

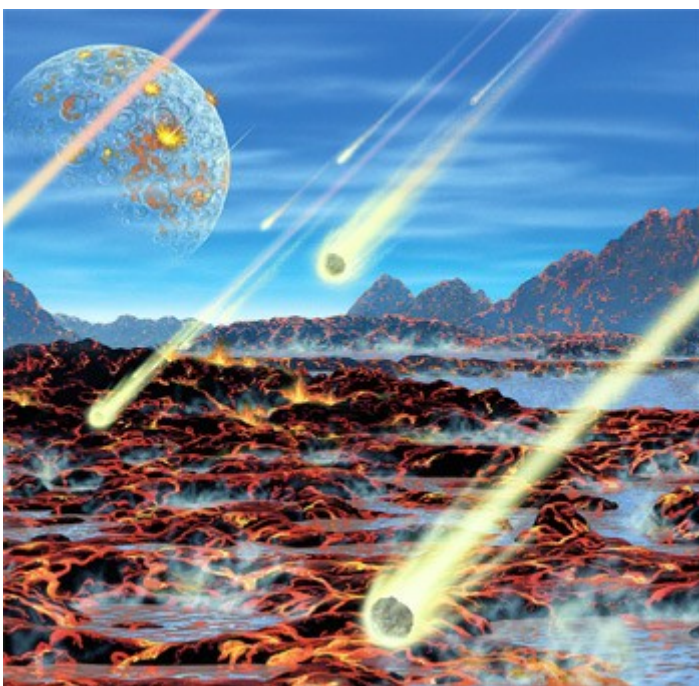


К.х.н. О.В. Мосин

ВОДА И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ

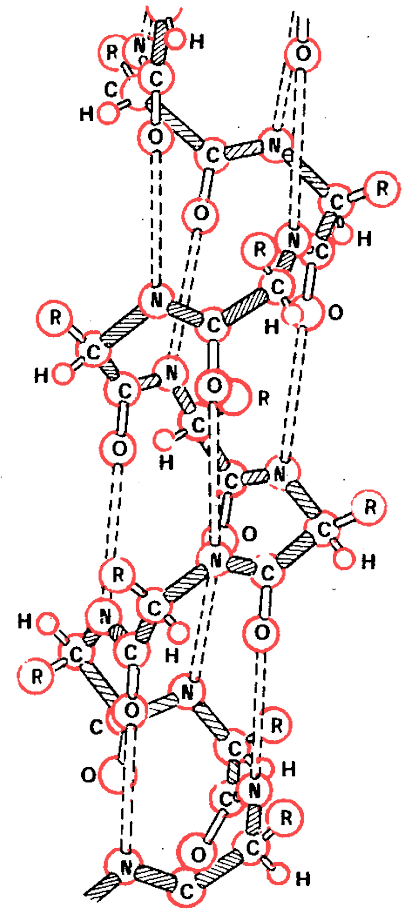
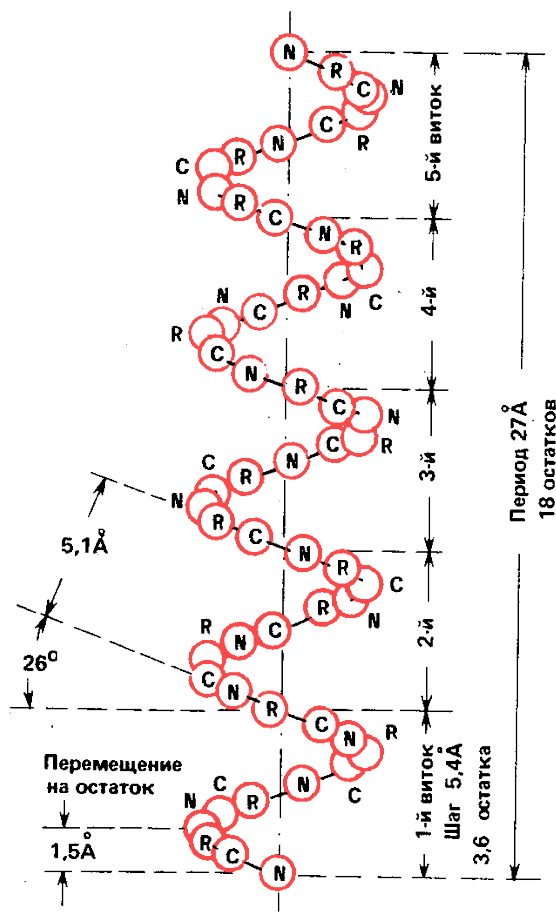
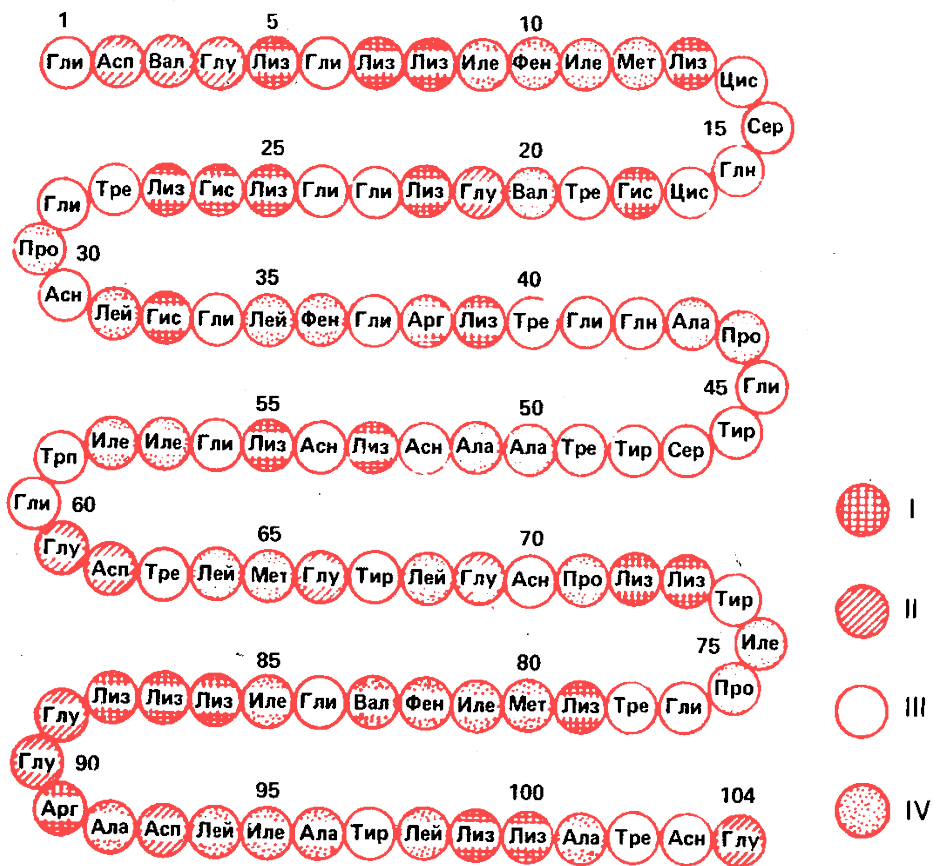
Жизнь зародилась в воде. За последние десятилетия учёные, используя самые разные виды энергии, получили в лабораторных условиях самые разнообразные "органические" вещества. Во всех этих опытах моделировались условия первичной бескислородной атмосферы.

Было установлено, что первичной бескислородной атмосфере древней Земли был возможен синтез "органических" молекул за счет энергии коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца, энергии электрических разрядов или за счет других геотермальных источников энергии.



Энергия молнии и геотермальных источников Земли использовалась для синтеза первых органических молекул

Среди соединений, входящих в состав современных организмов входят белки, полисахариды, липиды и нуклеиновые кислоты. Белки, полисахариды, липиды и другие подобные соединения функционируют во всех жизненно-важных процессах, а нуклеиновые кислоты управляют процессами воспроизведения, обеспечивая создание новых молекул. Все белки состоят из большого числа строительных блоков - молекул аминокислот. Обычно в составе природных белков встречается около 20 различных аминокислот. Отдельные их молекулы соединяются в цепи, образуя так называемые полипептиды. Некоторые белки состоят из нескольких полипептидных цепей, объединенных друг с другом в одну молекулу.



Структура белка – цитохрома С

Нуклеиновые кислоты представлены двумя главными типами молекул. Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), находится в ядрах клеток, а рибонуклеиновая кислота (РНК) в основном находится вне ядра, в цитоплазме. Лишь у некоторых простых организмов типа вирусов имеется только одна нуклеиновая кислота - РНК или ДНК. Молекулы нуклеиновых кислот несут генетическую информацию. Благодаря ей новые молекулы в точности похожи на те, которым требуется замена или пополнение.



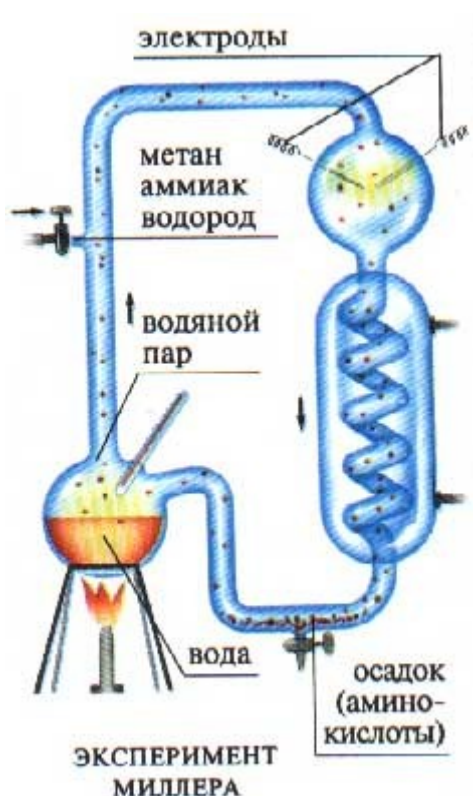
Молекула ДНК

Молекулы нуклеиновых кислот состоят из двух длинных цепей, закрученных одна вокруг другой, так что получается спиральная структура - так называемая двойная спираль.

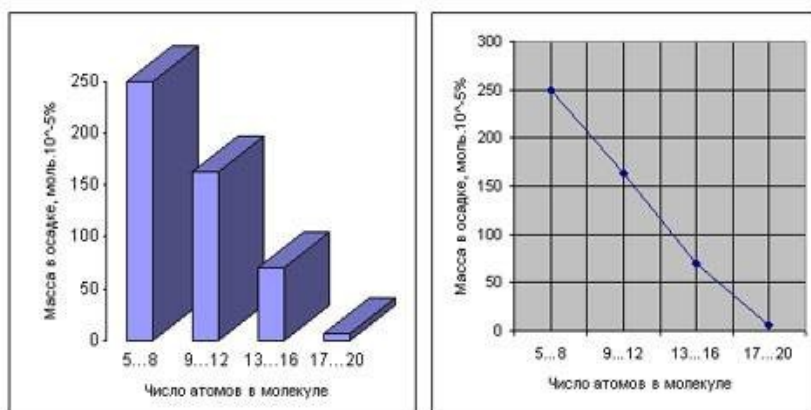
Каждая цепь построена из сходных блоков - нуклеотидов. Каждый нуклеотид цепи в свою очередь состоит из трех частей: фосфорной кислоты, сахара - дезоксирибозы (рибозы)- и какого-либо одного из четырех азотистых оснований. Четыре азотистых основания, входящих в состав ДНК, - это аденин и гуанин (пуриновые основания) и тимин и цитозин (пиримидиновые основания; в РНК вместо тимина присутствует урацил).

Две полинуклеотидные цепи молекулы ДНК "скреплены" в двойную спираль водородными связями, которые образуются между пуриновыми основаниями одной цепи и пиримидиновыми основаниями другой.

Первые эксперименты по неорганическому синтезу "органических" веществ в условиях первобытной Земли, провел С. Миллер. Он использовал очень простой прибор - колбу, в которой создаются электрические разряды. Прибор заполнялся водой и смесью газов - водородом, метаном и аммиаком; свободный кислород в колбу не допускался. В верхней части колбы непрерывно создавались сильные электрические разряды. Внизу нагревалась до кипения вода, создавая циркулирующую пар и воды.



Устройство аппарата, в котором под действием искрового разряда из водорода, метана, воды и аммиака в отсутствие кислорода образуются органические соединения. В качестве источника энергии использовался не ультрафиолет, а искровой разряд. Поскольку разряд дает меньше энергии, чем ультрафиолет, в последующих экспериментах использовали ультрафиолет. При этом из метана, аммиака и водорода синтезировались органические соединения – альдегиды и аминокислоты. Оригинальные эксперименты Миллера вызвали большой интерес среди учёных всего мира. К сходным опытам приступили многие ученые во всем мире, среди них американцы [3, 28, 29, 31], немцы [19] и наши соотечественники [27].



Распределение соединений, полученных в опытах Миллера, по массе и сложности (диаграммы построены по данным С. Миллера).

В 1960 году Уилсон [43], добавив в исходный раствор серу, получил более крупные молекулы полимеров, содержащие по 20 и более атомов углерода. В колбе были обнаружены странные тонкие пленки размером около 1 см (см. фото 1). Это были поверхностно-активные вещества, скопившиеся на поверхности раздела газ - жидкость в

виде тонких пленок. Учёные считают, что эти пленки молекул, синтезированных на границе между разными фазами, играли важную роль на ранних стадиях возникновения жизни.

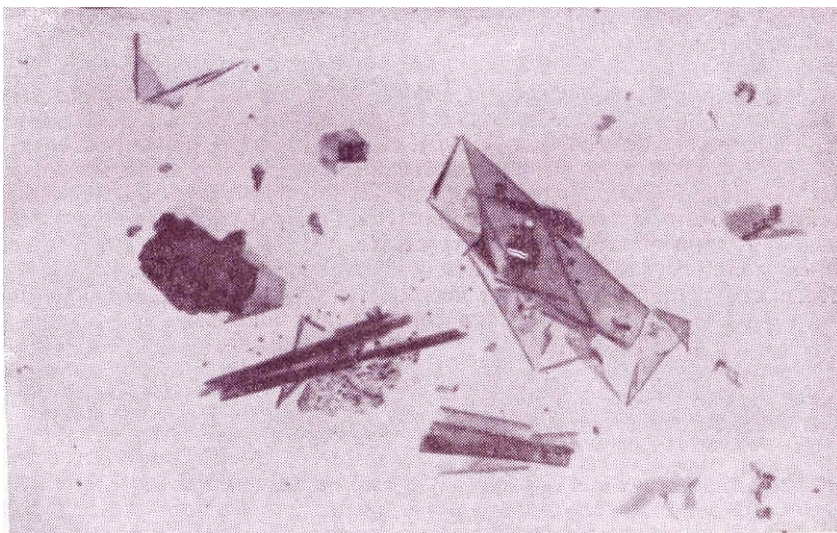


Фото 1. Плоские плёнки органических макромолекул, образующихся при искровых разрядах в смеси аммиака, сероводорода, паров воды и золы пекарских дрожжей.

А катализатором образования подобных пленок служила, по-видимому, сера. Это связано с тем, что на примитивной Земле сера, была широко распространена в форме зерен сульфидов (например, в пиритовых песках).

Поннамперума и сотр. [31] проводили эксперименты, подобные экспериментам Миллера, но с использованием в качестве источника энергии ультрафиолетового света. Хотя по теоретическим соображениям синтеза, идущие под действием ультрафиолета, не должны принципиально отличаться от тех, которые вызываются электрическим разрядом, важно было получить экспериментальное подтверждение этого факта. Ведь в условиях первичной атмосферы гораздо больше энергии поступало с ультрафиолетовым излучением.

Исследователи не только смогли синтезировать аминокислоты и пурины, т. е. строительные блоки белков и нуклеиновых кислот соответственно, но и, используя особые условия, смогли синтезировать из этих блоков полимеры. Оказалось, например, что в присутствии цианистого водорода аминокислоты полимеризуются, образуя пептидные цепи. Причём при добавлении фосфорной кислоты получались различные нуклеотиды [31, 33-36, 39].

Интересные результаты получил американский учёный Оро и сотр. [28, 29], показавший, что более крупные "органические" молекулы можно синтезировать и без помощи

ультрафиолета, просто нагревая среду в реакционной смеси.

Известно, что в условиях восстановительной атмосферы малые "органические" молекулы могли синтезироваться за счет энергии ультрафиолетового излучения Солнца. Однако условия на Земле в эпоху примитивной атмосферы были для ранней жизни не менее опасными, чем они оказались бы для современной. Хотя ранняя жизнь в бескислородной атмосфере не подвергалась окислению, ничто не защищало ее от губительного воздействия жесткого ультрафиолетового излучения.

Поэтому надо учитывать, что при переходе от преджизни к жизни и во время дальнейшего развития ранней жизни, возможно, использовались уже другие источники энергии. Например, свободные радикалы и малые "органические" молекулы создавались за счет высокоэнергетического ультрафиолетового излучения Солнца, а для синтеза из малых молекул других, более сложных соединений годились и менее мощные источники энергии.

В опытах Оро и его сотрудников водные смеси простых "органических" молекул оставлялись на несколько дней при температуре от комнатной до 150 С. Таким образом, в отношении температуры эти эксперименты, как правило, не выходили за пределы условий, к которым может приспособиться современная жизнь.

Некоторые результаты анализов полученных соединений показаны на рисунке ниже. Так, в растворах формальдегида с гидроксиламином, формальдегида с гидразином и в растворах, содержащих цианистый водород, в конце опыта были обнаружены аминокислоты. В других экспериментах эти продукты полимеризовались в пептидные цепи - большой шаг к неорганическому синтезу белка. В системе с раствором цианистого водорода в водном аммиаке даже появлялись более сложные соединения - пурины и пиримидины (азотистые основания, входящие в состав нуклеиновых кислот).

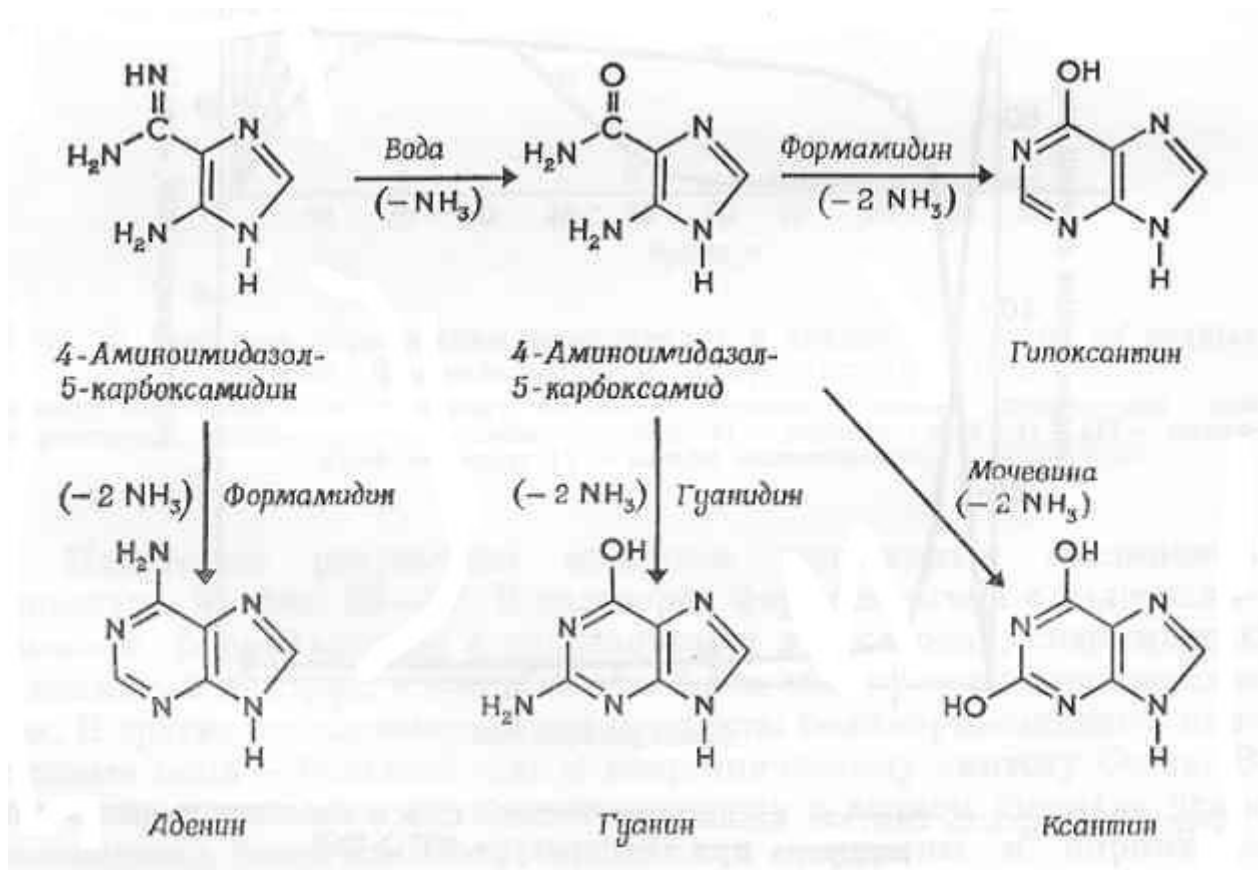


Рис.. Предполагаемый механизм образования пуринов из водной смеси аммиака и цианистого водорода: промежуточные продукты - 4-аминоимидазол-5-карбоксамидин (АИКАМ) и 4-аминоимидазол-5-карбоксамид (АИКА)-были найдены в растворе.

Все эти эксперименты указали возможный путь перехода от синтеза малых "органических" молекул за счет энергии ультрафиолетового солнечного излучения Солнца к более сложным "органическим" молекулам, образующимся при менее жестких воздействиях.

Совершенно другим путем в попытках синтезировать неорганическим путем большие молекулы белков пошёл американский учёный Фокс и сотр. [8, 9, 15]. Как известно, молекулы белков построены из одной или нескольких полипептидных цепей, а те в свою очередь состоят из большого числа разных аминокислот. После того как образовались аминокислоты, может произойти следующий важный этап - их конденсация в полипептидные цепи.

Учёные считают, что выделение молекулы воды, сопровождающее реакцию конденсации двух молекул аминокислот, - факт большой важности. Поскольку реакция поликонденсации сопровождается дегидратацией, скорость превращения будут выше при удалении воды из системы. Это соображение привело учёных к выводу, что

раннее развитие жизни должно было происходить вблизи действующих вулканов, - в ранние периоды геологической истории вулканическая деятельность шла более активно, чем в последующие времена.

Однако дегидратация сопровождает не только полимеризацию аминокислот, но и объединение других строительных блоков в более крупные "органические" молекулы. Такое объединение всегда связано с реакцией конденсации, при которой от одного блока "отщепляется" атом водорода, а от другого - гидроксильная группа.

Первым возможность проведения реакций конденсации-дегидратации в условиях "первичного бульона" доказал американский учёный Кальвин. Дело в том, что из всех соединений лишь синильная кислота способна связывать молекулы воды "первичного бульона". Присутствие в "первичном бульоне" синильной кислоты доказана уже первыми экспериментами Миллера.

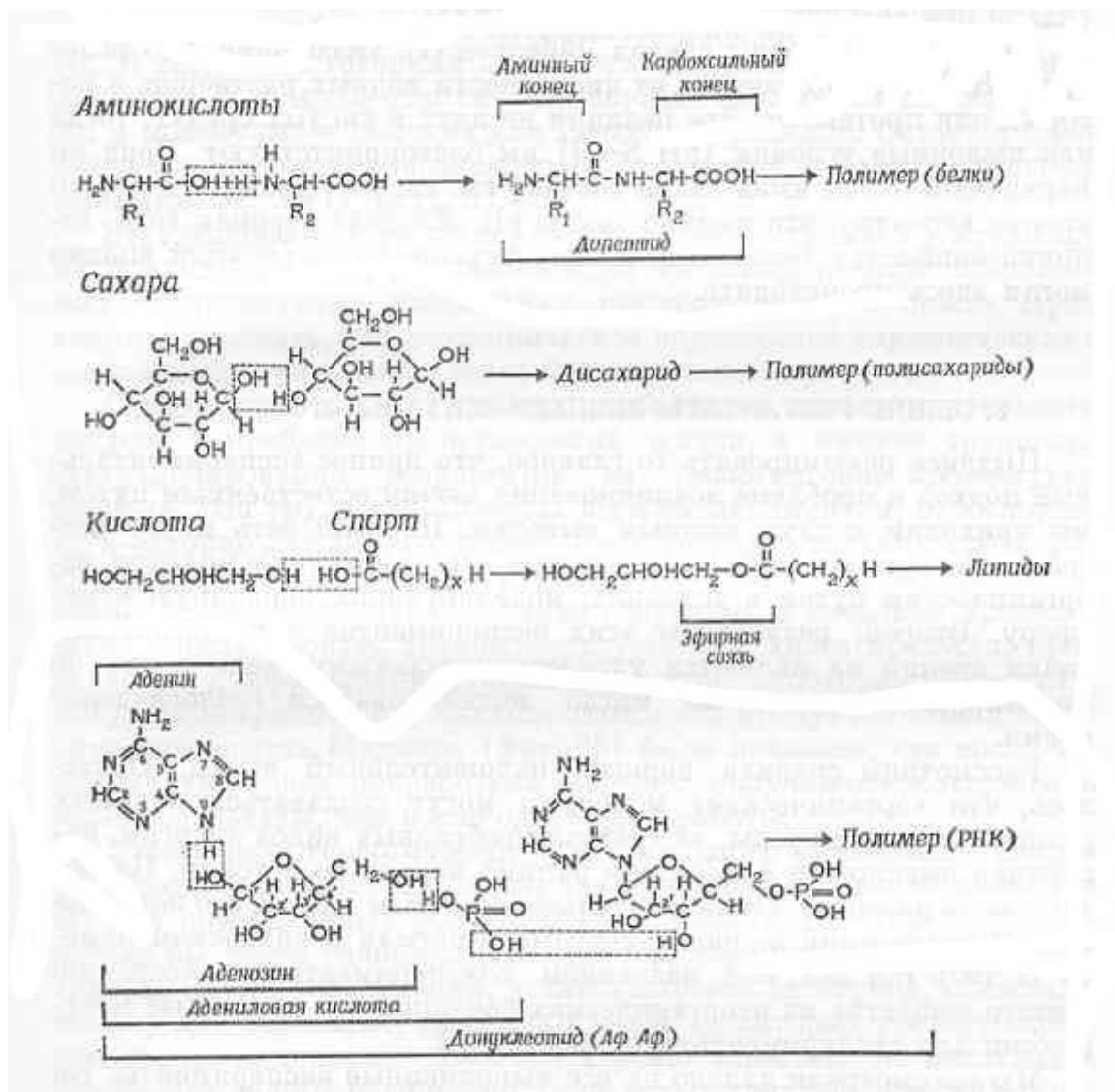


Рис. Реакции конденсации с дегидратацией, приводящие к образованию из отдельных строительных блоков более крупных "органических" молекул. Верхние три уравнения: конденсация и последующая полимеризация аминокислот и в белки, сахаров в полисахариды и кислот и спиртов в липиды. Нижнее уравнение - конденсация аденина с рибозой и фосфорной кислотой, в результате чего образуется нуклеотид. Полимеризация нуклеотидов в цепь нуклеиновой кислоты также представляет собой реакцию конденсации и протекает с выделением молекул воды.

Далее, оказалось, что два других, несколько более сложных соединения - цианамид и дицианамид $\text{HN}(\text{C} = \text{N})_2$ - обладают ещё большей дегидратирующей способностью. Реакции с ними более сложны, их механизм еще не выяснен окончательно [22]. В присутствии синильной кислоты и цианамидов конденсация отдельных блоков, сопровождаемая дегидратацией, может идти при нормальных температурах в сильно разбавленных водных растворах [24].

Интересные выводы сделал Эйбелсон [1], установивший, что реакции с синильной кислотой сильно зависят от кислотности водных растворов, в которых они протекают. Эти реакции не идут в кислых средах, тогда как щелочные условия (рН 8-9) им благоприятствуют. Учёные до сих пор спорят мог ли первичный океан имел такой состав, но вполне вероятно, что именно таким рН обладала озерная вода, соприкасавшаяся с базальтом, и эти реакции вполне могли происходить при контакте с базальтовыми породами.

Исследователи провели эксперименты, в которых безводную смесь аминокислот подвергали воздействию температур до 170 С. Оказалось, что наилучшие результаты по поликонденсации получаются со смесями, содержащими аспарагиновую и глутаминовую кислоты. Почему это так, до сих пор непонятно. Кстати, интересно, что именно эти две аминокислоты относятся к числу важнейших аминокислот, встречающихся в современных организмах.

Интересно, что при этом образовывались соединения, названные протеиноидами, сходные с природными белками. Так, они состояли из крупных молекул с молекулярной массой до 300000, сложенных из тех же блоков, что и природный белок. Они содержали 18 из 23 аминокислот, обычно встречающихся у современных организмов. Таким образом, они отвечали общему определению белка. С природным белком они сходны и по ряду других важных свойств, например по связыванию полинуклеотидов [41], по пригодности в пищу бактериям и крысам, по способности вызывать реакции, сходные с теми, которые

катализируются ферментами в организмах. Так, эти искусственно синтезированные "органические" соединения способны каталитически разлагать глюкозу. Активность их, правда, мала, но, как указывается в сообщении об этом [14], "...первым белкам достаточно было проявлять хотя бы слабую активность". Кроме того, эти вещества могут оказывать действие, аналогичное действию меланоцитстимулирующего гормона [16].

Другое важное свойство протеиноидных соединений - их "ограниченная гетерогенность". Это значит, что последовательность аминокислот в их пептидных цепях не совершенно случайна, а, напротив, более или менее закономерна.

Но в то время было невозможно провести строгое сравнение этих искусственных соединений с природными белками, так как молекулы белков настолько сложны, что структура большинства из них еще не определена с достаточной точностью. Стремясь подчеркнуть сходство этих искусственных белковоподобных соединений с природными белками, Фокс назвал их протеиноидами. Поскольку они были синтезированы под действием тепла, в дальнейшем их стали называть "термическими протеиноидами".

С тех пор многое было сделано для изучения активности этих соединений - протеиноидов.

Следует подробнее рассказать об одном интересном эксперименте - об образовании микросфер из термических протеиноидов. Этот процесс несложен. Промывая горячую смесь искусственных полимеров водой или водными растворами солей, получают многочисленные микросферы. Они очень малы, их диаметр - около 2 мкм. Их морфологические особенности показаны на фото 2.



Фото 2. Протеиноидные микросферы, сдвоенные при увеличении pH среды.

Следует отметить, что эти микросферы довольно стабильны. Если их помещают в растворы иной концентрации, чем концентрация раствора, в котором они образовались, то можно наблюдать их реакцию. В слишком концентрированных растворах они сморщиваются, в разбавленных набухают, т. е. их реакция на изменение осмотического давления сходна с реакцией живых клеток. Видимо, это объясняется наличием у них

полупроницаемой наружной оболочки, сходной с мембраной. Судя по электронным микрофотографиям, эта оболочка может быть даже двойной.

Образование микросфер из термических протеиноидов важно потому, что оно дает нам материал для суждения о том, как мог произойти следующий шаг в развитии жизни. Это шаг от разрозненных "органических" молекул к группам таких молекул, собранным в отдельные структуры и отделенным от окружающего мира своеобразной примитивной мембраной – коорцерватам, что было продемонстрировано нашим соотечественником А.И. Опариным.

С учётом вышесказанного происхождение жизни выглядит так: Первым этапом было образование при очень высоких температурах аминокислот. Такой синтез вполне возможен наряду с другими, т. е. при воздействии электрических разрядов, ультрафиолетового излучения и высокой температуры. Возможность такого термического синтеза экспериментально доказана Харадой и Фоксом [21]. Следующий этап - поликонденсация полученных аминокислот при температуре 170 или 65 С (в последнем случае в присутствии некоторых фосфатов). Эта поликонденсация происходит, если в смеси имеется достаточно аспарагиновой и глутаминовой кислот. В смеси протеиноидов при воздействии на нее водой или кислыми водными растворами (дождем) образуются микросферы. Способность протеиноидов к выполнению некоторых функций, сходных с функциями молекул живых организмов, выражается в том, что они могут в присутствии гидрата окиси цинка расщеплять нуклеотид АТФ, т. е. обладают слабой ферментативной активностью.

В настоящее время есть много способов экспериментального получения "органических" молекул неорганическим путем в условиях, моделирующих первичную атмосферу. Но, результаты этих экспериментов с геологической точки зрения не являются удовлетворительными, поскольку довольно трудно моделировать геологическое прошлое. Для появления первых древнейших форм жизни естественным путем существенно важны два условия. Во-первых, атмосфера должна быть бескислородной, во-вторых, должно иметься все необходимое для построения "органических" молекул - атомы углерода, азота, неорганические катализаторы, вода и т. д. Если эти условия будут выполнены, немедленно начнется образование "органических" соединений.

Но это означает, что формирование жизни - процесс, свойственный не только нашей Земле. В принципе, на любой планете, отвечающей двум вышеизложенным требованиям, находилась она в нашей Солнечной или в любой другой системе, могут идти аналогичные процессы. Ведь бескислородная атмосфера, содержащая нужные для синтеза "органических" соединений атомы и молекулы, - обычное для Вселенной явление.

Остается одно главное условие для образования жизни - наличие жидкой воды.

Таким образом, неорганическое образование "органических" соединений - распространенный космический процесс.

Многие вопросы происхождения жизни остаются открытыми до сих пор, например, изотопный состав первичного бульона. Дело в том, что в условиях первичной атмосферы и гидросферы в условиях геотермальной активности и искровых разрядах в водной среде могли образовываться и накапливаться незначительные количества тяжелой воды.

Учёные считают, что гравитационное поле Земли – недостаточно сильно для удержания водорода, и наша планета постепенно теряет водород в результате его

диссоциации в межпланетное пространство. Водород улетучивается быстрее тяжелого дейтерия. Поэтому в течение геологического времени должно происходить накопление дейтерия в атмосфере и в поверхностных водах. Тяжёлая вода улетучивается медленнее, чем обычная вода, а конденсируется быстрее.

На нашей планете осуществляется гигантский испарительно-конденсационный процесс разделения воды и обогащения её из туч и облаков, в то время как тяжёлая вода накапливается в закрытых водоёмах.

Можно предположить, что в те времена первичный бульён был разбавлен этой тяжёлой водой и синтез первых органических соединений происходил в её присутствии. Связи С-D более стабильны чем связи С-H. По теории абсолютных скоростей разрыв С-H-связей может происходить быстрее, чем С-D-связей, подвижность дейтерия D⁺ меньше, чем подвижность протия H⁺, константа ионизации тяжёлой воды в 5 раз меньше константы ионизации обычной воды. Всё это может наложить отпечаток на кинетику химико-ферментативных реакций (О. В. Мосин).

К.х.н. О.В. Мосин

Литературные источники

- 1. Abelson Ph. Я., Chemical events on the "primitive earth," Proc. Natl. Acad. Sci. U. S., 55, 1365-1372 (1966).*
- 2. Bernal J. D., The Origin of Life, Weidenfeld and Nicolson, London, 345, 1967 Джон Бернал, Возникновение жизни, изд-во "Мир", М., 1969).*
- 3. Calvin. M., Chemical evolution, Proc. Roy. Soc. (London), Ser. A, 288, 441-466 (1965).*
- 4. Calvin M., Chemical Evolution, Clarendon, Oxford, 278 pp., 1969 (М. Кальвин, Химическая эволюция, изд-во "Мир", М., 1971).*
- 5. Craford B., Jr., Chemical analysis by infrared, Sci. Am., 189, 8 pp. (1953).*
- 6. Eck R. V., Lipincott E. R., Dayhoff M. O., Pratt Y. T. Thermodynamic equilibrium and the inorganic origin of organic compounds, Science, 153, 628-633 (1966).*
- 7. Eglinton G., Calvin M., Chemical fossils, Sci. Am., 216 (1), 32-43 (1967).*
- 8. Fox S. W., A theory of macromolecular and cellular origins, Nature, 205, 328-340 (1965).*

9. Fox S. W., *Simulated natural experiments in spontaneous organization of morphological units from proteinoid*. In: S. W. Fox (Editor), *The Origins of Prebiological Systems*, Academic Press, New York, N. Y., pp. 361-373, 1965 (*Происхождение предбиологических систем*, изд-во "Мир", М., 1966).
10. Fox S., *Experiments suggesting evolution to protein*. In: V. Bryson and H. J. Vogel (Editors), *Evolving Genes and Proteins*, Academic Press, New York, N. Y., 359-70, 1965.
11. Fox S., *Self-assembly of the protocell from a self-ordered polymer*, *J. Sci. Ind. Res.*, 27, 267-274 (1968).
12. Fox S. W., *A new view of the "synthesis of life"*, *Quart. J. Florida Acad. Sci.*, 31, 1-15 (1968).
13. Fox S. W., *Spontaneous generation, the origin of life and self assembly*, *Currents Modern Biol.*, 2, 235-240 (1968).
14. Fox S. W., Krampitz G., *Catalytic decomposition of glucose in aqueous solution by thermal proteinoids*, *Nature*, 203, 1362-1364 (1964).
15. Fox S. W., Waehnel T. F., *The thermal synthesis of neutral and basic proteinoids*, *Biochim. Biophys. Acta*, 160, 246-249 (1968).
16. Fox S. W., Wang C. T., *Melanocystimulating hormone: Activity in thermal polymers of alpha-amino acids*, *Science*, 160, 547-548 (1968).
17. Fruton J. S., Simmonds L., *General Biochemistry*, 2nd ed., Wiley, New York, N. Y., 1077 pp., 1958.
18. Gray G. W., *Electrophoresis*, *Sci. Am.*, 185, 11 (1951).
19. Groth W., von Weissenhoff H., *Photochemische Bildung organischer Verbindungen aus Mischungen einfacher Gase*, *Ann. Phys.*, 4, 69-77 (1959).
20. Haggis G. H. (Editor), *Molecular Biology*, Wiley, New York, N. Y., 401, 1964.
21. Harada I., Fox S. W., *Thermal synthesis of natural amino-acids from a postulated primitive terrestrial atmosphere*, *Nature*, 201, 335-336 (1964).
22. Huntress W. T., Jr., Baleschwieler J. Z., Ponnamperna C., *Ion-molecule reactions in hydrogen cyanide*, *Nature*, 223, 468-471 (1969).
23. Keller R. A., *Gas chromatography*, *Sci. Am.*, 205, 11 (1961).

24. Mathews C. N., Moser R., *Peptide synthesis from hydrogen-cyanide and water*, *Nature*, 215, 1230-1234 (1968).
25. Miller S. L., *Formation of Organic Compounds on the Primitive Earth*. In: Опарин А. И. (ред.), *The Origin of Life on Earth*, Pergamon, London, 123-135, 1959
26. Meister, *Biochemistry of the Amino Acids*, 2nd ed., Academic Press, New York, N. Y., 1, 119, 1965 (перевод 1-го издания: А. Майстер, Биохимия аминокислот, ИЛ, М., 1961).
27. Опарин А. И., Пути начального формирования обмена веществ и искусственное моделирование этого формирования в коацерватных каплях. In: S. W. Fox (Editor), *Origins of Prebiological Systems*, Academic Press, New York, N. Y., 331-341, 1965 (Происхождение предбиологических систем, изд-во "Мир", стр. 335, М., 1966).
28. Oro, *Investigation of organo-chemical evolution*. In: G. Marnikunian and M. H. Briggs (Editors), *Current Aspects of Exobiology*, Pergamon, London, 13-76, 1965.
29. Oro J., *Prebiological organic systems*. In: S. W. Fox (Editor), *The Origin of Prebiological Systems*, Academic Press, New York, N. Y., 137-162, 1965 (Происхождение предбиологических систем, изд-во "Мир", стр. 144, М., 1966).
30. Pauling L., *College Chemistry*, 3rd ed., Freeman, San Francisco, Calif., 832 pp., 1964.
31. Ponnampерума C., *Abiological synthesis of some nucleic acid constituents*. In: S. W. Fox (Editor), *The Origin of Prebiological Systems*, Academic Press, New York, N. Y., 221-236, 1965 (Происхождение предбиологических систем, изд-во "Мир", стр. 224, М., 1966)
32. Ponnampерума C., Gabel N., *Prebiological synthesis of organic compounds*. In: A. Renbaum and R. F. Landell (Editors), *Chemistry in Space Research*, 1969.
33. Ponnampерума C., Mack R., *Nucleotide synthesis under possible primitive earth conditions*, *Science*, 148, 1221-1223 (1965).
34. Ponnampерума C., Peterson E., *Peptide synthesis from amino acids in aqueous solution*, *Science*, 147, 1572-1573 (1965).
35. Rabinowitz J. S., Chang S., Ponnampерума C., *Phosphorylation of inorganic phosphate as a potential prebiotic process*, *Nature*, 218, 442-443 (1968).
36. Schwartz A., Ponnampерума C., *Phosphorylation of adenosine with linear polyphosphate salts in aqueous solution*, *Nature*, 218, 443 (1968).

37. Stein W., Moore S., *Chromatography, Sci. Am.*, 184, 9 pp. (1951).
38. Steinman G., *Sequence generation in prebiological peptide systems, Arch. Biochem. Biophys.*, 121, 533-539 (1967).
39. Steinman G., Smith A. E., Silver J., *Synthesis of a sulfur-containing amino acid under simulated prebiotic conditions, Science*, 159, 1108-1109(1968).
40. Supina W. R., Henley R. S., *Gas chromatography-snooper par excellence, Chemistry*, 37, 12-17 (1964).
41. Waehnelde T. V., Fox S. W., *The binding of basic proteinoids with organismic or thermally synthesized polynucleotides, Biochem. Biophys. Acta*, 160, 239-245 (1968).
42. Willard H. Я., Merrit L. L., Dean J. A., *Instrumental methods of analysis, 3rd ed., Van Nostrand, Princeton, N. J.*, 626 pp., 1958.
43. Wilson A. T., *Synthesis of macromolecules, Nature*, 188, 1007-1009(1960).
44. Young R. S., Ponnampereuma C., *Early evolution of life, B. S. C. S. Pamphlets, Heath, Boston*, 11, 29, 1964.
45. О.В. Мосин, Д.А. Складнев, В.И. Швеи. *Биотехнология*, 2001.