

РОЛЬ ИНФОРМАЦИИ В ЭВОЛЮЦИИ КЛЕТКИ

С.А.ИВАНОВ

Украина, г.Запорожье, Запорожский институт последипломного педагогического образования

Как полагают современные исследователи, сложноорганизованные эукариотные клетки появились около двух миллиардов лет назад, через миллиард лет в результате полового размножения сформировались высокоорганизованные формы жизни. Роберт Гук впервые наблюдал живую клетку всего 350 лет назад, молекулярная биология как наука возникла в 30-х годах прошлого столетия. Первую точную модель ДНК Дж. Уотсон и Ф. Крик построили в 1953 г. Еще через сорок лет был инициирован проект «Геном человека», в результате которого (2003 год) была раскрыта его структура. Стремительно нарастают темпы развития микробиологии, появляются новые разделы и направления этой науки.

Вначале основными объектами исследования являлись взаимопревращения вещества и энергии, позже в центре внимания оказалась информация, в частности, генетический код, его суть и генезис. И буквально в последние годы в научной литературе появились работы, поднимающие вопросы о «разумности» и «интеллекте» живой клетки. Например, один из авторитетнейших ученых-микробиологов современности Альбрехт-Бюлер (Albrecht-Buehler), одну из своих статей озаглавил вопросом «Является ли цитоплазма разумной?» (Is Cytoplasm Intelligent too?) [14]. Под «разумностью» («интеллектом») живой клетки подразумевается «знание», которое, как известно, является результатом осмысления информации, являющейся, в свою очередь, результатом обработки данных [5].

Такой парадигмальный поворот в микробиологии выдвигает задачи новых подходов к осмыслению роли информации в эволюции живой клетки. В этой связи логично обратиться к теоретическим и философским проблемам информации, которые давно уже находятся в центре внимания представителей различных научных направлений. Исторически сложились три основных концепции понимания информации: *атрибутивная, функциональная и коммуникативная* [1,11]. Атрибутивная концепция базируется на понимании информации как категории различия, меры неоднородности распределения вещества и энергии в пространстве и времени, что

характерно для процессов, протекающих как в живой, так и в неживой природе. В рамках этой концепции возникает вопрос генезиса информации: либо информация возникает как закрепление удачного, с точки зрения минимизации энтропии, случайного выбора, либо как свойство самоорганизации, заложенное в природу в момент Большого взрыва. В частности, А. Старобинский и В. Муханов показали, что «на стадии ускоренного расширения Вселенной фундаментальные неизбежные квантовые неоднородности усиливаются ровно настолько, насколько это нужно для того, чтобы впоследствии из них получились галактики и другие структуры во Вселенной. Без них наша Вселенная напоминала бы собой пустыню» [10]. Иными словами, дальнейшее эволюционное развитие Вселенной было «заложено» в первичных квантовых неоднородностях (информации).

Содержанием коммуникативной концепции является рассмотрение системы передачи и приема информации, состоящей из источника информации, передатчика, линии связи, приемника, адресата и источника помех, уменьшающей неопределенность переданных сообщений. В контексте функциональной концепции информация рассматривается как основной фактор оптимального управления в живых самоуправляющихся системах, включая интеллектуальные и социальные. Представляется, что в отношении биологических систем все три концепции понимания информации являются лишь тремя основными сторонами единого концептуального подхода. Во-первых, самоорганизация свойственна не только системам живой природы, но также и неживой [12]. Во-вторых, процесс передачи информации в живой клетке может быть успешно рассмотрен в рамках коммуникативного подхода [4].

Конечно, существует огромная разница в самоорганизующихся процессах живой и неживой материи. Конечной целью всего живого, как совокупности объектов, способных совершать целенаправленные действия, является самовоспроизведение. В.И. и В.Л. Корогодины предложили следующее преобразование, описывающее любое целенаправленное действие: [6]:

$$[R, S] \xrightarrow[p, P]{Q(I)} [Z, w] \quad (1)$$

где R - ресурсы, расходуемые на его осуществление; S - условия среды, в которой это действие происходит; Q - объект, или оператор, осуществляющий это действие и построенный согласно некоторому определенному плану, или информации I ; Z - событие цели; w - «побочный продукт», сопровождающий осуществление Z ; p и P

- вероятность осуществления Z спонтанно и/или при участии оператора Q . Таким образом, любое целенаправленное действие характеризуется именно повышением вероятности достижения цели, и величина эта позволяет судить об его эффективности. Такой подход позволил авторам цитируемой работы интерпретировать информацию I как «...совокупность приемов, правил или сведений, необходимых для построения оператора Q » [6]. Сам же оператор Q представляет собой некую программу, реализующую эту совокупность.

В.В. и В.Л. Корогодины полагают, что информация вообще является основой жизни, что эволюция информации заключается в генезисе и последовательном развитии генетической, поведенческой и логической информации. По их мнению, генетическая информация сформировалась в результате эволюционного процесса, поведенческая информация, лежащая в основе поступков, контролируемых особенностями нервной системы, формируется «временно, под влиянием жизненного опыта или процессов научения», а логическая информация связана «...видимо, с особенностями ее носителя – человеческой речью» [6].

Таким образом, проблема эволюции *живого*, в частности, живой клетки, сводится к эволюции оператора, реализующего генетическую информацию. Заметим, что вышеприведенное преобразование справедливо только для гомеостатических систем, в которых посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия параметров и процессов при любых изменениях окружения достигается постоянство внутреннего состояния. Однако гомеостаз живой клетки как биологической системы был достигнут в результате эволюции, основными процессами которой являются: а) случайные изменения генетической информации, передаваемой от организма к его потомкам; б) отбор генетической информации, способствующей выживанию и размножению своих носителей [2]. Оба процесса естественно зависят условий среды и собственных ресурсов эволюционирующей биологического организма, то есть, от параметров S и R в преобразовании (1), которые определяют содержание информации I . Таким образом, оператор Q должен выглядеть следующим: $Q[I(R,S)]$. Иными словами, в процессе эволюции биологических систем, в частности, живой клетки, *совокупность приемов, правил или сведений, необходимых для построения оператора Q* , (информация I) должна меняться в сторону усложнения структуры и функций. Что является причиной такого тренда? Возможно так «работает» некий Вселенский закон, заложивший «план» развития всего неживого и живого (стремление к *самости* (по терминологии В. Гухмана) возможен подход, основанный на вере в

разумное творение мира (креационизм). Известна и такая версия как необходимость любого самоорганизующегося организма постоянно противодействовать разрушительным энтропийным процессам внешней среды в целях самосохранения (стремление к гомеостазу). При этом является совершенно очевидным, что ресурсы R самоорганизующейся биологической системы на любом уровне ее генезиса и развития несравненно уступают практически неограниченным ресурсам окружающей эту систему среды S . В силу этого любая биологическая система вынуждена порождать специфические программы и кодировать их в целях самовоспроизводства. Иными словами, «...перекодировать разнообразие среды в собственное разнообразие, для чего потребуется укрупнение (группирование, кластеризация) информационных блоков, т.е. ограничение, упрощение внешней информации» [4].

Фактически именно такие процессы описываются **законом необходимого разнообразия управлений Эшби** для самоорганизующихся систем, который формулируется следующим образом: *минимизировать разнообразие реакций на выходах управляемой системы при постоянном разнообразии ее возмущений можно, максимизируя разнообразие управлений (команд)* [4,12]. То есть, с позиций эффективного управления сложной биологической системой, каковой является живая клетка, в условиях разнообразия и повторяемости внешних возмущений необходим управляющий орган, функционирующий в соответствии с заданной программой, что позволяет поддерживать необходимый уровень гомеостаза.

Можно обратить внимание на то, что такой алгоритм самоорганизации, то есть действия, направленного на воспроизведение самого себя и условий для этого самовоспроизведения, совпадает с алгоритмом «неймановского» автомата, реализующего четыре блока [8]: а) сбор и переработка сырья по заданной программе; б) аппарат, снимающий копии с этой программы; в) блок, регулирующий последовательность направления программы, вначале для копирования, а затем для исполнения; г) запоминающее устройство, хранящее полную запись программы, включая инструкции по изготовлению конечного продукта, включая «дочерний автомат». В.В. и В.Л. Корогодины интерпретируют автомат фон Неймана как супероператор, обеспечивающий воспроизведение информации, где блоки а, б, в и г выступают в роли операторов по отношению к кодирующей их информации. Интересно, что сам Дж. фон Нейман предполагал, что такая структура присуща и живым организмам, что еще за четверть века до него утверждал Г. Меллер,

рассматривая живой организм как устройство, обеспечивающее воспроизведение кодирующих его генетических структур.

Важно отметить то, что такой алгоритм не может возникнуть однократно, вдруг, случайно. Огромная созидательная работа ученых убедительно доказывает на экспериментах эволюционный путь развития всего живого, доказывает, что информация является неотъемлемым свойством этого процесса [7,9,15]. Можно предположить, что алгоритмы самовоспроизведения также эволюционируют в направлении усложнения. В принципе речь идет о хорошо известном трехстадийном процессе: *данные, информация, знание*. Вначале любая система сталкивается с хаосом внешних воздействий: просто *данных*, которые в результате упорядочения в целях самосохранения и самоорганизации превращаются со временем в *информацию*, накопление наиболее ценной информации приводит к формированию своеобразной *базы знаний* или, по выражению В. Гухмана, *тезауруса* [4].

По мере накопления внутренней информации биологической системы (информациогенеза) происходит усложнение тезауруса, появляется возможность создания упорядоченного генетического кода. В. Гухман демонстрирует этот процесс следующим образом: «...При информациогенезе сначала внутри блоков устанавливаются связи между их элементами по принципам *идентичности* (00,11) и *комплементарности* (01,10). Когда все комбинации связей, формирующих знание, необходимое для регулятивного парирования среды, исчерпаны, вступает в действие **закон необходимого разнообразия** – тезаурус более не способен помочь системе в парировании среды, требуется укрупнение информационных блоков, что и делается. Появляются триады 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111, тетрады 0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, 1111 и т.д. При этом потенциальный спектр внутриблочных связей расширяется. Любое укрупнение ... приводит к росту разнообразия в информационном смысле, т.е. к порождению новой информации – происходит качественный скачок знания» [4].

Известно, что рибонуклеиновая и дезоксирибонуклеиновая кислоты (РНК и ДНК), кодирующие белки, «записываются» посредством четырехбуквенного (тетрадного) молекулярного алфавита. Этими «буквами» являются аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц) и тимин (Т) в ДНК или урацил (У) в РНК. Каждый ген в цепочке ДНК представляет собой последовательность А, Г, Ц и Т. Возникает вопрос: возможно ли было возникновение жизни на основе двухбуквенного алфавита? Американские

химики Джон Ридер (John Reader) и Джеральд Джойс (Gerald Joyce) из калифорнийского института Scripps Research показали, что в принципе возможен простейший генетический язык, состоящий из двух букв — Д (диаминопурин) и У (урацил), с помощью которых возможны базовые молекулярные реакции, необходимые для возникновения живых организмов [3].

С другой стороны, продолжая рассуждения об информационной основе эволюции живой клетки, следует задаться вопросом: возможно ли дальнейшее «наращивание» генетического языка за счет включения новых букв? Ответ на этот вопрос может быть получен в результате экспериментов в лаборатории Флойда Ромесберга (Floyd E. Romesberg, США). В 2008 году ученым удалось получить такие дополнительные буквы, названные NaM и 5SICS, которые могли реплицироваться при удвоении цепей молекулы и синтезе РНК на ДНК-шаблоне. Иными словами, эксперимент показал, что в принципе возможен больше чем 4-буквенный алфавит, то есть в будущем генетический код под влиянием внешних воздействий может в результате эволюционного процесса самоорганизации расширяться за счет включения в него новых букв.

Именно в соответствии с законом необходимого разнообразия управлений Эшби первичный синтез белков направлялся примитивным генетическим кодом, сложность которого росла по мере необходимости синтеза специфических белков. Как только эволюция нуклеиновых кислот продвинулась до кодирования ферментов, обеспечивающих их собственное воспроизведение, распространение репликативной системы должно было резко ускориться [2]. Подобные эксперименты, на наш взгляд, убедительно доказывают основополагающую роль информационных процессов в эволюции живой клетки.

Литература:

1. Абдеев Р.Ф. Философия информационной цивилизации. – М.: Владос, 1994. – 336 с.
2. Албертс Б., и др. Молекулярная биология клетки: В 3-х т. 2-е изд., перераб. Т. 1. Пер. с англ. – М.: Мир, 1994. – 517 с.
3. В США создан двухбуквенный генетический алфавит // [Электронный ресурс] / Научный портал «Membrana». Люди. Идеи. Технологии. – Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/4668>.
4. Гухман В.Б. Философская сущность информационного подхода. Дисс. докт. филос. наук. – Тверь-Москва, 2001. – 402 с.
5. Зацман И.М. Концептуальный поиск и качество информации. – М: Наука, 2003. – 271 с.
6. Корогодина В. И., Корогодина В. Л. Информация как основа жизни. – Дубна: Издательский центр «Феникс», 2000. – 208 с.

7. Можно ли дополнить генетический алфавит? // [Электронный ресурс] / The Scripps Research Institute. – Режим доступа: <http://www.scripps.edu/news/press/2012/20120603romesberg.html>.
8. Нейман фон Дж. Общая и логическая теория автоматов // Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М., Гос. изд. физ.-мат.лит., 1960, С.59.
9. Некрасов С.И., Некрасова Н.А., Пеньков В.Е. Современные парадигмы эволюционных процессов: Монография // С.И Некрасов, Н.А. Некрасова, В.Е. Пеньков. – М.: Издательский Дом «Академия естествознания», 2007. – 98 с.
10. Старобинский А., Муханов В. «Нас подводили астрономы» // // Электронный источник: Сайт МФТИ. - Режим допуска: http://mipt.ru/about/pressarticles/events/muchanov_starobinskiy.html.
11. Урсул Д.А. Всеобщий характер информации // Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации, управления // Материалы международного семинара. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – С.5-20.
12. Эйген М. Самоорганизация материи и биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. – 214 с.
13. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – Изд-во Иностранной литературы, 1959. – 432 с.
14. Albrecht-Buehler, G. Is Cytoplasm Intelligent too? In: Muscle and Cell Motility VI (ed. J. Shay) p. 1-21 (1985).
15. Koonin E.V. The Logic of Chance: The Nature and Origin of Biological Evolution // Портал «SunsetRidgeMSBiology». – Режим допуска: <http://sunsetridgemsbiology.wikispaces.com/file/view/0132542498Chance.pdf>.

Надійшло до редакції 12.10.2013 року