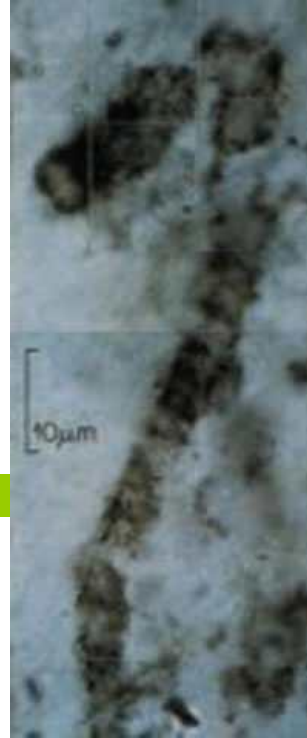


# Теории происхождения жизни



Современные строматолиты - слоистые минеральные образования, созданные сообществами микроорганизмов.



Остатки древнейших бактерий (Архей, 3.5 млрд. лет назад, Австралия). На сегодняшний день это одно из древнейших ископаемых.  
[http://macroevolution.narod.ru/\\_pbact.htm](http://macroevolution.narod.ru/_pbact.htm)



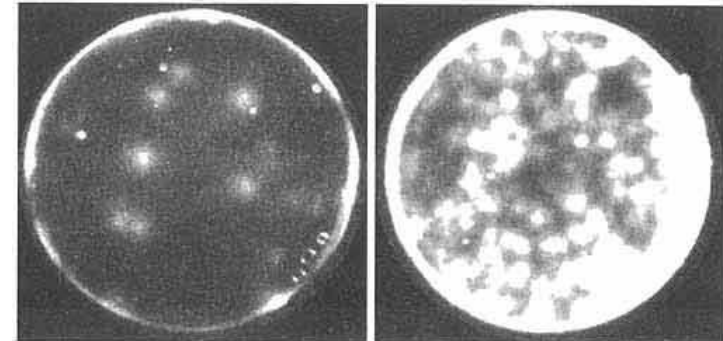
Структура рибозима



А.И. Опарин



У. Гилберт



Колонии реплицирующихся молекул РНК на агарозном геле (*Chetverina et al., 1993*; цит. по Спирина 2003, Вестник РАН, 73: 117-127)

Ирина Ремовна Фомина  
(курс лекций, 2018)

- **Возникновение жизни — процесс превращения неживой природы в живую.**
- **Живые системы – открытые** (обмен элементами с внешней средой), **сложные** (элементы системы - неоднородны), **структурообразующие, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся.**

- На нашей Планете – органические соединения углерода – основа структуры живых систем.
- В разное время относительно возникновения жизни на Земле выдвигались разные теории:

- Теория самозарождения
- Теория стационарного состояния жизни
- Теория панспермии
- Теория биохимической эволюции



- **1. Теория самозарождения** - подробно разбиралась на лекции 10. Здесь вспомним, что Луи Пастер окончательно опроверг теорию спонтанного зарождения в современных условиях. Вместе с тем, ученый не затрагивал вопроса - могли ли живые организмы возникать из неживой материи в отдаленные геологические времена, в других условиях, а также на других планетах, пока ему не принесли кусок метеорита **Оргэй**.

- **Креационизм** и его течения - мы уже тоже обсуждали (см. лекцию 11) и выяснили, что это не научная теория, а религиозно-философская концепция.

- **2. Теория стационарного состояния** – один из вариантов **механистического материализма**. Земля никогда не возникла, а существовала вечно; на ней всегда были – существовали разные виды живых существ, но со временем часть из них вымерли.

- В отличие от креационизма, эта теория – фальсифицируема. И она была фальсифицирована – опровергнута, например, данными современной астрономии, которые указывают на конечное время существования любых звёзд и, соответственно, планетных систем вокруг звёзд.

- **По современным оценкам, основанным на учете скоростей радиоактивного распада, возраст Земли, Солнца и Солнечной системы исчисляется ~4.6 млрд. лет.**

- Поэтому на современном этапе развития науки данная теория интересна только с исторической точки зрения.

- **3. Теория панспермии.** Статья о Панспермии и фильм Владимира Бусаева «Космическая пыль и теория панспермии» см. на сайте: <https://ru.wiki2.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D1%8F>



С.А. Аррениус

**Теория Панспермии** – предложена в **1865** немецким медиком **Германом Эбергардом Рихтером** (1808-1876) и окончательно сформулирована в **1895** шведским химиком **Сванте Августом Аррениусом** (1859-1927), лауреатом Нобелевской премии 1903 г. за теорию электролитической диссоциации.

В 1901 вместе с несколькими своими коллегами **Аррениус** путем расчетов подтвердил гипотезу британского физика **Джеймса Клерка Максвелла** (1831-1879; старинный шотландский род) о том, что космическая радиация оказывает давление на частицы.

- ▣ Предположил, что в космическом пространстве благодаря давлению света могут переноситься споры и другие живые семена.
- ▣ Например, «споры термостойких бактерий ... могли попасть на Землю с Венеры в момент наибольшего сближения этих планет».



П.Н. Лебедев

Незадолго до этого известный русский физик **Пётр Николаевич Лебедев** (1866-1912)\* экспериментально доказал наличие светового давления и продемонстрировал его действие на спорах плауна (ликоподий)» (цит. по **Занесение жизни из космоса на Землю. (Панспермия). М.Д.НУСИНОВ. Панспермия: развитие идеи**)

\*доп. Фоминой И.Р. к цитируемому тексту.

**Группа профессоров, покинувших в 1911 г. Московский университет.** Сидят: В.П. Сербский, К.А. Тимирязев, Н.А. Умов, П.А. Минаков, А.А. Мануйлов, М.А. Мензбир, А.Б. Фохт, В. Д. Шервинский, В.К. Цераский, С.Н. Трубецкой. Стоят: И.П. Алексинский, В.К. Рот, Н.Д. Зелинский, П.Н. Лебедев, А.А. Эйхенвальд, Г.Ф. Шершеневич, В.М. Хвостов, А.С. Алексеев, Ф.А. Рейн, Д.С. Петрушевский, Б.К. Млодзеевский, В.И. Вернадский, С.А. Чаплыгин, Н.В. Давыдов



«Тогда многие из коллег изгнанных профессоров сочли своим нравственным долгом также подать в отставку ...»

(Источник: Научная переписка П.Н.Лебедева.  
Сост. Е.И.Погребысская. М.: Наука, 1990, с.358-366.  
<http://ihst.ru/projects/sohist/document/letters/lebedev.htm>)

«... Дело обстояло так: в январе с. г. возникли студенческие беспорядки, и полицейское управление по собственной инициативе взяло на себя поддержание порядка в помещениях университета, не подчиняясь ректору. При этих условиях ректор не имел возможности нести принадлежащую ему по закону ответственность за нормальное течение академической жизни в университете, и ректор проф. д-р Мануйлов (полит[ическая] экон [омия]) и его два помощника, проф. д-р М. Мензбир (сравнит[ельная] анатомия) и проф. д-р Минаков (судебная медицина), подали Совету университета прошения об отставке от занимаемых должностей. Совет согласился как с причинами этих прошений, так и с отставками. Министерство приняло отставки этих лиц как должностных лиц университета, но, кроме того, не указывая причины, уволило их из университета как профессоров и преподавателей.»



В настоящее время сторонники панспермии полагают, что жизнь могла быть занесена на Землю с метеоритами и космической пылью. Такие факты одни ученые обнаруживают, другие - опровергают...

Структуры, напоминающие ископаемых бактерий, обнаружены в метеоритах и марсианских породах. Однако твердой уверенности в биологическом происхождении этих структур пока нет.

**Теория панспермии не решает принципиального вопроса о возникновении жизни, она только отдалает его в ещё более туманное прошлое Вселенной, хотя и не может исключаться как гипотеза о начале жизни на Земле.**

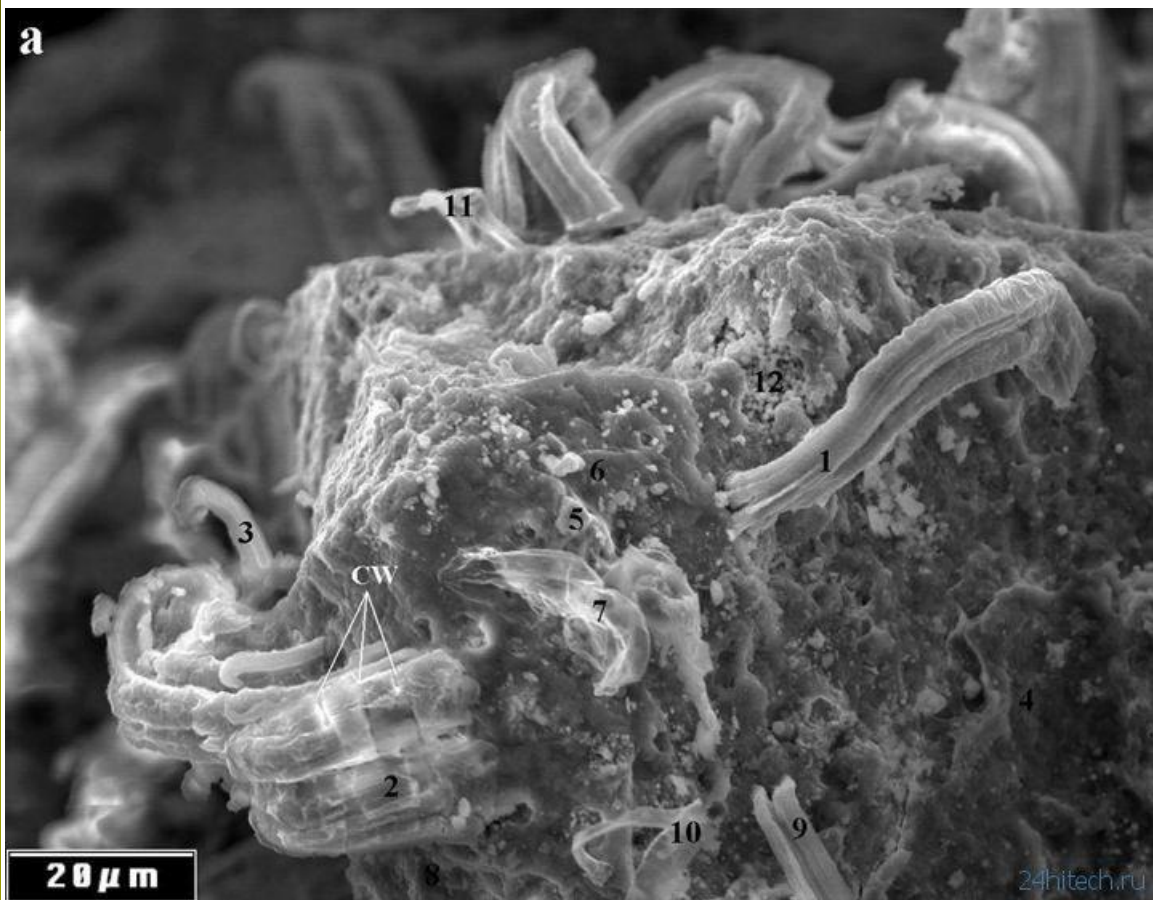
В России идею панспермии в той или иной мере поддерживали: **В.И. Вернадский, А.В. Немилов, С.П. Костычев, П.П. Лазарев** и др.

Современное состояние дискуссии о занесении бактериальных спор на Землю изложено в научно-популярной статье **Елены Наймарк** «Бактерии в метеоритах» (<http://macroevolution.narod.ru/paleobac.htm#1>).

S95-00690 --- This photograph shows orange-colored carbonate mineral globules found in a meteorite, called ALH84001, believed to have once been a part of Mars.

[http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/exploration/marsexploration/html/s95\\_00690.html](http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/exploration/marsexploration/html/s95_00690.html)

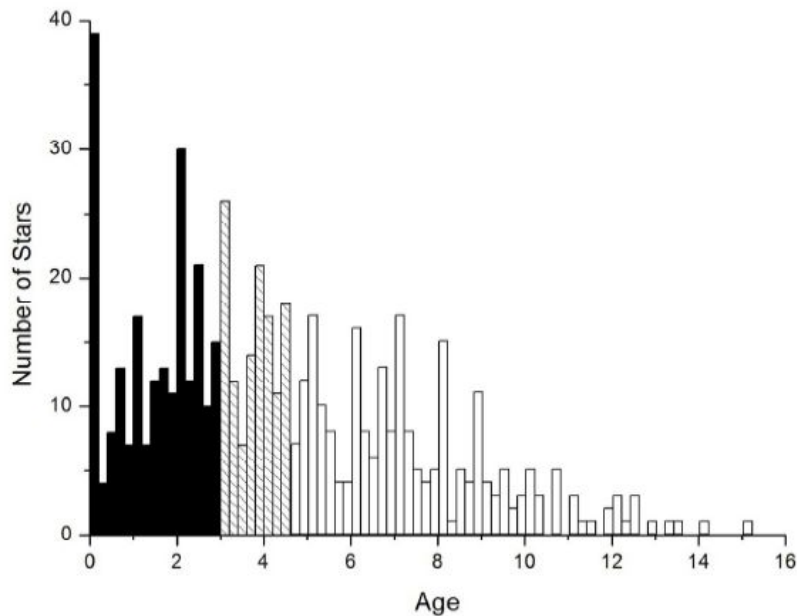
«Двенадцатикилограммовый метеорит **Оргэй** (Orgueil) упал в мае **1864** близ одноименной французской деревни, расколовшись на 20 кусочков ... .. когда Пастеру принесли ... кусочек ... он был заранее уверен в отрицательном результате. Тем не менее он тщательно подготовил опыты ... Заключение, сделанное великим ученым, гласило, что ничего живого в метеорите Оргэй нет, так что **вся ответственность за жизнь на Земле лежит на Всевышнем**». (цит. по Елена Наймарк «Бактерии в метеоритах»)



Фрагменты были достаточно мягкими, чтобы их можно было резать ножом, и очень скоро останки метеорита разошлись по музеям всего мира.

С тех пор метеорит **Оргейль** вызвал массу споров, поскольку ученые долго думали, откуда взялся органический материал, принесенный с ним — а вдруг это доказательство внеземной жизни? (цит. по Максим Савельев «10 метеоритов, о которых должен знать каждый» <http://24hitech.ru/10-meteoritov-o-kotoryh-doljen-znat-kajdyi.html>)

<http://24hitech.ru/10-meteoritov-o-kotoryh-doljen-znat-kajdyi.html>



Age distribution of the stars hosting confirmed planets (total 583 hosts with known ages at time of writing). We highlight the number of stars with ages below 3 Gyr in black, and between 3 and 4.5 Gyr as hatched. The predominance of young host stars is clearly seen, which could be the effect of observational selection [citep{ssm}].

This figure was made using the Extrasolar Planets Encyclopaedia data.  
229x177mm (150 x 150 DPI)

M. Safonova, J. Murthy, Yu. A. Shchekinov. Age aspects of Habitability // Int. J. Astrobiology, 2016, 15(2), pp. 93-105

The knowledge of the age of a planet is necessary for developing a strategy for search for exoplanets carrying complex (developed) life – many confirmed potentially habitable planets are too young (orbiting Population I stars) and may not have had enough time to develop and/or sustain detectable life. In the last decade, many planets orbiting old ... metal-poor Population II stars were discovered. Such planets had had enough time to develop necessary chain of chemical reactions and may carry detectable life ...

Антон Образцов. **В нашей галактике должны быть планеты пригодные для жизни.** 13.09.2006  
(Радио Свобода © 2009 RFE-RL, Inc.htm)

Американские исследователи построили модель развития планетных систем в течение 200 миллионов лет. Согласно полученным результатам, примерно треть звезд в галактике, имеющих планетные системы, должны иметь похожие на Землю планеты с водными океанами на поверхности и другими условиями, в которых может возникнуть жизнь земного типа.



## Есть ли жизнь вне Марса? Никита Максимов

<http://www.runewsweek.ru/science/7984/>

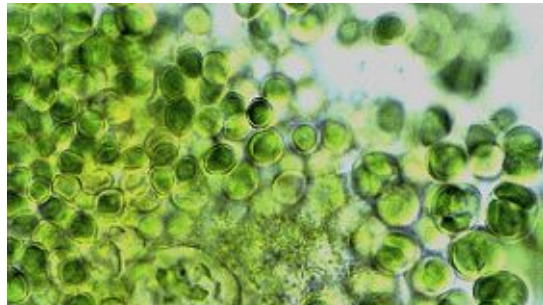
Вопрос «есть ли жизнь на Марсе?» впору формулировать заново: была ли жизнь с Марса перенесена на Землю? Еще недавно над сторонниками теории марсианского происхождения жизни на Земле насмехались ... ни одна форма жизни не смогла бы пережить «доставку» с планеты на планету. Но теперь ... возможность межпланетного путешествия доказана экспериментально.



Профессор берлинского Университета Гумбольдта **Дитер Стеффлер**, водивший экскурсии по метеоритному кратеру **Рис** в Германии, долго добивался от Центра Фраунхофера (\*Институт станкостроения и кузнечно-прессовой техники им. **Фраунхофера** (Хемниц, Германия)) отложить на время военные заказы и разрешить произвести несколько «выстрелов» из уникальной установки, позволяющей достичь давления в 50 ГПа.



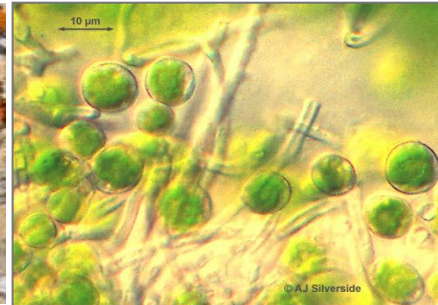
- **Эксперимент напоминал отбор космонавтов.**
- Первым кандидатом стала цианобактерия ***Chroococcidiopsis*** sp., способная переносить мощное ультрафиолетовое облучение.
- Вторым и третьим «предполетную» комиссию прошли лишайник ***Xanthoria elegans*** и водоросль ***Trebouxia***, выдержавшие все типы излучений.
- Бактерия ***Bacillus subtilis*** проявила чудеса стойкости в шестилетнем орбитальном эксперименте НАСА, а потому стала четвертым членом «экипажа».
- Рекордсмены (***Bacillus subtilis*** и ***Xanthoria elegans***) выдержали и 50 ГПа и 1200°C. Выживаемость – от 0.0001 до 0.000 000 01.



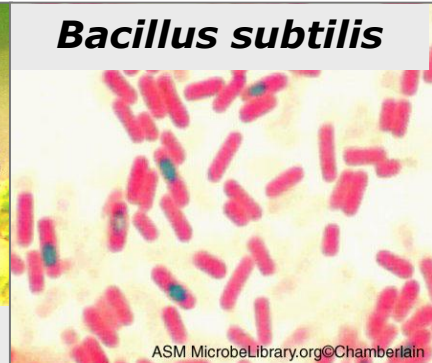
***Chroococcidiopsis*** sp.



***Xanthoria elegans***



***Trebouxia*** cells



***Bacillus subtilis***

ASM MicrobeLibrary.org©Chamberlain



Картина Николая Ковалева  
"Доисторический пейзаж".



**Марков, д.б.н.,**

гич.  
РАН.  
плегии

«Журнала общей биологии».  
Автор более 140 научных  
публикаций, многочисленных  
научно-популярных статей,  
автор и ведущий научно-  
образовательного портала  
«Проблемы эволюции»  
<http://macroevolution.narod.ru>,  
ведущий научно-популярных  
программ радио «Свобода».

Вернемся на Землю.

## Происхождение жизни. Александр Владимирович МАРКОВ

(научно-популярная статья

<http://macroevolution.narod.ru/paleobac.htm#1>)

Время появления жизни на Земле точно не известно... Земля сформировалась 4.5–4.6 млрд лет назад, но от первых 700–800 млн лет ее существования в земной коре практически не осталось следов.

Ископаемые организмы встречаются в основном в осадочных породах, но самые древние из известных осадочных пород (формаия Ишуа в Гренландии) имеют возраст около 3.8 млрд лет.

И в них уже есть следы жизни. Правда, не совсем понятно, какой – РНК-жизни или уже современной, ДНК-белковой.

Эти следы - чисто химические, связанные с изотопным составом углерода.

\*На особенности изотопного состава живой и неживой природы указывал В.И. Вернадский.

\*Прим. Фоминой И.Р. К цитируемому тексту.

FOSSIL BACTERIA  
AND NEW VIEW  
ON THE SEDIMENTATION

A. Yu. ROZANOV

New methods of electronic microscopy permit to show the great value of bacteria in the formation of sedimentary rocks and essential minerals.

Внедрение новых методов исследования позволяет выявить огромную роль микробов в процессах образования горных пород и осадочных полезных ископаемых.

**ИСКОПАЕМЫЕ БАКТЕРИИ И НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОЦЕССЫ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ**

А. Ю. РОЗАНОВ

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

О том, что микроорганизмы, и прежде всего археи и бактерии, играют огромную роль в геологических процессах, ученые догадывались давно. Не выдало сомнений огромное значение микроорганизмов и в процессах выветривания (разрушения) горных пород, и формировании месторождений полезных ископаемых, разрывов нефти, перетолжения некоторых пород и полезных ископаемых и т.д.

В конце прошлого века Н.И. Андрусов (1897 год) в своем предании обратил внимание на накопление S и Fe биогенара серо- и железобактериями. Однако в процессах седиментации (накопления) терригенных и слабокислотных пород, которые составляют подавляющее большинство всех осадочных пород, роль микроорганизмов считали весьма скромной или лишь теоретически допустимой. Совсем недавно, всего два-три десятка лет тому назад, мыслы о том, что микробы могут сохраняться в ископаемом состоянии, особенно в массовых количествах, могли бы показаться абсурдной.

Когда в 1943 году член-корреспондент АН СССР А.Г. Волгова описал округлые зерна как железобактерии из железистых кварцитов Курской магнитной аномалии (КМА), это вызвало огромный скандал. В 60-е годы сначала американские, а затем российские и австралийские ученые открыли и описали слитки соррениды микроорганизмов в кремне- и рудных докембрийских породах. Тогда считалось, что окремнение бактерий — явление достаточно уникальное. Среди окремненных микроорганизмов часть была признана цианобактериями (в то время они назывались синезелеными водорослями).

Серьезный прорыв произошел, когда более или менее одновременно стали изучать, но уже с помощью электронного микроскопа древние фосфориты и высокоуглеродистые породы (черные сланцы, битуминозные карбонатные породы). В результате выяснилось, что эти породы буквально наводнены окаменевшими микроорганизмами (рис. 1). Основой этих ассоциаций микроорганизмов были цианобактерии и пурпурные бактерии, составлявшие основную массу так называемых цианобактериальных матов. Особенно интересны по густоте удивительная способность цианобактерий в древних

Чуть позже (3.5 млрд лет назад) начинают встречаться остатки целых живых организмов – бактерий...

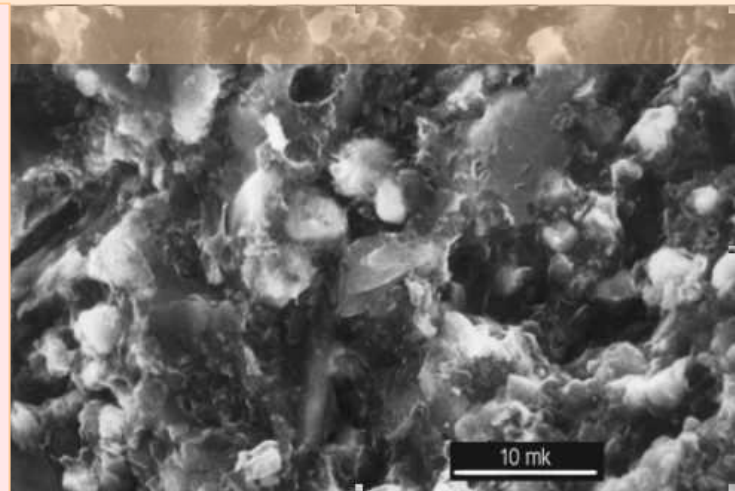
**Ископаемые прокариоты (бактерии)**  
[http://macroevolution.narod.ru/\\_pbact.htm](http://macroevolution.narod.ru/_pbact.htm)

В Архее и Протерозое цианобактериальные пленки и «маты» покрывали значительные участки морского дна. В результате ... образовывались строматолиты - слоистые известковые постройки. В некоторых экстремальных биотопах (... в прибрежных переселенных лагунах в Австралии) строматолиты образуются и по сей день.

Помимо цианобактерий... существовало... разнообразие других прокариотических организмов. К сожалению, по ископаемым остаткам крайне трудно что-то сказать об их образе жизни, метаболизме и других важнейших свойствах.

Есть косвенные свидетельства, что огромные залежи железных руд в Протерозое формировались благодаря деятельности железобактерий.

Академик **Алексей Юрьевич Розанов** (род. 1936) — директор Палеонтол. института им. А.А. Борисяка РАН.  
Coccolids bacteria in BIF (Kursk Magnetic Anomaly, Lower Proterozoic) A.Yu. ROZANOV Bacterial Paleontology  
<http://macroevolution.narod.ru/rozbak.htm>





А.И. Опарин

**4. Теория биохимической эволюции: голобиоз** (первичность структур, наделенных способностью к элементарному обмену веществ при участии ферментного механизма) и **генобиоз** (первичность молекулярной системы со свойствами генетического кода).

Академик **Александр Иванович Опарин** (1894-1980) - создатель теории возникновения жизни на Земле из абиотических компонентов - **белково-коацерватная теория**.

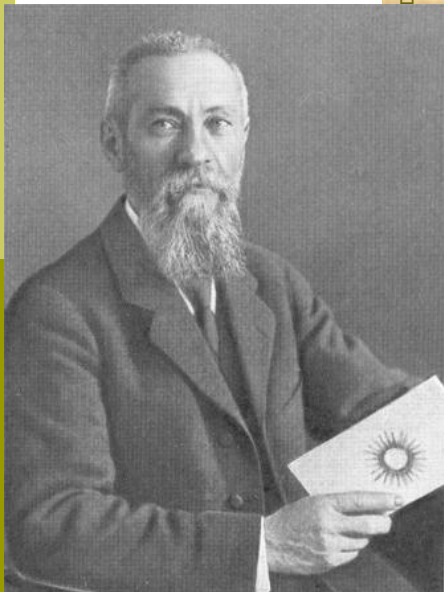
В 1917 - окончил естественное отделение физико-математического факультета МГУ.

В 1925 - начал читать в МГУ курс лекций.

С начала 1935 - начинает свою работу институт биохимии АН СССР, основанный Опариним совместно с академиком **Алексеем Николаевичем Бахом** (1857-1946).

С самого основания Института - руководил Лабораторией энзимологии, которая в будущем преобразовалась в Лабораторию эволюционной биохимии и субклеточных структур.

До 1946 он является заместителем директора, после смерти А.Н. Баха — директором этого института.



А.Н. Бах

- В 1942—1960 А.И. Опарин заведовал кафедрой биохимии растений МГУ, где читал курсы лекций по общей биохимии, технической биохимии, спецкурсы по энзимологии и по проблеме происхождения жизни.
- После смерти в 1951 **С.И. Вавилова** (брат **Н.И. Вавилова**) **А.И. Опарин** стал 2-м председателем правления Всесоюзного просветительского общества «Знание». Оставался на этом посту по 1956, когда председателем «Знания» был избран **М.Б. Митин**.
- В 1970 - было организовано М
- еждународное научное общество по изучению возникновения жизни (*International Society for the Study of the Origin of Life*), первым президентом, а затем почётным президентом которого был избран Опарин.



- Исполком ISSOL в 1977 - учредил Золотую медаль имени А. И. Опарина, присуждаемую за важнейшие экспериментальные исследования в этой области.

- **3 мая 1924 года на собрании Русского ботанического общества Александр Иванович Опарин выступил с докладом «О возникновении жизни»,**
- 
- в котором предложил теорию возникновения жизни из бульона органических веществ.
  - В качестве протоклеток Опарин рассматривал коацерваты — органические структуры, окружённые жировыми мембранами.
  - **Опарин полагал, что переход от химической эволюции к биологической требовал возникновения индивидуальных фазово-обособленных систем, способных взаимодействовать с окружающей средой.**
  - Позже Опарина, независимо от него к аналогичным выводам пришел английский ученый **Джон Холдейн.**



Дж.Б.С. Холдейн

▣ **Джон Бёрдон Сандерсон Холдейн (1892-1964)** - английский биолог, популяризатор и философ науки.

- ▣ **Один из основоположников современной**
- ▣ **популяционной,**
- ▣ **математической,**
- ▣ **молекулярной и биохимической генетики,**
- ▣ **а также синтетической теории эволюции.**

**«Я подозреваю, что Вселенная не только чуднее (queerer), чем мы себе представляем, но и чуднее, чем мы можем представить»**

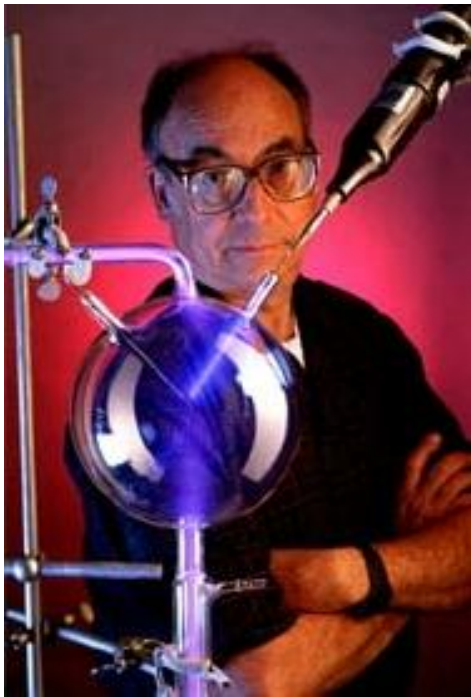
Член Компартии Великобритании с 1937.

Участник Первой мировой войны. В армии проникся социалистическими идеями: **«Если при жизни я увижу Англию, в которой социализм сделает профессию бакалейщика такой же почётной, как и солдата, я умру счастливым».**

В 1956 – протест против Суэцкой войны – покидает Англию.

- ▣ В 1957 по приглашению Прасанты Чандры Махаланобиса и Джавахарлала Неру принял индийское гражданство и до 1961 руководил лабораторией генетики и биометрии в Калькутте (штат Бенгалия), после чего возглавил аналогичную гос. лабораторию в штате Орисса.





**Prof. Stanley Miller.  
ISSOL. Photo by Jim  
Sugar/Corbis**

[timpanogos.wordpress.com/  
2009/05/15/](http://timpanogos.wordpress.com/2009/05/15/)

**Чтобы симитировать  
солнечное тепло,  
Миллер нагревал колбу  
на бунзеновской  
горелке, а чтобы  
получить аналог  
вспышек молний —  
вставил в стеклянную  
трубку два электрода.**

- Согласно теории Опарина, процесс, приведший к возникновению жизни на Земле, может быть разделён на три этапа:
- Возникновение органических веществ
- Возникновение белков
- Возникновение белковых тел
- **В 1953 Стэнли Ллойд Миллер (1930-2007) - аспирант Чикагского университета получил 4 из 20 основных аминокислот из смеси метана, аммиака, водорода и паров воды (Эксперимент Миллера – Юри <http://elementy.ru/trefil/21169>).**

Идея Миллера была простой: он воспроизвел атмосферу древнейшей Земли, какой она была по мнению ученых, и со стороны наблюдал за тем, что происходит.

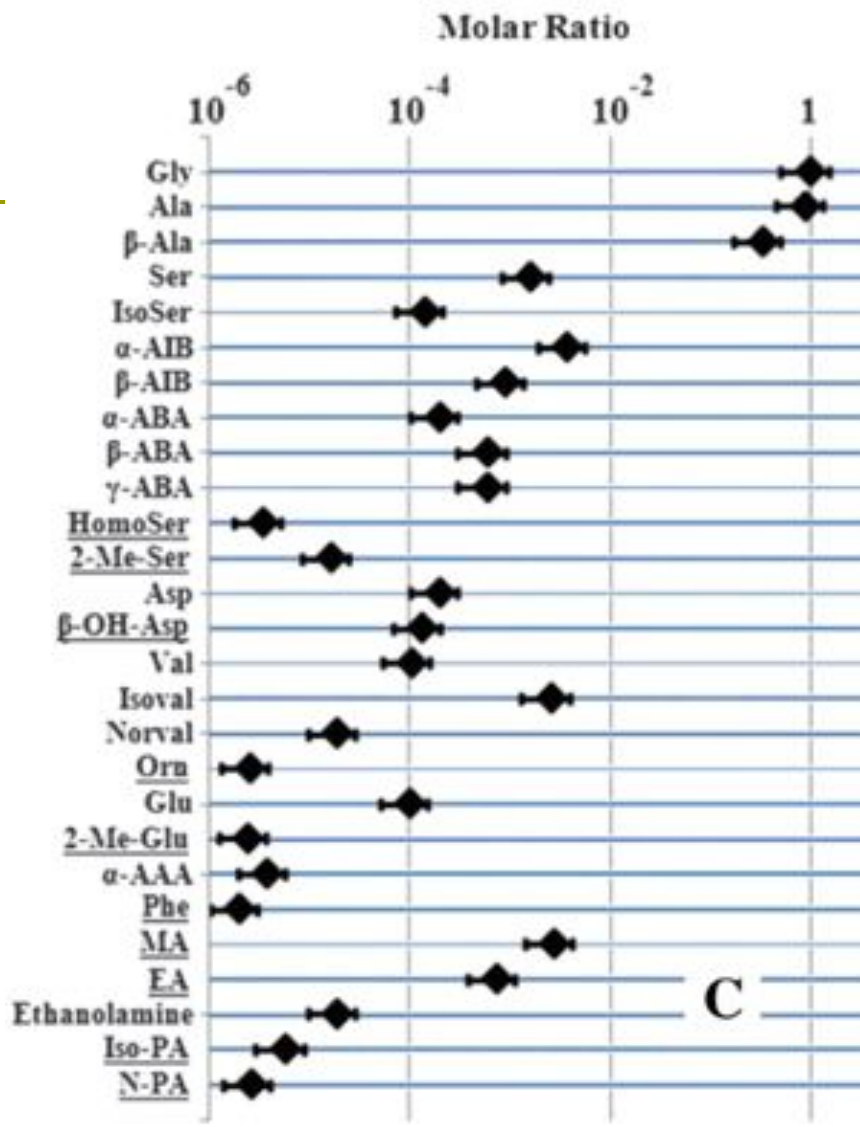
При поддержке **Гарольда Юри** (Нобелевский лауреат 1934 - за открытие дейтерия) Миллер собрал простой аппарат из стеклянной сферической колбы и трубок, в котором испарявшиеся вещества циркулировали по замкнутому контуру, охлаждались и вновь поступали в колбу.

**После двух недель работы системы жидкость в колбе стала приобретать темный красно-коричневый оттенок.**

- Начиная с 1953 года с помощью усложненных вариантов эксперимента Миллера—Юри... были получены все виды биологических молекул.
- 20.10.08 | Химия, Науки о жизни, Науки о Земле, **Елена Наймарк** (<http://elementy.ru/news/430882>)

---

- Последователи Стэнли Миллера... вновь обратились к результатам старых экспериментов. Оставшиеся от тех лет материалы они исследовали новейшими методами. Выяснилось, что в экспериментах, имитировавших вулканические выбросы парогазовой смеси, синтезировался широкий спектр аминокислот и других органических соединений.
- Их разнообразие оказалось больше, чем это представлялось в 50-е годы. Этот результат акцентирует внимание современных исследователей на условиях синтеза и накопления первичной высокомолекулярной органики: синтез мог активизироваться в районах извержений, а вулканические пеплы и туфы могли стать резервуаром биологических молекул.
- **Источники:**
  - 1) Adam P. Johnson, H. James Cleaves, Jason P. Dworkin, Daniel P. Glavin, Antonio Lazcano, Jeffrey L. Bada. The Miller Volcanic Spark Discharge Experiment // *Science*. 17 October 2008. V. 322. P. 404. DOI: 10.1126/science.1161527.
  - 2) Jeffrey L. Bada, Antonio Lazcano. Prebiotic Soup—Revisiting the Miller Experiment // *Science*. 2 May 2003. V. 300. P. 745–746. DOI: 10.1126/science.1085145.



п **Новые результаты анализа опыта Миллера с выбросами пара.**

Подчеркнуты аминокислоты, не обнаруженные Миллером.

Обозначения аминокислот стандартные.

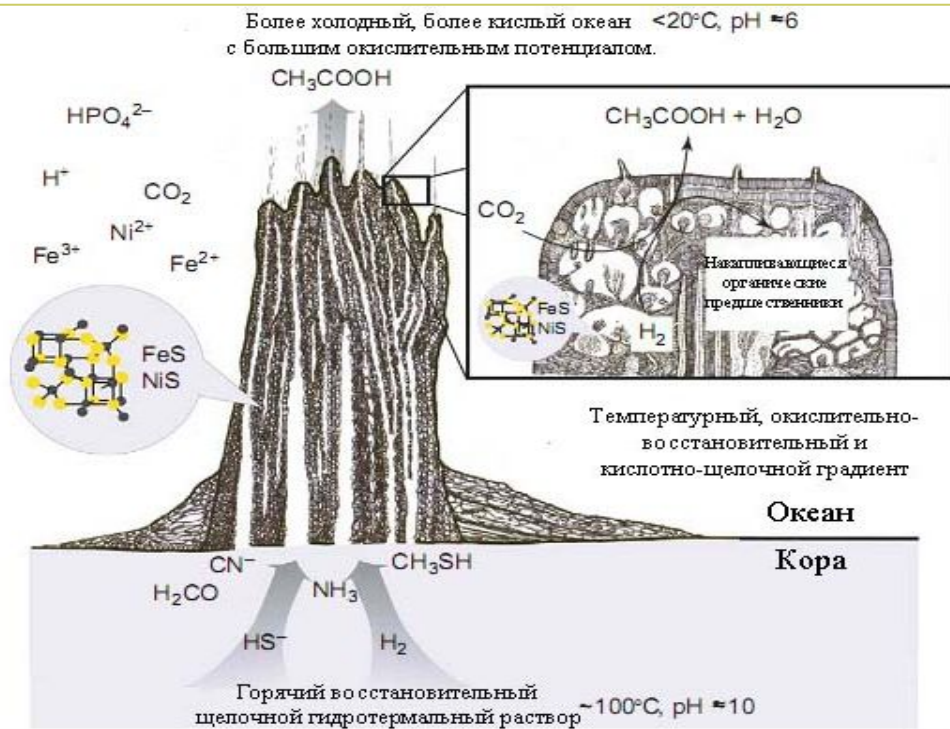
Рис. из обсуждаемой статьи в *Science*.  
The Miller Volcanic Spark Discharge Experiment

**Моделирование условий верхней мантии Земли**

на глубинах 100-150 км позволило Российским ученым синтезировать из смеси  $H_2O$  и  $CaCO_3$  в присутствии  $FeO$  углеводороды с длиной молекулы до 7 атомов углерода (Кучеров В.Г. и др., ДАН, 2010, 433(3): 361-364).

**Однако абиогенный синтез более сложных молекул,**

по мнению Опарина (1960) – полипептидных, и, главное, их объединение в обособленные от окружающей среды коллоидные ансамбли (коацерватные капли), могло произойти только после постепенного остывания Земли и образования Мирового Океана.



[http://www.scorcher.ru/theory\\_publisher/show\\_art.php?id=247](http://www.scorcher.ru/theory_publisher/show_art.php?id=247)

Кризис современной методологии - **логические противоречия** при попытке объяснить происхождение протоклетки.

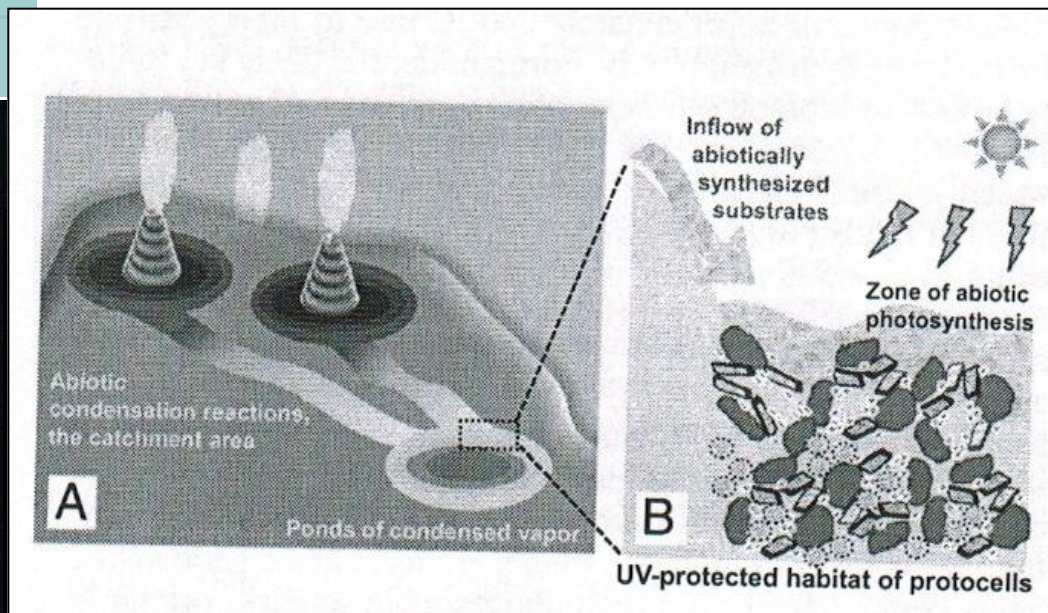
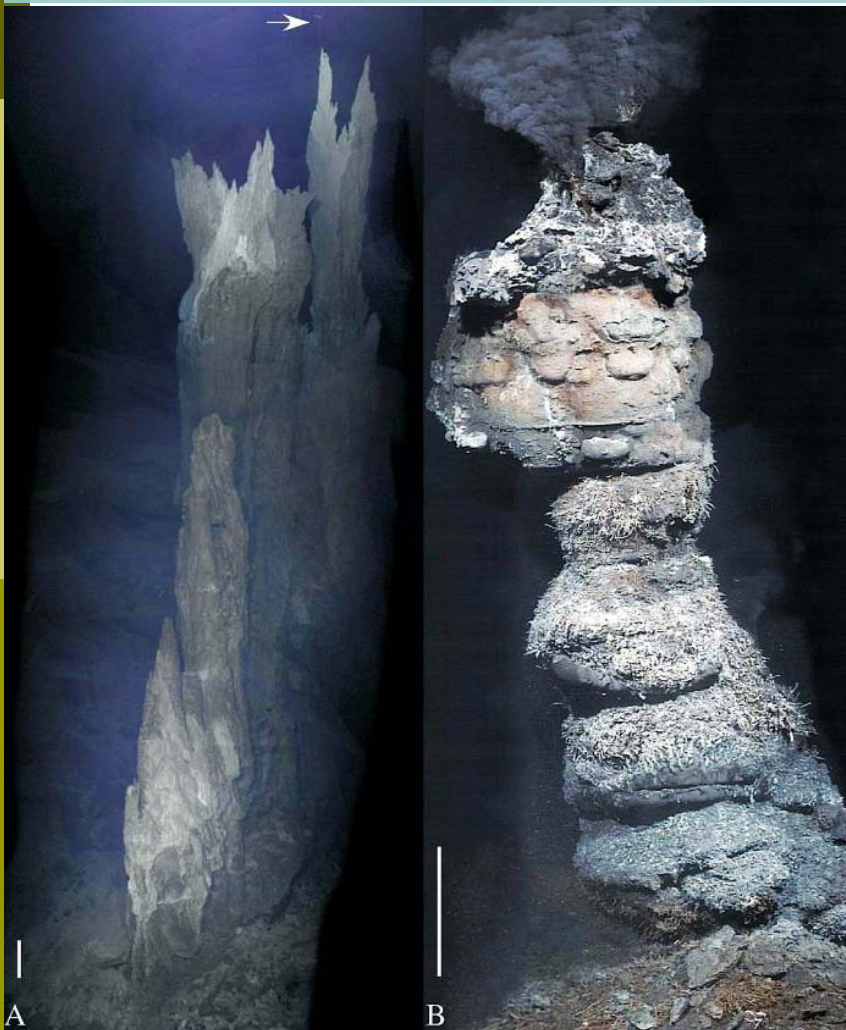
Одно из них - законы физики запрещают возникновение в термодинамически равновесной системе (пруд) неравновесной подсистемы (протоклетки) (Матвеев, 2015).

Экологической нишей для синтеза, конденсации и эволюции пребиотической органики, по современным представлениям (*Wächtershäuser, 1988, 2006; Russell and Hall, 1997; Martin and Russell, 2003*), служили морские гидротермальные источники.

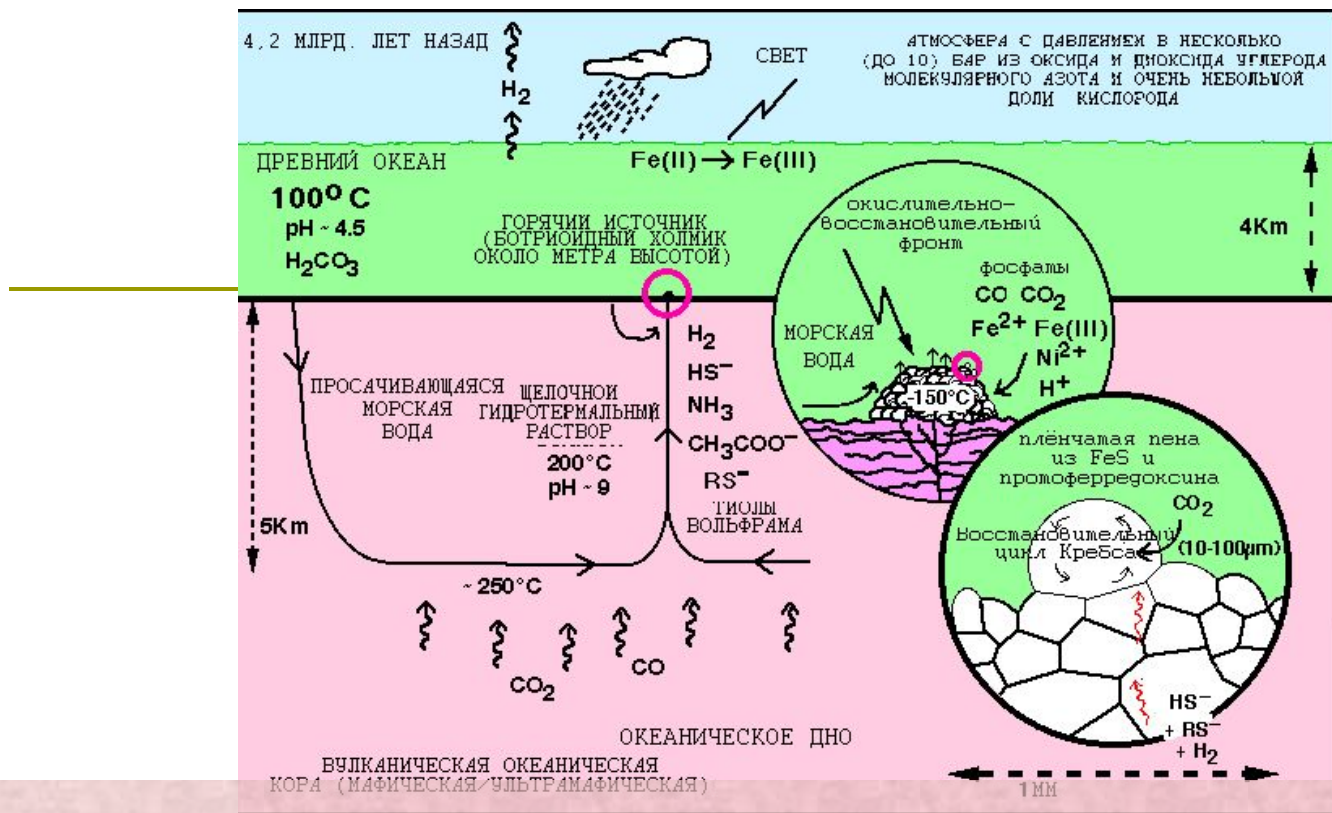
Кунин с соавторами (*Mulkiđjanian, Vychkov, Dibrova, Galperin, Koonin, 2012*) более вероятной эконишей предполагают наземные, бескислородные, геотермальные системы (например, гейзеры), где высокое отношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  и относительно высокое содержание соединений Zn, Mn и фосфора в местах конденсации пара (прудах, озерах) соответствует ионному составу цитоплазмы современных клеток.

Фото из *Oceanography*, 2005, 18(3); цит. по [http://www.scorchner.ru/theory\\_publisher/show\\_art.php?id=247](http://www.scorchner.ru/theory_publisher/show_art.php?id=247)

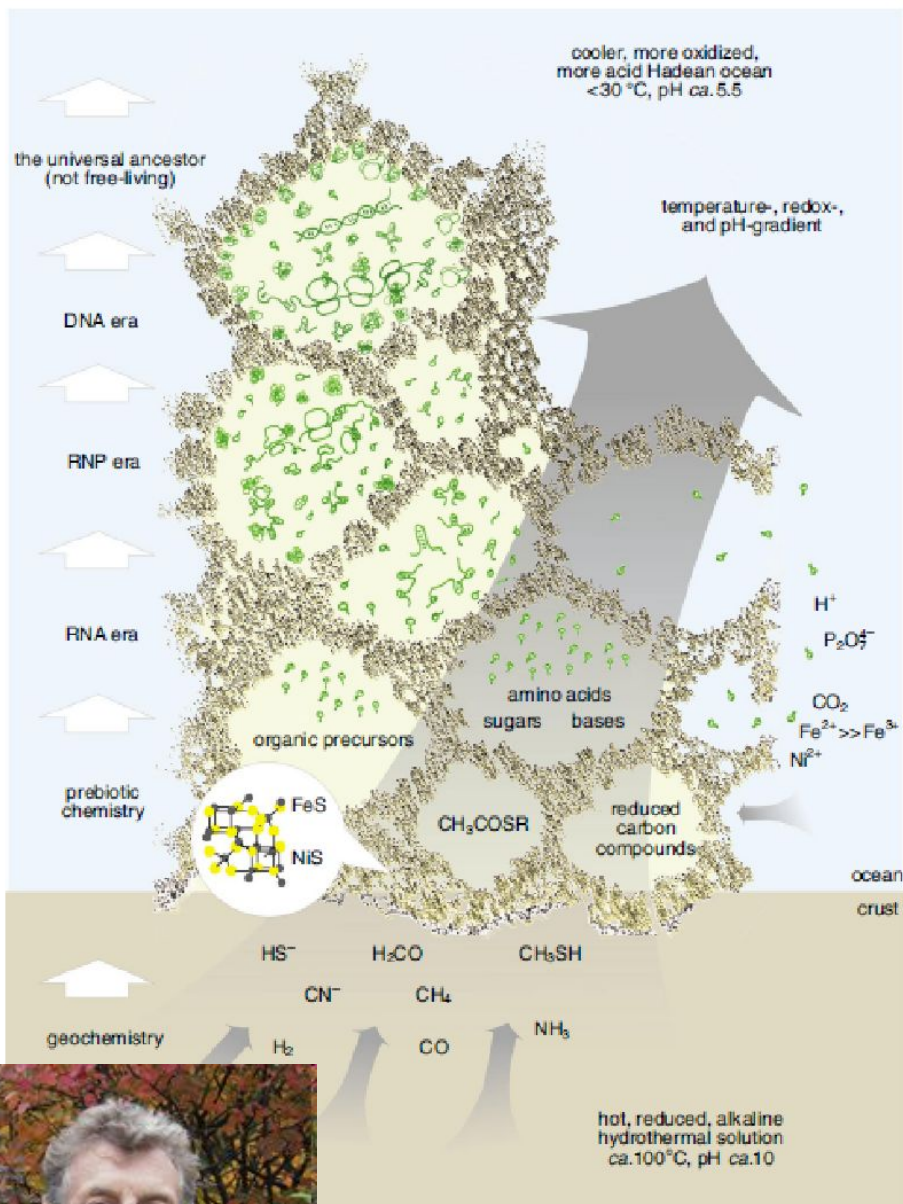
«И чёрные, и белые курильщики являются местами обитания экзотических экосистем, основу которых составляют хемоавтотрофы.»



Эволюция протоклеток в исконно бескислородном геотермальном бассейне предполагает приток экзогенной органики, образующейся при абиогенном «фотосинтезе» (цит. по *Mulkiđjanian, Bychkov, Dibrova, Galperin, Koonin, 2012*).



- «Первые биохимические (органохимические\*) циклы возникли в плёнчатых ботриодных ... образованиях, содержащих FeS, в которых железо в сульфидах принимало участие в переносе электрона как первый аналог ферредоксина, благодаря чему ... образовывался водородный потенциал...»  
[http://www.scorcher.ru/theory\\_publisher/show\\_art.php?id=247](http://www.scorcher.ru/theory_publisher/show_art.php?id=247)
- По мнению одних авторов (*Wächtershäuser, 1990, 2006; Smith and Morowitz, 2007*) это был восстановительный цитратный (ВЦ) цикл, других (*Martin and Russell, 2007*) – восстановительный ацетил-КоА цикл, но более высокие значения  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , чем в 3-гидроксипропионатном (3-ГП) и ВЦ циклах, свидетельствуют (*Маракушев и Белоногова, 2010, 2011*), о более позднем эволюционном развитии ацетил-КоА цикла.



□ **Martin W. and Russell M.J.**  
***Philos. Trans. R. Soc. London***  
***Ser. B* 2003, 358: 59-85.**

□ A model for the origin of life at a redox, pH and temperature gradient at a submarine hydrothermal vent.

□ See Russell & Hall (1997), Russell *et al.* (2003) for details.

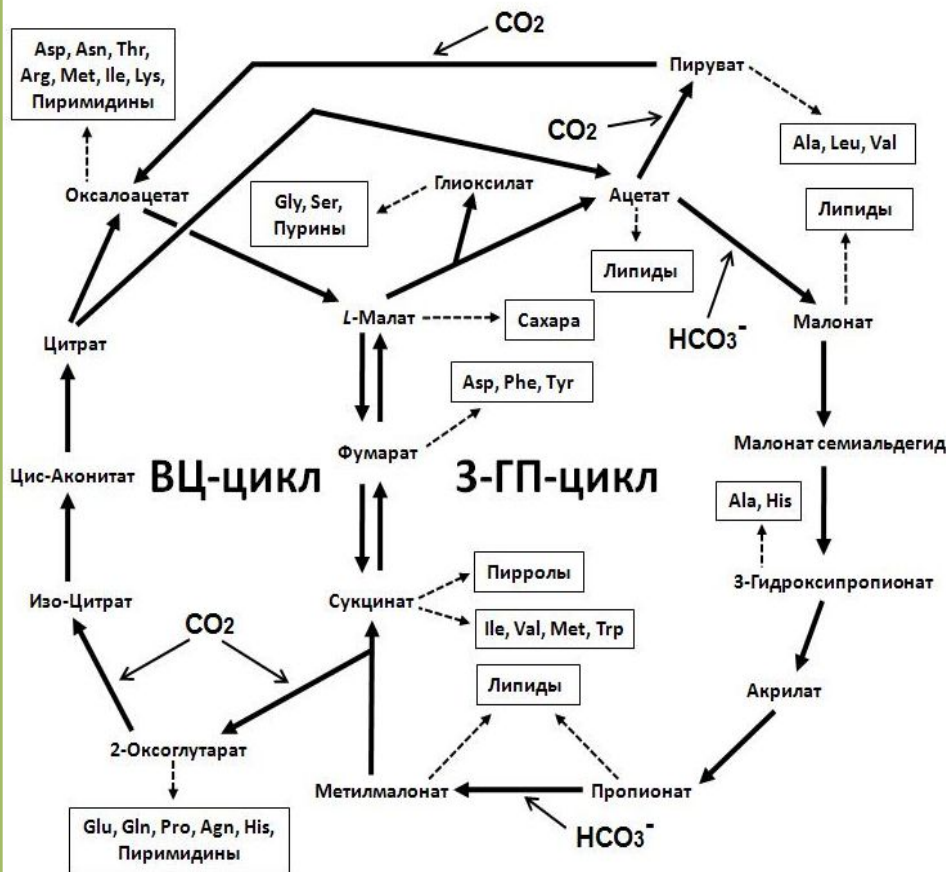
□ The terms RNA, RNP and DNA era (instead of 'world') are used to emphasize that no nucleic acid evolution is possible without a supporting

□ geochemistry, later biogeochemistry and finally biochemistry to provide a steady flow of adequate concentrations of polymerizable precursors (for example nucleotides) and thus to underpin any sort of replication.



**Michael Russell**

<http://science.jpl.nasa.gov/people/Russell/>



Архаический путь фиксации и восстановления CO<sub>2</sub>, САF-бицикл (адаптировано из Маракушев С.А., Белоногова О.В., ДАН, 2011, 439(2): 263-269.)

Поскольку автотрофия - это не только использование неорганического источника энергии и донора электронов для биосинтетических реакций, но и **наличие цикла этих реакций**,

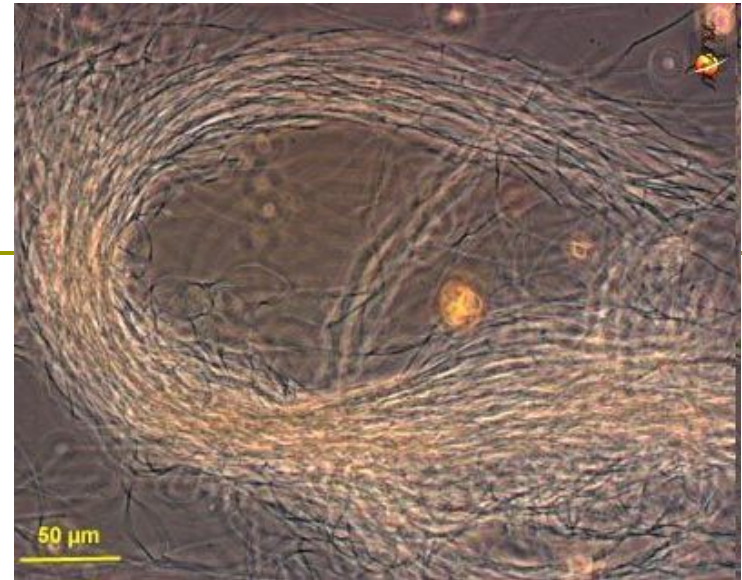
способного осуществлять фиксацию и восстановление CO<sub>2</sub>, такой САF-бицикл [CO<sub>2</sub> archaic fixation] мог зародиться и даже самооптимизироваться, согласно биомиметической модели Маракушева и Белоноговой в виде «сопряженных между собой циклов (VZ и 3-ГП) в парагенезисе с углеводородами как источниками углерода для интермедиатов цикла в гидротермальном геохимическом окружении древней Земли».

Сопряжение VZ и 3-ГБ циклов общей, но разнонаправленной последовательностью реакций малат ↔ фумарат ↔ сукцинат делает самовоспроизводящуюся, автокаталитическую систему еще и системой с **отрицательной обратной связью**, позволяющей переключать направления его функционирования в зависимости от редокс-обстановки окружающей гидротермальной среды.



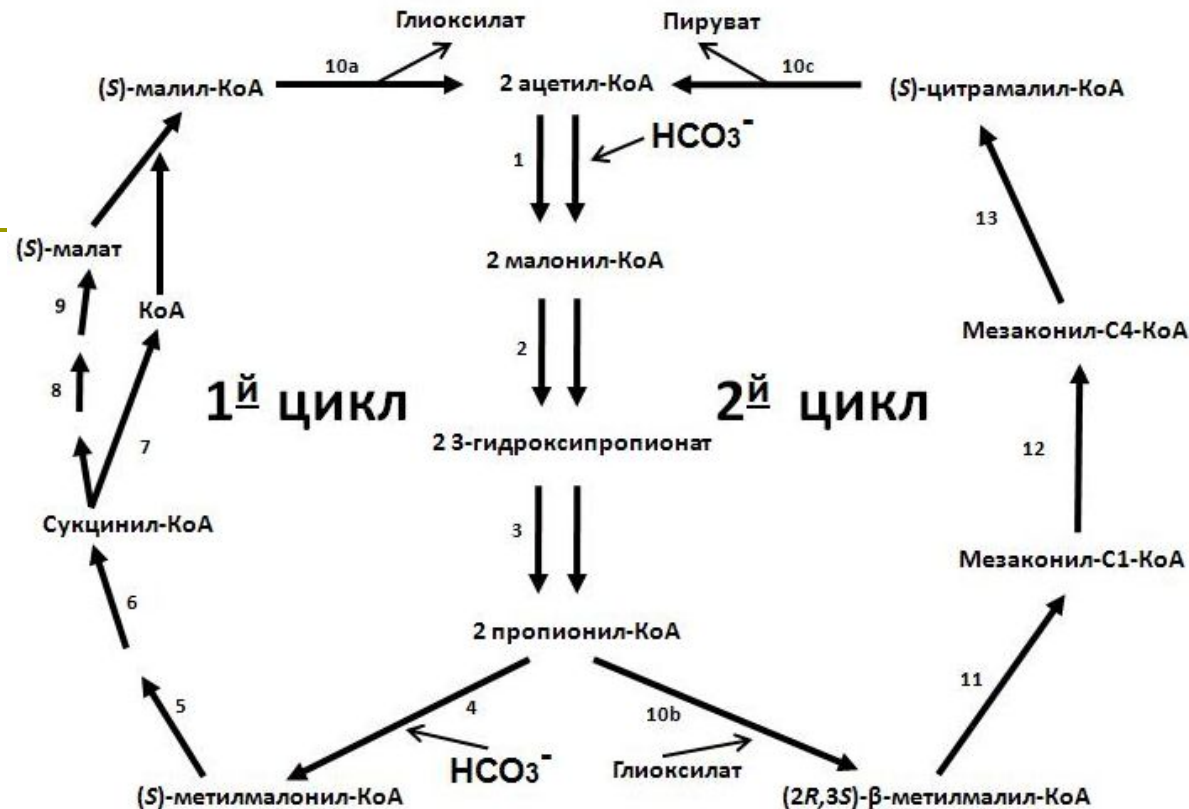


*Chloroflexus* is a filamentous green prokaryote, but not a cyanobacterium. It is common in some of the microbial mats which cover the sediments at some of the thermal sites. Material provided by Mike Ferris from Mushroom Spring, a thermal site within Yellowstone National Park, photographs by Mike Ferris and David Patterson ([http://eol.org/data\\_objects/2087827](http://eol.org/data_objects/2087827)).



*Hydrogenobacter acidophilus* is found at some of the hottest regions, often above 60 degrees C. ... Material from Nymph Creek and Nymph Lake, thermal sites within Yellowstone National Park, photograph by Kathy Sheehan and David Patterson ([http://eol.org/data\\_objects/2087865](http://eol.org/data_objects/2087865)).

- В цитируемой работе (Маракушев и Белоногова, 2011) прослежена обусловленная естественным отбором дивергенция протоклеток в направлении предковых типов наиболее близких к «корню жизни», а именно: Chloroflexi – фототрофы с уникальным 3-ГП бициклом (Herter *et al.*, 2002; Zarzycki *et al.*, 2009) и Aquificiaae – глубоководные хемотроты, усваивающие углерод по ВЦ циклу с минимальным метаболомом (Smith *et al.*, 2006), что делает их претендентами на звание «древнейших клеток».



- 3-ГП бицикл** (адаптировано из (Zarzycki *et al.*, 2009)). Условные обозначения: 1 – ацетил-КоА-карбоксилаза, 2 – малонил-КоА-редуктаза, 3 – пропионил-КоА-синтаза, 4 – пропионил-КоА-карбоксилаза, 5 – метилмалонил-КоА-эпимераза, 6 – метилмалонил-КоА-мутаза, 7 – сукцинил-КоА:(S)-малат-КоА-трансфераза, 8 – сукцинатдегидрогеназа, 9 – фумаратгидратаза, 10a,b,c – (S)-малил-КоА/ $\beta$ -метилмалил-КоА/(S)-цитрамалил-КоА-лиаза (ММС-лиаза), 11 – мезаконил-С1-КоА-гидратаза ( $\beta$ -метилмалил-КоА-дегидратаза), 12 – мезаконил-С1-КоА С1-С4 КоА-трансфераза, 13 – мезаконил-С4-КоА-гидратаза

- От 3-ГП цикла его отличает наличие реакций утилизации глиоксилата.

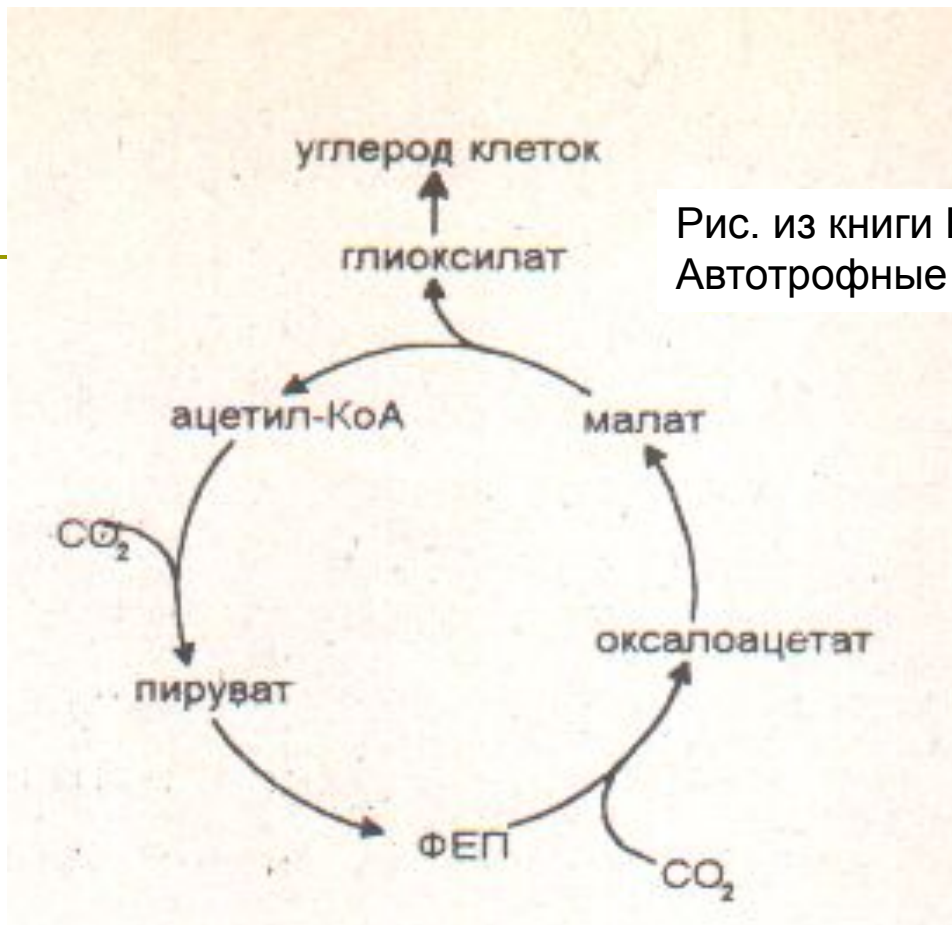


Рис. из книги Е.Н. Кондратьевой, Автотрофные прокариоты (1996)

- В экспериментах Кондратьевой с соавторами (Kondratieva *et al.*, 1992) показан более короткий путь фиксации CO<sub>2</sub> у *Chloroflexi*, начинающийся с реакции, характерной для ВЦ цикла - карбоксилирования ацетил-КоА ферредоксин-зависимой пируватсинтазой с образованием пирувата, а заканчивается, как и 3-ГП цикл, расщеплением малил-КоА до ацетил-КоА и глиоксилата. Не исключено, что *in vivo* работают оба варианта (Кондратьева, 1996), как «отголосок» древней взаимосвязи ВЦ и 3-ГП циклов.

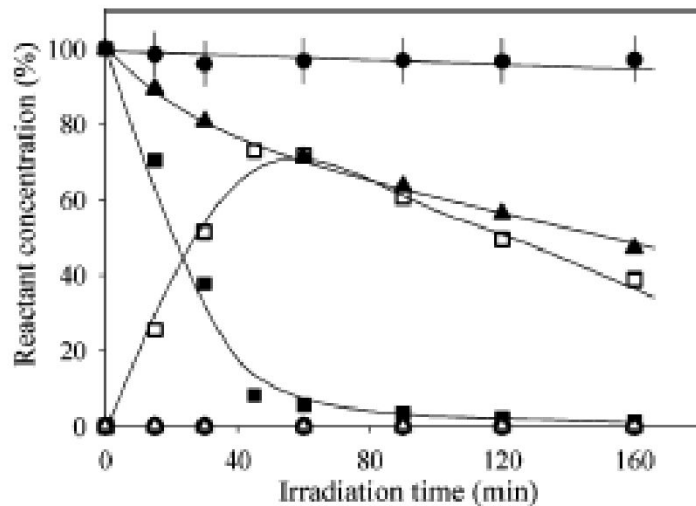


Figure 2. Photoreduction of oxaloacetate to malate. Legend: (■) oxaloacetate and (□) malate irradiated in the presence of ZnS colloid; (●) oxaloacetate and (○) malate in the absence of irradiation; and (▲) oxaloacetate and (△) malate irradiated in the absence of ZnS colloid. Uncertainties are shown for the upper data. See text for further reactions conditions. Lines are to guide the eye and do not represent a model fit.

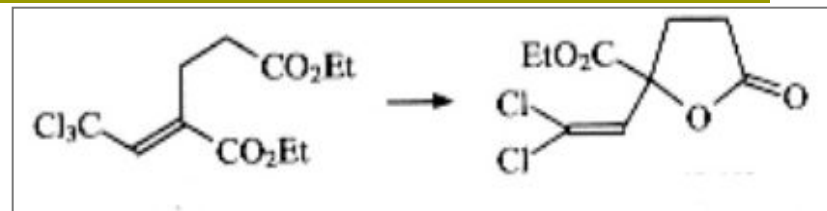
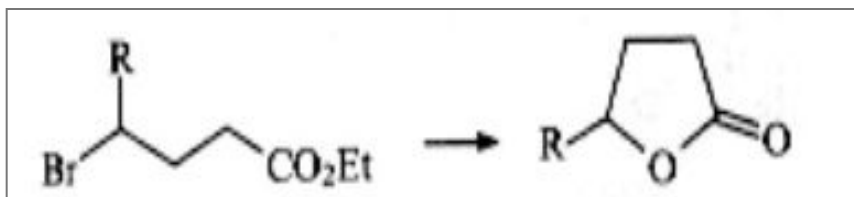
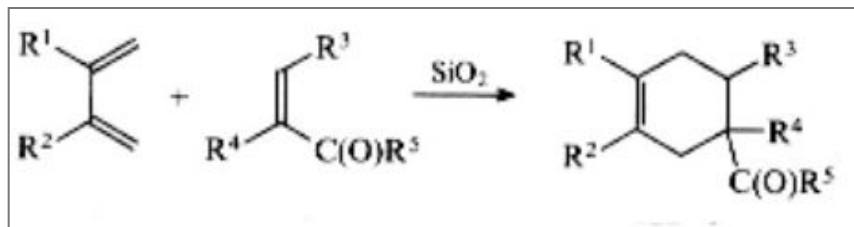
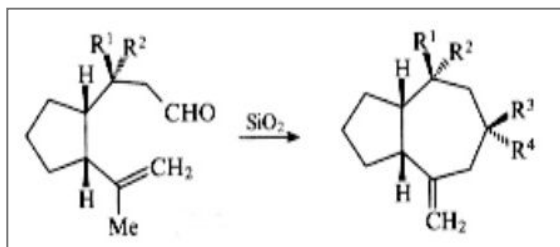
**Общий предок всех  
клеточных организмов -  
протоклетка -**

**термофильная, анаэробная,  
автотрофная (хемо- или  
фото-), способная  
использовать CO<sub>2</sub> в качестве  
единственного источника  
углерода, но ускоряющая  
метаболизм в присутствии  
экзогенной органики.**

- Специальный фотохимический эксперимент (*Zhang and Martin, J. Am. Chem. Soc., 2006, 128: 16032-33*), показавший абиотическое протекание трех восстановительных реакций ВЦ цикла на поверхности освещенного коллоида ZnS, при нейтральной pH и температуре 15 °C, свидетельствует, что на стадии пребиотической эволюции в порах моносulfидов металлов, обладающих свойствами полупроводникового фотокатализатора, была возможна самоорганизация не только хемоавтотрофного, но и фотоавтотрофного метаболизма.
- Моделирование абиогенных фотокаталитических систем, способных к синтезу макроэргических соединений (*Kolesnikov et al., 2008; Крицкий и др., 2010; и др.*) и абиогенный фотосинтез/фотоселекция природных нуклеотидов (*Ponnamperuma et al., 1963; Senanayake and Idriss, 2006; Powner et al., 2009; и др.*) свидетельствуют о ключевой роли света в процессах предбиологической эволюции. Это подтверждает идею (*Mulkidjanian et al., 2012*) о зарождении жизни в наземных геотермальных системах, хотя авторы данной статьи фотокаталитический синтез органики выводят за пределы саморазвивающихся и самовоспроизводящихся гетеротрофных протоклеток.

## □ **Еще одна гипотеза абиогенного синтеза органических соединений:**

- В 60-х годах 20 века советские ученые (Стрелко и др., 1963; Высоцкий и др., 1967) определили возможность каталитического синтеза органического вещества на **матрице кремниевого геля**. По их данным, отвод молекулы-формирователя, с последующим сохранением матрицы, позволял осуществлять неограниченный по количеству низкотемпературный синтез исходных молекул из более простого по строению органического «сырья».
- На основании экспериментов и теоретических разработок Стрелко с соавторами даже высказали предположение, что **«...реакции поликонденсации аминокислот, концентрируемых адсорбцией на поверхности кремнеземов, могли в свое время привести к образованию предбелков и сыграли немаловажную роль в процессе зарождения жизни на Земле»**.
- Высоцкий З.З., Данилов В.И., Стрелко В.В. **Свойства гелей поликремниевой кислоты и условия возникновения и развития жизни** // Успехи современной биологии. – 1967. – 63(3). – С. 362–379.



Примеры реакций органического синтеза при участии **матрицы** из поликремниевых кислот (Banerjee *et al.*, 2001)

- Стрелко В.В., Гуцин П.П., Высоцкий З.З. О взаимодействии некоторых аминосоединений с дегидратируемым силикагелем // Докл. АН СССР. – 1963. – 153(3). – P. 619–621.
- Banerjee A.K., Laya Mimo M.S., Vera Vegas W.J. Silica gel in organic synthesis // Russian Chemical Reviews. – 2001. – 70 (11). – P. 971–990.

▣ **Обобщенная гипотеза происхождения простейших элементов живой материи, трансформации первичной атмосферы и образования залежей гидрата метана** (УФН, 2007, 117(2):183-206)

- 
- ▣ В.Е. Островский ([http://ufn.ru/ru/authors/ostrovskii\\_v\\_e/](http://ufn.ru/ru/authors/ostrovskii_v_e/)) а, Е.А. Кадышевич ([http://ufn.ru/ru/authors/kadyshevich\\_e\\_a/](http://ufn.ru/ru/authors/kadyshevich_e_a/)) б  
а Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, Москва  
б Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва
- ▣ Обсуждается оригинальная гидратная гипотеза возникновения простейших элементов живой материи (**Life Origination Hydrate Hypothesis; LOH-hypothesis**), включающая представления о взаимозависимости и взаимообусловленности процессов возникновения жизни, трансформации первичной атмосферы и **формирования залежей гидрата метана**.
- ▣ Впервые учитывается, что молодая Земля «пропитана» небулярным водородом. Возникновение простейших элементов живой материи рассматривается как результат термодинамически обусловленных закономерных и неизбежных химических превращений и универсальных физико-химических законов.
- ▣ Согласно гипотезе простейшие элементы живой материи многократно образовывались и, возможно, образуются из метана (или другого углеводорода), селитры и фосфата в пограничных областях твердых фаз газовых гидратов простейших углеводородов. Предполагается, что явление монокиральности нуклеиновых кислот является следствием особенностей геометрии структурной матрицы.

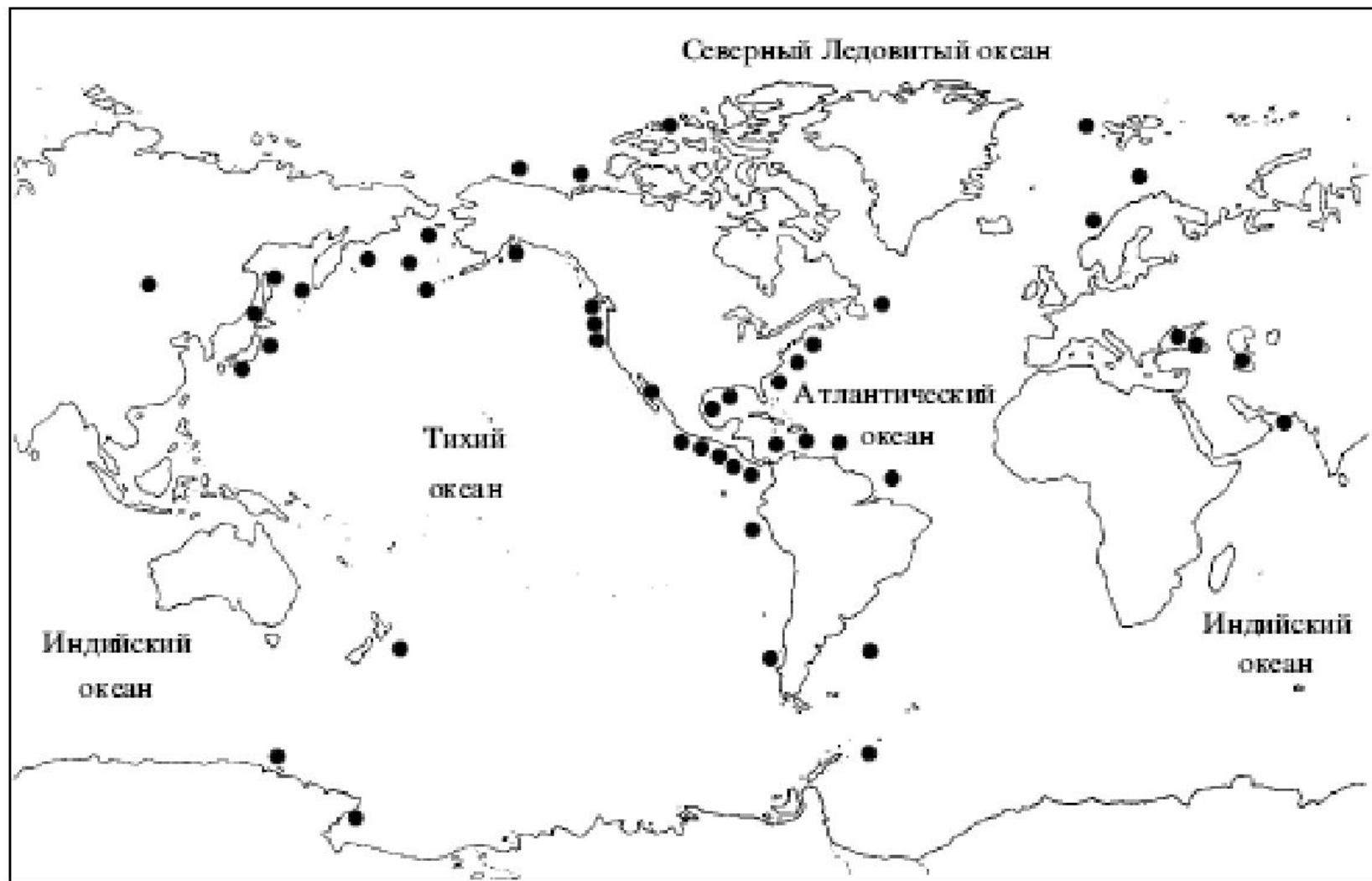
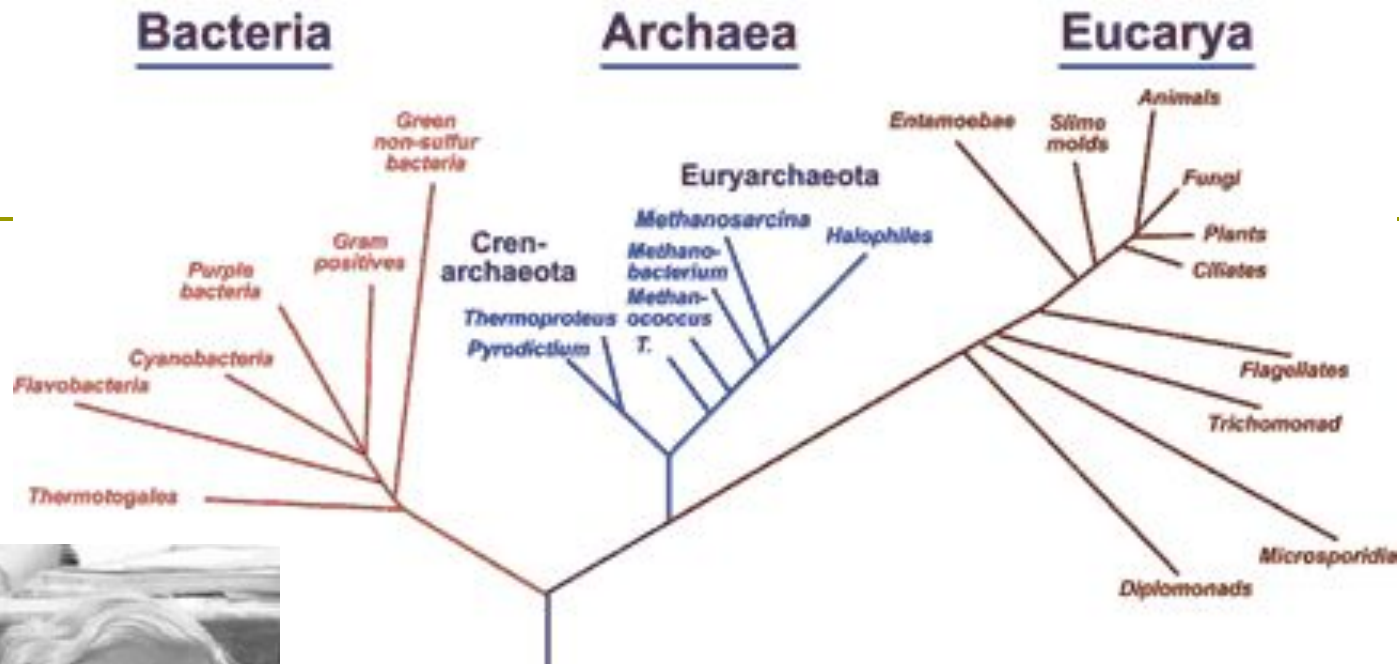


Рис. 5. Субмаринные газовые гидраты; кружками отмечены районы, в которых выявлены субмаринные гидраты метана или их характерные признаки. (Из [67, с. 15].)



- Развитие теории Опарина столкнулось с проблемой:
- Если спонтанно, путем случайных **безматричных** синтезов в коацервате возникали единичные удачные конструкции белковых молекул (например, эффективные катализаторы, обеспечивающие преимущество данному коацервату в росте и размножении), то как они могли копироваться для распространения внутри коацервата, а тем более для передачи коацерватам-потомкам?
- ДНК способна хранить наследственную информацию, но не выполняет каталитические функции и без белков не может реплицироваться.
- Белки не могут самовоспроизводиться.
- Этот вопрос (цит. по Спириг, 2009) решается в рамках двух основных концепций: 1) репликация генетического материала и его трансляция возникли и эволюционировали сопряженно (Альтштейн, 1987); 2) живые органические системы развились из ансамблей молекул, способных быть матрицей и катализатором одновременно.
- РНК, как казалось, играет лишь роль посредника между ДНК и белками и, в некоторых случаях, выполняет структурные (рРНК) и транспортные (тРНК) функции.
- Однако именно РНК привлекла внимание исследователей 1980-х. Два важнейших открытия:
- Первое – это обнаружение фермента - **ревертазы** и осуществляемого ею процесса **обратной транскрипции**, т.е. синтеза **ДНК на РНК (Хоуард Мартин Темин, Дейвид Балтимор и Ренато Дульбекко - Нобелевская премия 1975)**.
- Второе – открытие **рибозимов** – молекул РНК, обладающих каталитической активностью (**Сидни Олтмен и Томас Чех, Нобелевская премия 1989** «за открытие каталитических свойств рибонуклеиновых кислот»).



**Carl R Woese**

<http://mcb.illinois.edu/faculty/profile/1204>

- Идея **РНК мира** была впервые высказана **Карлом Ричардом Вёзе** в **1967**, позже развита **Лесли Оргелем** и окончательно сформулирована **Уолтером Гильбертом** в **1986**.
- **К. Вёзе** (1928 – 30.12.2012) смог найти «универсальную» молекулу, которая присутствует у всех организмов и связана с синтезом белка.
- **16S рРНК** содержит 1500 нуклеотидов. Эта субъединица оказалась очень удобной для сравнения отрезков и определения родства. Оказалось, что все организмы хорошо ложатся на филогенетическое древо, которое Вёзе и издал в 1985.



У. Гилберт

**Уолтер Гилберт** (род. 1932) познакомился с **Д. Уотсоном** и **Ф. Криком** в Кембридже, когда был там в аспирантуре.

К 1960 Джеймс Уотсон перешел на работу в Гарвард и возобновил дружеские отношения с Гилбертом.

В ответ на просьбу Уотсона помочь выделить мРНК Гилберт с удовольствием взялся за экспериментальную работу, и в его жизни начался длительный период исследований в области молекулярной биологии.

- Половина **Нобелевской премии по химии в 1980** была присуждена **Уолтеру Гилберту и Фредерику Сенгеру** «за вклад в определение последовательности оснований в нуклеиновых кислотах». Другая половина - **Полу Бергу** за подобное же исследование.
- В начале 1980-х в лаборатории **Т. Чеха** и **С. Олтмана** была открыта каталитическая способность РНК. По аналогии с ферментами РНК-катализаторы были названы **рибозимами**, за их открытие была присуждена **Нобелевская премия - 1989**.
- Более того, оказалось, что активный центр рибосом содержит большое количество рРНК. Также РНК способны создавать двойную цепочку и самореплицироваться.



Томас  
Роберт Чех

- **Томас Роберт Чех** (род. 1947). Сын врача. Дедушки и прадедушки чешского происхождения.
- **Сидни Олтмен** (род. 1939). Как и Томас Чех, из семьи иммигрантов.

- В 1970-1980-х С. Олтмен и Т.Чех изучали, каким образом генетический код переносится от ДНК к РНК. Им было известно, что часть генетической информации не является обязательной и от нее надо избавиться в молекуле РНК, прежде чем та начнет использоваться клеткой.

В поисках решения этой задачи они открыли, что ферментативную функцию берет на себя не белок, а каталитическая РНК.

При этом каталитическая активность данных молекул РНК чувствительнейшим образом зависит от их трехмерной структуры, как это имеет место и в случае белковых ферментов.



Сидни Олтмен



А.И. Опарин и А.С.  
Спирин (1974)

[www.inbi.ras.ru/history/oparin/oparin\\_photo.html](http://www.inbi.ras.ru/history/oparin/oparin_photo.html)

Так возник новый подход к истолкованию проблемы химического механизма происхождения жизни на Земле.

Открытие Олтмена и Чеха показало, что первой биомолекулой могла быть РНК – она отвечает требуемым параметрам —одновременно может служить и генетическим материалом, и обладать свойствами фермента.

РНК могли существовать полностью автономно, катализируя «метаболические» реакции, и самовоспроизводясь, сохраняя из «поколения» в «поколение» каталитические свойства.

- Накопление случайных мутаций привело к появлению РНК, катализирующих синтез определённых белков, являющихся более эффективным катализатором, в связи с чем эти мутации закреплялись в ходе естественного отбора.
- С другой стороны возникли специализированные хранилища генетической информации — ДНК.
- РНК сохранились между ними как посредник.

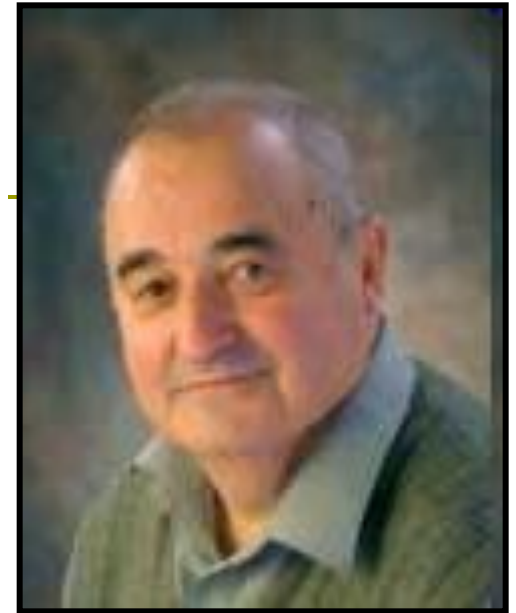
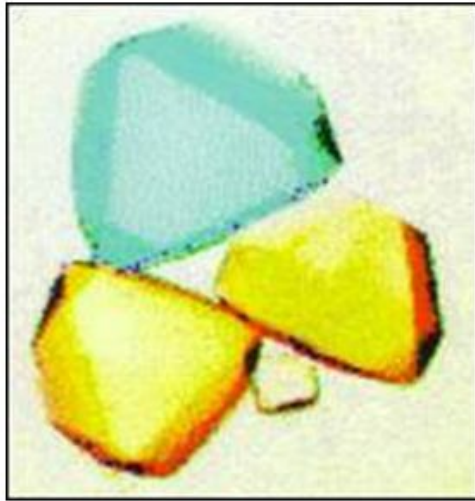


### **А.Б. Четверин**

д.б.н., профессор  
мол. биол, член-  
корр. РАН по  
физико-химической  
биологии, зав. лаб.  
биохимии вирусных  
РНК в Институте  
белка РАН

- О том, как выглядели самовоспроизводящиеся РНК системы, есть разные предположения.
- Чаще всего постулируется необходимость агрегирующих РНК мембран или размещения РНК на поверхности минералов и в **поровом пространстве рыхлых пород**.
- В 1990-е годы **А.Б. Четверин** с сотрудниками показали способность РНК формировать молекулярные колонии на гелях и твёрдых субстратах при создании им условий для репликации. Происходил свободный обмен молекулами, которые при столкновении могли обмениваться участками, что показано экспериментально. Вся совокупность колоний в связи с этим быстро эволюционировала.  
  
Т.о. при развитии жизни на Земле после возникновения белкового синтеза колонии, умеющие создавать ферменты, развивались успешнее. Еще более успешными стали колонии, сформировавшие более надёжный механизм хранения информации в ДНК и, наконец, отделившиеся от внешнего мира липидной мембраной, препятствующей рассеиванию своих молекул.

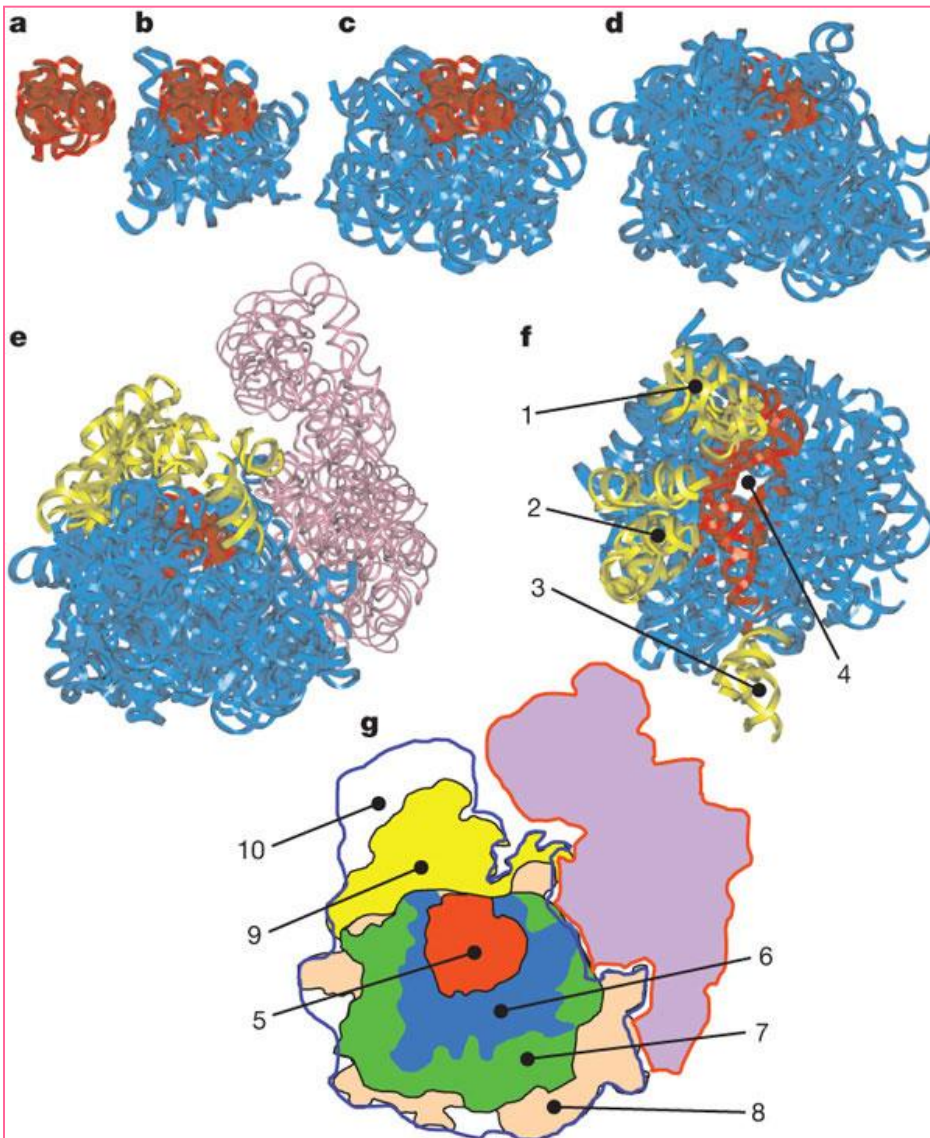
## Crystallization of the 70 S ribosome from *Thermus thermophilus*



Карпова Е.А., Сердюк И.Н., Тарховский Ю.С., Орлова Е.В., Боровягин В.Л. (1986)  
Кристаллизация рибосом из *Thermus thermophilus*, ДАН СССР, 289, 1263-1266

**Игорь Николаевич Сердюк**, д. ф.-м.н., проф. кафедры молекулярной биологии биологического факультета МГУ, зав. лаб. Института белка РАН, зав. гр. лаб. нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований (Дубна), лауреат Государственной премии СССР по науке и технике 1986 г.

За исследования структуры и функций рибосомы Нобелевская премия по химии 2009 была присуждена: Ada E. Yonath (Израиль), Venkatraman Ramakrishnan (Великобритания) и Thomas A. Steitz (США).



## Тайна происхождения рибосом разгадана?

**27.02.09** | Молекулярная биология, Эволюция, Александр Марков

Исследовав трехмерную структуру рибосомной РНК (они сосредоточились на молекуле 23S-рРНК, которая представляет собой основу большой субъединицы рибосомы *Escherichia coli*) современных бактерий, канадские биохимики из Монреальского университета (Département de Biochimie, Université de Montréal) пришли к выводу,

что рибосомы могли сформироваться в результате постепенной эволюции из очень простой маленькой молекулы РНК — «**проторибосомы**», способной катализировать реакцию соединения двух аминокислот.

Все остальные структурные блоки рибосомы последовательно добавлялись к проторибосоме, не нарушая ее структуру и постепенно повышая эффективность ее работы.

**Источник: Konstantin Bokov, Sergey V. Steinberg.** A hierarchical model for evolution of 23S ribosomal RNA // *Nature*. 2009. V. 457. P. 977–980.

Авторы предполагают, что переход от РНК-мира к «белковому миру» состоялся после этапа, обозначенного буквой **b** на рисунке. Дело в том, что те блоки рибосомы, которые показаны на рис. *b*, не контактируют с рибосомными белками.

Спасибо за внимание