

УДК Р54

**ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОДА И «БИОЛОГИЧЕСКАЯ  
СИСТЕМА ОДЕССА-ЛОНДОН-2012» («БСОЛ-2012»)  
(Часть 1)**

**Телепнева Людмила Георгиевна**

научный сотрудник  
Институт микробиологии и иммунологии им. И.И. Мечникова, Харьков  
(Украина)  
*ltelepneva@mail.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены особенности генетического кода и биоструктуры, определившие его свойства.

**Ключевые слова:** генетический код; переносящая и катализирующая биосистема; «Биологическая система Одесса-Лондон-2012» («БСОЛ-2012»).

---

**PATTERNS OF GENETIC CODE AND  
«BIOLOGICAL SYSTEM ODESSA-LONDON-2012» («BSOL-2012»)  
(Part 1)**

**Telepneva Ludmila Georgievna**

researcher  
Institute of Microbiology and Immunology I.I.Mechnikova, Kharkov (Ukraine)

**Abstract.** Features of a genetic code and the biostructures which have defined it of property are considered.

**Key words:** genetic code; transferring and catalyzing biosystem; «Biological Odessa-London-2012 system» («BSOL-2012»).

**«Проблема возникновения жизни является фундаментальной проблемой. И мне представляется, что она является фундаментальной не столько потому, что есть вызов образованной части человечества, а потому что она постоянно генерирует такие вопросы, которые очень часто приводят науку в замешательство. Именно науку. И наука ищет ответы, внимательно и пристально изучая тот базис, на котором она стоит. Вот это чрезвычайно важно и чрезвычайно интересно».**

**В.А. Аветисов**

### ***Введение***

Приведенные выше слова Владика Аванесовича Аветисова с полным правом можно отнести и к проблеме генетического кода. Как известно, 45 лет тому назад, в 1968 г., Роберту Уильяму Холли (1922-1993), Хару Гобинду Коране (1922-2011) и Маршаллу Уоррену Ниренбергу (1927-2010) была присуждена Нобелевская премия за расшифровку генетического кода и его функции в синтезе белков.

К настоящему времени прочитаны геномы многих представителей живой природы, однако, и ныне, глядя на результат совместного титанического труда их исследователей, можно составить довольно значительный перечень вопросов, на которые до сих пор нет полноценных и правдивых ответов:

1. Почему генетический код универсален?
2. Почему генетический код представлен только четырьмя символами А, Т(У), G, С?
3. Почему генетический код имеет триплетную структуру?
4. Почему у генетического кода именно 64 различных кодона?
5. Привычный и достаточный для многих ответ –  $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$ , в действительности, лишь констатируя число реально существующих кодонов генетического кода, никоим образом не объясняет причину возникновения этого явления.
6. По какой причине 3 из 64 кодонов резко отличаются от остальных, являясь сигналами терминации или нонсенс-кодонами, и в то же время часть из них может кодировать неклассические аминокислоты?
7. Почему для конструирования белков отобраны только 20 канонических аминокислот?
8. По какой причине степень вырожденности (избыточности) кода для разных аминокислот варьирует от единицы до шести, но при этом отсутствует цифра 5?
9. Почему именно пять аминокислот имеют по четыре кодона-синонима?
10. Случаен или детерминирован выбор именно трех аминокислот, имеющих по шесть кодонов-синонимов?
11. Чем вызвано существующее распределение степени вырождения кодонов по конкретным аминокислотам, поскольку если два кодона имеют два одинаковых

первых нуклеотида и их третьи нуклеотиды принадлежат к одному классу (пуриновому или пиримидиновому), то они кодируют одну и ту же аминокислоту? Однако существует и два исключения из правила вырожденности кода. Так, если бы сформулированное правило выполнялось более тщательно, то кодон AUA должен был бы отвечать метионину, а не изолейцину, а кодон UGA – триптофану, а не быть сигналом окончания синтеза.

12. Что обусловило симметричность генетического кода?

13. Чем вызвано наличие сильных и слабых связей в кодонах?

14. Почему генетический код неперекрывающийся, т.е. почему трансляционный аппарат клетки, считывающий информацию, имеет дискрету, равную трем, а не единице?

15. Каким образом на одном участке ДНК может быть записана информация сразу о двух и даже о трех белках? Примером такого рода могут служить белки, кодируемые К-, С- и А-генами вируса G-4.

16. Как могла возникнуть коллинеарность нуклеотидной и белковой цепей? Напомним, что внутригенная молекулярная структура ДНК соответствует структуре кодируемых геном молекул белков. Это явление получило название коллинеарности ДНК гена и кодируемого им белка.

17. Случайно или закономерно появление многих вариаций генетического кода – его диалектов (митохондриальной и других версий)? Так, например, в митохондриальном геноме (кроме высших растений) кодон UGA отвечает триптофану, а AUA – метионину. В то же время у силиата тетрахимены, аминокислота глутамин кодируется через TAG и TAA, а TGA остается единственным стоп-сигналом. Имеется и ряд других исключений, поскольку особенности митохондриальной ДНК являются специфичными для различных видов организмов. Так, у дрожжей триплет GAU кодирует вместо аминокислоты лейцина треонин. У млекопитающих митохондриальный триплет UAG аналогичен триплету UAC и кодирует аминокислоту метионин вместо изолейцина. Триплеты UCG и UCC в ДНК митохондрий некоторых видов вообще не кодируют аминокислот, являясь, по сути обычными нонсенс-триплетами [1].

К вышеперечисленным особенностям генетического кода следует добавить еще две:

1) генетический код характеризуется «однонаправленностью считывания» (5'→3'), т.е. считывание информации с мРНК при синтезе белка происходит с её 5'-конца в направлении 3'-конца;

2) генетический код компактен, поскольку между основаниями кодона нет никаких знаков препинания.

Теперь остается задать лишь два самых главных из перечисляемых вопросов по генетическому коду:

«Каким был первый биообъект, определивший максимальное количество особенностей генетического кода?»

«Где и с помощью чего данный биообъект и сейчас постоянно воссоздается в организме человека и животных?»

Постараемся ответить на большинство перечисленных выше вопросов, предложив на строгий и объективный суд общественности каталитическую и переносимую биоструктуру «Биологическая структура Одесса-Лондон-2012», в названии ко-

торой сочетаются места проведения и год конференций, на которых она была впервые представлена [2].

### **Генетический код и биоструктура, определившая его свойства**

Наличие собственной программы развития и возможности оставлять новое поколение себе подобных – важнейшие особенности живых систем, определяющие все их другие специфические свойства.

В зависимости от уровня функциональной организации живой системы собственная программа её развития существенно изменяется по своей структуре, сложности и степени централизации. В связи с этим значительные различия существуют между собственными программами развития организменных и надорганизменных систем.

У организмов собственная программа развития имеет в своей основе генетическую программу, материализованную на молекулярном уровне в виде генома. Эта программа содержит конкретную генетическую информацию, необходимую для обеспечения онтогенетического развития организменной системы и ее самовоспроизведения в цикле развития вида.

Данная программа в своей основе имеет закономерности:

- 1) кодирования, транскрипции и трансляции генетической информации;
- 2) репликации и сегрегации генетического материала;
- 3) самосборки первичных биологических структур, т.е. совокупности сложных биополимеров – нуклеиновых кислот и белков, взаимодействие между которыми обеспечивает возможность саморегуляции живых систем организменного уровня [10].

Один из основоположников химической физики Николай Николаевич Семёнов (1896-1986) – лауреат Нобелевской премии 1956 г. по химии «за исследования в области механизма химических реакций» (совместно с английским ученым Сирилом Норманом Хиншелвудом (1897-1967), рассматривал химические процессы как связующее звено между объектами физики и биологии.

Способность различных химических реагентов к взаимодействию зависит от их атомно-молекулярной структуры и условий, в которых протекают химические реакции.

Известно также, что физические и химические свойства элементов, а также формы и свойства соединений элементов в неживой Природе находятся в периодической зависимости от величины электрического заряда ядра.

В то же время в мире живой Природы к указанным выше свойствам этих элементов и их соединений, обязательно должна добавляться еще и зависимость от величины плавучей плотности их конформаций. Это связано с тем, что вода, воедино объединяющая два царства земной Материи – живой и неживой Природы, не просто необходима для жизни: она сама – её главнейшая составляющая. К тому же плотность каждого вещества, вступившего во взаимодействие, значительно отличается от плотности созданного ими соединения.

Попутно отметим, что удельный вес вещества ( $\gamma$ ) и его плотность ( $\rho$ ) связаны между собой зависимостью  $\gamma = \rho \cdot g$ , где  $g$  – ускорение свободного падения.

В свою очередь, значение ускорения свободного падения на поверхности Земли ( $g$ ) варьируется от 9,780 м/с<sup>2</sup> на экваторе до 9,832 м/с<sup>2</sup> на полюсах, в то время как стандартное («нормальное») значение, принятое при построении систем единиц, составляет  $g = 9,80665$  м/с<sup>2</sup>.

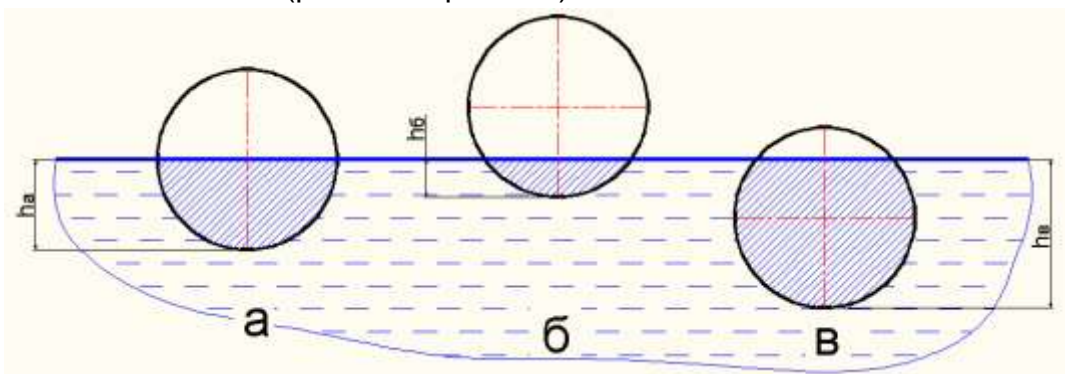
Для того чтобы значимость показателя плотности для составляющих живой природы стала особенно очевидной, рассмотрим пример с липидными молекулами, имеющими разный показатель плотности, в следующем разделе данной статьи.

### **Плавучая плотность – главная характеристика биосубъединиц**

Термином «плавучая плотность» обозначим характеристику биосубъединицы, позволяющую ей длительное время находиться во взвешенном состоянии на определенном уровне в окружающей её среде определенной консистенции. Значение этой величины будет зависеть как от плотности раствора, в котором в этот момент времени находится данная субъединица, так и от конформации, которую она принимает в данный момент времени.

Благодаря устойчивому расположению липидов в пространстве (рис. 1), они одновременно вступают как в гидрофильные, так и в гидрофобные взаимодействия, превращаясь в идеальные компоненты биологических мембран.

Плотность липидов колеблется от  $0,88 \text{ г/см}^3$  (лавровое масло) до  $0,953 \text{ г/см}^3$  (бараний жир), но для того чтобы лучше была заметна зависимость положения липида от величины плотности, на рис. 1 принято: а –  $0,5 \text{ г/см}^3$ ; б –  $0,2\text{--}0,3 \text{ г/см}^3$ ; в –  $0,92 \text{ г/см}^3$ . Именно благодаря такой назначенной величине плотности средний липид (рис. 1 б) уже никогда не сможет вступить в физический контакт с веществами, которых могут коснуться своей нижней точкой объема два других липида, представленных на этой же схеме (рис. 1 а и рис. 1 в).



**Рисунок 1. Зависимость пространственного положения липидной молекулы в воде от величины её плавучей плотности.**

Помимо этого заданная величина плавучей плотности обязательно затруднит для липида рис. 1б неконтактное взаимодействие с другими веществами, находящимися от него на расстояниях  $h_a$  или  $h_b$ . Это обстоятельство связано с тем, что согласно закону всемирного тяготения, два тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной массе каждого из них и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.

Следовательно, в мире живой природы, в отличие от неживой, порядок во взаимодействии элементов системы устанавливает их плавучая плотность, напрямую зависящая от сиюминутной конформации этих биоструктур и плотности окружающей их среды. В то же время комплементарность, присущая некоторым биоэлементам, обеспечивает их более длительное и сильное взаимодействие по сравнению с некомплементарными парами субъединиц.

Приведем еще ряд данных плотностей липидов, поскольку этот класс веществ максимально разнообразен. Так, холестерин имеет плотность, равную  $0,95 \text{ г/см}^3$ . Плотность растительных масел –  $0,88\text{-}0,98 \text{ г/см}^3$ , а восков – от  $0,809$  до  $0,980 \text{ г/см}^3$ . Самый легкий жир – у кашалота ( $0,878 \text{ г/см}^3$ ), а самый тяжелый – у барана ( $0,953 \text{ г/см}^3$ ).

Человеческий жир имеет плотность, равную  $0,9178 \text{ г/см}^3$ . Плотность крови человека  $1,050\text{-}1,064 \text{ г/см}^3$ . Плотность плазмы крови человека  $1,024\text{-}1,034$ , а плотность клеток крови –  $1,089\text{-}1,097 \text{ г/см}^3$ . Осмотическое давление плазмы – около  $7,5$  атм; Онкотическое давление плазмы –  $25\text{-}30$  мм рт. ст.

Вязкость и плотность крови создают белки и эритроциты. Показатели вязкости и плотности цельной крови могут повышаться при больших потерях воды в случаях длительных поносов, рвоте, обильном потоотделении. Если вязкость воды принять за единицу, то вязкость цельной крови в  $3\text{-}6$  раз больше. Плотность эритроцитов –  $1,080\text{-}1,040 \text{ г/см}^3$ .

Поскольку большинство биохимических процессов происходит внутри клетки в цитоплазме, приведем здесь значение аналогичной характеристики. Следует отметить, что физическое состояние цитоплазмы, содержащей от  $50$  до  $90$  % воды и обладающей удельным весом  $1,04$ , регулирует скорость протекания биохимических процессов в клетке: чем она плотнее, тем медленнее идут химические реакции.

В связи с тем, что многие естествоиспытатели считают, что жизнь зародилась в морской воде, важно привести здесь же величину её плотности еще по одной причине.

Плотность морской воды является важнейшей характеристикой гидрологического режима, от распределения которой зависит плотностная циркуляция вод и процесс конвективного перемешивания.

Вертикальное распределение плотности и её годовой ход в деятельном слое океана в основном определяются изменениями температуры воды. Исключение составляет Северный Ледовитый океан, в котором определяющим фактором является пониженная соленость поверхностного слоя.

Средняя плотность поверхностных вод Мирового океана (с морями)  $1,02474 \text{ г/см}^3$ . Если рассматривать отдельные океаны, то самую низкую плотность вод имеет Тихий океан ( $1,02427 \text{ г/см}^3$ ), а самую высокую Атлантический ( $1,02543 \text{ г/см}^3$ ). Величина плотности зависит от температуры и в меньшей степени от солености, так как соленость изменяется в меньших пределах. На глубинах плотность воды зависит и от давления.

Для сравнения перечисленных выше величин приведем значения аналогичной характеристики для нуклеотидов и аминокислот.

Для аминокислот характерны следующие значения плотности: валин (Val) –  $1,230$ , фенилаланин (Phe) –  $1,29$ , метионин (Met) –  $1,340$ , пролин (Pro) –  $1,35\text{-}1,38$ , аланин (Ala) –  $1,432$ , тирозин (Tyr) –  $1,456$ , глутаминовая кислота (Glu) –  $1,4601$ , серин (Ser) –  $1,537$ , глицин (Gly) –  $1,607 \text{ г/см}^3$ .

У пиримидина урацила (U,  $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2$ ) плотность равна  $1,32 \text{ г/см}^3$ , а у пурина гуанина (G, Гуа, Gua) –  $2,2 \text{ г/см}^3$ . У пурина аденина (A,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5$ ) и пиримидина цитозина (C,  $\text{C}_4\text{H}_5\text{N}_3\text{O}$ ) величины плотности одинаковы и равны  $1,6 \text{ г/см}^3$ .

Попутно заметим, что у этих нуклеотидных оснований близки и спектры поглощения ультрафиолетовых лучей при  $\text{pH} = 7$ . Так,  $266 \text{ мкм}$  – у аденина и  $267 \text{ мкм}$  – у

цитозина (при pH 7-10). Следует напомнить, что помимо этого, у цитозина есть еще две аналогичных характеристики: 282 мкм при pH = 14 и 276 мкс при pH 1-3.

Анализ приведенных выше данных, свидетельствует о том, что разница в значениях плотностей между комплементарными парами нуклеиновых цепей различна: 0,6 (г/см<sup>3</sup>) у пары гуанин – цитозин и 0,28 (г/см<sup>3</sup>) у пары аденин – урацил. В этой связи становится понятным, почему между гуанином и цитозином обязательно должно быть три водородные связи, а между аденином и урацилом, как и между аденином и тиминном (Т), достаточно двух.

Как известно, в РНК среди оснований нет тимина, поскольку он заменен на урацил (U), в котором в положении 5 вместо группы СН<sub>3</sub> (свойственной тимину) находится атом Н.

Попутно заметим, что аденин отличается от гуанина по группам в положениях 2 и 6. Цитозин также отличается от тимина группами, присоединенным к углеродам в положениях 2 и 6.

Если принять за верную гипотезу первичность мира РНК, тогда первичными нуклеиновыми кислотами были именно РНК. В этом случае наличие в нуклеотидах РНК урацила вместе тимина можно объяснить энергетической выгодностью, поскольку для синтеза урацила, как неметилированного основания, уходит значительно меньше энергии, чем для синтеза метилированного основания – тимина.

Но, почему же в составе соответствующих нуклеотидов ДНК вместо урацила находится тимин? Скорее всего, причина данной замены кроется именно в механизме репарации дезаминированного цитозина (С).

Дезаминирование цитозина – превращение цитозина в урацил, происходит чаще всего спонтанно, поскольку цитозин, реагируя с азотистой кислотой, находящейся в сводном состоянии в клетке, часто дезаминируется, превращаясь в урацил. Фактически, эта химическая реакция и является причиной спонтанной мутации С → U.

В результате, если бы в составе ДНК был бы урацил вместо тимина, то было бы невозможно различить мутантную пару А-У от канонической пары А-У, и мутации бы интенсивно накапливались. Но, поскольку у тимина есть своеобразный маркер – метильная группа, то становится возможным выявление мутации и быстрая репарация ДНК.

Попутно заметим, что к основным повреждениям нуклеиновых кислот относятся спонтанные: депуринизация, деаминирование и алкилирование оснований, а также повреждения активными формами кислорода или ультрафиолетом. Наконец, значительные мутации вызывают ошибки транскрипции.

Таким образом, использование тимина в качестве одного из азотистых оснований для нуклеотидов ДНК было закреплено эволюционно из-за приведенной выше причины. Он значительно повышает стабильность генетического аппарата.

Учитывая выше приведенные факты, можно предположить, что одинаковые величины плавучей плотности способствовали более легкому взаимодействию и дальнейшему объединению цитозина с аденином. При этом со временем из них смогли сформироваться следующие сдвоенные цепи: СА/АС, СА/АУ, СА/ГУ, СА/ГТ.

При этом приемлемость замены одного из двух цитозинов (С) сдвоенной цепи на урацил (U), обладающий плотностью, меньшей, чем у цитозина и аденина, и рав-

ной  $1,32 \text{ г/см}^3$ , могла быть эволюционно связана с еще одной особенностью этого пиримидинового производного – его способностью связываться с любым основанием.

Вследствие этого следующая мутация в сдвоенной цепи состояла в замене одного из двух аденинов (А) на гуанин (G), имеющий большую величину плавучей плотности, чем все остальные основания нуклеотидных цепей, –  $2,2 \text{ г/см}^3$ .

Данное обстоятельство способствовало тому, что участок цепи с гуанином стал располагаться в воде несколько ниже, чем аналогичный участок с участием двух аденинов. Это, в свою очередь, обеспечило ему лучшую защиту от солнечных лучей, по сравнению с предыдущими цепями. В то же время смена урацила (U) на тимин (T), позволила биообъектам находить мутации в дочерней цепи и обеспечивать длительное существование данной биоструктуры.

Все вышеприведенные факты и привели к закреплению взаимодействия именно этих нуклеотидных оснований: C, A, G, U и C, A, G, T, ставших, соответственно, составляющими рибонуклеотидов (РНК) и дезоксирибонуклеотидов (ДНК).

Попутно заметим, что расстояния между  $C1'$ - атомами дезоксирибозы в двух цепях оказываются одинаковыми для комплементарных АТ- и GC-пар и равными  $1,085 \text{ нм}$ . В результате АТ и GC-пары включаются в двойную спираль без какого-либо заметного изменения геометрии остова. В то же время введение минорного нуклеотидного основания может привести к искажению геометрии остова цепи.

Следует отметить, что анализ приведенных выше участков сдвоенных нуклеотидных цепей легко объясняет целый ряд особенностей ДНК. Например:

- Почему направление цепей в ДНК всегда взаимно противоположное? Потому что первая двойная нуклеотидная цепь образовалась только из двух почти идентичных по плотности нуклеотидных оснований и могла образовывать следующие двойные цепи: CA/AC или же AC/CA.
- Почему только одна из двух цепей ДНК и РНК является цепью, кодирующей белок? Регулярно прочитывается только одна цепь биообъекта, в которой в процессе эволюции возникали мутации (т.е. дочерняя цепь, комплементарная другой – неизменной, материнской, эталонной).

Помимо этого становится понятным возможность возврата биообъекта в исходное «дикое» состояние, если остается неизменной материнская цепь, поскольку C всегда комплементарен G, а A – U (T).

Следует особо подчеркнуть, что именно данный принцип комплементарности позволяет понять механизм уникального свойства молекул ДНК – их способность самовоспроизводиться.

Отметим также, что процесс самовоспроизведения молекул ДНК происходит при активном участии ферментов. Особые расплетающие белки последовательно как бы проходят вдоль системы водородных связей, соединяющих азотистые основания обеих полинуклеотидных цепей, и разрывают их. Образовавшиеся в результате одиночные полинуклеотидные цепи ДНК достраиваются согласно принципу комплементарности с помощью фермента за счет свободных нуклеотидов, всегда находящихся в цитоплазме и ядре. Напротив гуанилового нуклеотида становится свободный цитозиловый нуклеотид, а напротив цитозилового, в свою очередь, гуанило-вый и так далее.



Во вновь образовавшейся цепи возникают углеводно-фосфатные и водородные связи. Таким образом, в ходе самовоспроизведения ДНК из одной молекулы синтезируются две новые.

Обратим внимание на следующие данные нуклеотидных цепей: разница величин плотностей аденина и урацила (в РНК) составляет 0,28 (1,6-1,32) г/см<sup>3</sup>, а аденина и тимина (в ДНК) 0,37 (1,6-1,23) г/см<sup>3</sup>, в то же время разница величин плотностей гуанина и цитозина, связанных друг с другом тремя водородными связями составляет 0,6 (2,2-1,6) г/см<sup>3</sup>.

Попутно напомним, что водородная связь – специфическая связь, которая создается атомом Н, который находится в группах ОН, NH, FH, ClH и иногда SH, причем Н связывает эти группы с валентно насыщенными атомами N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и F. Водородные связи определяют структуру и свойства воды, как самого главного и основного растворителя в биосистемах. Водородные связи участвуют в формировании макромолекул, биополимеров, а так же связях с малыми молекулами. U<sub>вод</sub> = 4-29 кДж/моль.

Основной вклад в водородные связи вносят электростатические взаимодействия, но они не сводятся к ним. Протон движется вдоль прямой, соединяющей электроотрицательные атомы и испытывает различное влияние со стороны этих атомов.

В таком случае приведенные выше данные невольно свидетельствует о том, что одной водородной связи достаточно для удержания рядом двух составляющих биообъектов, величины плотностей которых не будут различаться более, чем на 0,2 г/см<sup>3</sup>.

Однако это также может свидетельствовать и о том, что для разделения двух нуклеотидных цепей друг от друга достаточно добавить к одной из них какую-либо субъединицу этого же биообъекта или же чужеродный элемент (включая, ион металла или химическое вещество) с плотностью, отличной от плотностей приведенных выше нуклеотидов. Именно поэтому так опасна замена ионов металлов, обладающих малой величиной плотности, на ионы металлов с большей величиной плотности.

Известно, что металлы вызывают в ДНК три типа повреждений, выявляемых с помощью техники щелочного элюирования; это - разрывы одиночной цепи ДНК и две сшивки: ДНК-белок и ДНК-ДНК.

Взаимодействие ДНК с ионами металлов препятствует её переходу из А-формы и вызывает значительные изменения энергии гидратации. В присутствии ионов Mn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и при низких концентрациях ионов Cu<sup>2+</sup> (Cu<sup>2+</sup> / P = 0,4) макромолекула ДНК переходит только в конформацию семейства В-форм, тогда как при высокой концентрации Ca<sup>2+</sup> (Ca<sup>2+</sup> / P = 20) в некоторых частях ДНК появляется А-форма [1].

Вероятно также, что поскольку в РНК присутствует множество разных минорных оснований, обладающих различной величиной плотности и геометрических размеров, две её цепи редко соединяются на длительном протяжении.

В то же время А-форма РНК максимально близка к А-форме ДНК. Следует также заметить, что А-ДНК образуется при высушивании волокон В-ДНК.

В А-ДНК плоскости пар оснований повернуты примерно на 20° от нормали к оси правой двойной спирали. На виток спирали здесь приходится 11 пар оснований.

Двойная спираль РНК в её А-форме также содержит 11 пар оснований на виток, шаг спирали равен 3,1 нм. Расстояние между соседними парами оснований вдоль оси спирали составляет 0,28 нм (3,1 нм / 11); они повернуты относительно друг друга

на угол  $33^\circ$  ( $360^\circ / 11$ ). Плоскости оснований составляют порядка  $20^\circ$  с нормалью к оси двойной спирали.

В то же время отмечают, что РНК не способна переходить в В-форму. Это обусловлено присутствием в ней объемной 2'-гидроксильной группы рибозы, которой нет в дезоксирибозе.

Напомним характеристики В-формы ДНК, поскольку в клетке её нуклеотидные цепи обычно находится именно в этой форме. В-ДНК – это стандартная уотсон-криковская структура, в которой плоскости пар оснований перпендикулярны оси двойной спирали.

При В-форме ДНК – биологическая макромолекула, носитель генетической информации во всех эукариотических и прокариотических клетках и во многих вирусах – состоит из двух антипараллельных полидезоксинуклеотидных цепей, которые закручены в правую двойную спираль.

Геометрия двойной спирали В-формы ДНК такова, что соседние пары оснований находятся друг от друга на расстоянии 0,34 нм и повернуты на  $36^\circ$  вокруг оси спирали. На один виток спирали приходится, следовательно, 10 пар оснований и шаг спирали равен 3,4 нм. Диаметр двойной спирали ДНК равен примерно 2,0 нм.

В двойной спирали образуются два желобка – большой и малый. Это связано с тем, что сахарофосфатный остов расположен дальше от оси спирали, чем основания.

Благодаря наличию большой (22 Å) бороздки (желобка) с ДНК взаимодействуют белки, которые распознают последовательность нуклеотидов. В малом желобке (12 Å) могут располагаться липидные молекулы, а также ионы двухвалентных металлов, стабилизирующие двойную цепь ДНК.

Как правило, в хромосомах и в цитоплазматических органеллах ДНК имеет двунитовую структуру. Лишь у некоторых вирусов молекулы ДНК представлены одной полинуклеотидной цепью. Примерами таких вирусов могут быть фаги  $\phi$ X174 и S13.

Существование организмов лишь с одной цепочкой ДНК свидетельствует о том, что для синтеза белков в клетке достаточно функционирования одной полинуклеотидной нити. Однако двунитовое состояние молекул ДНК обеспечивает им большую химическую устойчивость при метаболических процессах в клетке. Это имеет огромное биологическое значение для сохранения той генетической информации, которую несёт в себе ДНК.

подавляющее большинство вирусов являются РНК-содержащими. Причем вирусы растений чаще всего содержат одноцепочечную РНК, а бактериофаги, как правило, обладают двухцепочечными ДНК.

### **Различия в требованиях к составляющим живой и мертвой Природы**

В связи с вышеизложенными фактами становятся объяснимыми и различия в требованиях к элементам, составляющим объекты живой и неживой Природы.

Следует особо подчеркнуть, что Природа всегда чрезвычайно экономна и изобретательна. Общеизвестно, что ею для построения неживой Материи отобран весьма узкий круг элементов. Так, почти 99 % массы физически доступного слоя Земли составляют всего восемь химических элементов: кислород (около 47 %), кремний (около 27,5 %), алюминий, железо, кальций, натрий, калий и магний.

Подобная тенденция характерна для состава живых организмов. Однако, как оказалось, органогенами стали отнюдь не те элементы, запасы которых в Природе

были изначально велики, ибо принцип отбора для составляющих объектов живой природы состоял в ином.

Прежде всего, для самоорганизации органических соединений потребовались элементы, способные к образованию прочных и, следовательно, энергоемких связей с другими элементами, причем связей лабильных, т.е. подвижных, способных к перестройке. Такой лабильностью обладает углерод.

Атомы углерода способны выполнять роли и акцептора, и донора электронов, образовывать как ионные, так и ковалентные связи, причем эти связи могут быть как одноэлектронные, так и с использованием двух, трех, четырех и шести электронов.

Высокой лабильностью отличаются также такие органогены, как азот, фосфор и сера. Что же касается кислорода и водорода, то им отведена роль элементов, выполняющих противоположные функции – окисления и восстановления [11].

Благодаря этому отбору более 97% общей массы живых объектов Природы составляют всего шесть элементов, называемых органогенами: углерод (С), водород (Н), кислород (О), азот (N), фосфор (P) и сера (S).

Отметим, что почти все составляющие живой природы содержат в своем составе в различных сочетаниях С и Н.

И как же в этой связи не напомнить, что одно из значений буквосочетаний «СН», написанных латиницей, в химии означает – «углеводородная группа»; а, как «Чит» – «превосходство», «стремление к совершенству»?!

Интересно, что и другое значение «СН» в игровом мире (от англ. cheat «Читер» – жульничество) означает лицо, за счет кодов осуществляющее свое превосходство, а буквосочетание СН, записанное кириллицей, означает «сверхновая» [3].

Недаром, видно, мудрые люди пришли к выводу, что имя – основное средство общения между всем сущим во Вселенной.

Однако, этим отбор элементов и их соединений в природе не ограничивается. Среди известных в настоящее время примерно 8 млн. химических соединений около 97 % – органические соединения, состоящие, в основном, из уже упомянутых шести органогенов, и только 3 % – неорганические соединения.

На фоне такой ярко выраженной асимметрии вполне обоснованным выглядит предположение о том, что в процессе предбиологической подготовки Природа создавала как можно более широкий спектр органических и неорганических соединений для того, чтобы не были ограничены возможности их самоорганизации.

Поскольку свойства воды, в том числе – плотность, сильно зависят от значения её температуры, огромным подспорьем для возникновения жизни на Земле является способность двух химических элементов связываться друг с другом в различных пропорциях, образуя тем самым вещества не только с плотностью, отличной от плотности его составляющих, но и обладающие различными физико-химическими данными.

Для подтверждения этого заключения приведем сведения о двух оксидах азота:

*Оксид азота (II) NO*. Молярная масса 30 г/моль. Температура плавления равна 164 °С, температура кипения – 154 °С. Плотность газообразного NO при нормальных условиях (0 °С, 1 атм) 1,3402 г/л. Растворимость при атмосферном давлении и 20 °С равна 4,7 мл газа NO на 100 г воды.

В природных условиях оксид азота (II) NO (1,3402 кг/м<sup>3</sup>) образуется при взаимодействии азота (1,2505 кг/м<sup>3</sup>) с кислородом (1,42904 кг/м<sup>3</sup>) [4].

*Оксид азота (IV) NO<sub>2</sub>*. Молярная масса 46 г/моль. Температура плавления – 11 °С, температура кипения 21 °С. Плотность газообразного NO<sub>2</sub> при н. у. 1,491 г/л. Растворимость – при условии, что этот оксид сначала реагирует с водой на воздухе, а потом еще и растворяется в получившейся азотной кислоте, – можно считать неограниченной (вплоть до образования 60 %-й HNO<sub>3</sub>).

Заметим, что оксид NO с водой не реагирует.

В то же время оксид NO<sub>2</sub> с водой образует две кислоты – азотную (степень окисления азота +5) и азотистую (степень окисления азота +3). В присутствии кислорода оксид NO<sub>2</sub> целиком переходит в азотную кислоту:



Попутно отметим, что азот образует ряд оксидов, формально отвечающих всем возможным степеням окисления от +1 до +5: N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Однако, всего лишь два из них – оксид азота (II) и оксид азота (IV) – не только устойчивы при обычных условиях, но и активно задействованы в природном и промышленном круговоротах азота [4].

Поскольку неорганические фосфаты содержатся во всех жидкостях, тканях и клетках организма и образуют одну из буферных систем крови, приведем данные о величинах плотностей некоторых неорганических фосфатов: Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O – 1,62; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O – 2,066; NH<sub>4</sub>Zn<sub>2</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub> · 7H<sub>2</sub>O – 2,14; MnP<sub>4</sub>O<sub>11</sub> – 2,62; Ca<sub>4</sub>P<sub>6</sub>O<sub>19</sub> – 2,85; Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O – 3,104; Li<sub>2</sub>BaP<sub>2</sub>O – 3,62; Fe<sub>9</sub>O<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>) – 5,12; Pb<sub>2</sub>HP<sub>3</sub>O<sub>10</sub> – 5,30; Pb<sub>8</sub>P<sub>2</sub>O<sub>13</sub> – 8,29 г/см<sup>3</sup> [5]. В то же время плотность их составляющих равна для: водорода (H) – 0,0000899; кислорода – 0,00142897; лития (Li) – 0,534; натрия (Na) – 0,971; белого фосфора – 1,82; кальция (Ca) – 2,15; бария (Ba) – 3,5; цинка (Zn) – 7,133; марганца (Mn) – 7,21; железа (Fe) – 7,874; свинца (Pb) – 11,3415 г/см<sup>3</sup>.

Попутно заметим, что H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – (Pi) – неорганический фосфат, ортофосфорная кислота (фосфорная кислота) – неорганическая кислота средней силы, появляющаяся при расщеплении аденозинтрифосфата (АТФ, главного поставщика энергии во всех клетках) до аденозиндифосфата (АДФ), обладает достаточно небольшой плотностью 1,88-1,9 г/см<sup>3</sup>.

В этой связи возникает предположение о том, что вода, как главная составляющая объектов природы, отбирала из окружающего её материала вещества и соединения химических элементов, имеющих плотность от 0 (поскольку водород имеет плотность 0,0000899) до 10 г/см<sup>3</sup>.

В то же время стремление биосистемы заполнить для своих нужд какой-либо один химический элемент, обычно приводит к попаданию в неё и иных химических элементов, связанных с ним в объектах неживой и живой Природы. Следовательно, одновременно с созданием системы захвата какой-либо нужной составляющей биоструктуры, должны были создаваться и системы их выделения за пределы своего объема.

В результате лишь несколько сотен из миллионов органических соединений входят в состав живой материи, а из более чем 150 известных аминокислот лишь 20 служат мономерными звеньями, из которых построены более миллиона различных белков.

Можно только поражаться тому, какое разнообразие живой материи возникло из минимума элементов и соединений.

В этой связи напомним, что 8 аминокислот являются незаменимыми для многих биообъектов. Это – метионин (Met, M; AUG) и триптофан (Три, Trp, W; UGG), имеющие по одному кодону; фенилаланин (Фен, Phe, F; UUU, UUC) и лизин (Лиз, Lys, K; AAA, AAG), имеющие по два кодона; изолейцин (Иле, Ile, I; AUU, AUC, AUA), имеющий три кодона; а также валин (Val Вал, Val, V; GUU, GUC, GUA, GUG) и треонин (Тре, Thr, T; ACU, ACC, ACA, ACG), имеющие по четыре кодона, и лейцин (Лей, Leu, L; UUA, UUG, CUU, CUC, CUA, CUG).

Эти достаточно большие по размеру аминокислоты не могут синтезироваться в организме животных и человека, и должны доставляться с пищей. Однако этот же факт может свидетельствовать и о том, что они были выбраны биоструктурой, оказавшей огромное влияние на генетический код, еще на предклеточном уровне развития живой Природы.

К тому же можно сделать заключение о том, что эти аминокислоты настолько прочно заняли свои места в биоструктурах типа «БСОЛ-2012», что в реакционные каналы с диаметром вписанной окружности 0,113-0,159 нм смогли занять только лишь 12 металлов.

Однако приведенные выше факты, могут свидетельствовать и о том, что каждая группа живых объектов, также последовательно появлялась на Земле, как и водно-липидные системы со все большим количеством молекул воды в водном кластере. В результате этого археи могли использовать для своего строительства преимущественно малые по размеру липидные молекулы. Животные клетки могли использовать для своего строительства преимущественно средние по размеру липиды и липиды малых размеров, в то время как растения могли использовать липиды уже всех трех размеров, включая и самые большие.

Поскольку аминокислота взаимодействует с тремя взаимодействующими липидами, входя в их реакционный канал, то, соответственно, должны были разделиться на три разноразмерные группы и 20 аминокислот. Следовательно, описанный выше выбор обязательно должен был сказаться не только на размерах самих биологических объектов, но и на их генотипах, а через него и на их свойствах.

В качестве подтверждения сделанного выше вывода приведем величины средних размеров диаметра клеток: архей – около 1 мкм, растений – 30-40, а животных 20-30 мкм. Попутно напомним, что 1 мкм =  $10^{-6}$  м, иногда эту размерность называют микрометром и микроном.

Кроме того, как показали исследования, состав жирных кислот липидов может быть использован при определении культур, систематическое положение которых представляется спорным. К тому же, в отличие от других биообъектов, археи в составе мембранных липидов имеют не жирные кислоты, а многоатомные спирты, обычно с 20 или 40 атомами углерода, создающие мономерные слои.

Способность создавать липидный монослой не только непосредственно объединяет представляемую в этой работе биологическую переносящую и катализирующую «Биологическую структуру Одесса-Лондон-2012» («БСОЛ-2012») и мембраны археев, но и невольно свидетельствует о том, что липидный монослой может быть очень прочным. Именно благодаря своей прочности биоструктура, заложившая основу генетического кода, и могла распространиться по всей Земле, сделав тем самым эту главную особенность живых биообъектов всеобъемлющей и универсальной.

В этой связи следует обратить внимание и на еще одну особенность мономеров «БСОЛ-2012» – их способность захватывать в свои реакционные каналы не только аминокислоты, но и другие вещества и химические элементы. Все эти перечисленные выше «добавки», обладающие своей величиной плотности, приводили к изменению плотности конформаций объединенной биоструктуры. Тем самым, они позволяли новой биоструктуре устойчиво и длительно находиться на новом (но как всегда определенном условии такой сборки) уровне от поверхности воды. Это, в свою очередь, помогало биоструктуре, защищаясь от всего спектра электромагнитного излучения Солнца, подбирать диапазон его поглощения, максимально близкий к диапазону электромагнитного излучения, доходящему через воду на уровень нахождения биоструктуры.

К тому же обязательно следует помнить и о том, что гладкая поверхность моря при нормальном падении ( $t = 0^\circ$ ) пропускает 98 % упавшего пучка, при касательном же падении ( $i = 90^\circ$ ) поверхность моря ничего не пропускает. Так как s- и p-лучи пропускаются по-разному, естественный свет, вошедший в море, оказывается поляризованным, причем степень поляризации различна для разных углов падения пучка на морскую поверхность [6].

Обратим внимание на тот факт, что свет, поляризованный по часовой стрелке (если смотреть навстречу лучу), губительно воздействует на D-молекулы, а поляризованный против часовой стрелки, наоборот, разрушает только L-аминокислоты [7].

Поскольку вода (самое распространенное во Вселенной молекулярное вещество, после водорода) присутствует и в космосе совместно с иными химическими элементами, некоторое преобладание L-аминокислот над D-аминокислотами может выявляться и там. Точно также будет сохраняться в космосе и спектр поглощения УФ-лучей различными аминокислотами.

В этой связи отметим, что УФ-излучения, особенно коротковолновой части УФ-В, снижается значительно быстрее, чем интегрального светового излучения Солнца. В северном полушарии от 42-й параллели к тропикам возникает физиологическая избыточность, а с 57-й параллели к северу – недостаточность солнечной радиации в виде ультрафиолетовых сумерек и ночи значительную часть года. Интенсивность суммарного эритемного солнечного излучения выражают в эрах. 1 эр равен излучению 1 Вт с длиной волны 297 нм.

Глубина проникновения света зависит от длины волны. В предельно чистой морской воде при переходе от красного света к синему глубина проникновения видимого света (до полного затухания – 30 дБ, в 1000 раз) растет от 11 до 160 м (постоянная поглощения  $0,310-0,021 \text{ м}^{-1}$ ). Ультрафиолетовые лучи проникают в воду еще глубже. Воздействие ультрафиолета на фотопластинку заметно до глубины максимум 500–1000 м. увеличение глубины проникновения с уменьшением длины волны продолжается в ультрафиолетовых поддиапазонах А (400-320 нм) и В (320-275 нм) с минимумом затухания в поддиапазоне С (275-180 нм). Затем затухание начинает возрастать с резким подъёмом при длине волны около 160 нм. Так, если постоянная поглощения красного света (700 нм) составляет  $1,0 \text{ м}^{-1}$ , то соответственно в фиолетовой области спектра (400 нм) –  $0,355 \text{ м}^{-1}$ ; в ближнем ультрафиолете (320 нм) –  $0,262 \text{ м}^{-1}$ ; при 275 нм –  $0,235 \text{ м}^{-1}$ ; при 180 нм –  $0,588 \text{ м}^{-1}$ . То есть, в корот-

коволновом диапазоне глубина проникновения УФ излучения сравнима с таковой для видимого света.

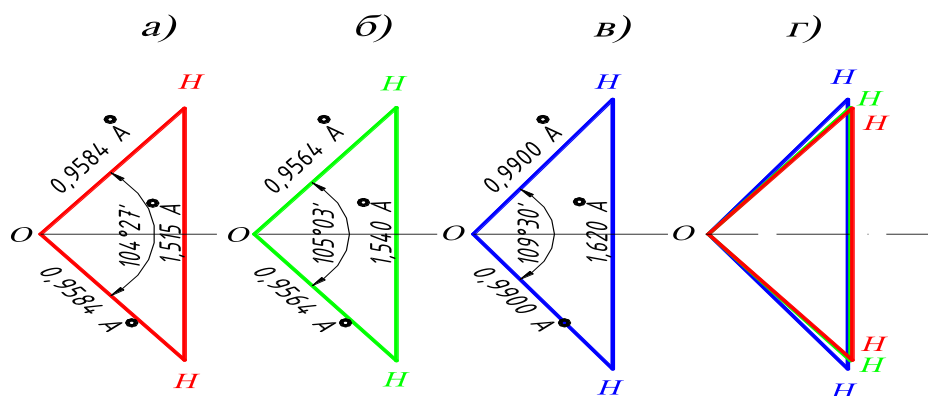
Благодаря вышеперечисленным обстоятельствам на Земле и возникли две формы жизни: клеточные и неклеточные (вирусы).

В свою очередь, клеточные формы представлены пятью царствами: бактерии, простейшие, грибы, растения и животные. В этой связи обратим внимание на тот факт, что из биосистемы СА также можно получить пять возможных биосистем: СССА, ССАА, СААА, АССС, ААСС. Причем каждая из них, в этом случае, будет иметь свое строго определенное отношение Г + Ц к А + Т, и что, не менее важно, только ей присущий синтез аминокислот.

Действительно, названное выше отношение сумм нуклеотидов (коэффициент ГЦ-пар) для животных и большинства растений ниже 1 (от 0,54 до 0,94), в то время как у микроорганизмов он колеблется в значительных пределах (от 0,45 до 2,57). Причем данный коэффициент специфичности у микроорганизмов имеет таксономическое значение и обнаруживает значительные вариации от вида к виду, в то время как высшие растения и животные характеризуются малой вариабильностью состава и все они относятся к АТ типу. Попутно отметим, что с течением онтогенеза коэффициент специфичности не меняется.

Следует также заметить, что сочетание аминокислот и химических элементов для биоструктур очень выгодно, поскольку они оба способны защищать их от вредоносного влияния среды. Так, например, и свинец, и заменимая аминокислота цистеин защищают биообъекты от повреждающего действия радиации ( $\gamma$ -излучение). Помимо этого, сочетание значений их величин плавучей плотности и расстановка аминокислот и металлов в определенных лагунах биосистемы позволяла ей лучше приспособливаться к внешним условиям.

Завершая данный раздел работы, напомним, что главная составляющая объектов живой Природы – вода – обладатель еще одного уникальнейшего свойства. Молекула жидкой воды – единственное трехатомное вещество, имеющее соразмерности, свойственные «золотой пропорции» (см. рис. 2).



**Рисунок 2. Геометрия молекул  $H_2O$  для различных агрегатных состояний:**

- а – парового состояния; б – низшего колебательного уровня;**
- в – состояния природного льда; г – наложение плоскостных моделей молекул воды, при различных агрегатных состояниях**

Именно благодаря этому свойству молекулы воды мир живой Природы – это, прежде всего, мир гармонии, в которой действует закон «золотого сечения».

«Золотое сечение» – деление отрезка в крайнем и среднем отношении возникает, когда  $AB:AC = AB:BC$ . Данное отношение обозначается буквой  $\varphi \approx 0,618 \approx 5/8$ .

Попутно напомним, что «золотое деление» (или же «золотое сечение») даже сейчас частенько называют «божественной» пропорцией, а объекты Природы – божьим твореньем.

В биологических исследованиях 70-90 гг. показано, что, начиная с вирусов и растений и кончая организмом человека, всюду выявляется золотая пропорция, характеризующая соразмерность и гармоничность их строения.

«Золотое сечение» признано универсальным законом живых систем. Можно отметить два вида проявлений «золотого сечения» в живой природе: иррациональные отношения по Пифагору – 1,62 и целочисленные, дискретные – по Фибоначчи.

Другими интересными фигурами, которые мы можем повсеместно увидеть в природе, являются фракталы – фигуры, составленные из частей, каждая из которых подобна целой фигуре. Не напоминает ли это принцип «золотого сечения», как и плоскостные представления молекулы воды в трех её агрегатных состояниях – «золотой треугольник» с углом ( $\alpha$ ) при вершине, равным  $108^\circ$ ?

Начиная с биоструктуры, определившей все особенности генетического кода, фракталы чрезвычайно часто встречаются в объектах живой Природы. Деревья, бронхи, кровеносная система человека имеют фрактальную форму. Идеальными природными иллюстрациями фракталов называют также папоротники и капусту брокколи.

«Всё так сложно, и, одновременно, всё так просто устроено в Природе!» – замечают люди, с уважением и восхищением вглядываясь в неё, и постепенно изучая потаённые тайны Мироздания.

Об одной из них по талантливому кратко, но чрезвычайно емко и правдиво еще в конце XV века поведал людям один из самых известных почитателей гармонии в мире – итальянский художник (живописец, скульптор, архитектор) и учёный (анатом, естествоиспытатель), изобретатель, писатель, один из крупнейших представителей искусства Высокого Возрождения, ярчайший пример «универсального человека» – Леонардо ди сер Пьеро да Винчи (итал. *Leonardo di ser Piero da Vinci*; 15 апреля 1452, селение Анкиано, около городка Винчи, близ Флоренции – 2 мая 1519, замок Кло-Люсе, близ Амбуаза, Турень, Франция): «Воде была дана волшебная власть стать соком жизни на Земле».

### **Основное требование к биологической структуре, определившей универсальный генетический код**

Общеизвестно, что любая химическая и биологическая реакция, протекающая в нашем организме, требует непременно участия ферментов. К тому же, данные, которыми располагает современная биохимия, свидетельствуют о том, что принцип отбора «строительного материала» в ходе химической эволюции состоял в поддержании химической деятельности тех соединений, которые проявляли себя активными и селективными катализаторами, обеспечивая при этом упорядочение в расположении фрагментов органических структур.

Считается также, что, начиная с определенного состояния, при котором уже существовало определенное «стартовое» количество как неорганических, так и органических соединений, роль катализа в предбиологической эволюции необычайно возросла.



Начались естественный отбор и сохранение активных соединений, получающихся различными химическими путями и обладающих широким спектром каталитических возможностей.

Если предположить, что в основе химической эволюции лежит саморазвитие каталитических систем, то именно среди катализаторов, являющихся основными эволюционирующими структурами живых объектов, и необходимо искать биоструктуру, определившую все вышеперечисленные особенности генетического кода.

Однако, для этого прежде необходимо освежить в памяти свойства хотя бы нескольких биокаталитических систем, а также определить путь доставки их субъединиц в воду и способ их сборки в ней в полноценную биологическую структуру.

### **Свойства биокатализирующих систем**

Сразу же отметим, что значения молекулярных масс биокатализирующих систем, в том числе и белковых (энзимов, ферментов), колеблются в широких пределах: от нескольких тысяч до нескольких миллионов, что невольно свидетельствует о том, что эти биоструктуры могут состоять из одного или нескольких протомеров - структурных единиц, содержащих в себе одно место связывания для каждого из лигандов. Действительно, в случае аспартат-карбамоилтрансферазы (АКТаза, катализирующей перенос карбамоильного остатка с карбамоилфосфата на аминокгруппу L-аспартата) протомер состоит из одной Р- и одной К-цепи.

Аллостерические белки всегда построены из нескольких единиц. Так, АКТаза состоит из шести каталитических (К) и шести регуляторных (Р) цепей. Каждая из К-цепей имеет молекулярную массу – 33 000, а каждая из Р-цепей – 17 000.

В интактной молекуле имеется шесть мест связывания для аспартата и карбамоилфосфата на К-цепях и шесть мест связывания для СТР на Р-цепях.

Принято считать, что подобно гемоглобину, АКТ-аза может существовать в двух конформациях: менее активном Т-состоянии (от англ. tense – напряженное) и более активном R-состоянии (от англ. relaxed – расслабленное), а их субстрат и эффекторы влияют на равновесие между обоими состояниями и тем самым на сигмоидность кривой.

С возрастанием концентрации аспартата равновесие смещается к R-форме. АТФ стабилизирует R-состояние путем связывания с регуляторной субъединицей. Напротив, присоединение ЦТФ содействует переходу в Т-состояние.

Структурные перестройки между R- и Т-состояниями особенно заметны в случае АКТ-азы. При Т → R – переходе каталитические субъединицы удаляются друг от друга на 1,2 нм; кроме того, субъединицы поворачиваются вокруг оси симметрии. При этом сами конформации субъединиц, как и у гемоглобина, меняются незначительно.

В природе насчитывается несколько десятков ферментов, обладающих сравнительно небольшими молекулами (до 50 тыс.). В то же время большинство ферментов представлено белками более высокой молекулярной массы, построенными из субъединиц (протомеров). Так, каталаза содержит в молекуле 4 идентичных протомера. Полная молекула глутаматдегидрогеназы, ускоряющей процесс окисления глутаминовой кислоты обычно состоит из 4 или 6 одинаковых субъединиц.

РНК-полимераза также достаточно большая молекула. Основной фермент содержит 5 субъединиц:

- $\alpha_2$ : две  $\alpha$ -субъединицы связывают остальные элементы фермента и распознают регулирующие факторы. Каждая субъединица состоит из двух доменов:  $\alpha$ СКД связывает первый элемент промотора, и  $\alpha$ НКД связывается с остальными компонентами полимераза.
- $\beta$ : эта субъединица обладает собственно полимеразным действием, катализируя синтез РНК. Она осуществляет инициацию процесса и управляет элонгацией.
- $\beta'$ : неспецифически связывается с ДНК.
- $\omega$ : восстанавливает денатурированную РНК-полимеразу обратно в дееспособную форму *in vitro*. Также обнаружено ее защитное/шаперонное действие на  $\beta'$ -субъединицу у *Mycobacterium smegmatis*.

Для связывания с промоторными областями ДНК, основной фермент нуждается в еще одной субъединице – сигма. Сигма-фактор значительно снижает сродство РНК-полимеразы к неспецифичным областям ДНК, и в то же время повышает ее чувствительность к определенным промоторам, в зависимости от своей структуры. С его помощью транскрипция начинается с нужного участка ДНК.

Полный голоэнзим, таким образом, состоит из 6 субъединиц:  $\alpha_2\beta\beta'\omega$ . В структуре РНК-полимеразы присутствует канавка длиной 55 Å и шириной 25 Å. Именно в эту канавку помещается двойная спираль ДНК, имеющая ширину 20 Å. На длине канавки укладывается 16 нуклеотидов [8].

Следует особо подчеркнуть, что эукариоты обладают различными типами РНК-полимераз, классифицируемыми по типам РНК, которые они производят:

- РНК-полимераза I, синтезирующая 45S-предшественника рРНК, превращающаяся затем в рРНК 28S, 18S и 5,8S, которые уже образуют главные РНК-секции рибосомы.
- РНК-полимераза II, производящая предшественников для мРНК, а также для большинства мяРНК и миРНК. Это наиболее хорошо изученный тип РНК-полимеразы. Ввиду того, что транскрипция должна происходить под строгим контролем, РНК-полимеразе II для связывания с промоторами требуется целый набор факторов транскрипции.
- РНК-полимераза III, синтезирующая тРНК, 5S рРНК и другие малые РНК, присутствующее в ядре и цитозоле.

Существуют также и другие типы РНК-полимеразы, используемые в митохондриях и хлоропластах. Молекулярная масса этих ферментов составляет величину порядка 500 000. Они различаются по чувствительности к альфа-аманитину. Так, РНК-полимераза I нечувствительна к нему, РНК-полимераза III – умеренно чувствительна, в то время как РНК-полимераза II сильно ингибируется им.

Несмотря на то, что способы компоновки протомеров в мультимеры разнообразны, крайне важно, что построенный из субъединиц фермент проявляет максимальную каталитическую активность именно в виде мультимера: диссоциация на протомеры резко снижает активность фермента.

Исследование ферментов показало, что число полипептидных цепей в ферменте зависит от эволюционной ступени, занимаемой организмом. Так, фермент цитохромоксидаза прокариот включает 2-3 белковые цепи, эукариоты содержат цитохромоксидазу из 5 (соя, батат) или 7-8 субъединиц (дрожжи). У млекопитающих число субъединиц этого же фермента возрастает до 12-13.

Все полипептиды в цитохромоксидазе различны по структуре и имеют мол. м. от 5 до 57 тыс. Три наиболее крупные субъединицы (I-III) цитохромоксидазы эукариот кодируются в митохондриальном геноме и синтезируются на митохондриальных рибосомах. Эти субъединицы играют главную роль в выполнении биологических функций данного фермента. Они связаны со всеми окислительно-восстановительными центрами и имеют участки узнавания цитохрома с. Остальные субъединицы этого фермента кодируются в ядерном геноме и синтезируются в цитоплазме. Функции этих полипептидов, вероятно, связаны с регуляцией активности цитохромоксидазы и могут отражать также тканевую специфичность данной биокатализирующей системы.

О возможностях сбора таких биоструктур и доставке их составляющих на поверхность Земли речь пойдет в следующих разделах данной работы.

### Список использованных источников

1. Рис Э., Стернберг М. Введение в молекулярную биологию: От клеток к атомам. М.: Мир, 2002. 142 с.
2. Перечень докладов, представленных Л.Г. Телепневой на международных конференциях 2012 г. URL:<http://bologna-center.com/ru/user/3043> (дата обращения: 08.09.2013).
3. Значение буквосочетаний CH. URL:[ru.wikipedia.org/wiki/CH](http://ru.wikipedia.org/wiki/CH) (дата обращения: 23.08.2013).
4. Оксиды азота. URL:[http://ru.wikipedia.org/wiki/Оксиды\\_азота](http://ru.wikipedia.org/wiki/Оксиды_азота) (дата обращения: 23.08.2013).
5. Неорганические фосфаты. URL:<http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4828.html> (дата обращения: 24.08.2013).
6. Доронин Ю.П. Физика океана. РГГМУ, 2000. 340 с.
7. Шишлова А. Свет далеких звезд и жизнь на Земле // Наука и жизнь. 2000. № 6. С. 24-30.
8. РНК-полимераза. URL:<http://ru.wikipedia.org/wiki/РНК-полимераза> (дата обращения: 25.08.2013).
9. Моторика желудочно-кишечного тракта. URL:<http://www.grandars.ru/college/medicina/motorika-zhkt.html> (дата обращения: 9.09.2013).
10. URL:<http://nsportal.ru/shkola/biologiya/library/issledovatel'skaya-rabota>
11. URL:<http://biofile.ru/chel/1512.html>