

ЗАРОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ

Введение.

Многие ученые, исследующие проблему зарождения жизни, убеждены, что главную роль в абиогенезе сыграл, либо спонтанный отбор нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), несущих генетическую информацию, либо самопроизвольное накопление белков-ферментов, способных извлекать эту информацию из ДНК в процессе матричного биосинтеза. Так ли это? Необходимо учитывать, что по отдельности, и те, и другие бесполезны для матричного биосинтеза, поскольку при прочтении генетической информации, закодированной в ДНК, требуется воспроизводство множества строго идентичных ферментов, которое возможно лишь в ходе матричного биосинтеза.

Основываясь на современных знаниях о химических составляющих и физических свойствах водоемов и атмосферы древней Земли, мы построили альтернативную теоретическую модель эволюционного перехода от хаоса разнородных органических молекул первичного бульона к живым клеткам. Она в первую очередь акцентирует внимание на усложнении систем энергоснабжения пробиотических молекулярных структур и лишь в этом контексте показывает механизмы селекции биологически значимых органических соединений. Согласно данной модели, на первом этапе абиогенеза цепочки поли-НК и глобулы полипептидов отбираются в качестве компонентов энергопреобразующих молекулярных пленок, поглощающих энергию УФ-излучения (254нм). На втором этапе из этих пленок формируется многослойная структура, которая синтезирует молекулы-макроэрги: АТФ и др., а также реализует безматричную полимеризацию аминокислот в полипептиды. На третьем во внутренних компартментах многослойной структуры идет бесферментный матричный синтез РНК (транскрипция РНК). На четвертом этапе начинается матричный биосинтез полипептидов, благодаря чему появляется большой спектр ферментативных процессов. Таким образом, молекулы поли-НК становятся носителями генетической информации только на третьем и четвертом этапах абиогенеза, а полипептиды образуют полноценные ферменты, необходимые живым клеткам, на четвертом этапе.

Этап 1

Около четырех миллиардов лет назад на Земле появились водоемы, в которых образовался так называемый первичный бульон. В нем имелись многие органические соединения: аминокислоты, азотистые основания, нуклеотиды, нуклеиновые кислоты, полипептиды... Возможность их синтеза при нагревании, электрических разрядах, облучении подтверждена экспериментально [3, 4]. Древняя атмосфера не содержала кислород и пропускала УФ-излучение в диапазоне 240 - 260 nm, поглощаемое многими органическими соединениями. Под воздействием УФ-света в некоторых из них происходили различные структурные преобразования, характер которых зависел от внутримолекулярных и межмолекулярных переносов энергии. Надо установить, какие переносы энергии способствовали селекции органических молекул первичного бульона.

В середине 60-х годов был открыт триплет-экситонный перенос энергии в нуклеиновых кислотах [2, 5, 7, 8]. Такой процесс начинается, когда одно из азотистых оснований полинуклеотидной цепи РНК или ДНК поглощает УФ-свет. Оно переходит в возбужденное триплетное состояние, после чего передает энергию соседнему основанию, а само возвращается в невозбужденное состояние. Перенос энергии по цепи идет при совпадении квантовых свойств соседних азотистых оснований и оптимальных расстояниях между ними. Такие условия лучше всего выполняются в биологической РНК или ДНК, состоящей из стандартного набора четырех азотистых оснований, соединенных 3'-5'-связями. Экспериментально доказано, что в тех нуклеиновых кислотах, у которых имеются неоднородности первичной структуры, триплет-экситонный перенос ведет к деструктуризации, происходящей не в точке УФ-поглощения, а в участке с внутренней предрасположенностью.

В древних водоемах имелись поли-НК с различной первичной структурой. При поглощении УФ-света те их фрагменты, в которых беспрепятственно шел триплет-экситонный перенос энергии, оставались неизменными. Другие добавлялись к ним после репараций и конформационных изменений. Таким путем росло число молекул РНК, сходных по критерию успешной реализации энергопереносов.

Для устойчивости УФ-облученных поли-НК нужен не только упорядоченный внутримолекулярный перенос, но и отток энергии, ее перенос вовне. У органических молекул в водной среде он реализуется при индуктивно-резонансных взаимодействиях, для которых требуется, чтобы расстояние между донором энергии и акцептором не превышало некую пороговую величину (около 100Å), а спектральная полоса флюоресценции донора перекрывалась с полосой поглощения акцептора. Подходящие спектральные полосы имели многие органические соединения первичного бульона, но их участию в индуктивно-резонансных переносах в качестве акцепторов мешала дистанция между ними и РНК, поглотившей УФ-квант.

В живых клетках сближение молекул-доноров с молекулами-акцепторами при индуктивно-резонансных переносах обеспечивают ферменты. Они формируются из полипептидов, имеющих заданную третичную структуру, которые синтезируются матричным путем. Без матричного синтеза полипептидов ферментативные процессы невозможны. В первичном бульоне не могло быть полноценных ферментов, но там имелись «дикие» полипептиды. При контактах с УФ-активированной РНК, они исполняли роль акцепторов индуктивно-резонансных переносов и подвергались энергетическим воздействиям, меняющим их первичную, а с ней и третичную структуру. Мы предположили, что, несмотря на хаотичность таких переструктурирований полипептидов, у некоторых из них появлялись активные центры, которые позволяли им присоединять подходящие молекулы-субстраты и удерживать их в зонах индуктивно-резонансных переносов в качестве акцепторов энергии. Благодаря этому, такие функционально схожие полипептиды уже не подвергались

энергетическим воздействиям, а, вместе с РНК, служившими донорами энергии, составляли нуклеопротеидные комплексы, осуществлявшие фотокаталитические преобразования молекул-субстратов. (Рис. 1).



Рис. 1. Фотокаталитический комплекс.

Фотокатализ давал нуклеопротеидным комплексам важное селективное преимущество – устойчивость при УФ-поглощениях и способствовал изменчивости прочих органических молекул. Потеряв субстратную специфичность, необходимую для фотокатализа, полипептиды могли вернуть ее после новых структурных изменений. Устойчивость фотокаталитических комплексов зависела от их ориентации к потоку УФ-света, от расположения в водной среде. Здесь большое преимущество давало формирование плавающих пленок, которые состояли не только из УФ-поглощающих и субстратсвязующих, но и из соединительных элементов. Роль последних выполняли липиды, способные спонтанно образовывать пленочные конструкции.

Если РНК, входившие в состав фотокаталитических комплексов, имели кольцообразную вторичную структуру, то в них шла циркуляция триплет-экситонов. Это удлиняло время взаимодействия с молекулами-акцепторами, и энергия УФ-света передавалась акцепторам импульсами по принципу автоколебаний. Благодаря этому кольца РНК доминировали при сборке устойчивых комплексов и пленок, а прочие полинуклеотиды, оставаясь вне комплексов, не обеспечивались надежными контактами с акцепторами энергии и подвергались УФ-индуцированным деструкциям.

Одним из важнейших свойств живой материи является динамичность. В клетках постоянно идет распад и самосборка многих субструктур, имеющих метастабильные межмолекулярные связи, сохраняющиеся за счет диссипации энергии. Фотокаталитические надмолекулярные структуры также были метастабильны. Причина их метастабильности в том, что конформационная специфичность полипептида, обеспечивающая его стыковку с полинуклеотидной УФ-поглощающей антенной, сохранялась лишь в процессе фотокатализа. Ночью молекулярные комплексы распадались, а днем повторяли самосборку. Цикличность, подчиненная

суточному ритму, повышала изменчивость их поли-НК и полипептидов, ускоряла отбор.

Нуклеопротеидные комплексы, подобные зародившимся в первичном бульоне, играют ведущую роль в каталитических системах всех живых клеток. Это «кирпичики» живой материи. На первом этапе абиогенеза они формировались в ходе УФ-индуцированного переструктурирования поли-НК и полипептидов, с последующим отбором по критерию устойчивости в составе фотокаталитической структуры. Следовательно, они не могли обладать столь высокой структурной и функциональной специфичностью, какую в клетке обеспечивает ферментативный биосинтез.

Этап 2

Для фотокаталитических макромолекулярных пленок, выросших в первичных водоемах, УФ-свет стал не повреждающим фактором, а необходимым условием ежедневной самосборки, источником возобновления их метастабильных межмолекулярных связей. Когда эти пленки располагались в несколько слоев, только верхние поглощали ультрафиолет, а нижние, затененные испытывали дефицит энергии и распадались. Для их устойчивости требовался перенос энергии из верхних слоев.

Во всех живых клетках переносчиками энергии служат молекулы-макроэрги: АТФ, ГТФ и др. Они производятся, или окислительным фосфорилированием, использующим химическую энергию различных органических соединений, или фотофосфорилированием, когда органические фосфаты синтезируются за счет энергии видимого света. И первый, и второй способ невозможен без ферментов, полученных матричным путем. Но так как на заре абиогенеза доминировал не видимый свет, а более эффективный ультрафиолет, фосфорилирование могло обходиться без подлинных ферментов. Мы предположили, что его начали осуществлять уже знакомые нам фотокаталитические комплексы. Их субстратсвязывающие компоненты (полипептиды) приобрели сродство с имеющимися в водной среде молекулами АДФ (или ГДФ и др.), чтобы удерживать их в качестве субстрата в зоне индуктивно-резонансной энергопередачи. Здесь энергия УФ-света, поглощенная и трансформированная кольцеобразной цепочкой РНК, направлялась на присоединение к АДФ неорганического фосфата, т.е. на продуцирование АТФ, а также и других макроэргов. Благодаря появлению специализированных молекулярных комплексов, осуществляющих УФ-зависимое фотофосфорилирование, стала возможна диффузия макроэргов из верхних слоев в нижние, что обеспечило их химической энергией и открыло перспективу дальнейшего усложнения. (Рис. 2).

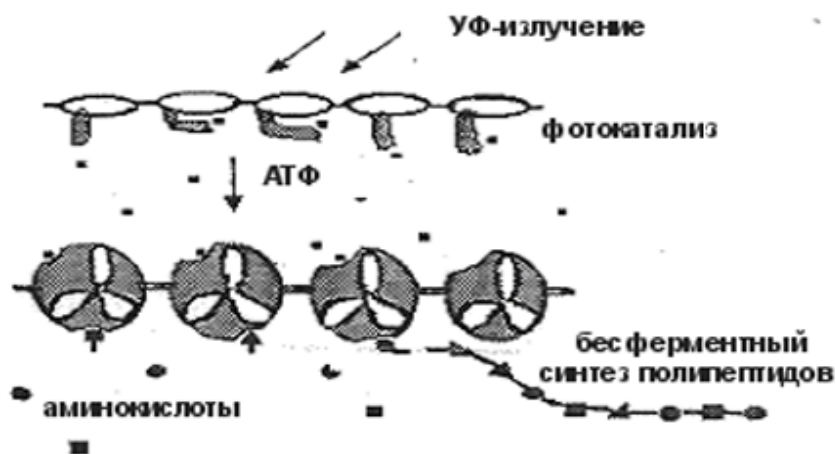


Рис. 2. Многослойный пробионт.

Для устойчивости нуклеопротеидных пленок нижнего уровня, лишенных притока УФ-света, одного лишь фотофосфорилирования, снабжающего водную среду молекулами-макроэргами, было недостаточно. Пленкам нижнего уровня надо было «научиться» как-либо использовать поступающую химическую энергию и, тем самым, сохранять свои метастабильные связи. Для этого они должны были усложниться за счет добавления новых компонентов. Мы предположили, что в их состав вошли АТФ-специфичные полипептиды, связывающие и удерживающие молекулы-макроэрги, а также новые поли-НК с более сложной вторичной структурой, ответственные за перенос химической энергии к их активным центрам, удерживающим молекулы-субстраты. Но на данном этапе роста таких, количественно и качественно сложных пробиотических пленок препятствовал лимит строительных материалов, особенно полипептидов.

В живых клетках полипептиды синтезируются матричным путем при участии рибосом, иРНК и тРНК, в состав которых, наряду с ферментами, входят РНК типа «Клеверный лист», имеющие несколько кольцеобразных участков вторичной структуры. Источником энергии служит АТФ. Пробионты не располагали ферментами, поэтому матричный синтез в них был невозможен. Но могла начаться безматричная полимеризация полипептидов из аминокислот. Дело в том, что в их верхних слоях уже производились носители энергии: АТФ и др., а в нижних, защищенных от ультрафиолета, могли спонтанно появляться различные РНК с вторичной структурой из нескольких кольцевых участков, как «Клеверный лист». Для безматричного синтеза новых полипептидов эти РНК должны были образовать нуклеопротеидные комплексы с несколькими полипептидами, субстратспецифичными, как к АТФ, так и к различным аминокислотам. Фиксируя аминокислоты, присутствующие в водной среде, они соединяли их пептидными связями за счет энергии, полученной при отрыве неорганического фосфата от АТФ.

До появления безматричного синтеза полипептидов многослойные пробионты длительное время подвергались стагнации и не имели перспектив роста. Начало безматричного синтеза дало им важное

селективное преимущество, возможность расти за счет самообеспечения полипептидным сырьем. Отметим, что очередность аминокислот в синтезированных полипептидах на данном этапе не имела решающего значения. Ведь из них не формировались готовые ферменты с заданными свойствами, а свою субстратную специфичность они приобретали, выступая в роли акцепторов энергии индуктивно-резонансных переносов. Расстояние между верхними и нижними надмолекулярными пленками лимитировалось УФ-прозрачностью верхнего слоя и могло широко варьироваться в миллиметровом или сантиметровом диапазоне.

На этом этапе затенение нижних слоев из помехи превратилось в обязательное условие устойчивости многослойных макромолекулярных структур. У них появилось автономное энергоснабжение и специализация верхних и нижних каталитических комплексов. Схожие многослойные образования, реализующие переносы химической энергии малекул-макроэргов, являются необходимыми компонентами всех живых клеток.

Этап 3

Как уже отмечалось, для роста нижних, защищенных от УФ-света, участков пробиотических пленок требовались РНК со сложной вторичной структурой типа «Клеверный лист», которые не могли отбираться в процессе УФ-поглощения и триплет-экситонного переноса. Их дефицит в древних водоемах лимитировал сборку нуклеопротеидных комплексов, способных продуктивно использовать энергию макроэргов. Без чего приток АТФ к нижним слоям из созидательной силы превращался в источник разрушения.

В живых клетках цепочки РНК с заданной структурой синтезируются на матрицах ДНК при участии многих ферментов. Этот процесс называется «Транскрипция». Он начинается разделением двух цепей спирали ДНК. После чего одна цепь служит матрицей для синтеза РНК, а на другой воспроизводится парная (комплиментарная) ДНК. Это позволяет повторно копировать ее информацию.

К третьему этапу генезиса пробионтов имелся ряд предпосылок транскрипции. Уже существовали молекулярные системы фотофосфорилирования, обеспечившие приток АТФ, ГТФ и других макроэргов, представляющих собой строительный материал для сборки новых цепочек РНК и ДНК. В многослойных пробионтах появлялись фрагменты двухцепочечных спиралей ДНК - будущие матрицы. Но поскольку еще не было ферментов, требовались другие факторы, управлявшие разделением двух цепей ДНК, синтезом РНК и воспроизводством спаренной ДНК.

Известно, что в живых клетках разделение двойной спирали ДНК, инициирующее транскрипцию, происходит при изменении основности (рН) водной среды. А молекулы ДНК и РНК образуются в средах с разным значением рН. Мы предположили, что и пробионтам для транскрипции требовался перепад основности в соседних участках их внутренней водной среды, так называемая компартиментализация. Ее причиной был перенос

протонов через каталитически активные надмолекулярной пленки (протомембраны). Транскрипция начиналась при повышении рН в одном из компартментов пробионта и разделением двойной цепи ДНК. После чего одна одинарная цепь ДНК, проникая через протомембрану, попадала в соседний компартмент с низкой основностью, способствующей синтезу РНК. Она использовалась в качестве матрицы транскрипции. Вторая одинарная ДНК оставалась в прежнем компартменте и служила матрицей для репликации ДНК и сборки двойной спирали, пригодной для повторных транскрипций. (Рис. 3). Благодаря селекции двойных цепочек ДНК, принадлежащих пробионтам, постепенно происходило качественное и количественное совершенствование синтезируемых РНК. Возрастала согласованность всех каталитических процессов. Тот факт, что компартментализация внутренней среды возможна лишь при очень малых объемах ее компартментов, указывает на микроскопические размеры пробионтов третьего этапа абиогенеза.

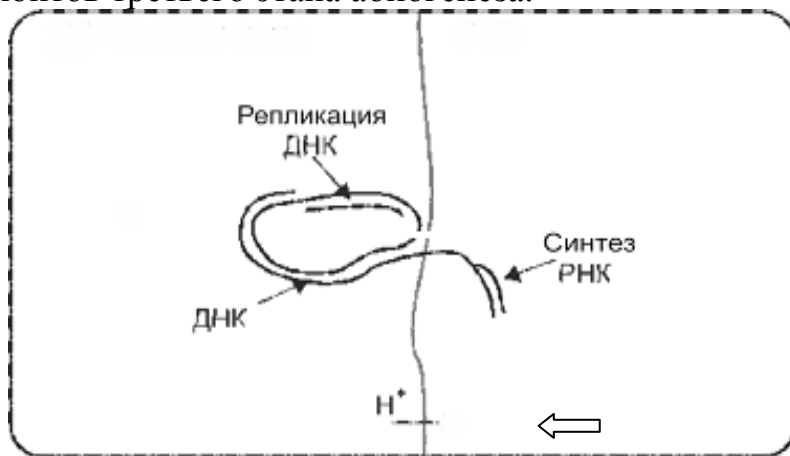


Рис. 3. Бесферментная транскрипция.

Протомембраны, обеспечившие перенос протонов в абиотических условиях, были устроены значительно проще, ныне существующих биомембран. Их детальное моделирование или искусственный синтез мог бы способствовать углублению научных представлений о трансмембранных переносах ионов и так называемых протонных насосах.

Этап 4

Так как УФ-энергия поступала только днем, ночью метаустойчивые пробионты распадались, а каждое утро рождались заново. После третьего этапа их структурно-функциональная организация настолько усложнилась, что не успевала полноценно воспроизводиться в течение дня. Это стало очередным эволюционным препятствием, преодолеть которое могли только пробионты, живущие не один световой день, а круглосуточно. Для этого им требовалось ночное энергоснабжение.

У живых клеток есть ферментативные системы окислительного фосфорилирования, не зависящие от освещения. Они производят молекулы-макроэрги (АТФ и др.), используя химическую энергию, получаемую при частичном окислении различных органических соединений. Известно, что без ферментов, синтезированных матричным путем, они не работают и

окислительное фосфорилирование невозможно. Следовательно, переход пробионтов к круглосуточной жизни зависел от появления матричного синтеза полипептидов, образующего ферменты.

На третьем этапе абиогенеза у пробионтов уже сформировались молекулярные системы безматричного синтеза полипептидов, состоящие из нуклеопротеидных комплексов, субстратспецифичных относительно аминокислот и макроэргов. Имелись системы транскрипции - синтеза РНК на матрицах ДНК. Для начала матричного синтеза полипептидов не доставало главного - генетического кода. По сути, для его появления требовалась небольшая, но принципиально важная инновация - превращение уже имеющихся нуклеопротеидных комплексов, обладавших неспецифичным сродством с аминокислотами, в специализированные тРНК, наделенные активными центрами с избирательным сродством относительно различных типов аминокислот.

Пробы избирательного связывания аминокислот и их матричной полимеризации в полипептиды могли продолжаться миллионы лет без существенного влияния на эволюцию пробионтов. Но, как только таким путем были синтезированы первые ферменты, способные направлять энергию от окисления каких-либо органических соединений на фосфорилирование, т.е. на производство АТФ и других макроэргов, матричный синтез приобрел селективную ценность. Пробионты получили круглосуточное энергоснабжение, превратились в живые организмы. Главным критерием отбора стало качество и количество синтезируемых полипептидов, их включение в различные биокаталитические процессы. Можно предположить, что сначала синтезировался некий первый фермент, который катализировал окисление лишь одного имеющегося в среде органического соединения, сопряженное с переносом неорганического фосфата на АДФ. Одно это позволило пробионтам не распадаться ночью. К тому времени, когда запасы данного органического сырья истощились, арсенал полипептидов, синтезируемых матричным путем, значительно вырос. Некоторые из них вошли в состав рибосом, иРНК и тРНК, благодаря чему возросла точность и эффективность биосинтеза самих полипептидов. Из других формировались новые ферменты для систем окислительного фосфорилирования, удлиняющие их каталитические цепи. Это позволило живым организмам получать химическую энергию от многих органических соединений водной среды.

Первый код был значительно проще современного. Он обеспечивал лишь грубое кодирование некоторых аминокислот, но и это сказалось на упорядочивании свойств синтезированных полипептидов. Вероятно первичные рибосомы, начавшие матричный синтез полипептидов, представляли собой глобулы из нуклеопротеидных комплексов, в которых кодон-антикодовое соответствие иРНК и тРНК контролировалось переносами энергии в их сопряженных участках. Возможно, те же энергетические процессы присущи всем рибосомам и могут быть выявлены экспериментально.

Круглосуточное энергоснабжение дало старт гиперциклическим сетям каталитических реакций, благодаря которым усовершенствование одной из субсистем клетки способствует модернизации ее других субсистем [6]. Гиперциклы обеспечили быстрое увеличение генетического материала, генерализацию матричных процессов, рост арсенала ферментов. Образовались системы ферментативного биосинтеза аминокислот, пигментов, полисахаридов... Появились цитоплазматические мембраны, полноценные рибосомы и т.д. Живые клетки перешли от УФ-зависимого фотофосфорилирования к фотосинтезу в видимом диапазоне и заселили глубины водоемов, лишённые УФ-света, а после накопления атмосферного кислорода, поглощающего ультрафиолет, и сушу.

Процесс зарождения жизни включал четыре взаимосвязанных этапа. На трех первых параметры пробионтов строго детерминировались условиями среды, менявшимися под влиянием пробионтов. На четвертом образовались живые клетки, способные приспосабливаться к разным средам. У клеток появились ферментативные механизмы реагирования на внешние стимулы, с помощью которых они изменяют свой метаболизм и управляют движением клеточных оболочек, жгутиков или иных подвижных элементов. Клетки разных организмов отличаются спектрами реакций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каценберг М.М. От молекул к клетке, Природа, 1990, 11: 11 – 17.
2. Конев С.В., Волотовский И.Д. Фотобиология, Минск: БГУ, 1974, 202.
3. Понамперума С.В. Происхождение предбиологических систем. Под ред. А.И. Опарина. М.: Мир.1966,. 224.
4. Саган К.В. Там же, 211.
5. Сверхкороткие световые импульсы. Под ред. С. Шапиро, М., 1981, 462.
6. Эйген, М. Шустер, П. Гиперцикл. М., 1982.
7. DNA fluorescence at room temperature excited by means of the laser. /Chem.Phys.Lett. 1971, 81(2): 270-272.
8. Intramolecular triplet-triplet energy transfer: delayed fluorescence in poly-L-tyrosine and polyadenylic acid. /Photochem. Photobiol. 1970, 11: 207