток свои самостоятельные популяции. В значительной степени жизненные циклы митохондрий достаточно независимы внутри жизнен-



ного цикла их эукариотной клетки-хозяина. При этом внутренняя энергетика митохондрий в некотором смысле минимизирована за счет активного привлечения готовых биоресурсов клетки-хозяина для реализации процессов размножения митохондрий. В основном это касается белкового материала, синтез которого по многим позициям обеспечивается клеткой-хозяином. С феноменологической точки зрения структура информационных отношений митохондрий и клетки-хозяина фактически оформляются на трансцендентных уровнях как взаимодействие взаимосвязанных, но самостоятельных, систем.

Представление о реликтовости митохондрий связано с тем, что у них собственная система кодирования генетической информации (свой генетический код) – более примитивная в сравнении с системой кодирования активной части (генетическая информация для организации синтеза белков) геномов эукариот. При этом множества «данных» для синтеза белков (множество аминокислот, участвующих в синтезе белков) для обеих систем кодирования идентичны. Особенно, на наш взгляд, интересно отметить процедуру синтеза митохондриальной ДНК на матрице РНК, транскрибируемой, в свою очередь, с хромосомной ДНК клетки хозяина. Обычно это происходит в самом начале клеточного цикла вновь рожденной эукариотной клетки. Так обеспечивается передача митохондриального генома в процессах развития эукариотных организмов. Пока нет достаточно обоснованных сце-

нариев включения митохондриальных геномов в хромосомную структуру эукариотных клеток, но процессы формирования экзон-интронной архитектуры геномов эукариот позволяют предполагать достаточно естественные возможности и на их основе различные варианты реализации этого явления, которое закрепилось во всех эукариотных клетках. Следует напомнить о связи митохондриальных геномов только с X-хромосомами эукариотных организмов, что так же определенным образом свидетельствует о реликтовости симбиоза митохондрий в эукариотных клетках.

В одной из своих работ профессор кафедры беспозвоночных МГУ В. В. Малахов приводит эмоции известного сторонника теории симбиогенеза американского биолога Л. Томаса: *«Обычно на митохондрии смотрят как на порабощенные существа, взятые в плен, чтобы снабжать АТФ клетки, и не способные дышать самостоятельно. С этой рабовладельческой точки зрения смотрят на дело и солидные биологи, которые сами – все эукариоты. Но с точки зрения самих митохондрий они – существа, которые давным-давно нашли для себя лучшее из возможных пристанищ, где можно жить, затрачивая минимум усилий и подвергаясь наименьшему риску... Вот они движутся в моей цитоплазме, дышат для нужд моего тела, но они – чужие. Мне жаль, что я не могу познакомиться с моими митохондриями поближе. Когда я сосредоточусь, я могу представить, что ощущаю их, не то что я чувствую, как они извиваются, но*

*время от времени я воспринимаю какой-то трепет. Я не могу отделаться от мысли, что если бы я знал больше о том, как они достигают такой гармонии, я бы по-другому понимал музыку».*

# Специализация эукариотных клеток для организации многоклеточных организмов

В предыдущих разделах рассмотрены представления о том, как вследствие клеточного эндосимбиоза сформировалась в эукариотных клетках мультипрограммная структура, морфология которой с точки зрения организации хранения генетической информации определяется диплоидностью. На этой основе эволюционное развитие механизмов воплощения процессов размножения организмов привело к новой феноменологической парадигме организации информационных отношений тансцендентного характера – половой процесс (*создание новых комбинаций генов, происходящих от двух разных особей*) как обязательное явление в жизненном цикле эукариотных организмов. Объединение этого явления с явлением клеточного размножения (*возникновение новых особей*) сформировалось половое размножение эукариотных организмов. На уровне организмов это архитектурные интерфейсы, которые определяют обусловленное половым процессом влияние внешних воздействий на содержание и реализацию генетических программ развития зигот и последующих за этим явлений. В определенной степени это как бы феноменологический фактор, представляющий со-

бой влияние внешней среды на процессы функционирования имманентной структуры клеток. Но не только эта сторона системных отношений клеточной организации затронута при возникновении мультипрограммности клеточного генезиса. Мультипрограммность явилась основой феноменологических трансформаций, определяемых системными отношениями, обращенными изнутри системы во вне её ( $S_{IT}$  – компонента феноменологической модели систем). Ранее отмечалось, что именно этот класс системных отношений создает предпосылки экологической коэволюции системы в последовательности её жизненных циклов и среды её обитания.

История эволюции жизни на Земле, показывает, что организмы прокариотного надцарства с монопрограммной организацией реализацией информационных отношений, организуя поистине глобальное воздействие на среду обитания (например, формирование кислородной атмосферы, залежи серы, железистые отложения и т.п.), в своей системной сложности остались лишь на уровне одноклеточных организмов. В отличие от этого, в эукариотном надцарстве с мультипрограммным пулом генетической информации возникли процессы ароморфоза организмов за счет создания многоклеточных ассоциаций (многоклеточные организмы) на основе единого пула генетической информации. Трансцендентная сущность этих отношений связана с тем, что вновь создаваемые специализированные клетки в ходе онто-

генеза эукариотных организмов являются, по сути, внешними структурами относительно системы породившей их материнской клетки.

В прокариотной биосфере достаточно естественно происходили процессы формирования различного вида многоклеточных конгломераций. Это были как однородные, так и гетерогенные структуры. Среди современных видов можно отметить, например, стрептококки и палочки (могут образовывать цепочки клеток), стафилококки (напоминают виноградную гроздь), цианобактерии (одноклеточные, нитчатые и колониальные микроорганизмы, способные к формированию толстых бактериальных матов). Формирование всех этих конгломераций регулируется не генетическими причинами, а экологическими условиями сосуществования участников таких объединений. Это, в свою очередь, обуславливает специализацию и приспособляемость каждого вида генетически независимых одноклеточных организмов агломерации к конкретным условиям среды и экологически сложившимся отношениям. Любые изменения этих аспектов приводят либо к гибели каких-либо компонент конгломерации, либо к вариации и возникновению новых микробиологических клонов на основе комбинаторного трансгенозиса геномов прокариотных клеток. При этом у прокариотных микроорганизмов, как показывает ход развития жизни на Земле, в пределах одиночной хроматиды в информационно-генетическом обеспечении нет имманентных предпосылок и

возможностей для организации процессов их ароморфоза. Следствием этого является то, что прокариоты как возникли в виде одноклеточных организмов, так и остаются такими на всем протяжении истории Жизни на Земле.

В отличие от монопрограммных прокариот генетическое информационное обеспечение эукариотных клеток представляет собой мультипрограммный пул, управление которым при развитии многоклеточного организма осуществляется на основе фенотипической информации с помощью генетически оформленных программных средств, реализующих функции, в частности, операционной системы.

Важным отличием возникающих при этом феноменологических трансформаций является то что, они обусловлены имманентными факторами, которые проявляются за счет фенотипической информации, создающейся в ходе процессов клеточного развития именно на основе генетической информации (а не за счет привходящих внешних воздействий, как, например, в акте сингамии при половом размножении). Именно эта феноменология, обусловленная актами митоза, проявляется при развитии многоклеточных эукариотных организмов.

На протяжении длительного времени методы исследования развития организмов носили характер описательного наблюдения. Например, подобно Аристотелю, который исследовал процесс эмбрионального развития куриных зародышей, ежедневно вскрывая по одному яйцу высиживаемой ку-

риной кладки, и отмечая происходящие изменения в развитии эмбриона. На основе методов описательного наблюдения к концу XVII столетия в научной среде сформировалась гипотеза *преформации*<sup>63</sup>, которая объединяла в себе понятия развития и наследственности. В соответствии с этой гипотезой считалось, что все органы взрослого организма представлены в миниатюре в половых клетках: в яйцеклетке (*овисты*<sup>64</sup>) или в сперматозоиде (*анималькулисты*<sup>65</sup>). Эти гипотезы основывались как на интерпретации экспериментальных данных, так и на философских концепциях того времени.

Новые представления о развитии многоклеточных организмов начали складываться, пожалуй, в конце XIX столетия с работ А.Вейсмана, который ввел в практику исследований экспериментальное вмешательство в развитие организмов. С.Гильберт так оценивает результаты этого методологического метаморфоза. *«Стало понятно: многоклеточные организмы не возникают полностью сформированными. Напротив, они формируются в результате сравнительно медленного процесса прогрессивных изменений, который мы называем развитием. Почти во всех случаях развитие многоклеточного организма начинается с одной клетки – оплодотворенного яйца, или зиготы, которая митотически де-*

---

<sup>63</sup> От латинского *praeformare* – преобразование.

<sup>64</sup> От латинского *ovum* – яйцо

<sup>65</sup> От латинского *animalculum* – уменьшительное от *animal* – животное



лится и дает начало всем клеткам организма.

...Центральная гипотеза генетики развития заключается в том, что дифференцировка клеток происходит без генетических изменений <sup>66</sup>Другими словами, предполагает, что в любом организме соматические клетки содержат одинаковый набор генов. Следовательно, разные типы дифференцированных клеток должны использовать разные гены из этого общего для всех клеток наследственного материала. Данные, положенные в основу гипотезы дифференциальной экспрессии генов, получены как в генетических, так и эмбриологических исследованиях».

Приведенные цитаты четко отражают сложившееся к настоящему времени представление о том, что развитие многоклеточных эукариотных организмов определяется информационными отношениями и процессами, инициируемыми на их основе. Подчеркивается, что базовой информацией является пул генетических программ, структурированных в виде клеточных хромосом, включающих в себя в качестве основы молекулы ДНК, жестко фиксированные на уровне первичной структуры (под которой подразумевается их нуклеотидная последовательность) для конкретного организма.

Можно отметить, что процессы дифференциации клеток многоклеточного организма при фиксированности его пула программной генетической информации феноменологи-

---

<sup>66</sup> Речь идет о содержании и структуре генетической информации, представляемой молекулами хромосомных ДНК каждой клетки. *ред.*

чески в значительной степени сходны с эксплуатационной специализацией компьютерных установок. На основе применения операционных систем возникают возможности от узкой специализации до широкой универсализации компьютерных установок, а так же их функциональное перепрофилирование в ходе эксплуатации. Таким образом возникают конструктивно комплиментарные условия организации корпоративных систем, специализированных и достаточно замкнутых в отношении прикладных информационных отношений, что достигается, естественно, лишь при определенном конформизме *software* и *hardware*. В определённой степени это может представляться (интерпретироваться в феноменологических аспектах) аналогом многоклеточных организмов в биосфере.

Молекулы ДНК, как было показано раньше, феноменологически эквивалентны внешней памяти компьютерных установок. Отмечалось, что семантическая и операционно-функциональная значимость внешней памяти проявляется на всем жизненном цикле компьютерных установок. Тем самым обеспечивается возможность тиражирования *software*, а вместе с этим и возможность тиражирования непосредственно новых компьютерных установок. Фактически полная аналогия этому наблюдается в жизненных циклах клеток многоклеточных эукариотных организмов. В обеих ситуациях (технические и естественные биологические системы) одними из основополагающих факторов являются

возможность и формы реализации специализации корпоративных компонент. Для живой природы – это специализация клеток многоклеточных организмов. Необходимо подчеркнуть, что суть специализации клеток, как феноменологического аспекта организации организмов в живой природе имеет смысл лишь в структуре многоклеточных организмов. Для простейших (одноклеточных эукариот), как и для прокариот, предмета специализации клеток с полноформатным геномом по сути не существует, так как организмы представляются единственной клеткой. В тоже время, в отличие от прокариот, даже у простейших эукариот фактически уже присутствует специализация клеток, связанная с диплоидностью генома эукариотных организмов – это образованием половых клеток. Подчеркнем, что это явление касается лишь некоторого временного этапа в масштабе жизненных циклов эукариотных организмов. При реализации мейоза, на основе которого эукариотный диплоидный геном временно разделяется на гаплоидные компоненты, в дальнейших этапах жизненного цикла эукариотных организмов обеспечивается реализация полового размножения в результате акта оплодотворения (сингамии). Вновь происходит переход от гаплоидной формы к диплоидной на основе слияния содержащихся в гаметах гаплоидных ядер с образованием диплоидной зиготы – клетки, содержащей двойной набор хромосом (полноформатный геном эукариотной клетки).

В феноменологическом представлении половая специа-

лизация не только для клеток, но и в целом для эукариотных организмов – более высоком уровне системной организации, может представляться как некоторый трансцендентный фактор, в свою очередь, обеспечивающий устойчивость *биологического вида* – еще более высокого уровня системной организации биосферы. В то же время, являясь фактором имманентного уровня внутривидовых системных отношений, процессы половой специализации клеток, естественно, приобретают существенное своеобразие в организации интерфейсов и протоколов для каждого биологического вида. Так, например, у полистомеллы (*Polystomella* 1a) и у жгутиконосца политомы (*Polytoma*) цитоплазма и ядро материнской особи в результате многократного деления образуют до тысячи малых клеток, каждая из которых снабжена двумя жгутиками. Это и есть гаметы. Они не имеют морфологической дифференциации (изогамия). Гаметы плавают в морской воде, при встрече с гаметами других особей происходит акт копуляции, который дает начало новому организму. В отличие от этого, для многоклеточных эукариотных структур половая специализация клеток обычно связана с морфологической анизогамией. Это наблюдается от примитивных многоклеточных эукариотных образований, например, колониальных жгутиконосцев (*Pandorina togum*) до высших растений и животных. В определенном феноменологическом представлении процессы половой специализации клеток фактически идентичны для всего надцарства эукариотных организмов,

так как реализуются на основе единообразного акта деления генома в процессе мейоза. С точки зрения системного подхода это относится к имманентному уровню стратификации клеточных информационных отношений, так как для простейших мейоз является завершающим актом жизненного цикла конкретного организма, а для многоклеточных эукариот в ходе развития организма на основе митотических делений клеток клеточный геном организма остается без изменений. Все половые клетки, формируемые в ходе жизненного цикла организма идентичны.

Наряду с половой специализацией клеток эукариотных организмов у многоклеточных эукариот присутствует широкий спектр специализации соматических клеток. Как указывалось ранее, для всего эволюционного многообразия многоклеточных эукариотных организмов базовым основанием специализации их соматических клеток являются процедуры альтернативного сплайсинга. Совместно с процедурами экспрессии генов для каждого этапа развития организмов создается уникальная конфигурация загрузочных программных модулей, обеспечивающих работу клеточных процессоров (рибосом). Следует отметить, как указывают многие авторы, что процедуры альтернативного сплайсинга способствуют доменному характеру варибельности белков многоклеточных эукариотных организмов. Это в свою очередь способствует организации эффективной синергетической увязки не только внутриклеточных процессов, но и

жизнеобеспечения всей структуры многообразия многоклеточных эукариотных организмов. Ведь развитие организма идет на апробированных эволюцией структурах инсталлируемого внутриклеточного программного обеспечения и совокупности этих инсталляций.

Не вдаваясь в процессы развития организмов, можно лишь отметить, что дифференциация и специализация соматических клеток принципиально не изменяют смыслового содержания генетической информации в ходе развития эукариотных организмов. Возможно, именно это с учетом доменного характера вариабельности белков многоклеточных эукариотных организмов привело к древообразному графу видового многообразия в ходе эволюции биосферы.

# Заключение

В ходе сбора материалов и непосредственного написания настоящих очерков у авторов постоянно присутствовали определённые сомнения в связи с отсутствием абсолютно четких формулировок (определений) самых первичных по обсуждаемой теме понятий: Жизнь и Информация. Преодоление этой коллизии, для себя, мы оправдывали на основании положений теоремы Гёделя. Использование этих понятий в качестве базовых постулатов, на наш взгляд, достаточно правомерно, так как мы не видим заложенных в них явных (формально ощущаемых) противоречий. По мере погружения в тематику мы ощущали всё большую склонность представлять эти понятия, а так же понятие Система, как некоторые философские категории, с вытекающими из этого последствиями диалектики в их отношениях.

Мы постоянно убеждались, что Жизнь (Живая природа) и Информация, оформляясь и структуризируясь как Системы, находятся не только в диалектических отношениях, но являются и взаимно порождающими категориями. Мы не смогли найти реального примера, а так же у нас не хватило фантазии, представить Жизнь без информации и Системной организации.

Приведенные сведения, на наш взгляд, являются достаточно обоснованной интерпретацией возможности есте-

ственного образования биосферы на нашей планете, поддерживающей гипотезу, что истинным источником эволюции биосферы является наследственная изменчивость, в результате реализации имманентных потенций процессов конвариантной редупликации живых организмов, основанных на развивающихся в них информационных отношениях.

Мы старались подчеркнуть разноформатность и многоуровневость даже внутриклеточных информационных отношений, представленных, так или иначе, в дискретной форме информационных объектов. Именно в этой форме производится программная реализация (в смысле Э. Поста, Ф.Тьюринга, фонДж.Неймана) информационных отношений, обеспечивающих управление жизненными внутренними процессами клеток живых организмов.

На наш взгляд, усложнение многоуровневости информационного обеспечения является имманентной способностью (потенцией) биосферы, порождающей её эволюцию. Естественно мы не снимаем важность процессов преобразования материальной субстанции как отдельных живых организмов, так и биосферы в целом. Действительно, развитие Жизни возможно и происходит только в процессе коэволюции биосферы, как открытой системы, и окружающей среды.



# Приложения

## Приложение 1

### Геохронологическая история

Геохронология отражает последовательность формирования и возраст горных пород, слагающих земную кору. Различают два подхода геохронологии: относительная геохронология и абсолютная геохронология. Относительная геохронология заключается в определении относительного возраста горных пород, который дает представление о том, какие отложения в земной коре являются более молодыми и какие более древними. Абсолютная геохронология устанавливает абсолютный возраст горных пород, выраженный в единицах времени (обычно в миллионах лет). Совмещение этих двух подходов позволило сформулировать некоторую геохронологическую стратификацию, получившую название стратиграфическая геохронологическая шкала.

Подразделения этой шкалы были утверждены в 1881 г. на 2-м Международном геологическом конгрессе в Болонье и с тех пор являются общепринятыми во всем мире. В дальнейшем, благодаря совершенствованию методов исследования и накоплению новых данных, в первоначальную схему

геохронологии земли вносят некоторые изменения и уточнения. По традиции названия подразделений шкалы включают стратиграфическую (отражающую, в основном, относительный геохронологический подход) и хронологическую (ориентированную на абсолютный геохронологический подход) терминологию. В *Таблице П.1.1* приведена иерархия соподчиненности принятых подразделений.

*Таблица П.1.1*<sup>67</sup>.

<i>Подразделения</i>		Пояснения
Стратиграфические	Хронологические	
Эонотерма	Эон	Геохронологическая стратиграфическая шкала включает два зона: <i><u>Докембрий</u></i> – ранний период развития Земли с возрастом >10 <sup>9</sup> лет; <i><u>Фанерозой</u></i> – период развития земной коры, характеризующийся достоверными органическими остатками в горных породах.
Эратерма (группа)	Эра	Характеризуются глобальными масштабами, охватывая весь земной шар
Система	Период	
Отдел	Эпоха	
Ярус	Век	
Зона	Время	

Для определения относительного возраста слоистых пород применяется принцип последовательности напластования

<sup>67</sup> По материалам: Келлер Б. М., Тугаринов А. И., Войткевич Г. В. ГЕОХРОНОЛОГИЯ. БСЭ. Третье издание. – М.: Советская энциклопедия, 1971.

ния. Относительный возраст интрузивных пород и других неслоистых геологических образований определяется по соотношению с толщами слоистых горных пород. Послойное расчленение геологического разреза для установления последовательности напластований составляет стратиграфию данного района. Для сравнения стратиграфии удаленных друг от друга территорий используется палеонтологический метод, основанный на изучении захороненных в пластах горных пород окаменевших останков животных и растений. Сопоставление окаменелостей различных пластов позволило установить процесс необратимого развития органического мира и выделить в геологической истории Земли ряд этапов со свойственным каждому из них комплексом животных и растений. Это в значительной степени и отражает стратиграфическая геохронологическая шкала. Более того, первичная стратификация эонов основана на идентификации или не идентификации органических остатков в горных породах. Фанерозой – от греческого *φάνερός* явный + *ζωός* живой. В *Таблице П.1.2* приведена геохронологическая шкала и история развития живых организмов.

*Таблица П.1.2*<sup>68</sup>. **Возраст** (Начало/Продолжительность) = **Годы** $\times 10^6$

---

<sup>68</sup> По материалам: Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. БИОЛОГИЯ. Под ред. Сопера В.. В трех томах. Пер. с англ. под ред. Медникова Б. М. и Нейфаха А. А. – М: Мир, 1990.

Эон	Эра	Период (система)	Возраст	Животные *	Растения *
Фанерозой	Кайнозойская	Четвертичный (Антропогенная)	2/2	Господство человека.	Адаптивная радиация цветковых растений, особенно травянистых.
		Неогеновый (Третичный)	25/23	Адаптивная радиация млекопитающих.	
		Палеогеновый (Третичный)	67/42	Появление человекообразных обезьян	
	Мезозойская	Мел	137/70	Появление плацентарных млекопитающих и современных рыб. Исчезновение динозавров.	Доминирование цветковых растений.
		Юра	195/68	Появление млекопитающих и птиц. Доминирование динозавров; обилие насекомых.	Появление цветковых растений.
		Триас	230/35	Появление динозавров. Адаптивная радиация пресмыкающихся.	Обилие саговниковых и хвойных.
	Палеозойская	Пермь	285/55	Адаптивная радиация пресмыкающихся. Появление жуков. Исчезновение трилобитов.	Появление хвойных
		Карбон	350/75-65	Появление пресмыкающихся и насекомых. Адаптивная радиация земноводных.	Обилие древовидных папоротников.
		Девон	410/60	Появление земноводных, аммонитов и паукообразных. Адаптивная радиация рыб.	Первые мохообразные и папоротникообразные.
		Силур	440/30	Появление челюстигнотых; первые коралловые рифы.	Первые споровые сосудистые растения.
		Ордовик	500/60	Появление позвоночных – бесчелюстных. Обилие трилобитов, моллюсков, и ракообразных.	
		Кембрий	570/70	Появление всех типов беспозвоночных и иглокожих	

<b>Докембрий</b>	<i>Протерозой</i>	Верхний (Рифей)	1600/1030	Примитивные многоклеточные	
		Средний	1900/300	Примитивные эукариоты	
		Нижний	2600/700	Прокариоты: сине-зеленые водоросли (цианобактерии), бактерии	
	<i>Архей</i>		>3500	Образование Земли и возникновение жизни.	

Обращает на себя внимание то, что в нижнем протерозое одновременно сформировалась система жизни прокариотических автотрофных и гетеротрофных микроорганизмов, которая существует до настоящего времени и в значительной степени определяет углеродно-кислородный баланс на нашей планете, не смотря на всю дальнейшую эволюцию животного и растительного мира. В отличие от этого, для многоклеточных эукариотов (истинные животные и растения) эволюция развитие гетеротрофных (животных) организмов значительно опережает эволюцию развития автотрофных растительных организмов. Первые споровые сосудистые растения появились лишь через миллиард лет после появления подобных структур животного царства, и дальнейшая их эволюция проявляет ощутимую корреляцию с развитием животного мира. Это наблюдение иллюстрирует активность нетрофических отношений при формировании процессов эволюции жизни.

Астрономические (спектральные) данные о составе Солнца и данные о химическом составе метеоритов показывают

о совпадении распределения химических элементов в космических телах солнечной системы. Это позволяет судить о распространенности химических элементов на Земле и на других планетах. Наиболее распространенные элементы (изотопы) имеют четные по протонам и нейронам ядра:  $C^{6}_{12}$ ,  $O^{8}_{16}$ ,  $Mg^{12}_{24}$ ,  $S^{16}_{32}$  и многие другие. Легкие элементы Li, Be, В находятся в дефиците, т.к. «сгорают» в реакциях с протонами. Ядра элементов конца Менделеевской системы имеют огромный избыток нейтронов и потому неустойчив.

В таблице *П.1.* представлены данные о распространении химических элементов в живой которые иллюстрируют значительное совпадение распределений в рамках наиболее устойчивых и химически активных элементов.

*Таблица П.1.3*<sup>69</sup>

---

<sup>69</sup> По материалам: Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. БИОЛОГИЯ. Под ред. Сопера В.. В трех томах. Пер. с англ. под ред. Медникова Б. М. и Нейфаха А. А. – М: Мир, 1990.

Главные элементы органических молекул	Ионы	Микроэлементы	
<b>H</b> водород	<b>Na<sup>+</sup></b> натрий	<b>Mn</b> марганец	<b>B</b> бор
<b>C</b> углерод	<b>Mg<sup>2+</sup></b> магний	<b>Fe</b> железо	<b>Al</b> алюминий
<b>N</b> азот	<b>Cl</b> хлор	<b>Co</b> кобальт	<b>Si</b> кремний
<b>O</b> кислород	<b>K<sup>+</sup></b> калий	<b>Cu</b> медь	<b>V</b> ванадий
<b>P</b> фосфор	<b>Ca<sup>2+</sup></b> кальций	<b>Zn</b> цинк	<b>Mo</b> молибден
<b>S</b> сера			<b>I</b> иод

Другая ситуация возникает, если рассматривать состав химических соединений (химических веществ) живой и неживой природы.

Земля имеет оболочечное строение, включающее ряд геосфер: ядро, мантия, земная кора, гидросфера и атмосфера. Для каждой оболочки характерны свои имманентные и трансцендентные факторы, которые определяют в конкретных условиях протекающие в них геохимические процессы. Общее представление с позиций термодинамики о направлении геохимических процессов в структурах земных оболочек, которые обычно являются неравновесными системами, дает *принцип Ле Шателье – Брауна* (*Le Chatelier A. L., 1850–1936; Braun K. F., 1850–1918*). Согласно этому принципу в любой системе, находящейся под действием внешних сил, изменение какого-либо внешнего фактора вызывает превращение, направленное на компенсацию этого фактора.

Реализация этого положения в среде, в которой протекают химические реакции, возможно за счет изменения активности компонентов, вследствие чего по *закону действующих масс* (Guldberg K. M., 1836–1902; Waage P., 1833–1900) происходит смещение равновесия системы. Дальнейшая селекция этих процессов, регулирующая протекающий геохимический генезис, для достижения равновесного состояния в термодинамическом аспекте регламентируется *правилом фаз* (Gibbs J. W., 1839–1903). Согласно ему для любой равновесной системы сумма числа *фаз*  $\varphi$  (равновесные состояния вещества, отличающиеся по своим физическим свойствам, например, газовое, жидкое и кристаллическое состояние вещества) и *вариантности*  $v$  (число степеней свободы термодинамической системы) равна числу *компонентов*  $k$ , увеличенному на число *параметров*  $n$ , определяющих равновесное состояние системы:  $\varphi + v = k + n$ . Когда в системе образуется химическое соединение, то  $k$  равно разности между числом химически индивидуальных веществ и числом независимых реакций.

Наличие жестких селекционных природных геохимических механизмов порождает для каждой геосферы свое многообразие химических соединений, обеспечивающих относительную стабилизацию этих систем. Приведенная стратификация оболочек Земли основывается на температурно-фазовых переходах состояния вещества планеты. Вместе с тем, в дополнение к этому, всегда выделяется область



биосферы, влияние которой на процессы, протекающие на нашей планете, невозможно приуменьшить. В масштабах геологической стратификации биосфера представляет собой крайне тонкую в сравнении с другими оболочку. Но именно на этой границе твердой оболочки планеты, ее гидросферы и атмосферы создаются уникальные условия переноса (различных видов диффузии) вещества между различными компонентами, находящимися в трех разных агрегатных состояниях при сравнительно незначительных (по крайней мере, локально) перепадах температуры и давления. Так было и до появления жизни на Земле, когда формировалось принципиальное отличие химического многообразия этой пограничной оболочки от химических систем всех остальных геосфер.

# Приложение 2

## Феноменологическая хронология пражизни

Этап	Процессы	О т н о ш е н и я				Феноменологический эффект
		Термодинамические	Химические	Информационные	Пробиотические	
1	Формирование первичной пограничной атмосферной оболочки земного шара.	Неравновесие в термодинамическом отношении различных сред химических веществ, находящихся в различных агрегативных (фазовых) состояниях.	Окислительно-восстановительные реакции синтеза химических веществ на основе ковалентных связей.	Отсутствуют.	Отсутствуют.	Наличие вещества, структура которого обусловлена ковалентными связями.
2	Формирование водных растворов с утилообразующими мономерами (моносахаридами, жирные кислоты, аминокислоты) и гетероциклическими азотистыми основаниями.	Тепловое и ионизационное энергетическое обеспечение химических реакций синтеза углеводородных мономеров. Броуновское движение, обеспечивающее диффузию веществ для химических реакций.	Наличие водных растворов химических веществ обеспечивает возможность осуществления химических реакций во всем спектре ковалентных связей: ковалентные, ионные, водородные для углеводных и азотистых соединений как привносящих компонентов первичных криалов гидросферы.	Отсутствуют.	Отсутствуют.	Широкий спектр водных растворов простейших мономеров.
3	Формирование дисперсных систем, создающих условия активизации катализа химического взаимодействия мономеров между собой и с дисперсионной средой.	Кинетически и термодинамически возможные и невозможные процессы.	Температурные и гидротермические условия реакции дисперсирования. Катализически активированные реакции конденсации и гидратации мономеров, обуславливающие усложнение их структур (амины, аминокислоты, альдегидформане кислоты – АМФ, АДФ, АТФ), расширение ассортимента мономерных компонентов (аминокислоты, азотистые азотистые основания – пурины и пиримидины) и формирование макромолекул – полиэфиров (углеводных и азотистых кислот).	Отсутствуют.	Отсутствуют.	Наличие сбалансированного вещества. Проведший при этом системный анализ равновесия концентрируется, в определенной степени, каталитический процесс. Существенная феноменологическая изменчивость химического состояния дисперсных систем.

Этап	Процессы	О т н о ш е н и я				Феноменологический эффект
		Термодинамические	Химические	Информационные	Пробиотические	
4	Формирование устойчивой супрамолекулярной химической оттошней и функциональная кластеризация на их основе.	Высокая энергетическое обеспечение термодинамических, химических и биохимических событий супрамолекулярных образований.	Активация уровня иновалентных химических связей при формировании полилириной макромолекулы и при комплексообразовании супрамолекулярных структур (спиритусмулы на основе неэквивалентных иновалентных связей).	Отсутствуют.	Первичной (внутри-клеточной) метаболитом проблемного субстрата на основе супрамолекулярных процессов комплексообразования супрамолекулы при взаимодействии рецептора и субстрата.	Формирование функциональных химических потенциалов субструктур биохимических кластеров, участвующих в реализации, при локальном оттошении локальных термодинамических показателей на основе взаимно компенсационных свойств супрамолекулярных образований. Начало формирования проблемного субстрата и среды, образующие неоптимальные оттошней биохимических систем.
5	Макральная бифуркация на основе супрамолекулярного перехода «завис»-«завис».	Температурно-концентрационная синхронизация биохимических систем.	Сепарация процессов комплексообразования супрамолекулярных структур по приращению «завис»-«завис» на основе дукции жаманторов угнетенности систем.	Отсутствуют.	Макральная упорядоченность первичного метаболитом проблемного субстрата на основе супрамолекулярных процессов, взаимодействии биохимических реакции иновалентными и катаболитами.	Нерасход систем (фрактальных супрамолекулярных кластеров в глобальной оттошней).
6	Начало формирования инфоформационных оттошней.	Триггер-лактозный перенос (ГЛП) ивтерия в структуре рабуклюических кластеров (РНК).	Фотокатализ химических реакций, которые определяют последовательность возбуждения оснований РНК при ГЛП, соответствия с ее коверной структурой.	Начальные макроформы управления химическими реакциями.	Неразурность структур на основе инфоформационных оттошней.	Появление инфоформационных оттошней. Первые попытки программирования управления процессами метаболизма в структуре фрактальных супрамолекулярных образований. Супрамолекулярные кластеры, обладающие такими возможностями можно так называть <b>проблемными</b> . Начало оттошней ивти процесса на этапах планете.

Этап	Процессы	О т н о ш е н и я				Феноменологический эффект
		Термодинамические	Химические	Информационные	Пробиотические	
7	Углубление процессов вторичной и третичной структуризации макромолекул РНК, на специализации на основе формирования полиэлектронных частей.	Начало перехода к энергетическому функционированию микротурган на основе переноса энергии мотуляцией каталитико-ферментных кластеров.	Активация новых связей РНК как макромолекулярных систем с аномальными и новыми нуклеотидными (преимущественно с Mg <sup>2+</sup> ).	Начало формирования элементарной базы и системологии <i>ЛадВиг</i> , которая обеспечивает реализацию взаимодействия и развития взаимосвязанных инфоформационных оттошней (основа <i>ЛадВиг</i> овских будущих инфоформационных биотехнологий).	Возможно, на этом этапе первично произошла фазовая макромолекуляр РНК в структуре липидных мембран дисперсных систем субстрата, что заложило развитие в пространстве локальную клеточку на основе липидных оболочек.	Процесс специализации системологии обусловлен углублением формирования инфоформационных оттошней, созданы условия совместности различных программных продуктов. Трансформированный процесс управления метаболитом позволил многократно переработать биохимические продукты, в то время как термодинамические оттошней обеспечили собой наиболее удачные программы.
8	Первичная специализация РНК, протоны <i>иРНК</i> , <i>рРНК</i> , <i>тРНК</i> .	Локальная стабилизация термодинамических условий и <i>иР</i> среды на основе взаимодействия РНК в липидные мембраны.	Супрамолекулярной сетевой структуре, объединяющей РНК, и катаболиты.	Частыми аномалии- <i>рРНК</i> , является регулярное хранение связей – основываясь на которой структурной единицы любых системологических уровней обработки информации.	Начало процессов формирования инфоформационных компонентов – предшественников будущих конструктивных клеточных элементов.	Формирование ригидной структуры внутри липидных оболочек.
9	Начало программного формирования на основе прецизионной информации ( <i>иРНК</i> - программные инфоформационные объекты) простейших процессов (фотосинтетическая информация – инфоформационные объекты, содержащиеся «завис», получаемые в результате выполнения программы).	Переход к иновалентной энергетическому функционированию микротурган на основе энергетического метаболизма, позволяющего внутри липидных оболочек с учетом локальной стабилизации в них термодинамических условий и <i>иР</i> среды.	Реализация супрамолекулярного комплексообразования по принципу, на основе комплексов, которые являются кооперативными продуктами для РНК.	Организация тактовой оттошней на счет ионов Mg <sup>2+</sup> в полиэлектронных комплексах, на основании которой определяется характерный ритм работы оттошней инфоформационных полиэлектронных комплексов по выделению энергии формирования «завис» (аномальности системологии) на основании информации, заключенной в последовательности набора атомных гетероатомных основ ивти полиэлектронных комплексов, участвующих в инфоформационном взаимодействии.	Наполнение проблемной мембраны. Формирование базисной среды, создающей ресурсное обеспечение процессов переработки в ходе противоточного метаболизма.	Формирование ригидной структуры дискретной тактовой обработки информации и начало амплитудного колебательного сигнала <i>ЛадВиг</i> и <i>иРНК</i> в <i>иРНК</i> равновесии инфоформационных оттошней.



# Именной указатель

**Абу Мухаммад Али ибн Ахмада Ибн Хазм (Ибн Хазм).** Мусульманская Испания начала XI века. Из книги *«Ожерелье голубки: Слово о природе любви»*.

**Андронов А.А** (1901–1950). Академик Академии наук СССР.

**Араухо** (Araujo). Показал, что в клетках эукариот метилирование ДНК происходит немедленно после репликации и даже фрагменты Оказаки имеют законченный паттерн (структуру) метилирования, чем опровергнул гипотезу об участии метилирования ДНК в процессе репарации в эукариотах.

**Аристотель** (Αριστοτέλης 384–322 до н.э). Древняя Греция.

**Асаи, К.** Япония. *«Прикладные нечеткие системы»*. Под редакцией Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно.) Перевод с японского Ю. Н. Чернышов. – М.: Мир, 1993.

**Беляева М. И.** СССР, Казанский университет. Исследования по распространению и жизненным циклам водородных бактерий в природе, проведенные в 1950-ых годах.

**Берг Л. С.** (1876–1950). Академик Академии наук СССР. Президент географического общества СССР (1940–1950).

**Бернерс-Ли Т.** ( Sir T. J. Berners-Lee). Британский учё-

ный, разработчик, приблизительно в 1989 – 1991 годах, языка разметки HTML. Европейский совет по ядерным исследованиям в Женеве. Создатель (совместно с Р. Кайо) Всемирной паутины, Глава консорциума Всемирной паутины.

**Боков К.** (Vokov K.). Монреальский университет (Universite de Montréal).

**Берталанфи Л.** (L.von Bertalanffy, 1901–1972). Австрия, Канада. Из книги «*Исследования по общей теории систем*». Сборник переводов. М.: Прогресс. 1969.

**Браун К.** (Braun K. F., 1850–1918). Германия. Лауреат Нобелевской премии по физике. 1909г.

**Брентано Ф.** (Fr.Brentano, 1838–1917). Австрия. Предшественник феноменологии Э. Гусерля.

**Брутлаг Д.** (D. L. Brutlag). США. Совместно с А.Корнбергом в 1970-х годах ими был открыт фермент, названный «редактирующая экзонуклеаза». Публикация: Brutlag D. L. A. Kornberg. “*Enzymatic Synthesis of DNA* ”.// J. Biol. Chem. **247**:241–8 (1972)

**Брукс Ф.** (F.P.Brooks). Один из руководителей проекта вычислительной системы IBM SYTEM/360 ответственный за создание операционной системы OS/360 Из книги К.Д-жермейн «*Программирование на IBM/360*». М.: Мир, 1971.

**Бэкус Дж.** (J. Backus). В корпорации IBM руководитель группы разработчиков языка программирования Fortran, созданного в 1954 году.

**Вааге П.** (Waage P., 1833–1900). Норвегия.

**Вавилов Н. И.** (1887–1943). Академик Академии наук СССР.

**Вейль Г.** (G.Weyl, 1885–1955). Германия. Лауреат премии Лобачевского 1927 года.

**Вейсман А.** (Weismann A 1834–1914). Германия. Основатель неodarвинизма. Теоретик эволюционного учения.

**Вернадский В. И.** (1863–1945). Академик С.-Петербургской и Российской академий наук, Академии наук СССР.

**Вирт Н** (N Wirth). Швейцария. Создатель в 1970 году языка программирования Pascal. Лауреат премии Тьюринга.

**Воze К.** Цитаты из статьи Т. Р.Чек. «*РНК – фермент*» // В МИРЕ НАУКИ (Scientific American. Издание на русском языке), 1987, №1

**Возняк С.** (S. G. Wozniak). США. Создатель (совместно с С. Джобсом) фирмы Apple. Член Национального Зала Славы Изобретателей (США), Лауреат Национальной медали Технологий (США).

**Гаузе Г. Ф.** (19010–1986). Академик Академии медицинских наук СССР. Цитаты заимствованы из статьи Я. М. Галл. «*История эволюционной экологии; конкуренция, естественный отбор и видообразование*». // Природа.№11,1985

**Гёдель К.** (K.Gödel, 1906–1978).Австрия.

**Гейзенберг В.** (W. K. Heisenberg, 1901–1976). Германия. Лауреат Нобелевской премии по физике за создание квантовой механики, 1932г.

**Гиббс Дж.** (Gibbs J. W., 1839–1903). США. Медаль Кол-

ли Лондонского королевского общества. Запечатлен в «Галерее славы великих американцев».

**Гильберт С.** (Scott F. Gilbert). США. Автор фундаментального трехтомного учебника: Scott F. Gilbert *“Developmental Biology”*. – издание на русском языке: Гильберт С. *«Биология развития»* в 3-х томах. Пер с англ. – М.: Мир, 1993.

**Голубев-Новожилов Ю. С.** СССР. Из книги *«Введение в радиолокационную системотехнику»*. М., Сов. Радио, 1971.

**Гольданский В. И.** (1923–2001) Академик Российской академии наук.

**Гораций** (Q. Horatius F., 65г. до н.э.-8г. до н.э.). Римский поэт. Из *«Послание к Писонам об искусстве поэзии»*.

**Григорян С. С.** (1930–2015). Академик Российской академии наук. По материалам статьи: Григорьян. С. *«О динамике нейтронных звезд и черных дыр во Вселенной»* // *Обозрение прикладной и промышленной математики*. – 2007 – Т.14, №3.

**Гулдберг К** (Guldberg K. M., 1836–1902). Норвегия.

**Гурвич А. Г.** (1874–1954). Россия, СССР. Лауреат сталинской премии по биологии 1940 г.

**Гуссерль Э.** (Ed.Husserl, 1859–1938). Германия. Цитаты заимствованы из книги: Васюков В. Л. *«Формальная феноменология»*. М.: Наука. 1999.

**Давсон Х.** ( H. Davson, 1909–1996). Британия.

**Даниелли Дж.** (J. F.Danielli, 1911–1984). Британия.



**Дальгарно Л.** (L. Dalgarno). Австралийский ученый совместно с Дж. Шайном опубликовали статью “*Determinant of cistron specificity ribosomes*” // Nature – 1975, V01 254 № 5495.

**Дарвин Ч.** (Ch. Darwin, 1809–1882). Английский естествоиспытатель, основоположник эволюционного учения о происхождении видов животных и растений путем естественного отбора. Б. С. Э.

**Дильтей В.** (W. Dilthey, 833–1911) Германия, конец XIX века. Из книги «Описательная психология». С.-П.: Алетея. 1996

**Джонстон П. Т.** (P. T. Johnstone). США. Джонстон П. Т. «Теория топосов». – М.: Наука 1986.

**Джобс С.** (S. Jobs, 1955–2011). США. Создатель совместно с С. Возняком фирмы Apple.

**Жордан М. К.** (M. E. C. Jordan, 1838–1922) Франция.

**Заварзин Г. А.** (1933–2011). Академик Российской академии наук. Цитаты приведены из доклада «*Эволюция микробных сообществ*» на теоретическом семинаре геологов и биологов «*Происхождение живых систем*» в августе 2003 г., Горный Алтай.

**Заде Л. А.** (Zadeh L. A.). США. Основатель теории нечетких множеств. Медаль Эрингена, 1976.

**Кант И.** (I. Kant, 1724–1804). Германия.

**Кантор Г.** (G. Cantor, 1845–1918). Германия.

**Картер Б.** (B. Carter). Австралийский физик-теоретик. Член Лондонского королевского общества. Цитируется по

материалам работ: «*Совпадение больших чисел и антропологический принцип в космологии*» // Космология; «*Теории и наблюдения*». М. 1978., Природа №1, 1989г.

**Келдыш М. В.** (1911–1978). Академик Академии наук СССР. Президент Академии наук СССР 1965–1975г.г. Третье Герой Социалистического Труда.

**Келли Д.** (D. S. Kelley). Вашингтонский университет. По материалам Science, 319, 604 (2008), //Wiki lingue и Animalkingdom.su.

**Кельвин Лорд** (W.Thomson, 1824–1907). Английский физик, определивший понятие «хиральность».

**Кемени Д.** (J. G. Kemeny, 1926–1992). США. Дартмутский Колледж. В 1963 году под его руководством совместно Куртцом Т. был придуман, и под их руководством был реализован командой студентов колледжа язык программирования Бейсик.

**Керниган Б.** (B. W. Kernighan). Канада. Создатель в 1972 г. совместно с М. Ритчи языка программирования С.

**Клейн Ф.** (F.Klein, 1849–1925). Германия.

**Кодд Е.** (E. F. Codd, 1923–2003). Великобритания. В 70-х годах XX века им была разработана реляционная модель данных. Лауреат премии Тьюринга 1981г.

**Конторов Д. С.** СССР. Из книги «*Введение в радиолокационную системотехнику*». М., Сов. Радио, 1971.

**Корнберг А.** (A. Kornberg, 1918–2007). США. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 года

за открытие механизмов биологического синтеза рибонуклеиновой и дезоксирибонуклеиновой кислот

**Корнеев В. В.** Академик Академии криптографии (Россия) профессор. Из книг: «*Параллельные вычислительные системы*». – М.: Нолидж, 1999 и В. В. Корнеев, А. Ф. Гареев, С. В. Васютин, В. В. Райх. «*Базы данных. Интеллектуальная обработка информации*». – М.: Издатель Молгачева С. В. . 2001.

**Корогодин В. И.** (1929–2005). Объединенный институт ядерных исследований, Дубна. Цитаты по книгам: Корогодин В. И. «*Информация и феномен жизни*». Пушкино: ОИ-ЯИ, 1991 и Корогодин В. И., Корогодина В. Л. «*Информация, как основа жизни*». Дубна: Феникс, 2000г.

**Котельников В. А.** (1908–2005). Академик Российской академии наук.

**Крик Ф.** (F. Crick, 1916–2004) В 1953г. совместно с Дж. Уотсон, открывшие модель пространственной структуры ДНК. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 года совместно с Дж. Уотсоном и М. Уилкинсом за открытие, касающееся молекулярной структуры нуклеиновых кислот и их значение для передачи информации в живых системах.

**Кропоткин П. А.** (1842 1921) Как ученый естествоиспытатель известен своими работами в области географии и геологии. Один аз активных российских теоретиков этики в общественных отношениях. Цитаты из книги «*Этика: Избран-*

ные труды». – М.: Политиздат, 1991.

**Кузин Л. Т.** (1928–1997). Московский инженерно-физический институт, кафедра 22.

**Куликов А. М.** Институт биологии развития Российской академии наук. Цитаты из работы: А. В. Марков, А. М. Куликов «*Происхождение эвкарриот: выводы из анализа белковых гомологий в трех надцарствах живой природы*». Рукопись статьи для Палеонтологического журнала, 2004г.

**Курдюмов С.П.** (1928–2004). Член-корреспондент Российской академии наук. Институт прикладной математики имени М. В. Келдыша Российской академии наук. Работы его школы по исследованию нелинейных открытых систем вскрыли процессы их самоструктуризации из первичного «хаоса» не на основе влияния внешних возбуждений, а именно вследствие нелинейности внутрисистемных процессов. Цитаты из работ: Е. П. Князева, С. П. Курдюмов. «*Антропный принцип в синергетике*». // Вопросы философии, 1997–7; С. П. Курдюмов. «*Законы эволюции и самоорганизации сложных систем*», препринт, Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР, 1990 – №45

**Куртц Т.** (N. E. Kurtz). США. Дартмутский Колледж. В 1963 году под его руководством совместно Д. Кемени был придуман, и под их руководством был реализован командой студентов колледжа язык программирования Бейсик.

**Ламарк Ж.** (J.V.Lamarck, 1744–1829). Франция.

**Ле Шателье А** (*Le Chatelier A. L.*, 1850–1936). Франция.

Член-корреспондент Петербургской Академии наук. Почетный член Академии наук СССР.

**Левин В. К.** Академик Российской академии наук. Цитаты из работ: В. К. Левин *«Высокопроизводительные вычислительные системы для решения задач науки и промышленности России»*. // Информационные технологии и вычислительные системы, 2003, № 4; В. К. Левин, действительный член РАН *«Очерк становления Единой системы ЭВМ»* // [Электрон. ресурс]: Виртуальный компьютерный музей. История отечественной вычислительной техники. Режим доступа – [WWW.ccomputer-museum.ru](http://WWW.ccomputer-museum.ru).

**Лен Ж.-М.** (J.-M.Lehn). Один из основоположников идей супрамолекулярной химии. Лауреат Нобелевской премии по химии 1987года совместно с Ч.Дж. Петерсоном и Д.Дж. Крамом за разработку и применение молекул со структурно-специфическими взаимодействиями с высокой селективностью. С 2010г. член консультативного научного Совета Фонда «Сколково». Цитаты из статьи: П. М.Зоркий, И. Е.Лубина. «Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы». //Вестн. Моск. Ун-та. Сер.2. Химия. 1999. Т.40. №5.

**Малахов В. В.** Московский государственный университет, кафедра беспозвоночных. Член-корреспондент Российской академии наук, действительный член Российской Академии естественных наук. Цитаты из работ: *«Основные этапы эволюции эукариотных механизмов»*. // Палеонтологиче-

ский журнал, 2003, № 6. *«Великий симбиоз: происхождение эукариотной клетки. Биосферные предпосылки возникновения эукариотных организмов»*. // Биология. Февраль 2004г.

**Мандельброт Б.** (B.Mandelbrot, 1929–2010). Франция, США. Автор «множества мальденброта», лауреат премии Вольфа, Израиль, 1993г. физика.

**Марков А. В.** Палеонтологический институт Российской академии наук. Цитаты из работы: А. В. Марков, А. М. Куликов *«Происхождение эукариот: выводы из анализа белковых гомологий в трех надцарствах живой природы»*. // Рукопись статьи для Палеонтологического журнала, 2004г.

**Маркс К.** (K. H. Marx). Германия. Основоположник марксизма.

**Мезелсон М.** (M. S. Meselson). США. Совместно с Ф. Сталем в 1958г. показали, что репликация ДНК имеет консервативный характер: каждая дочерняя двойная спираль ДНК состоит из одной старой (матричной) цепи и из одной вновь синтезированной цепи ДНК. Лауреат премии Ласкера, 2004г.

**Мёллер Г.** (H. J. Muller, 1890–1967). США. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1946 года за открытие появления мутаций под влиянием рентгеновского излучения. Член-корреспондент академии наук СССР.

**Моисеев Н. Н.** (1917–2000). Академик Российской академии наук. Из доклада *«Можно ли говорить о стабильности биосферы»* на 5-ой Международной конференции

«Интеллектуальные системы и компьютерное моделирование» – М.: МГУ, 1995

**Морзе С.** (S. Morse, 1791–1872) Наиболее известным из неравномерных кодов является код Морзе. Созданием этого кода в 1837г. американский инженер, изобретатель телеграфного аппарата в определенной степени предвосхитил вероятностный подход к оценке информации, разработанный К.Шенноном.

**Мэйзи Д.** Из статьи: Д. Мэйзи «*Воспроизводство клеточных ядер (Строение и функции биологических структур)*», 1956г. Цитируется по книге «Физики смеются. Но смеются не только физики». – М.: *Совпадение*, 2006.

**Наур П.** (P. Naur, 1928–2016). Дания. Руководитель группы разработчиков языка программирования Algol, созданного в 1960 году. Лауреат премии Тьюринга, медаль «Пионер компьютерных технологий» IEEE.

**Нейман Дж фон** (J. von Neumann, 1903–1957). США. Основоположник формализации информационных отношений и структурной организации компьютеров. Премия Энрико Ферми 1956г.

**Ницше Ф.** (F. W. Nietzsche, 1844–1900). Германия.

**Ноллер К.** – младший Цитаты из статьи Т. Р.Чек. «*РНК – фермент*» // В МИРЕ НАУКИ (Scientific American. Издание на русском языке), 1987, №1

**Нортон П.** (Norton P). США. Из книги Р. Крамм «Нортоновские утилиты изнутри»: пер. с англ. – М.: Мир, 1992

**Оказаки Р. и Оказаки Т.** Дали описание фрагментов «оказаки» в статье Okazaki R., Okazaki T., Sekabe K., Sugimoto K. *“Mechanism of DNA replication possible discontinuity of DNA growth”*. Jpn Med Sci Biol. 1967, Jun. 20 (3)

**Орла-Йенсен С.** (S. Orla-Jensen, 1870–1949). В 1909 году сделал попытку классифицировать бактерии на основе известных морфологических и физиологических признаков. Высказал предположение, что начальные формы прокариот были хемоавтотрофны.

**Пеано Д.** (D. Peano, 1858–1932). Италия.

**Пирсон Э.** (E.S. Pearson, 1895–1980). Великобритания. Президент Королевского статистического общества (1955–1956), член Лондонского Королевского общества с 1956г.

**Платон** (Πλάτων 428–348 до н.э.) Древняя Греция.

**Пост Э.** (E. L. Post, 1897–1954). США.

**Проскуровски Г.** (G. Proskurowski). Вашингтонский университет. По материалам Science, 319, 604 (2008), //Wiki lingue и Animalkingdom.su

**Пуанкаре А.** (J. H. Poincare, 1854–1912). Франция. Глава Парижской академии наук, член Французской академии наук, иностранный член-корреспондент Петербургской академии наук.

**Расторгуев С. П.** (1958–2017) Академик Академии криптографии (Россия). Цитаты из книг по информационной безопасности.



**Раус П.** (F. P. Rous, 1879–1970). США. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1966 года за открытие онкогенных вирусов.

**Раушер Ф.** (F. J. Rauscher). США. Wister Institute.

**Ритчи Д.** (D. M. Ritchie, 1941–2011) США. Создатель в 1972 г. совместно с Керниганом языка программирования С. Лауреат премии Тьюринга.

**Ричардсон Л. Ф.** (L.F.Richardson, 1881–1953). Великобритания.

**Робертс Р.** (R. J. Roberts) Колл-Спринг-Харборская лаборатория (США). Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине за открытие прерывистой структуры гена, 1993г

Розанов А. Ю. Академик Российской академии наук, директор Палеонтологического института Российской академии наук академик. Цитаты из статьи: Розанов А. Ю. «*Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы*». // Палеонтологический журнал, 2003г.

**Сартр Ж.-П.** (J.-P.Sartre, 1905–1980). Франция.

**Сандер Л. М.** (L.M.Sander) Фирма Exxon Research and Engineering Company (США). Из статьи Л. М. Сандер «*Фрактальный рост*». // В мире науки (Scientifik American, Издание на русском языке) №3, март, 1987.

**Спенсер Г.** (H. Spencer, 1820–1903). Великобритания.

**Спирин А. С.** Академик Российской академии наук – директор Института белка Российской академии наук. Цитиру-

ется по статье А. С. Спирин «*Принципы функционирования рибосом*», 1999 // Соровский образовательный журнал в текстовом формате.

**Сталь Ф.** (F.Stahl).США. Совместно с М Мезельсоном в 1958г. показали, что репликация ДНК имеет консервативный характер: каждая дочерняя двойная спираль ДНК состоит из одной старой (матричной) цепи и из одной вновь синтезированной цепи ДНК. Медаль Томаса Ханта от Общества генетиков Америки.

**Страуструп Б.** (B. Stroustrup). Дания В 1986 году создал первую версию языка C++.

**Сугэно М.** «*Прикладные нечеткие системы*». Под редакцией Т.Тэрано, К.Асаи,.) Перевод с японского Ю. Н.Чернышов. – М.: Мир, 1993.

**Тэрано Т.,** «*Прикладные нечеткие системы*». Под редакцией Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно. Перевод с японского Ю. Н.Чернышов. – М.: Мир, 1993.

**Твардовски К.** (K.Twardowski, 1866–1938). Польша.

**Тимофеев-Ресовский Н. В.** (1900–1981). Из лекций в МГУ, 1960–1961гг.

**Толстов В.Г** Из книги Кузин Л. Т. «*Основы кибернетики*» Т.1. «*Математические основы кибернетики*». – М.: Энергоатомиздат, 1994.

**Томас Л.** (Thomas L.) Калифорнийский университет Сан Диего. США.

**Томпсон У.** (W.Thomson, 1824–1907). Лорд Кельвин –

английский физик, определивший понятие «хиральность».

**Тропш Х.** (H. Tropsch, 1899–1935). Германия. Институт Кайзера Вильгельма. Совместно с Э. Фишером в 1926 г. опубликовали статью о преобразовании монооксида углерода (CO) и водорода  $H_2$  в различные жидкие углеводороды.

**Тьюринг А. М.** (A.M.Turing, 1912–1954). Великобритания. Член Лондонского Королевского общества.

**Тэрано Т.** *«Прикладные нечеткие системы»*. Под редакцией Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно.) Перевод с японского Ю. Н.Чернышов. – М.: Мир, 1993.

**Уайт Дж.** (J.H.White). США. Из книги М. Д. Франк-Каменецкий *«Самая главная молекула»* – М.: Наука, 1983

**Уилкинс М.** (M.H.F/ Wilkins, 1915–2004). Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 года совместно с Ф. Криком и Дж. Уотсоном за открытие, касающееся молекулярной структуры нуклеиновых кислот и их значение для передачи информации в живых системах.

**Уиттен Т. А.** (T.A.Witten). Фирма Exxon Research and Engineering Company (США). Из статьи Л. М. Сандер. *«Фрактальный рост»*. // В мире науки (Scientifik American, Издание на русском языке) №3, март, 1987.

**Ульянов В. И.** (Ленин, 1870–1924). Основоположник развития марксизма в России.

**Уотстон Т.** (T. J. Watson Sr., 1874–1956). Уотстон Т. старший – один из основателей и затем бессменный руководитель компании IBM (США), в 1956г. передавший управле-

ние компанией старшему сыну – Уотстону Т. младшему (Т. J. Watson Jr.).

**Уотсон Дж.** ( J. Watson, 1928-xxx). В 1953г. совместно с Ф. Криком, открывшие модель пространственной структуры ДНК. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 года совместно с Ф. Криком и М. Уилкинсом за открытие, касающееся молекулярной структуры нуклеиновых кислот и их значение для передачи информации в живых системах.

**Фенчель Т.** (Т. V. Fenchel). Дания. Член Норвежской Академии Наук и Литературы и Американской Национальной Академии Наук.

**Фишер Р.А** (Sir R. A.Fisher, 1890–1962). Великобритания. Английский статистик, биолог, эволюционист. Королевская медаль 1938г., Медаль Дарвина-Уоллеса 1958г.

**Фишер Э.** (F. J. E. Fischer, 1877–1947). Германия. Институт Кайзера Вильгельма. Совместно с Х. Тропшем в 1926 г. опубликовали статью о преобразовании монооксида углерода (СО) и водорода  $H_2$  в различные жидкие углеводороды.

**Фишер Э. Г.** (E.G.Fischer, 1852–1919). Лауреат Нобелевской премии по химии 1902г за признание его особых заслуг, связанных с экспериментами по синтезу веществ с сахаридными и пуриновыми группами.

**Флинн М.** (Flinn M.), США. Мемориальная премия Гарри Гуда. 1995.

**Фог О** Впервые, одновременно с Н. В. Тимофеевым-Рес-

совским, введены термины и понятия экспрессивность и перетрантность для описания варьирующего проявления признаков и контролирующих их генов

**Френкель А.** (A. H. Fraenkel, 1891–1965). Германия, Израиль.

**Френкель А. И.** (1894–1952). Советский физик теоретик, член-корреспондент Академии наук СССР.

**Фуллер Б.** (R. B. Fuller, 1895–1983). США. По книге: Франк-Каменецкий М. Д. «Самая главная молекула». – М.: Наука, 1983.

**Фурье Ж.** (J. Fourier, 1768–1830). Франция.

**Хартли Р.** (R. V. L. Hartley, 1888–1970) США. Награжден Медалью Почета IEEE.<sup>70</sup>

**Хопф Х.** (H. Hopf, 1894–1971). Германия, Швейцария. Президент Математического союза (1955–1958).

**Цаленко М. Ш.** Московский государственный университет. Цитируется по книге «Основы теории Категорий». М., Наука, 1974.

**Цермело Э.** (E. F. F. Zermelo, 1871–1953). Германия.

**Чек Т.** (T. R. Cech). Лауреат Нобелевской премии по химии за открытие каталитических свойств РНК, 1989г. Цитаты из статьи Т. Р. Чек. «РНК – фермент» // В МИРЕ НАУКИ (Scientific American. Издание на русском языке), 1987, №1

---

<sup>70</sup> IEEE – Institute Electrical and Electronics Engineers (Институт инженеров электротехники и электроники) Международная некоммерческая организация, мировой лидер в области разработки стандартов по радиоэлектронике, электротехнике и аппаратному обеспечению вычислительных систем и сетей.

**Чернышов Ю. Н.** «Прикладные нечеткие системы». Под редакцией Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно.) Перевод с японского. – М.: Мир, 1993.

**Черч А.** (A.Church, 1903–1994).США.

**Четверин А. Б.** Институт белка Российской академии наук. Экспериментально показано, что полирибонуклеотиды в обычной водной среде способны к спонтанной рекомбинации,

**Шайн Дж.** (Shine J.). Австралийский ученый совместно с Л. Дальгарно опубликовали статью “*Determinant of cistron specificity ribosomes*” // Nature – 1975, V01 254 № 5495.

**Шанкин Ю.П** (1947–2007). Академик Академии криптографии России.

**Шарп Ф.** (Ph. A. Sharp). Массачусетский технологический институт (США). Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине за открытие прерывистой структуры гена, 1993г.

**Шеннон К.** (C. E. Shannon, 1916–2001).США.

**Штейнберг С.** (Steinberg S.) Профессор биохимии Монреальского университета (Universite de Montréal) в Канаде.

**Шульгейфер Е. Г.** Московский государственный университет. Цитируется по книге «*Основы теории Категорий*».М., Наука, 1974.

**Эмпедокл.** Греческая Сицилия, V век до н.э. Из книги «О природе».

**Якубайтис Э. А.** (E.A.Yakubaitis, 1924–2006). Академик

Латвийской академии наук. Из книги «*Архитектура вычислительных сетей*». М.: Наука.1980.